Villanyszerelő – villamos berendezés- és készülékszerelő szakirány

Elmélet, magyarországi szabványok és gyakorlati útmutatók önálló tanuláshoz az Ohm-törvénytől az ipari elosztóberendezésekig

Gellai István

2026

Tartalomjegyzék

Impresszum **8**

I. RÉSZ – Útmutató és munkabiztonság **9**

1 Olvasói útmutató **10**
1.1 A könyv használata és a képzési követelmények térképe 10
1.2 Tanulási útvonalak, vizsga és önellenőrzés 19
1.3 Otthoni tanulólabor és szerszámkészlet biztonságosan 27

2 Munkavédelem és jogi keret **34**
2.1 A munkavédelem rendszere Magyarországon 34
2.2 Kockázatértékelés, védőeszközök, balesetek és tűzvédelem 42
2.3 Az áram élettani hatásai és az elsősegélynyújtás 51
2.4 Villamos munkavégzés biztonsága: az öt szabály és a munkaengedély 59

II. RÉSZ – Elektrotechnika alapjai **69**

3 Villamos alapfogalmak **70**
3.1 Atom, töltés, feszültség, áram és ellenállás 70
3.2 Mennyiségek, mértékegységek, előtagok és számolási rutin 78
3.3 Ohm törvénye, villamos munka, teljesítmény és hatásfok 83
3.4 Az ellenállás függése az anyagtól, mérettől és hőmérséklettől 95

4 Egyenáramú hálózatok **105**
4.1 Soros kapcsolás és feszültségosztó 105
4.2 Párhuzamos kapcsolás és áramosztó 113
4.3 Vegyes kapcsolások és eredő ellenállás 124
4.4 Kirchhoff-törvények és hálózatszámítás 137
4.5 Valódi feszültségforrás: üresjárás, rövidzárás és illesztés 147

5 Villamos és mágneses tér **157**
5.1 Villamos tér és kondenzátor 157
5.2 Kondenzátorok kapcsolása és az RC-tag 166
5.3 Mágneses tér, indukció és mágneses kör 177
5.4 Elektromágneses indukció, önindukció és az RL-tag 188

6 Váltakozó áram **198**
6.1 Szinuszos mennyiségek és fázorok 198
6.2 Ellenállás, induktivitás és kapacitás váltakozó áramú körben 208
6.3 Impedancia, soros és párhuzamos RLC, rezonancia 219
6.4 Teljesítmények és teljesítménytényező 231

7 Háromfázisú rendszer **242**
7.1 A háromfázisú rendszer és a hálózati jellemzők 242
7.2 Csillag és delta kapcsolás 251

7.3 Háromfázisú teljesítmény, aszimmetria és a nullavezető . . . 262
7.4 Fázissorrend, forgó mező és feszültségesés a vezetékben . . . 271

8 Mérőműszerek és mérések 283
8.1 Mérés alapjai, mérési hibák és műszerosztályok . . . 283
8.2 Multiméter, lakatfogó és mérési kategóriák . . . 290
8.3 Oszcilloszkóp és jelalakok . . . 301
8.4 Teljesítmény- és energiamérés, fogyasztásmérők . . . 310

III. RÉSZ – Anyagok, műszaki rajz és dokumentáció 324

9 Villamosipari anyagismeret 325
9.1 Fémek és ötvözetek a villamosiparban . . . 325
9.2 Szigetelőanyagok és műanyagok . . . 334
9.3 Passzív alkatrészek: ellenállás, kondenzátor, tekercs . . . 344

10 Vezetékek és kábelek 354
10.1 Vezeték- és kábeltípusok, jelölésrendszer . . . 354
10.2 Színjelölés, keresztmetszet és szerelési módok . . . 363
10.3 Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők . . . 369
10.4 Feszültségesés és a vezeték méretezése . . . 380

11 Műszaki rajz alapjai 391
11.1 Szabványos rajzlap, vonalak, felirat és méretezés . . . 391
11.2 Vetületi ábrázolás, metszet és axonometria . . . 399
11.3 Gépelemek és kötések ábrázolása . . . 406

12 Villamosipari dokumentáció I – épületvillamosság 414
12.1 Rajzjelek és jelölések (MSZ EN 60617) . . . 414
12.2 Áramúti, kapcsolási és huzalozási rajz; világítási áramkörök . . . 424
12.3 Alaprajzok, fővezetéki terv és egyvonalas rajz . . . 435

13 Villamosipari dokumentáció II – gépek és készülékek 446
13.1 Kapcsolók és mágneskapcsolók rajzjelei, kapocsjelölések . . . 446
13.2 Motorok és transzformátorok rajzjelei, kapocstáblák . . . 457
13.3 Vezérlési rajzok olvasása és rajzolása . . . 467
13.4 Szerelési dokumentáció, referenciajelölés és átadás . . . 477

14 Minőségbiztosítás, munkaszervezés és informatika 484
14.1 Minőségbiztosítás és szerelői ellenőrzés . . . 484
14.2 Irodai alkalmazások a szakmában . . . 492
14.3 Számítógépes hálózatok és adatkommunikáció . . . 499

IV. RÉSZ – Épületvillamosság (közös ismeretek) 508

15 Szerelési technológia és felmérés 509
15.1 Felmérés, tervértelmezés és szerelési technológia . . . 509
15.2 Anyag- és eszközkiválasztás, árajánlat . . . 518
15.3 Kéziszerszámok, gépi szerszámok és a biztonságos használat . . . 528
15.4 Vezetékek és kábelek szerelési módjai . . . 538

16 Szerelvények és fogyasztói áramkörök 549
16.1 Kapcsolók, dugaszoló aljzatok és szerelvények . . . 549
16.2 Világítási áramkörök: egypólusú, soros, váltó és kereszt . . . 557

16.3 Lépcsőházi automata, impulzusrelé és időrelé alapkapcsolása 566
16.4 Aljzatkörök és fogyasztói csatlakozások, nedves helyiségek 577

17 Elosztók, mérőhely és csatlakozás **586**
17.1 Csatlakozás a közcélú hálózathoz, mérőhely 586
17.2 Lakás- és épületelosztó felépítése 595
17.3 Elosztó szerelése, kapcsolási rajz és feliratozás 604

18 Túláramvédelem **613**
18.1 Olvadóbiztosítók 613
18.2 Kismegszakítók és kioldási jelleggörbék (B, C, D) 620
18.3 Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram 628
18.4 Szelektivitás, hátvédelem és megszakítóképesség 637

19 Világítástechnika **644**
19.1 Fénytechnikai alapok és fényforrások 644
19.2 Világítás tervezése: beltér és kültér 654
19.3 Biztonsági világítás 665

20 Épületautomatika és vezérlők **674**
20.1 Érzékelők: fény, mozgás, jelenlét, hőmérséklet 674
20.2 Beavatkozók: mágneskapcsolók, szelepek, szervomotorok 682
20.3 KNX, DALI és más épületautomatikai rendszerek 691
20.4 Intelligens épület: tervezés, üzembe helyezés, energiahatékonyság 701

V. RÉSZ – Hibavédelem, földelés, villámvédelem és ellenőrzés **709**

21 Áramütés elleni védelem **710**
21.1 Alapvédelem, hibavédelem, kiegészítő védelem 710
21.2 Hálózati rendszerek: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT 718
21.3 Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel 729
21.4 Áram-védőkapcsoló (FI) és kiegészítő védelem 739
21.5 Védőkisfeszültség, II. osztály, védőelválasztás és egyéb módok 747

22 Földelés és egyenpotenciálra hozás **757**
22.1 Földelők és földelési ellenállás 757
22.2 Egyenpotenciálra hozás: fő- és kiegészítő EPH 765
22.3 Védővezető, PEN és a keresztmetszet méretezése 773

23 Villám- és túlfeszültség-védelem **781**
23.1 A villám és hatásai, kockázat és védelmi osztályok 781
23.2 Külső és belső villámvédelmi rendszer 788
23.3 Túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD): típusok és beépítés 796

24 Ellenőrzés, mérés és felülvizsgálat **805**
24.1 Szemrevételezés, működési próbák, kikapcsolt állapotú vizsgálat 805
24.2 Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés 813
24.3 Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat 823
24.4 Jegyzőkönyv, szabványossági felülvizsgálat és hibakeresés 832

VI. RÉSZ – Villamos gépek **842**

25 Transzformátorok **843**
25.1 Egyfázisú transzformátor: működés, felépítés, üresjárás és rövidzárás 843

25.2 Terhelés, hatásfok, veszteségek és kapcsolások 855
25.3 Háromfázisú transzformátor és kapcsolási csoportok 865
25.4 Autó-, mérő- és kistranszformátorok, olajtrafó, védelmek, telepítés 876

26 Aszinkron (indukciós) gépek **888**
26.1 Szerkezet és működési elv, forgó mágneses mező 888
26.2 Szlip, nyomaték, jelleggörbe és adattábla 897
26.3 Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány 906
26.4 Indítás: közvetlen, csillag–delta, lágyindító, csúszógyűrűs 916
26.5 Fordulatszám-változtatás, Dahlander, frekvenciaváltó és fékezés 927
26.6 Egyfázisú aszinkron motorok 940

27 Szinkron gépek **950**
27.1 Szinkron generátor és motor, gerjesztés 950
27.2 Hálózatra kapcsolás, V-görbe, fázisjavítás és aggregátor 959

28 Egyenáramú és különleges gépek **971**
28.1 Egyenáramú gép: szerkezet, gerjesztés, indítás 971
28.2 Univerzális, léptető, szervó és BLDC motorok 985
28.3 Hajtástechnika: gépelemek, tengelykapcsoló, csapágy, szíj 994

29 Gépek anyagai és tekercselése **1006**
29.1 Vaslemezek, tekercsvezetők és szigetelési osztályok 1006
29.2 Tekercselés, impregnálás, csapágyak és szénkefe 1014

30 Hibakeresés, javítás és karbantartás **1023**
30.1 Diagnosztika: szemrevételezés, mérések, hibajegyzőkönyv 1023
30.2 Gépek megbontása, javítása és üzembe helyezése 1035
30.3 Karbantartási terv és állapotfigyelés 1042

VII. RÉSZ – Kapcsoló- és vezérlőkészülékek, ipari elosztóberendezések **1051**

31 Kapcsolókészülékek **1052**
31.1 Kapcsolókészülékek működése, ívoltás és használati kategóriák 1052
31.2 Mágneskapcsolók és relék 1061
31.3 Motorvédő kapcsoló, hőkioldó, megszakító és szakaszoló 1071
31.4 Készülékkiválasztás: áram, feszültség, élettartam, koordináció 1081

32 Motorvezérlések **1088**
32.1 Direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek 1088
32.2 Reverzáló kapcsolás és reteszelés 1099
32.3 Csillag–delta indítás vezérlése 1109
32.4 Kétsebességű, sorrendi és késleltetett vezérlések 1120
32.5 Vezérlések hibakeresése 1132
32.6 PLC-alapok és ipari vezérlés 1141

33 Ipari elosztóhálózatok **1151**
33.1 Ipari elosztóhálózatok jellemzői és topológiája 1151
33.2 Síncsatorna, energiaoszlop, kábeltálca és kábelpadló 1161
33.3 Méretezés: terhelés, feszültségesés és zárlat egyszerű esetekben 1171
33.4 Csatlakozási hely és ipari fogyasztói berendezés kialakítása 1182

34 Kapcsolószekrények és elosztóberendezések **1194**
34.1 Az elosztóberendezések szabványai és típusai 1194
34.2 Felépítés: szekrény, sínek, szerelőlemez, hűtés és fűtés 1203
34.3 Védettség (IP, IK), különleges környezet és klimatizálás 1213
34.4 Mérő- és jelzőkészülékek, feliratok és dokumentáció 1221

35 Ipari fogyasztók és vezérlőberendezések **1232**
35.1 Motorvédelmek, lágyindítók és frekvenciaváltók az elosztóban 1232
35.2 Légtechnikai, vízgépészeti és hőtechnikai elosztók 1243
35.3 Felvonó- és állandó üzemű fogyasztók elosztói 1253
35.4 Vezérlőberendezések informatikai hálózatai és HMI 1264

36 Meddőteljesítmény, UPS és energiaellátás **1273**
36.1 Fázisjavítás méretezése 1273
36.2 Szünetmentes áramforrások, aggregátorok és akkumulátorok 1283
36.3 Napelemes rendszerek és háztartási méretű kiserőmű 1294

VIII. RÉSZ – Ipari elektronika **1304**

37 Félvezetők **1305**
37.1 Félvezető anyagok, dióda, LED és Zener-dióda 1305
37.2 Tranzisztorok és kapcsoló üzem 1314
37.3 Hő-, fény- és feszültségfüggő elemek és érzékelők 1327
37.4 Erősáramú félvezetők: tirisztor, triac, IGBT, MOSFET 1336

38 Tápegységek, analóg és digitális alapok **1347**
38.1 Egyenirányítók, szűrők, stabilizátorok, kapcsolóüzemű táp és PFC 1347
38.2 Erősítők, műveleti erősítő és szűrők 1359
38.3 Logikai kapuk, számrendszerek és a relé helyett logika 1367

IX. RÉSZ – Gyakorlati útmutatók **1375**

39 Szerelőműhelyi alapok **1376**
39.1 Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru 1376
39.2 Kötések, sorkapcsok, csavarnyomaték és ellenőrzés 1386
39.3 Jelölés, feliratozás, rendrakás és dokumentálás a munkahelyen 1394

40 Épületvillamossági gyakorlatok **1404**
40.1 Világítási áramkörök építése: egypólusú, váltó, kereszt 1404
40.2 Lakáselosztó építése és bekötése 1414
40.3 Hibakeresés épületvillamossági modelleken 1421

41 Gépek és vezérlések gyakorlatai **1429**
41.1 Motor kapocsbekötése és beüzemelése 1429
41.2 Vezérlések építése: direkt, reverzáló, Y-Δ 1438
41.3 Transzformátor- és gépmérések 1452
41.4 Frekvenciaváltó és lágyindító paraméterezése 1463

42 Mérési gyakorlatok és jegyzőkönyvek **1472**
42.1 Alapmérések gyakorlata: feszültség, áram, ellenállás, teljesítmény 1472
42.2 Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése 1481

X. RÉSZ – Szakma, vállalkozás és vizsgafelkészülés **1492**

43 Foglalkoztatás és vállalkozás **1493**
43.1 Munkaviszony, álláskeresés és munkajog alapjai 1493
43.2 Vállalkozási formák, gazdálkodás, árajánlat és számla 1500
43.3 Ügyfélkapcsolat, PR, szakmai etika és garancia 1511

44 Vizsgafelkészülés **1518**
44.1 Vizsgatérkép és számolási képletgyűjtemény 1518
44.2 Elméleti mintafeladatsor megoldásokkal 1524
44.3 Gyakorlati vizsgafeladatok és hibakeresés, értékelési szempontok 1536

Függelékek **1546**
Fogalomtár (magyar–angol) 1546
Képlet- és jelölésgyűjtemény 1550
Rajzjelek, betűjelek és kapocsjelölések 1552
Kompetenciatérkép és tanulási útvonal 1559
Bibliográfia és forráskulcsok 1562

Impresszum

- **Szerző:** Gellai István
- **Szerkesztő:** Gellai István
- **Kiadó:** Tananyag Simple
- **Kiadás:** 0.1.0 – 2026
- **Licenc:** MIT
- **Forráskód:** nincs futtatandó kód; a számítások és kapcsolási rajzok a fejezetekben, az interaktív ábrák a figures/ mappában

I. RÉSZ – Útmutató és munkabiztonság

1 Olvasói útmutató

1.1. A könyv használata és a képzési követelmények térképe

1.1.1. Miért érdemes ezt a fejezetet először elolvasnod?

Képzeld el, hogy megérkezel egy épülő társasházba. A művezető kezedbe ad egy villamos kivitelezési tervet, és azt mondja, hogy a folyosóról indulva ma kell bekötnöd egy lakáselosztót, három világítási áramkört és a főelosztó mérőhelyi csatlakozását. A terv tele van rajzjelekkel, az elosztó kapcsolási rajzán kismegszakító-, áram-védőkapcsoló- és túlfeszültségvédelmi jelek szerepelnek, a vezetéktípusok pedig harmonizált jelöléssel vannak megadva.

Ahhoz, hogy ez ne egymástól független, összefüggéstelen feladatok halmazának tűnjön, hanem egyetlen szakmai logika mentén végigvihető munkának, pontosan tudnod kell, hogy az egyes ismeretek hová illeszkednek. Ez az alfejezet ezt a térképet adja: megmutatja, mit vár el a szakma, és hogy a könyv egyes részei miként fedik le a képzési követelményeket.

1.1.2. A villamos berendezés- és készülékszerelő szakma helye

Definíció. A villanyszerelő a kisfeszültségű villamos berendezések szerelésére, javítására, ellenőrzésére és üzembe helyezésére felkészített szakember. A magyar képzési rendszerben a villanyszerelő szakma a 34 522 04 azonosítószámú szakképesítéssel, majd annak jogutódjával szerezhető meg; a pontos, jelenleg hatályos azonosítót és követelményeket a mindenkori képzési jogszabály tartalmazza **(ellenőrizendő: aktuális szakképesítési besorolás és elnevezés)**.

A gyakorlatban a villanyszerelő két nagy területen dolgozik, amelyek a könyv felépítését is meghatározzák:

- **Épületvillamosság.** Lakóépületek, irodák, üzletek és kisebb középületek villamos hálózatának kialakítása, bővítése, javítása és felülvizsgálata. Ide tartozik a világítási és aljzatkörök kiépítése, az elosztók szerelése, a mérőhely kialakítása, a csengő és kaputelefon bekötése, valamint a biztonsági és vagyonvédelmi rendszerek villamos táplálása.
- **Villamos készülék- és berendezésszerelés.** Ipari és kereskedelmi létesítmények, gépek, készülékek villamos berendezéseinek szerelése, kapcsolószekrények kialakítása, motorvezérlések bekötése, érzékelők és beavatkozók telepítése, valamint hibakeresés és karbantartás.

A villanyszerelő **nem** tervezi meg szabadon a teljes épületvillamos hálózatot, nem készít engedélyes villamos terveket, nem végez nagyfeszültségű hálózati munkát, és nem jogosult hálózati engedélyesi feladatok ellátására. A tervezést a tervező, a hálózati beavatkozást a hálózati engedélyes végzi; a szerelő a kivitelezés, ellenőrzés, javítás és karbantartás szakembere. Természetesen a villanyszerelőnek ismernie kell a terveket, a szabványokat és a vonatkozó előírásokat, mert ezek nélkül nem tud biztonságos és szabványos munkát végezni.

1.1.3. A kompetenciatérkép: tantárgyak és a könyv fejezetei

A villanyszerelő képzés tantárgyait hagyományosan három csoportra osztják:

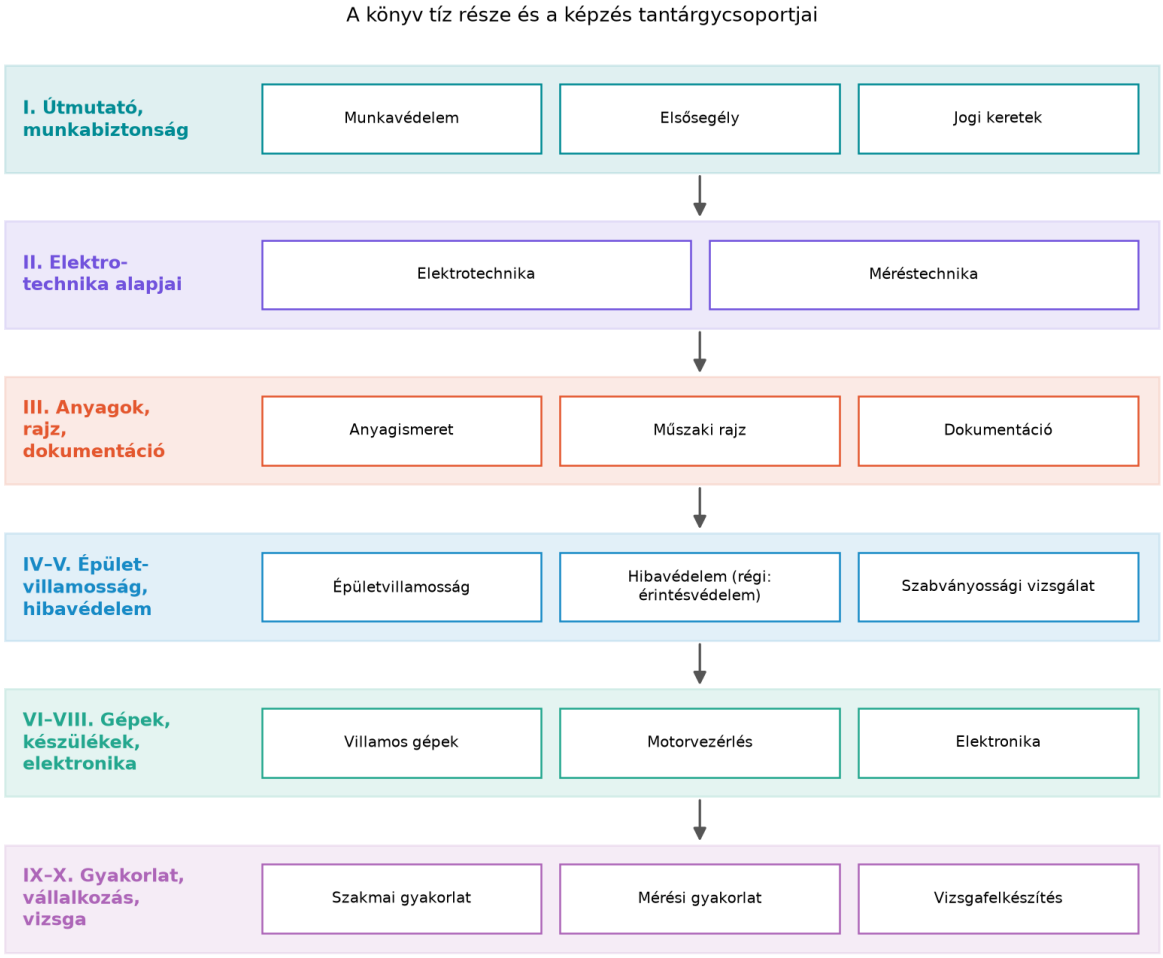
1. **Elektrotechnikai alapok**, amely a villamos jelenségek törvényszerűségeit, a mérési elveket és a villamos gépek működését tárgyalja.
2. **Szakmai ismeretek**, amely a szerelési technológiát, a szabványokat, a dokumentációt és az anyagismeretet foglalja magában.
3. **Gyakorlati ismeretek**, amely a tanműhelyi és üzemi szerelési, bekötési, mérési és hibakeresési munkát jelenti.

Az alábbi táblázat a könyv tíz részéhez rendeli hozzá a tipikus tantárgyi tartalmakat, és megmutatja, hogy az adott rész miért fontos a vizsgán és a munkahelyen.

Könyvfejezet	Tipikus tantárgyi tartalom	Vizsga/gyakorlat jelentősége
I. rész: Útmutató és munkabiztonság	Munkavédelem, biztonságtechnika, elsősegély, jogi keretek	Biztonsági szabályok ismerete nélkül sem gyakorlat, sem elmélet nem teljesíthető
II. rész: Elektrotechnika alapjai	Elektrotechnika, méréstechnika	A számolási feladatok alapja; Ohm-törvény, háromfázisú rendszer, mérések
III. rész: Anyagok, műszaki rajz, dokumentáció	Anyagismeret, műszaki rajz, műszaki dokumentáció	Rajzolvasás, vezeték- és kábelismeret, dokumentáció készítése
IV. rész: Épületvillamosság	Épületvillamosság, szerelési gyakorlat, világítástechnika	Lakáselosztó, szerelvények, világítási áramkörök, túláramvédelem
V. rész: Hibavédelem, földelés, ellenőrzés	Érintés- és hibavédelem, villámvédelem, szabványossági vizsgálat	Védelmi mérések, jegyzőkönyv, FI-, hurokimpedancia-mérés
VI. rész: Villamos gépek	Villamos gépek, transzformátorok, motorok	Motorok bekötése, adattábla, indítási módok, hibakeresés
VII. rész: Kapcsoló- és vezérlőkészülékek, ipari elosztók	Készülékismeret, motorvezérlés, kapcsolóberendezések	Mágneskapcsolós vezérlések, direkt- és csillag–delta indítás, elosztószekrény
VIII. rész: Ipari elektronika	Elektronikai alapok	Érzékelők, tápegységek, félvezetők az ipari környezetben
IX. rész: Gyakorlati útmutatók	Szakmai gyakorlat, mérési gyakorlat	Tanműhelyi és vizsgafeladatok lépésről lépésre
X. rész: Szakma, vállalkozás, vizsga	Vállalkozási ismeretek, vizsgafelkészítés	Árajánlat, munkajog, szakmai ismeretek rendszerezése

Ezt a megfeleltetést a továbbiakban **kompetenciatérképnek** nevezzük. Nem cél, hogy a könyv szövegét betű szerint megtanuld, hanem hogy az egyes fejezeteket a képzés követelményeihez tudd kötni, és a vizsgán megtaláld a választ.

Az alábbi rétegábra ugyanezt a megfeleltetést mutatja egy pillantással: a könyv részei felülről lefelé haladva egymásra épülnek (a munkabiztonság és az elektrotechnikai alapok minden későbbi rész előfeltétele), és rétegenként a hozzájuk tartozó tipikus tantárgyak állnak.



1.1. ábra. A könyv tíz része és a képzés tantárgycsoportjai - Felülről lefelé egymásra épülő rétegek (a felső rétegek a későbbiek előfeltételei); a rétegeken belül a tipikus tantárgyi tartalom a fenti táblázat szerint. Elektrotechnikai alapok: II., VI. és VIII. rész; szakmai ismeretek: I., III–V. és VII. rész; gyakorlati ismeretek: IX–X. rész.

1.1.4. Az alfejezetek állandó szerkezete

Minden alfejezet az alábbi – szándékosan ismétlődő – szerkezetben épül fel, hogy önálló tanulásnál is kiszámítható legyen az út:

1. **Motiváció** – egy konkrét munkahelyi helyzet: miért kell ezt tudnod a szerelésen?
2. **Szemléletes kép** – kapcsolási rajz, számpélda, kísérlet vagy hétköznapi analógia, ami a formális rész előtt megmutatja a lényeget.
3. **Definíciók és szabályok** – kiemelt fogalmak, törvények, szabványi követelmények.
4. **Kidolgozott példák** – legalább két, valósághű adatokkal rendelkező, kézzel követhető számítás, lehetőleg egy hibás vagy ellenőrzési példával.
5. **Szabvány** – a vonatkozó magyar és európai előírás ismertetése, az ellenőrzési igény jelzésével.

6. **Valós életbeli alkalmazás** – egy szerelési eset, működési tapasztalat vagy hibaeset feldolgozása.
7. **Gyakorlati útmutató** – ha a téma gyakorlati, lépésről lépésre, biztonsági szabályokkal, ellenőrzési pontokkal.
8. **Tipikus hibák** – legalább három jellemző fogalmi, számítási vagy szerelési hiba, a helyes gyakorlattal.
9. **Önellenőrzés** – rövid kérdések, amelyekkel eldöntheted, elég mély-e a tudásod.
10. **Feladatok** – fokozatos nehézségű feladatok, teljes megoldásokkal.
11. **Rövid összefoglaló** – a legfontosabb eredmények, képletek és biztonsági szabályok tömör ismétlése.
12. **Források és ellenőrzési hiányok** – ha hivatkozol egy szabványra, adatra vagy jogszabályra, itt jelölöd, mit kell a kiadás előtt célzottan ellenőrizni.

Ezt a szerkezetet nevezzük a könyv **tanulási szerződésének**: ha egy alfejezetben végigjárod ezt a tizenkét lépést, akkor a képzés adott témáját nemcsak megérted, hanem a vizsgán és a munkahelyen is használható formában sajátítod el.

Szabály. A tanulási szerződés nem azért van, hogy a könyvet egyhangúvá tegye, hanem hogy a tanuló mindig tudja, mi a következő lépés, és a tanulást be tudja illeszteni a napi rutinjába. Ha kevés időd van, az önellenőrzés és a rövid összefoglaló mindig a leggyorsabb visszajelzést adja arról, hogy elég mély-e a tudásod.

1.1.5. A kiemelések és jelölési konvenciók szerepe

A könyvben minden alfejezet azonos kiemeléseket használ, hogy a keresés és a tanulás gyors legyen:

- **Definíció.** – Új fogalom vagy mennyiség pontos meghatározása. A definíciót nem kell mindig szó szerint idézni, de érteni és alkalmazni kell.
- **Törvény.** – Fizikai törvény vagy áramköri törvény, amelynek érvényességi feltételeit a szöveg megadja.
- **Szabály.** – Gyakorlati tervezési, szerelési vagy ellenőrzési szabály, amely a munkahelyi rutint írja le.
- **Szabvány.** – A magyarországi és európai szabványok követelményei. A szabványok időben változhatnak, ezért a könyv mindig jelzi, ha az adott érték vagy előírás ellenőrzést igényel.
- **Összefüggés.** – Képlet vagy egyenlet, amely a mennyiségek közötti kapcsolatot adja meg.
- **Példa.** és **Számítás.** – Kidolgozott feladatok, a behelyettesítéssel és az eredménnyel.
- **Megjegyzés.** – Kiegészítő információ, ami hasznos, de nem feltétlenül vizsgaanyag.
- **Figyelem.** – Olyan veszélyes vagy gyakori, de hibás gyakorlat, amire a szerelőnek különösen oda kell figyelnie.
- **Tilos.** – A szöveg által kifejezetten tiltott tevékenység, például védővezető elhagyása vagy a FI-relé kiiktatása.
- **Gyakorlat.** – A gyakorlati útmutató lépéseihez kapcsolódó gyakorlati tevékenység.
- **Biztonsági korlát.** – A szerelési és mérési feladatokat mindig azzal a feltétellel kezdi, hogy hálózati feszültségen csak jogosult személy dolgozhat, a tanuló pedig csak tanműhelyi környezetben vagy oktató felügyelete mellett gyakorolhat.
- **Valós eset.** – Egy megtörtént vagy tipikus üzemi helyzet, amely a tananyag használatát mutatja.
- **Hiba.** – Hibás bekötés vagy hibás mérés bemutatása a helyes értelmezéssel együtt.

- **Továbbvitt eredmény.** – A szöveg azon eleme, amelyet a későbbi alfejezetek használni fognak; a bekezdés pontosan megnevezi, hol.

A mennyiségek betűjeleit és a mértékegységeket a könyv a hazai és európai gyakorlatnak megfelelően jelöli. A feszültség jele U, az áramé I, az ellenállásé R, a teljesítményé P, a hatásfoké η, a frekvenciáé f, a fázisszögé φ, az impedanciáé Z, a fajlagos ellenállásé ρ. A hálózati feszültség 230/400 V, 50 Hz. A vezetékek jelölése L1, L2, L3, N, PE, a motorok kapcsai U1, V1, W1, a mágneskapcsoló tekercsé A1/A2, a hőkioldó érintkezőié 95/96. A vezető- és kapocsjelölések az MSZ EN 60445, a készülék-betűjelek az MSZ EN IEC 81346-2, a rajzjelek az MSZ EN 60617 szabványt követik **(ellenőrizendő: aktuális kiadások)**.

Továbbvitt eredmény. A kiemelések jelentése és a tanulási szerződés szerkezete minden későbbi alfejezetben alkalmazásra kerül; a szabványok, a rajzjelek és a mértékegység-konvenciók az Elektrotechnika alapjai, az Anyagok, műszaki rajz és dokumentáció és a Hibavédelem, földelés, villámvédelem és ellenőrzés rész alfejezeteiben válnak napi használatúvá.

1.1.6. Hogyan használd ezt a könyvet a tanuláshoz?

A könyv önálló tanulásra is készült, de akkor működik a legjobban, ha a tanulási munka aktív. Az alábbi módszert érdemes követni:

1. **Ne csak olvasd, hanem számolj.** Minden képletet legalább egyszer magad számolj végig. Ha a könyv egy feladatot kidolgoz, te előbb takard le a megoldást, és próbáld meg önállóan elvégezni.
2. **Készíts magadnak képletgyűjteményt.** A füzetbe írd ki a kiemelt összefüggéseket, a mértékegységet és a feltételeket. A vizsga előtti napon már csak ezt kell átismételned.
3. **A rajz–valóság–mérés hármast mindig együtt értelmezd.** Ha egy kapcsolási rajzot látsz, képzeld el, hogyan húznád be a vezetéket a kapcsolószekrénybe, és mit mérnél a kapcsokon. Ne csak a rajz jeleit keresd.
4. **A gyakorlati útmutatókat biztonságos környezetben, ne éles hálózaton próbáld ki.** A törpefeszültségű tanlapon vagy a tanműhelyben gyakorolj; a hálózati feszültségen mindig oktató vagy jogosult személy felügyelete alatt.
5. **Az önellenőrzést mindig legalább egyszer végezd el.** Ha valamelyik válasz nem megy, az nem kudarc, hanem jelzés: azt a részt újra kell olvasnod, mielőtt továbblépnél.
6. **A tipikus hibákat ne ugord át.** A hiba elemzése sokszor jobban rögzíti a helyes megoldást, mint a hibátlan példa elolvasása.

Figyelem. A könyv nem helyettesíti a szabványokat, a gyártói adatlapokat vagy a hatályos jogszabályokat. A képzés, a vizsga és a munkahelyi ellenőrzés során mindig a mindenkori szabvány és a gyártó utasítása a mérvadó. Az itt megadott szerelési útmutatók és példák a tanulást segítik, nem pedig kiviteli tervek.

1.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy kezdő villanyszerelő tanuló az első gyakorlati órán gyakran úgy érzi, hogy a szabványok, a matematikai képletek és a rajzjelek csak az iskolapadban fontosak. Aztán amikor egy lakáselosztóban meg kell állapítani, hogy a kismegszakító B-os vagy C-os legyen, a FI-relé 30 mA legyen-e, és a védővezető folytatólagos-e, rájön, hogy ezek nélkül nem tud dönteni. Ez a könyv éppen ezt a munkamódszert építi fel: az alfejezetek a valós döntési helyzetből indulnak ki, visszavezetnek a számításhoz és a szabványhoz, majd a gyakorlatban ellenőrzik a megoldást.

1.1.8. Tipikus hibák

1. **A tanuló csak a megoldást olvassa el, a levezetést nem.** Ennek a következménye, hogy a vizsgán az ismeretlen számadat megjelenésekor nem tudja képletre alkalmazni. A helyes gyakorlat: minden megoldás előtt önálló kísérlet, majd a levezetés lépésenkénti összevetése.
2. **A mértékegységeket elhagyja a számításból.** A helyes gyakorlat: minden behelyettesítésnél ki kell írni az egységet, mert az egységhiba a képlet hibáját is jelzi.
3. **A biztonsági korlátot figyelmen kívül hagyja.** Előfordul, hogy a tanuló egy leírt feladatot éles hálózaton önállóan próbál ki. Ezt a könyv mindenhol tiltja; a hálózati feszültségű munka jogosult személy feladata.
4. **A rajzjeleket nem köti a valódi kapcsokhoz.** A rajz megtanulása önmagában kevés; mindig kérdezd meg, hogy az adott kapocsjelölés hol lesz a fizikai készülékben, és milyen színű vezetéket kötsz hozzá.

1.1.9. Önellenőrzés

1. Melyik két fő munkaterületet fedi le a villanyszerelő tevékenysége?
2. Melyik könyvfejezet tárgyalja a védelmi méréseket és a szabványossági jegyzőkönyvet?
3. Mi a különbség a **Definíció.** és a **Szabály.** kiemelés között?
4. Miért kell a számításokban minden lépésben kiírni a mértékegységet?
5. Ki végezhet hálózati feszültségű munkát a könyv szerint?
6. Melyik kiemelés jelzi a kifejezetten tiltott tevékenységet?

A válaszokat a Megoldások szakasz elején, az „Önellenőrzés – válaszok” alcím alatt találod.

1.1.10. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a könyv tíz részét, és mindegyikhez írj egy olyan tanulási célt, amely a villanyszerelői munkában fontos.

2. feladat (A). Válaszd ki a III. részt a kompetenciatérképből, és indokold meg, miért kapcsolódik a vezetékméretezéshez és a szabványos rajzjelekhez.

3. feladat (B). A fenti alfejezet-szerkezet tizenkét pontja közül melyik hiánya veszélyezteti leginkább a biztonságos gyakorlati munkát? Indokold a választ.

4. feladat (B). Csoportosítsd a következő szakmai feladatokat a megfelelő könyvfejezethez: „egy háromfázisú aszinkron motor csillag–delta indítása”, „lakáselosztó FI-reléjének ellenőrzése”, „egy vezeték méretezése terhelhetőségre és feszültségesésre”, „mágneskapcsolós önfenntartó kapcsolás bekötése”.

5. feladat (C). Tervezz egy rövid heti tanulási tervet egy olyan tanuló számára, aki napi 1,5 órát tud tanulni, és a vizsgáig 6 hét van. A tervben szerepeljen a II. rész néhány alfejezete, a IV. rész lakás-elosztós gyakorlata és a V. rész védelmi méréseket tárgyaló része. Ne felejtsd el beilleszteni az önellenőrzést és a feszültségmentes gyakorlást.

6. feladat (D). Keress egy villamos kapcsolási rajzot egy lakáselosztóhoz (pl. e könyv Lakás- és épületelosztó felépítése alfejezetéből vagy a jegyzetedből). Azonosítsd rajta a kismegszakítót, az áram-védőkapcsolót, a védővezetőt és a nulla vezetőt. Írd le, hogy a valós elosztóban hol találhatók ezek az elemek, és hogyan ellenőriznéd feszültségmentes állapotban a bekötésüket.

1.1.11. Megoldások

1.1.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Épületvillamosság és villamos készülék- és berendezésszerelés.
2. Az V. rész: Hibavédelem, földelés, villámvédelem és ellenőrzés.
3. A **Definíció.** egy fogalom pontos meghatározása; a **Szabály.** gyakorlati tervezési, szerelési vagy ellenőrzési szabály, amely a munkahelyi rutint írja le.
4. Mert az egység megmutatja, hogy a képlet helyes-e, a mértékegység-ellenőrzés pedig gyors hibafeltárás.
5. Jogosult, arra képesített személy; tanuló csak oktató felügyelete mellett vagy tanműhelyi, törpefeszültségű környezetben.
6. A **Tilos.** kiemelés.

1.1.11.2. 1. feladat megoldása

A tíz rész és egy-egy tanulási cél:

1. **Útmutató és munkabiztonság** – a munkavégzés biztonsági kereteinek ismerete.
2. **Elektrotechnika alapjai** – az áramköri számítások és mérések alapjainak elsajátítása.
3. **Anyagok, műszaki rajz és dokumentáció** – a rajzjelek és a vezetéktípusok szakszerű használata.
4. **Épületvillamosság** – lakáselosztók, világítási és aljzatkörök szerelése.
5. **Hibavédelem, földelés, villámvédelem és ellenőrzés** – a védelmi mérések és a szabványossági felülvizsgálat.
6. **Villamos gépek** – motorok és transzformátorok működése, bekötése.
7. **Kapcsoló- és vezérlőkészülékek, ipari elosztóberendezések** – mágneskapcsolós és motorvezérlő áramkörök.
8. **Ipari elektronika** – érzékelők, tápegységek és félvezetős kapcsolók.
9. **Gyakorlati útmutatók** – a gyakorlati vizsgafeladatok lépésről lépésre való elvégzése.
10. **Szakma, vállalkozás és vizsgafelkészülés** – a vállalkozói és vizsgakészség kialakítása.

1.1.11.3. 2. feladat megoldása

A III. rész az anyagismeretet, a műszaki rajzot és a dokumentációt öleli fel. A vezetékméretezéshez szükséges a vezetők anyagának, hőmérsékletfüggésének és terhelhetőségének ismerete, amelyet a Vezetékek és kábelek tárgyal. A szabványos rajzjelek ismerete nélkül a kapcsolási rajzokban nem tudjuk azonosítani a védelmi készülékeket, így a dokumentáció olvasása és készítése is hibás lesz. Mindkettő a III. részben található.

1.1.11.4. 3. feladat megoldása

A gyakorlati útmutató hiánya veszélyeztetné leginkább a biztonságos munkát. Ez a pont tartalmazza a cél, az eszközök, a biztonsági korlát, az öt biztonsági szabály, a számozott lépések, az ellenőrzési pontok, a tipikus hibák és a dokumentálás leírását. Enélkül a tanuló nem tudná, mikor és milyen sorrendben kell feszültségmentesíteni, és a gyakorlati vizsgán súlyos hibát követne el.

1.1.11.5. 4. feladat megoldása

- Háromfázisú aszinkron motor csillag–delta indítása – VI. rész, Aszinkron (indukciós) gépek és VII. rész, Motorvezérlések.
- Lakáselosztó FI-reléjének ellenőrzése – V. rész, Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat.
- Vezeték méretezése terhelhetőségre és feszültségesésre – III. rész, Feszültségesés és a vezeték méretezése.
- Mágneskapcsolós önfenntartó kapcsolás bekötése – VII. rész, Motorvezérlések.

1.1.11.6. 5. feladat megoldása (minta heti terv, napi 1,5 óra, 6 hétre)

A terv csak egy lehetséges megoldás. Heti 5 tanulási nap, 1,5 óra/nap.

Hét	Téma (könyvfejezet)	Tanulási cél	Gyakorlat/önellenőrzés
1.	I. rész: Villamos munkavégzés biztonsága: az öt szabály és a munkaengedély – az öt szabály sorrendje	Lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos részek lefedése	Feszültségmentesítés lépéseinek eljátszása törpefeszültségű tanlapon, a kétpólusú feszültségvizsgáló előzetes ellenőrzésével (nem fázisceruzával)
1.	II. rész: Alapfogalmak, Ohm-törvény	Feszültség, áram, ellenállás, teljesítmény kiszámítása	Számolási feladatok, mértékegységekkel
2.	II. rész: Váltakozó áram, háromfázisú rendszer	Szinuszos jelek, fázisfeszültség, vonali feszültség	Háromfázisú teljesítményszámítás, fázorábra rajz

Hét	Téma (könyvfejezet)	Tanulási cél	Gyakorlat/önellenőrzés
3.	IV. rész: Szereléstechnika, világítási áramkörök	Kapcsolók, váltó és kereszt kapcsolás	Törpefeszültségű kapcsolás összeállítása, önellenőrzés; szerelés előtt az öt szabály végrehajtása és dokumentálása
4.	IV–V. rész: Elosztó, hibavédelem, FI-relé	Lakáselosztó felépítése, védelmi elemek	Lakáselosztó rajz elemzése, FI-mérés elmélete
5.	V. rész: Mérések, jegyzőkönyv	Hurokimpedancia, FI-vizsgálat, szigetelési mérés	Mintamérési jegyzőkönyv kitöltése
6.	X. rész: Vizsgafelkészülés	Teljes tananyag rendszerezése	Komplex feladatok, rajz–valóság–mérés hármas alkalmazása

1.1.11.7. 6. feladat megoldása (példa)

A feladatban adott rajzon a kismegszakítókat Q1, Q2, … jelöli, az áram-védőkapcsolót a rajzjele (kapcsolójel, amelyhez szaggatott vonallal az I_{Δ} differenciaáram-érzékelő doboz kapcsolódik) és a betűjele (pl. Q0 vagy F1, a terv jelölési rendszerétől függően) azonosítja; köznyelvi neve FI-relé. A védővezető zöld-sárga színű, PE jelölésű, a nullavezető világoskék színű, N jelölésű. A valós elosztóban ezek az elemek a DIN-sínre vannak pattintva, a védővezetőket a zöld-sárga készüléksorkapocshoz, a nullavezetőket a kék sínhez kell csatlakoztatni, a fázisvezetőket pedig a kismegszakító kimeneteire. **Biztonsági korlát.** Valós elosztót tanulóként csak oktató felügyeletével nyiss meg. Előbb az öt biztonsági szabály szerint feszültségmentesíts (lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, a feszültségmentesség ellenőrzése bevizsgált kétpólusú feszültségvizsgálóval minden vezetőpár között – nem fázisceruzával –, földelés és rövidre zárás, a szomszédos feszültség alatti részek lefedése), csak utána vizsgáld a bekötést; lásd Villamos munkavégzés biztonsága: az öt szabály és a munkaengedély. Feszültségmentes állapotban ellenőriznéd a védővezetők folytonosságát, a kapcsok meghúzását, a feliratok meglétét és a rajzzal való egyezést.

1.1.12. Rövid összefoglaló

A villanyszerelő két nagy munkaterülete az épületvillamosság és a villamos készülék- és berendezésszerelés. A könyv tíz része lefedi a képzés tantárgyait: az alapoktól a munkavédelmen, az elektrotechnikán, az anyagismereten, a rajzolvasáson és dokumentáción, az épületvillamosságon, a hibavédelmen és ellenőrzésen, a villamos gépeken, a kapcsoló- és vezérlőberendezéseken, az ipari elektronikán, a gyakorlati útmutatókon át a vizsgafelkészülésig. Minden alfejezet azonos szerkezetet követ: motiváció, szemléletes kép, definíciók és szabályok, kidolgozott példák, szabvány, valós alkalmazás, gyakorlati útmutató, tipikus hibák, önellenőrzés, feladatok, rövid összefoglaló. A kiemelt elemek – **Definíció.**, **Szabály.**, **Szabvány.**, **Figyelem.**, **Tilos.**, **Gyakorlat.**, **Biztonsági korlát.**, **Továbbvitt eredmény.** – minden alfejezetben azonos jelentésűek. A könyv a magyar 230/400 V-os, 50 Hz-es hálózat, az MSZ EN és MSZ HD szabványok, valamint a

hazai jelölésrendszer szerint tanít. A szerelési munkát feszültségmentes állapotban végezzük; a feszültség alatt végzendő méréseket (hurokimpedancia, FI-vizsgálat) csak arra jogosult, képesített személy végezheti, az MSZ EN 61557 szerinti mérőműszerrel – tanuló csak oktató felügyelete mellett, tanműhelyi körülmények között; a könyvben megadott határértékek és előírások tanulási példák, a tervezéshez a hatályos szabvány és a gyártói adatlap a mérvadó.

1.1.13. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet a szakképesítés megnevezésénél és azonosítójánál a mindenkori képzési jogszabályt jelöli, de a pontos, hatályos besorolást a kiadás előtt célzottan ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: aktuális szakképesítési besorolás és elnevezés)**. A könyvben használt szabványhivatkozások az MSZ HD 60364 sorozatra, az MSZ EN 60617 rajzjelekre, az MSZ EN 60898-1 kismegszakítókra, az MSZ EN 61557 védelmi mérőműszerekre és a kapcsolódó MSZ EN szabványokra utalnak; a pontos kiadási évszám és a hatályos változat nem hivatkozható ellenőrzés nélkül. A hálózati csatlakozási és munkavédelmi előírások a hálózati engedélyes és a hatályos jogszabályok szerint változhatnak, ezért a konkrét jogszabályszámokat és határidőket a kiadás előtt ellenőrizni kell.

1.2. Tanulási útvonalak, vizsga és önellenőrzés

Amikor egy villanyszerelő tanuló elkezdi ezt a könyvet, gyakran ugyanaz a kérdés fogalmazódik meg benne: „Melyik fejezettel kezdjem, és mennyi időt szánjak egy témára?” Az előző, A könyv használata és a képzési követelmények térképe alfejezet már megmutatta a képzési követelmények térképét; most azt a gyakorlati kérdést válaszoljuk meg, hogyan kell ezen a térképen önállóan elindulni. A tanulási útvonal nem kényelmi kérdés, hanem hibakeresés a saját tudásodban: ha rossz helyen kezded, az elvesztegetett idő mellett az is előfordul, hogy hiányos alapismeretekre építesz, és a későbbi szerelési, mérési vagy hibavédelmi részeket nem érted meg igazán. Ezért ebben az alfejezetben egy belépő önellenőrző tesztet, három tanulási útvonalat, a vizsga szerkezetének áttekintését és a heti ütemezés módszerét kapod. Az így kialakított tanulási rend a teljes könyvön végigkísér, különösen a **szakmai jegyzetfüzet** vezetésével, amelyet a későbbi gyakorlati útmutatók és a vizsgafelkészítő fejezetek fognak használni.

1.2.1. Belépő teszt: hol állsz most?

A belépő teszt nem vizsga, és nem befolyásolja a képzési eredményt. Célja, hogy megmutassa, mely részeket kell teljes mélységben elvégezned, hol elég ismételni, és hol léphetsz gyorsabban. A tesztet önállóan, lehetőleg megoldások nélkül töltsd ki, majd a válaszok alapján sorold be magad. A kérdések három csoportra épülnek: egyszerű számolás, mértékegység-átváltás, és a villanyszerelői alapfogalmak értelmezése.

Példa. Töltsd ki ezt a rövid mintasort:

1. Számítsd ki az áramot, ha $U = 230\,\mathrm{V}$ és $R = 23\,\Omega$.
2. Váltsd át: $10\,\mathrm{mA} = \ldots\ \mathrm{A}$.
3. Mit jelöl a vezeték zöld-sárga színe?
4. Mi a különbség a feszültség és az áram között?
5. Rajzolj fel egyszerű kapcsolási rajzon egy lámpát és egy kapcsolót, amely a lámpát be- és kikapcsolja.

6. Melyik készülék védi az áramkört túlterhelés és zárlat ellen?

Ha az 1. és 2. feladat hibátlan, akkor a matematikai és mértékegység-alapod rendben van, és a II. részben gyorsíthatsz. Ha a 3–4. kérdésekre is magabiztos választ adsz, akkor valószínűleg van valamilyen gyakorlati előismereted. A 6. kérdés hibája pedig arra utal, hogy a Túláramvédelem fejezetet semmiképp ne hagyd ki. Az alábbi táblázat a pontozás helyett az útvonalválasztást segíti.

Eredmény	Javasolt útvonal
Az 1–4. kérdésekben sok hiba, a kapcsolási rajzot nem tudod felvázolni	**Teljes útvonal**
A számolás megy, de a fogalmakban bizonytalanság van; vagy a gyakorlatod van, de az elmélet hiányos	**Kiegészítő útvonal**
A mintasor és a saját képzési jegyzeteid alapján csak ismétlésre van szükséged	**Vizsgafelkészítő útvonal**

A belépő tesztet érdemes a könyv elolvasása után megismételni; így magad is látod a fejlődést.

1.2.2. Három tanulási útvonal

A könyv a vizsgakövetelményeket teljes mélységben fedi le, azonban nem mindenkinek ésszerű ugyanabban a sorrendben haladni. Az alábbi három útvonal közös célja ugyanaz: eljutni odáig, hogy a villanyszerelői és a villamos berendezés- és készülékszerelői ismereteket alkalmazni tudd. A különbség csak a sorrendben és az ismétlésben van.

1.2.2.1. 1. Teljes útvonal (0-ról)

Ez az útvonal azoknak készült, akiknek nincs villamos előismerete, vagy akik úgy érzik, hogy a korábbi tanulmányaikból mindent elfelejtettek. A sorrend szorosan követi a könyv részeit: először az Olvasói útmutató és a Munkavédelem és jogi keret fejezeteket dolgozod fel, mert ezek biztonsági keretet adnak. Ezután következik az Elektrotechnika alapjai teljes, figyelmes feldolgozása, mert enélkül nem lehet sem a vezetékméretezést, sem a hibavédelmet, sem a villamos gépeket megérteni. Fontos, hogy itt ne ugord át a számolási példákat: a villanyszerelői munkában nem elég tudni, hogy az ellenállás nő, ha a vezeték hosszabb; ki is kell tudni számolni a feszültségesést.

A teljes útvonalon a III. rész anyagismereti és rajzdokumentációs fejezetei párhuzamosan is feldolgozhatók a IV. rész épületvillamossági részeivel, mert sok rajzjelet konkrét szerelési rajzokon értesz meg igazán. A VI–VII. részt (gépek, vezérlések) csak akkor kezdd el, ha az épületvillamossági hibavédelem fejezeteit már elvégezted, mert a motorvédelem és a kapcsolóberendezések erre épülnek.

1.2.2.2. 2. Kiegészítő útvonal (részben gyakorlottaknak, tanfolyam mellett is)

Ez az útvonal annak való, akinek a számolási alapjai rendben vannak, de a fogalmakban vagy a szakmai részletekben hiányos; ha tanfolyamra jársz, az órák üteméhez is igazíthatod. Ha tanfolyamra jársz, vagy munka mellett tanulsz, az órák üteme nem mindig egyezik a könyv fejezetsorrendjével. Ilyenkor célszerű a könyvet kiegészítő forrásként használni: az óra után keresd meg ugyanazt a témát a könyvben, és a fejezet saját kidolgozott példáival mélyítsd el a

tanultakat. Ezen az útvonalon az a legfontosabb, hogy a hiányzó láncszemeket azonnal pótold. Például ha az oktató a hurokimpedancia-mérésről beszél, de neked bizonytalan az Ohm-törvény vagy az impedancia fogalma, ne halogass: menj vissza az Impedancia, soros és párhuzamos RLC, rezonancia alfejezethez, és oldd meg az ottani feladatokat.

A kiegészítő útvonalban a saját jegyzetfüzet még fontosabb, mint a teljesben: ide kerülnek azok a hiányosságok, amelyeket az órák során észleltél, és a későbbi ismétlés ebből indul.

1.2.2.3. 3. Vizsgafelkészítő útvonal

Ez az útvonal azoknak való, akik már elvégezték a témaköröket, de a vizsgához szeretnének célirányosan ismételni. A vizsgafelkészítő útvonalon a könyv részeit nem sorban, hanem feladattípusok szerint érdemes újra bejárni. Első lépésként a Vizsgatérkép és számolási képletgyűjtemény alfejezetet kell használni, hogy listát készíts a vizsgán elvárt képletekről. Ezután az Elméleti mintafeladatsor megoldásokkal és a Gyakorlati vizsgafeladatok és hibakeresés, értékelési szempontok alfejezetekben gyakorolj. Ha egy feladatnál elakadsz, ne magát a feladatot nézd meg azonnal, hanem kérdezd meg: melyik alfejezet tanította ezt a témát? Ez a hivatkozás segít a könyv megfelelő részéhez ugrani, és ott újra elvégezni a hiányzó önellenőrzést.

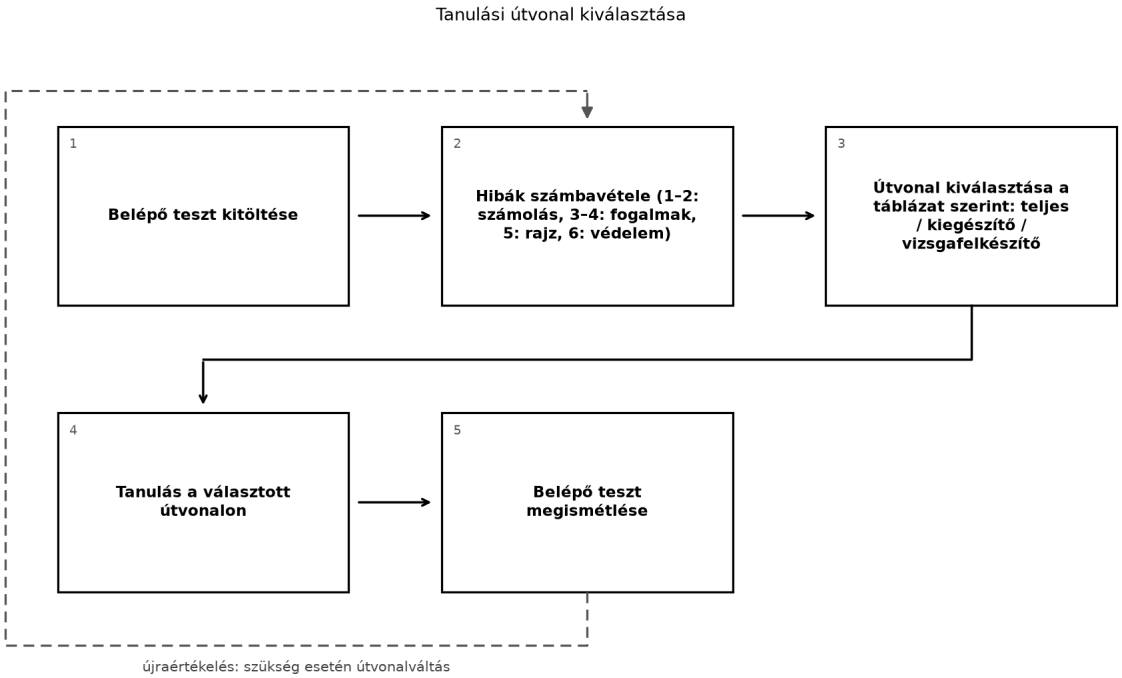
1.2.3. A vizsga szerkezete

A magyarországi villanyszerelői szakmai vizsga szerkezete a mindenkori képzési és vizsgakövetelményektől függ, ezért a konkrét feladattípusok, időtartamok és súlyozások **ellenőrizendők: aktuális képzési és vizsgakövetelmények**. Az általános kép azonban stabil: a vizsgán elméleti tudást, számolási készséget, rajzolvasást, gyakorlati szerelést és hibakeresést kérnek számon. Az alábbiakban ezt a jellemző szerkezetet mutatjuk be – nem előírásként, hanem tanulási térképként.

- **Elméleti feladatrész:** tesztkérdések, rövid kifejtések, fogalommeghatározások. Ide tartozik a szabványok ismerete, a hibavédelem alapelvei, a villamos gépek működése, a kapcsolókészülékek feladatai. A könyv **Szabvány.** és **Definíció.** kiemelései kifejezetten ezt a részt készítik elő.
- **Számolási feladatrész:** kézzel elvégezhető feladatok Ohm-törvénnyel, teljesítménnyel, feszültségeséssel, zárlati árammal, hurokimpedanciával, motoradatokkal. A kidolgozott példák és a Feladatok szakaszok mind mértékegységekkel mutatják be a lépéseket.
- **Rajzolvasás és rajz:** kapcsolási rajz, huzalozási rajz, egyvonalas rajz, vezérlési rajz értelmezése, és adott esetben egyszerű rajz kiegészítése. A Műszaki rajz alapjai és a Villamosipari dokumentáció I – épületvillamosság fejezetek itt válnak gyakorlattá.
- **Gyakorlati szerelési feladat:** a vizsgán általában tanműhelyi környezetben, kikapcsolt vagy törpefeszültségű hálózaton kell például világítási áramkört, lakáselosztót, motorvezérlést vagy kapcsolószekrényt építeni. Itt a gyakorlati útmutatók biztonsági lépései és ellenőrzőlistái használhatók.
- **Hibakeresés:** előre beépített hiba megkeresése méréssel és dokumentálással. Ehhez a Hibakeresés épületvillamossági modelleken és a Vezérlések hibakeresése alfejezetek, valamint a mérési gyakorlatok adnak módszert.

A tanulás során mindig tudd, melyik vizsgarészt gyakorlod éppen. Ha például egy kapcsolási rajzot nézel, az egyben a rajzolvasás és a gyakorlati bekötés előkészítése is, de ha nem tudod a jelölések értelmét, akkor a rajzolvasási vizsgarészhez kell visszamenned.

Az alábbi folyamatábra azt mutatja, hogyan válassz tanulási útvonalat a belépő teszt eredménye alapján. A három útvonal nem egymás utáni lépés, hanem **alternatíva**: a harmadik lépésben a fenti táblázat alapján egyet választasz közülük.



1.2. ábra. Tanulási útvonal kiválasztása - A harmadik lépés elágazás: a fenti táblázat szerint a teljes, a kiegészítő VAGY a vizsgafelkészítő útvonalat választod (a három útvonal egymás alternatívája). A folyamat a tanulás közben is megismételhető.

A folyamatábra lépései: először mindig a belépő tesztet töltöd ki; utána a hibák számát és típusát nézed; ebből a táblázat alapján választod ki a három útvonal közül azt az egyet, amelyen haladsz, végül a teszt megismétlésével ellenőrzöd a fejlődést. A diagram nem dönt helyetted, de rákényszerít arra, hogy ne ugorj át egy egész témakört pusztán azért, mert sürget a vizsga.

1.2.4. Hogyan használd az Önellenőrzést, a Feladatokat és a Rövid összefoglalót?

A könyv minden alfejezete hasonló szerkezetben épül fel: a fogalmak után kidolgozott példák, majd **Önellenőrzés**, **Feladatok**, **Megoldások** és **Rövid összefoglaló** következik. Ez a sorrend nem véletlen. Az önellenőrzés arra való, hogy azonnal visszajelzést adjon: megértetted-e a legfontosabb fogalmakat, vagy csak átfutottad a szöveget? A feladatok mélyítik el a tudást, és gyakran olyan helyzetbe hoznak, mint a vizsga. A rövid összefoglaló pedig a továbbvitt eredményeket rögzíti, amelyekre a későbbi alfejezetek építenek.

Az önellenőrzést **mindig indoklással** végezd el. Ha egy igaz/hamis kérdést rosszul válaszoltál meg, ne csak annyit írj a jegyzetedbe, hogy „hamis”, hanem azt is, hogy miért hamis, és mi a helyes állítás. A feladatoknál a szintjelölések segítenek: az (A) feladatok az alapokat, a (B) feladatok a több lépést, a (C) feladatok a gondolkodást, a (D) feladatok a gyakorlati alkalmazást igénylik. Ha egy (B) feladatot elsőre nem tudsz megoldani, menj vissza az alfejezet törzsanyagához, mielőtt a megoldást megnéznéd.

A rövid összefoglalót ne csak elolvasd, hanem hasonlítsd össze a saját jegyzeteddel. Ez a háromszögelés – olvasás, feladat, összehasonlítás – a legrövidebb út a tartós tudáshoz.

1.2.5. A szakmai jegyzetfüzet vezetése

A legfontosabb, az egész könyvön végigvonuló eszköz a **szakmai jegyzetfüzet**. Ez nem a tankönyv lemásolása, hanem a te aktív tudástárad. A gyakorlati útmutatókban leírt szereléseknél ide kerülhetnek a mért értékek, a bekötési vázlatok, a hibák és azok okai. A vizsgafelkészülés során pedig ebből a füzetből tudsz leggyorsabban ismételni.

Továbbvitt eredmény. A szakmai jegyzetfüzet vezetésének itt bemutatott módszerét a későbbi gyakorlati útmutatók használják, például a Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru, a Világítási áramkörök építése: egypólusú, váltó, kereszt és a Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése alfejezetekben, valamint a vizsgafelkészítő Vizsgatérkép és számolási képletgyűjtemény és Gyakorlati vizsgafeladatok és hibakeresés, értékelési szempontok alfejezetekben. A füzet nélkül a tanulás passzív olvasássá válik.

Eljárás. A jegyzetfüzet vezetésének lépései:

1. Válassz A4-es füzetet, vagy ha digitálisan dolgozol, egy kereshető jegyzetalkalmazást; a lényeg, hogy minden tantárgyi részhez azonos rendszerben férj hozzá.
2. Minden alfejezet elején írd fel a címet, a tanulási célt és a hozzá tartozó vizsgarész nevét.
3. Olvasás közben minden képletet **saját kézzel** írj le, a mértékegységekkel együtt.
4. A kidolgozott példákat ne csak olvasd, hanem takard le a megoldást, és számold ki újra; csak utána hasonlítsd össze.
5. Az önellenőrzés kérdéseire válaszolj indoklással, és a hibáidhoz írj javító megjegyzést.
6. A gyakorlati útmutatók után rögzítsd: mit csináltam, mit mértem, milyen hibát követtem el, mi a helyes megoldás.
7. Hetente egyszer lapozd át a heti bejegyzéseket, és jelöld meg azokat a témákat, amelyeket a vizsgafelkészítő útvonalon újra kell venned.

1.2.6. Heti ütemezés

A heti terv akkor működik, ha reálisan számolsz az időddel. Egy felnőttképzésben tanuló heti 8–10 óra önálló tanulással folyamatosan haladhat; kevesebb heti idővel is végig lehet jutni, csak hosszabb naptári idő alatt – a minőséget a rendszeresség és az ismétlés adja, nem az óraszám. A tervet nem a fejezetszámhoz, hanem a **tanulási célokhoz** kösd. Egy hétre egy nagyobb témakört vagy egy-egy alfejezetcsoportot válassz, például az Ohm törvénye, villamos munka, teljesítmény és hatásfok alfejezetet.

Példa heti minta (8 óra):

Nap	Időtartam	Tevékenység
Hétfő	1,5 óra	Az alfejezet elolvasása, jegyzetelés, képletek leírása
Kedd	1,5 óra	Kidolgozott példák önálló újraszámolása
Szerda	1,5 óra	Önellenőrzés és válaszainak indoklása
Csütörtök	1,5 óra	Feladatok (A–B szinttől indulva) megoldása

Nap	Időtartam	Tevékenység
Péntek	1 óra	Gyakorlati útmutató vagy rajzolvasási gyakorlat, jegyzetfüzet kiegészítése
Szombat	1 óra	Heti ismétlés, hibás témák megjelölése
Vasárnap	–	Pihenő, ha lehet

Ezt a sablont igazítsd a saját órarendedhez. Ha az adott héten nincs gyakorlati útmutató az alfejezetben, a pénteki órát fordítsd a feladatokra vagy a megelőző hetek ismétlésére. A heti terv célja az, hogy minden tanulási cél mellé időt rendelj, ne csak szándékot.

1.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy munka mellett tanuló, felnőttképzésben részt vevő kolléga hónapokon át csak a kidolgozott megoldásokat olvasta, önálló számolás nélkül. A vizsga számolási részén – például egy vezeték feszültségesésének vagy egy hurokimpedancia-feltételnek a felírásánál – elakadt, mert a lépéseket sosem írta le maga. Miután a belépő tesztet újra kitöltötte, a kiegészítő útvonalat választotta, és a heti terv szerint minden alfejezet után önállóan újraszámolta a példákat, a számolási rész rutinná vált. A tanulság: az útvonalat a belépő teszt eredménye döntse el, a tanulást pedig a rendszeres, önálló gyakorlás.

1.2.8. Tipikus hibák

1. **Útvonalat választ a belépő teszt kitöltése nélkül.** Így vagy felesleges ismétlésre megy el az idő, vagy kimaradnak az alapok. A helyes gyakorlat: a mintasor kitöltése megoldások nélkül, majd a táblázat szerinti besorolás.
2. **Átugorja a II. részt (villamos alapok), mert „unalmas”.** A hibavédelem, a vezeték-méretezés és a zárlatszámítás ezekre az összefüggésekre épül. A helyes gyakorlat: legalább az Ohm-törvényt, a teljesítményt és a háromfázisú alapokat önállóan újraszámolni.
3. **A jegyzetfüzetet csak másolással vezeti.** A lemásolt képlet nem jelent megértést. A helyes gyakorlat: saját szavakkal megfogalmazott szabály, saját számpélda és a tipikus hiba rögzítése.
4. **A heti tervben nincs ismétlés.** A tanult anyag a következő héten elhalványul. A helyes gyakorlat: minden héten idő a korábbi hibás témák ismétlésére.

Most próbáld ki a tanultakat az alábbi önellenőrzéssel és feladatokkal. Mielőtt a megoldásokat megnézed, válaszolj önállóan, és írd le a válaszaidat a jegyzetfüzetedbe.

1.2.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A belépő teszt eredménye alapján mindenkinek ugyanazt a tanulási útvonalat kell követnie. Indokold!
2. Mi a különbség a teljes és a vizsgafelkészítő útvonal között?
3. Nevezz meg három vizsgarészt, és mondd meg, melyik könyvrész készíti fel azokat.
4. Igaz vagy hamis? Az önellenőrzésnél elég csak azt felírni, hogy egy kérdésre „hamis” a válasz. Indokold!

5. Milyen adatokat érdemes rögzíteni a szakmai jegyzetfüzetben egy gyakorlati útmutató elvégzése után?
6. Mi a szerepe a heti ismétlésnek a tanulási tervben?

1.2.10. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a könyv három tanulási útvonalát, és mindegyikhez írj egy olyan helyzetet, amikor azt érdemes választani.

2. feladat (A). Váltsd át: $25\,\mathrm{mA} = \ldots$ A és $0{,}5\,\mathrm{k\Omega} = \ldots\ \Omega$.

3. feladat (B). Állíts össze egy heti tanulási tervet 8 órára egy általad választott alfejezethez a fenti minta alapján. Nevezd meg az alfejezetet és a hozzá tartozó vizsgarészt.

4. feladat (B). Egy tanuló a belépő tesztben a mértékegység-átváltást jól oldotta meg, de a kapcsolási rajzon nem ismerte fel a zöld-sárga vezető szerepét. Melyik tanulási útvonalat javasolnád neki? Indokold, és nevezd meg azt a fejezetet, amelyet először érdemes tüzetesen elvégeznie.

5. feladat (C). Melyik vizsgarészhez tartozik leginkább az a helyzet, amikor egy kapcsolószekrényben mérőműszerrel kell megkeresni egy szándékosan bekötött hibát? Milyen könyvbeli alfejezeteket használnál a felkészüléshez, és miért?

6. feladat (D). Tervezd meg a szakmai jegyzetfüzeted első három hetének vezetési rendjét. Add meg, hogy az egyes hetekben melyik alfejezetet dolgozod fel, és milyen bejegyzéseket fogsz készíteni az olvasáshoz, a feladatokhoz és a gyakorlati részhez.

1.2.11. Megoldások

Belépő teszt – válaszok.

1. $I = U/R = 230\,\mathrm{V}/23\,\Omega = 10\,\mathrm{A}$.
2. $10\,\mathrm{mA} = 0{,}01\,\mathrm{A}$.
3. Védővezető (PE); más célra nem használható.
4. A feszültség két pont közötti potenciálkülönbség, a töltéseket mozgató „hajtóerő” (V); az áram az időegység alatt átáramló töltés (A).
5. Forrás (L, N), a kapcsoló a fázisvezetőben (L), utána a lámpa, a lámpa másik kivezetése az N-re.
6. A kismegszakító (vagy olvadóbiztosító); az áram-védőkapcsoló nem túláramvédelem.

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A belépő teszt éppen arra való, hogy a tanuló előképzettségéhez igazítsa az útvonalat: kezdőknek a teljes, részben gyakorlottaknak a kiegészítő, vizsgára készülőknek a vizsgafelkészítő útvonal az optimális.
2. A teljes útvonal a villamos alapoktól, sorban, minden témát teljes mélységben épít fel. A vizsgafelkészítő útvonal feltételezi a korábbi tanulmányokat, és feladattípusok, vizsgarészek szerint ismétel.
3. Elméleti feladatrész – a fogalmi és szabványos részek; számolási feladatrész – a kidolgozott példák és feladatok; gyakorlati szerelés – a gyakorlati útmutatók; rajzolvasás – a műszaki rajz és villamos dokumentáció fejezetek; hibakeresés – a hibakereső alfejezetek és a mérési gyakorlatok.

4. Hamis. Az önellenőrzésnél a válasz indoklása a tanulás kulcsa: ha nem tudod, miért hamis, nem értetted meg a fogalmat. A jegyzetfüzetbe a helyes állítást is be kell írni.
5. A gyakorlat során rögzítsd: mit csináltam, milyen eszközöket használtam, milyen mérési értékeket kaptam, milyen hibát követtem el, és mi a helyes megoldás. Így a későbbi ismétlésnél a saját hibáidból tanulsz.
6. A heti ismétlés abban segít, hogy a tanult anyag ne csak a rövid távú memóriában maradjon; kijelöli azokat a témákat, amelyeket a vizsgafelkészítő útvonalon újra kell venni.

1. feladat (A). A három útvonal: teljes (kezdőknek, akiknek a villamos alapok hiányoznak), kiegészítő (tanfolyamhoz vagy munka melletti tanuláshoz, ahol az órákhoz kell igazítani a könyvet), vizsgafelkészítő (azoknak, akik már feldolgozták az anyagot, és ismételnek). Például egy teljesen pályakezdő a teljes útvonalat, egy olyan tanuló, aki már dolgozik szerelő mellett, a kiegészítőt, a vizsga előtti hetekben pedig a vizsgafelkészítőt használja.

2. feladat (A). $25\,\text{mA} = 0{,}025\,\text{A}$; $0{,}5\,\text{k}\Omega = 500\,\Omega$.

3. feladat (B). Például az Ohm törvénye, villamos munka, teljesítmény és hatásfok alfejezethez: hétfőn olvasás és jegyzetelés, kedden a példák újraszámolása, szerdán önellenőrzés, csütörtökön feladatok, pénteken kiegészítő feladat vagy kis kapcsolás elemzése, szombaton heti ismétlés. A vizsgarész főleg a számolási és elméleti feladatrész.

4. feladat (B). A tanulónak a kiegészítő útvonalat javasolnám, mert a számolási alapjai rendben vannak, de a szakmai fogalmakban és rajzjelekben hiányos. A kiegészítő útvonal itt a hiányzó láncszemek pótlása: először a Színjelölés, keresztmetszet és szerelési módok alfejezetet, majd az Áramütés elleni védelem fejezet bevezetőjét, valamint a Rajzjelek és jelölések (MSZ EN 60617) alfejezetet érdemes elmélyíteni, mert a zöld-sárga védővezető szerepe és a rajzjel alapvető.

5. feladat (C). Ez a hibakeresési vizsgarészhez tartozik. Felkészüléshez a Hibakeresés épületvillamossági modelleken és a Vezérlések hibakeresése alfejezeteket használnám, mert azok tünet–hipotézis–mérés–ok–javítás módszert tanítanak; valamint a Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése mérési eljárásai adnak rutint.

6. feladat (D). Első hét: feldolgozom az Olvasói útmutató fejezetet, minden nap rövid jegyzet; a jegyzetfüzetbe felírom a tanulási útvonalat és a belépő teszt eredményét. Második hét: az Elektrotechnika alapjai első két alfejezetét tanulom, képleteket vezetek le, a kidolgozott példákat újraszámolom, az önellenőrzésekből hibákat jegyzem. Harmadik hét: a Villamosipari anyagismeret és a Vezetékek és kábelek alapjait olvasom, gyakorlati rajzokat ragasztok a füzetbe, és felsorolom a vezetékszínek szerepét. Minden hét végén kijelölöm az ismétlendő részeket.

1.2.12. Rövid összefoglaló

Ez az alfejezet a tanulási útvonalak és a vizsgafelkészülés módszerét adta meg. A belépő teszt három csoportba sorol: kezdők a teljes útvonalon, részben gyakorlottak a kiegészítő útvonalon, vizsgára készülők a vizsgafelkészítő útvonalon haladnak. A vizsga általában elméleti, számolási, rajzolvasási, gyakorlati szerelési és hibakeresési feladatokból áll, de a konkrét szerkezetet mindig ellenőrizni kell a hatályos képzési és vizsgakövetelményekben. A könyv alfejezeteiben az önellenőrzést indoklással érdemes elvégezni, a feladatokat önállóan kell megoldani, a rövid összefoglalókat pedig a saját jegyzettel összehasonlítani. A **szakmai jegyzetfüzet** vezetése a legfőbb továbbvitt eredmény: abban rögzítjük a képleteket, kidolgozott példákat, hibákat, mérési értékeket és a heti ismétlések eredményeit. Ezt a módszert a későbbi gyakorlati útmutatók és a vizsgafelkészítő fejezetek használják. A heti ütemezés akkor hatékony, ha tanulási célhoz kötött, reális óraszámmal, beépített ismétléssel és pufferidővel készül.

1.3. Otthoni tanulólabor és szerszámkészlet biztonságosan

1.3.1. Motiváció: miért kell otthon is biztonságosan gyakorolni?

A villanyszerelő szakma tanulása közben a legnagyobb kihívás, hogy az elméleti tudást kézügyességgé és szerelési rutinná alakítsd. A képzés során gyakran kevés a műhelyóra, így a tanulóban felmerül a kérdés: „Hogyan tudnék itthon is gyakorolni anélkül, hogy veszélybe sodornám magam vagy a környezetemet?”.

A válasz nem az, hogy megbontod a lakáselosztót, hanem az, hogy kiépítesz egy **törpefeszültségű (ELV) tanulólabort**. Ez a fejezet pontosan megmutatja, milyen minimális szerszám- és műszerkészlettel érdemes kezdened, és mi az a határ, amelyet önállóan soha nem léphetsz át.

Kulcsgondolat: Az otthoni gyakorlás célja a fogások, logikák és mérési módszerek megtanulása. Ehhez nincs szükséged 230 V-ra; a legtöbb vezérlési és mérési logika (kapcsolók, relék, önfenntartás, feszültségosztó, mérések) felépíthető 24 V-on; a hálózati és háromfázisú gyakorlatok tanműhelybe valók.

1.3.2. A biztonságos gyakorlás határai: az ELV-labor elve

Mielőtt bármit csatlakoztatnál, meg kell értened a feszültségszintek közötti alapvető különbséget.

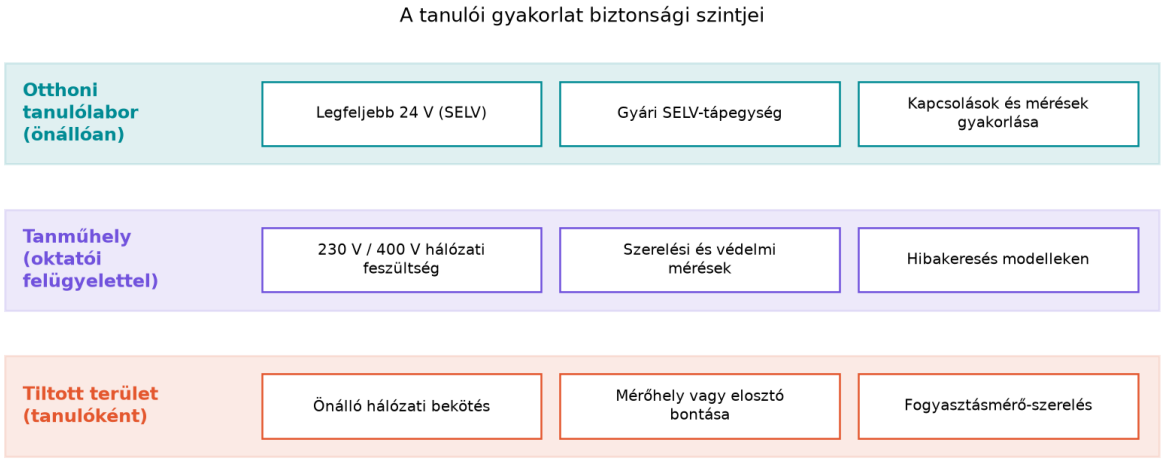
Definíció. A **törpefeszültség (ELV – Extra Low Voltage)** olyan villamos feszültségtartomány, amelynek értéke váltakozó áram esetén nem haladja meg az 50 V-ot, egyenáram esetén pedig a 120 V-ot. Az ELV-tartomány felső határa (50 V AC / 120 V DC, felharmonikus-mentes) szabványos sávhatár, nem biztonságos gyakorlási érték **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41)**. Az otthoni tanulólaborban kizárólag gyári SELV-tápegységről táplált, legfeljebb 24 V-os áramkörrel dolgozunk.

Szabály. Otthoni tanulás során kizárólag **készre gyártott, biztonsági leválasztó transzformátoros (SELV) tápegységet** (pl. labor tápegység, bevizsgált dugasztápegység; az adattáblán a biztonsági transzformátor jele és a II. érintésvédelmi osztály jele keresendő; **ellenőrizendő: MSZ EN 61558-2-6 / 62368-1**) használhatsz. Tilos házilag, szabadvezetékkel közvetlenül a 230 V-os hálózati feszültségről leválasztani vagy „barkácsolni” a tanulóáramkört.

Szabvány. A törpefeszültségű áramkörök kialakítására és a törpefeszültség biztonságos előállítására vonatkozó követelményeket a kisfeszültségű villamos berendezések szabványa (MSZ HD 60364 sorozat, különösen a -4-41: Áramütés elleni védelem) tartalmazza. A SELV (Safety Extra Low Voltage) áramkörök lényege a villamos leválasztás és a földtől való függetlenség, ami biztosítja, hogy egy hiba esetén sem jelenhet meg érintésveszélyes feszültség. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és a SELV/PELV pontos definíciója a tananyag írásakor)**

Figyelem. Ha egy készülék teste vagy csatlakozója megsérült, a tápegység akkor sem biztonságos, ha kimeneti feszültsége alacsony. Az otthoni laborban csak ép, sértetlen, minősített készülékeket használj.

A biztonsági határok szemléltetéséhez használjuk az alábbi réteges ábrát:



1.3. ábra. A tanulói gyakorlat biztonsági szintjei - Az ábra a tanulás során megengedett és tiltott tevékenységek határait mutatja. Az otthoni labor kizárólag SELV-tápegységről táplált, legfeljebb 24 V-os törpefeszültségre épülhet; az ELV-tartomány felső határa (50 V AC / 120 V DC) nem otthoni gyakorlási határ.

1.3.3. A minimális tanuló szerszámkészlet összeállítása

A szerszámvásárlás elsőre drága mulatságnak tűnhet, de a kezdő készlet nem kell, hogy nagy legyen. A lényeg a célszerszámok beszerzése. Az alábbi lista a villanyszerelői munka alapjait és a méréstechnikai minimumot fedi le.

1.3.3.1. Alap kéziszerszámok a szereléshez

1. **Csavarhúzó készlet:** Legalább 3-4 méretű lapos és PH (Phillips) vagy PZ (Pozidriv) kereszthornyos csavarhúzó. Villanyszerelői munkához már most érdemes **VDE-minősítésű, szigetelt** csavarhúzókat venni, mert később a tanműhelyben és a munkahelyen is ezeket fogod használni.
2. **Blankoló fogó (vezeték-csupaszító):** 0,5–6 mm^2 keresztmetszetű vezetékekhez. Ne késsel, ne fogóval csupaszíts, mert megsérted a rézszálakat és gyengíted a vezetőt.
3. **Krimpelő fogó (présfogó) érvéghüvelyekhez:** A hajlékony (sodrott) vezetők végeire való érvéghüvely préseléséhez. Ezt a technikát a Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru alfejezetben részletesen gyakorolni fogjuk.
4. **Oldalcsípő fogó és hegyes csőrű fogó:** Vezetékek vágásához és hajlításához.
5. **Feszültségpróba (kétpólusú):** Egy olcsó, de megbízható, kétpólusú feszültségvizsgáló. Bár az otthoni laborban törpefeszültséggel dolgozol, a feszültségmentesség ellenőrzésének gyakorlását már most el kell kezdened. **(A későbbi éles, hálózati munkához a pontos típus és szabvány ellenőrizendő: MSZ EN 61243-3)**

1.3.3.2. Minimális mérőműszer-igény

Multiméter (digitális): A tanulólabor legfontosabb műszere. A vásárlásnál figyelj a következőkre: - **Mérési kategória (CAT):** Válassz minimum CAT II 300 V, de a későbbi épületvillamossági mérésekhez (hálózati feszültségű mérés) jobb, ha CAT III 600 V besorolású modellt veszel. **(ellenőrizendő: aktuális gyártói adatlapok)** - **Funkciók:** Feszültség (DC/AC), áram (µA,

mA, esetleg A), ellenállás, diódavizsgálat és folytonosságvizsgálat (hangjelzés) legyen benne. - **Mérőzsinórok:** Mindig ép, sértetlen, a műszerhez tartozó zsinórokat használj, feszültségmérésnél az egyik vezető soha ne maradjon szabadon lógva.

Ennyi elég a kezdéshez. A lakatfogót, szigetelésvizsgálót és hurokimpedancia-mérőt nem kell megvenned; azokat a későbbi, Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés és Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezetekben fogod megismerni, és jellemzően a tanműhelyben vagy a munkahelyen fogod használni.

1.3.4. Gyakorlati útmutató: az otthoni labor összeállítása

Biztonsági korlát. Ez a feladat kizárólag törpefeszültségű (ELV) környezetre vonatkozik. Hálózati feszültségen önállóan ne gyakorolj. A hálózati feszültségű munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet.

A következő lépéssor egy **eljárás**, amelyet minden otthoni gyakorlás előtt kövess végig:

Eljárás: A biztonságos otthoni tanulólabor kialakítása

1. **Munkaterület előkészítése:** Válassz egy száraz, rendetlen éghető anyagoktól mentes asztalt. Az asztal legyen fából vagy műanyagból, ne fémből.
2. **Tápegység bekészítése:** Kizárólag gyári, biztonsági leválasztó transzformátoros (SELV), rövidzárlat-védett tápegységet (az adattáblán a biztonsági transzformátor jele, II. érintésvédelmi osztály; **ellenőrizendő: MSZ EN 61558-2-6 / 62368-1**) (pl. 24 V DC, max. 2–4 A) használj.
3. **Műszer ellenőrzése:** Kapcsold be a multimétert, ellenőrizd a kijelzőt, és teszteld a folytonosságvizsgáló hangjelzést a mérőzsinórok összeérintésével.
4. **Szerszámok elrendezése:** Minden szerszámnak legyen helye. A csavarhúzót ne tartsd a zsebedben: kiszúrhat, és munka közben nem találod.
5. **Anyagelőkészítés:** A vezetékeket blankold, és préselj rájuk érvéghüvelyt. Csupasz, elszórt rézszálak ne maradjanak az asztalon.
6. **Energizálás:** Csak akkor kapcsold be a tápegységet, ha az áramkör összeállítása kész, és a kezed nem ér a vezetőképes részekhez.
7. **Mérés és bontás:** Miután elvégezted a mérést, kapcsold ki a tápegységet, majd a kétpólusú feszültségvizsgálóval vagy multiméterrel – előtte ismert forráson kipróbálva – ellenőrizd, hogy a kör feszültségmentes; csak utána bontsd meg az áramkört.

1.3.5. Mit tilos tenni otthon? (A tiltott terület)

A szakma tanulásának egyik legfontosabb fegyelme annak felismerése, hogy mit nem tudsz, vagy mire nincs jogosultságod. A kíváncsiság jó, de villamos szakmában a jogosulatlan beavatkozás emberéleteket veszélyeztet.

Tilos.

- **Otthoni hálózati bekötés:** A tanuló a lakásában önállóan nem cserél dugaszoló aljzatot, nem köt be világítótestet a 230 V-os hálózatra, és nem szerel villanykapcsolót.
- **Fogyasztásmérő-szerelés és tablóbontás:** A mérőhely és a fogyasztásmérő bontása a hálózati engedélyesnél nyilvántartott, jogosult szerelő feladata; az elosztó megbontása és a védelmi készülékek (biztosítóaljzat, kismegszakító) cseréje szakember feladata. A felhasználó legfeljebb a kioldott kismegszakítót kapcsolhatja vissza, illetve a kiolvadt betétet cserélheti azonos típusú és névleges áramú betétre, de a kioldás okát előbb meg kell

keresni **(ellenőrizendő: a hálózati engedélyes csatlakozási feltételei és a gyártói kezelési utasítás)**.

- **Biztosító „megjavítása” és védelmek kiiktatása:** A védelmi eszközök áthidalása, a védővezető (PE) elhagyása tilos és életveszélyes.
- **Feszültség alatti munka:** Az öt biztonsági szabályt (Villamos munkavégzés biztonsága: az öt szabály és a munkaengedély alfejezet) mindenhol be kell tartani. Tanulóként soha ne dolgozz feszültség alatt.

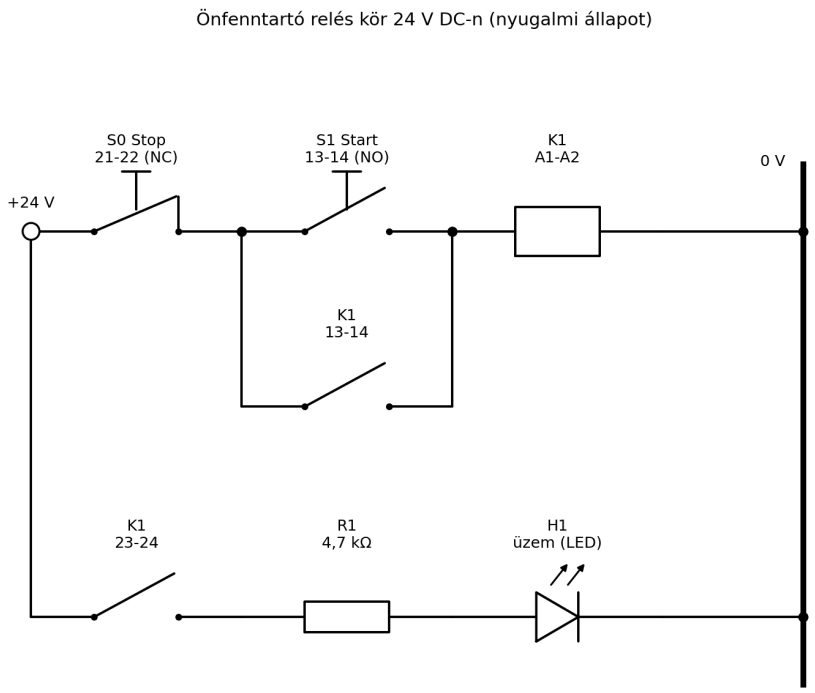
Valós eset. Egy felnőttképzésben tanuló hallgató a tanult váltókapcsolót szerette volna otthon kipróbálni. Ahelyett, hogy a tanműhelyben gyakorolt volna, vagy a könyv szimulátorát használta volna, levette a lakás régi kapcsolóját. A hálózati bekötéskor nem jelölte meg a vezetékeket, és a törött védőcsőből kiálló, feszültség alatti fázisvezetőt megérintette. Sajnos áram-védőkapcsoló (FI-relé) nem volt, csak kismegszakító, amely testáramnál nem old le; az áramütéstől megrándult, és leesett a létráról. A 30 mA-es áram-védőkapcsoló az áramütés idejét korlátozta volna, de a jogosulatlan munkát semmilyen védelem nem teszi megengedetté. **(Példa, nem konkrét jegyzőkönyv, a helyzet szemléltetésére szolgál)** Az ilyen esetek elkerülésére van az ELV-labor elve.

1.3.6. Szimulátorok és interaktív ábrák: hogyan pótoljuk a hiányzó műhelyt?

A könyvben található interaktív ábrák és kapcsolási rajzok kifejezetten arra szolgálnak, hogy a gondolkodást otthon is fejleszd.

- **Kapcsolási rajzok olvasása:** Az áramúti rajzokon nyomon követheted, mi történik, ha benyomsz egy nyomógombot. Nézd meg, melyik relé húz be, és melyik kontaktus vált át.
- **Szimulátorok:** Ahol a könyvben interaktív elem (`interactive`) található, ott be tudod állítani a paramétereket (pl. ellenállás, feszültség), és megnézheted a kiszámolt áramot.
- **Hibakeresés fejben:** A szimulátorban szándékosan kikapcsolhatsz egy vezetéket, és meg kell magyaráznod, mit mérnél másképp. Ez kiváló vizsgafelkészítés.

Az alábbi ábra egy ilyen gyakorló kapcsolás: egy **önfenntartó relés kör 24 V-os egyenfeszültségen**. A motorvezérlés alaplogikája (Start–Stop, önfenntartás, üzemjelzés) itt törpefeszültségen gyakorolható. Az S0 Stop nyomógomb (NC, 21–22) sorosan áll a körben; az S1 Start nyomógombbal (NO, 13–14) párhuzamosan a K1 relé saját 13–14 záróérintkezője (önfenntartó érintkező) van; ezek után következik a K1 tekercs (A1–A2) és a 0 V. Külön ágon a K1 23–24 záróérintkezője az $R1 = 4{,}7\ \mathrm{k\Omega}$ előtét-ellenálláson át a H1 LED-et kapcsolja: a LED árama kb. $(24\,\mathrm{V} - 2\,\mathrm{V})/4{,}7\,\mathrm{k\Omega} \approx 4{,}7\,\mathrm{mA}$, az ellenálláson $22\,\mathrm{V} \cdot 4{,}7\,\mathrm{mA} \approx 0{,}1\,\mathrm{W}$ hő keletkezik (egy 1 kΩ-os előtét 22 mA-t és kb. 0,5 W-ot adna: a szokásos 20 mA-es LED-et és a 0,25 W-os ellenállást is túlterhelné). A HTML-kiadás interaktív változatában az S0 és S1 gomb nyomható, a piros jelölés az áramutat mutatja, és egy „hiba” kapcsolóval az önfenntartó érintkező szakadása is kipróbálható (ekkor a K1 a Start felengedésekor elenged).



1.4. ábra. Önfenntartó relés kör 24 V DC-n, nyugalmi állapotban: S0 Stop (NC) sorosan, S1 Start (NO) és K1 13–14 párhuzamosan, K1 tekercs; K1 23–24, R1 és H1 LED üzemjelzés

Állapot	S0 Stop	S1 Start	K1 tekercs	K1 13–14	H1 LED
Alapállapot	nem nyomott (zárt)	nem nyomott (nyitott)	nincs áram	nyitott	nem világít
Start lenyomva	nem nyomott	nyomva (zárt)	behúz	zár	világít
Start elengedve	nem nyomott	nyitott	önfenntartással behúzva marad (áram a 13–14-en át)	zárt	világít
Stop lenyomva	nyomva (nyitott)	nyitott	elenged	nyit	nem világít

1.3.7. Tipikus hibák

Hiba 1: Autós akkumulátortöltő használata labor-tápegységként. Sokan gondolják, hogy az autós töltő is egyenáramot ad, tehát jó. Ez hibás. Az autós töltők gyakran nem SELV-minősítésűek, nincs megbízható leválasztásuk, és nagy áramot is leadhatnak, ami tüzet okozhat. **Helyes:** Kizárólag bevizsgált, laboratóriumi tápegységet használj.

Hiba 2: A vezetékvégek csupaszon hagyása. A hajlékony vezetéket megcsupaszítod, és nem húzol rá érvéghüvelyt. A vékony szálak szétállnak, hozzáérhetnek a szomszédos kapocshoz, vagy letörnek és rövidzárlatot okoznak. **Helyes:** Mindig használj érvéghüvelyt és krimpelő fogót.

Hiba 3: Pénzspórolás a multiméteren. A legsérülékenyebb pont a mérőzsinór. Ha a zsinór szigetelése sérült, az mérési hibához és balesethez vezet. **Helyes:** A multiméter legyen legalább CAT II 300 V, és a mérőzsinórok mindig legyenek hibátlanok.

1.3.8. Önellenőrzés

1. Igaz-e: Váltakozó áramnál 100 V-ig még törpefeszültségről beszélünk, tehát otthon is gyakorolhatunk vele önállóan. *(Igaz/Hamis? Indokold!)*
2. Milyen mérési kategóriájú (CAT) multimétert érdemes venni a későbbi szakmai mérésekhez?
3. Sorold fel, mi a három leggyakoribb hiba az otthoni szerelési gyakorlat közben!
4. Miért tilos az autós akkumulátortöltőt tanulótápegységként használni?
5. Mi a teendő, mielőtt bekapcsolod a tápegységet a megépített áramkörön?

1.3.9. Feladatok

1. feladat (A) Határozd meg, hogy a 24 V egyenfeszültségű laboratóriumi tápegység törpefeszültségű (ELV) kategóriába tartozik-e!

2. feladat (A) Írd le, milyen szerszámokat sorolsz a minimális otthoni tanulókészlethez!

3. feladat (B) Egy tápegység adattábláján az szerepel: „OUTPUT: 24 V DC, 5 A”. Mekkora a maximális teljesítménye? Kell-e aggódnod a túlterhelés miatt egy olyan áramkörnél, amely 2 A-t fogyaszt?

4. feladat (B) Mit jelent a SELV kifejezés? Mi a legfontosabb tulajdonsága az áramütés elleni védelem szempontjából?

5. feladat (C) A tanulótársad megkér, hogy nézd meg a lakásában, miért nem működik a konnektor. Ő már levette a konnektor fedelét. Mi a helyes eljárás?

6. feladat (D) Multiméterrel mérni készülsz. A folytonosságvizsgáló hangjelzés nem szólal meg a két zsinór összeérintésekor. Mi lehet a hiba? Mit néznél meg először a műszeren?

1.3.10. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. **Hamis.** A törpefeszültség határa váltakozó áramnál 50 V, egyenáramnál 120 V. A 100 V váltakozó áram már érintésveszélyes, kisfeszültségnek számít.
2. Minimum CAT II 300 V, de a későbbi épületvillamossági (hálózati) mérésekhez jobb a CAT III 600 V besorolás.
3. Autós töltő használata; csupasz vezetékvégek és érvéghüvely hiánya; sérült mérőzsinór használata.
4. Mert nem garantált a biztonságos leválasztás (SELV), nagy áramot adhat le, és balesetet vagy tüzet okozhat.
5. Ellenőrizni, hogy az áramkör minden kötése a helyén van-e, a kezünk nem ér vezető részhez, és a tápegység kimenete rövidzárlatmentes.

Feladatok megoldásai:

1. feladat A törpefeszültség egyenfeszültség esetén 120 V alatt van. A $24\,\mathrm{V} < 120\,\mathrm{V}$, tehát igen, törpefeszültségű (ELV) kategóriába tartozik.

2. feladat Csavarhúzó készlet, blankoló fogó, krimpelő fogó, oldalcsípő fogó, hegyes csőrű fogó, kétpólusú feszültségpróba, digitális multiméter.

3. feladat Adott: $U = 24\,\mathrm{V}$, $I_{max} = 5\,\mathrm{A}$. Keresett: P_{max}. Képlet: $P = U \cdot I$. Behelyettesítés: $P = 24\,\mathrm{V} \cdot 5\,\mathrm{A} = 120\,\mathrm{W}$. A fogyasztó teljesítménye: $P_f = 24\,\mathrm{V} \cdot 2\,\mathrm{A} = 48\,\mathrm{W}$. Ellenőrzés: A tápegység 120 W-ot tud, a fogyasztó csak 48 W-ot igényel. Nincs túlterhelés.

4. feladat A SELV az angol *Safety Extra Low Voltage* rövidítése (magyarul: biztonságos törpefeszültség). A legfontosabb tulajdonsága, hogy a feszültség olyan alacsony, és az áramkör olyan biztonságos leválasztással készül (a hálózattól és a földtől), hogy egy meghibásodás esetén sem jelenik meg rajta érintésveszélyes feszültség.

5. feladat Először is fel kell hívnom a társam figyelmét, hogy azonnal hagyja abba a munkát, mert tanulóként és jogosultság nélkül tilos és életveszélyes beavatkozni. Nem nyúlhatunk a levett fedelű konnektorhoz, valószínűleg feszültség alatt van. A helyes eljárás: hívjunk jogosult villanyszerelőt.

6. feladat A hiba lehet a kimerült elem a multiméterben, rossz méréshatár vagy mód beállítása, a mérőzsinór szakadása, vagy a mérőzsinór csatlakozójának nem megfelelő érintkezése. Először a zsinórt és a csatlakozókat nézném meg, majd ellenőrizném, hogy a funkcióválasztó valóban a folytonosság (hangszóró/hanghullám jelű) állásón van, és végül megnézném az elemet.

1.3.11. Rövid összefoglaló

Az otthoni tanulás célja a szerelési rutin és a logika fejlesztése, nem pedig a hálózati feszültségű munka gyakorlása. Otthon kizárólag törpefeszültségű (ELV) környezetben dolgozhatsz: az ELV-sáv felső határa váltakozó áramnál 50 V, egyenáramnál 120 V **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41)**, de ez nem otthoni gyakorlási határ: otthon legfeljebb 24 V, SELV-tápegységről. A tanulólabor energiaellátásához kizárólag készre gyártott, biztonsági leválasztó transzformátoros (SELV) tápegységet használhatsz, amelyek leválasztják a törpefeszültségű áramkört a hálózatról. A minimális szerszámkészlethez tartoznak a VDE-minősítésű csavarhúzók, blankoló fogó, krimpelő fogó, oldalcsípő, hegyes csőrű fogó, kétpólusú feszültségpróba és egy legalább CAT II 300 V, de inkább CAT III 600 V besorolású, folytonosságvizsgálóval felszerelt digitális multiméter. Szigorúan tilos otthon a hálózati bekötés, a fogyasztásmérő-szerelés, a tablóbontás és a feszültség alatti munka. **Továbbvitt eredmény.** Az itt tanult ELV-labor szabályt és a SELV-tápegységek használatát alkalmazzuk a Gyakorlati útmutatók minden feladatánál, különösen a Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru és a Vezérlések építése: direkt, reverzáló, Y-Δ alfejezetekben, ahol a kapcsolásokat először mindig törpefeszültségen próbáljuk ki.

2 Munkavédelem és jogi keret

2.1. A munkavédelem rendszere Magyarországon

Képzeld el, hogy egy kis üzemben villamos karbantartóként dolgozol. A főnököd szóban arra utasít, hogy „csak pár percre” iktasd ki az áram-védőkapcsolót, mert a termelés áll, és a raktárban nincs idő a hiba megkeresésére. Mielőtt bármit tennél, tudnod kell, hogy jogaid és kötelezettségeid vannak, és hogy az olyan utasítást, amely a te életedet, egészségedet közvetlenül és súlyosan veszélyeztetné, megtagadhatod, ha pedig mások életét vagy testi épségét veszélyeztetné, a megtagadás kötelesség is lehet **(ellenőrizendő: Mvt. és a Munka Törvénykönyve [Mt.] vonatkozó rendelkezései)**. A munkavédelem rendszere nem jogi magolás: ez az a védőháló, amely a mindennapi döntéseidben megóv attól, hogy baleset áldozata vagy okozója legyél.

2.1.1. A munkavédelem három területe

Definíció. A **munkavédelem** az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés feltételeinek megteremtését szolgáló szervezett tevékenység, amely a munkavállalókat fenyegető baleseti és egészségkárosodási kockázatok csökkentését célozza.

A gyakorlatban három részterületet különítünk el.

Definíció. A **munkabiztonság** a hirtelen, rendszerint balesettel járó veszélyekkel foglalkozik. Villanyszerelőként ide tartozik az áramütés, a leesés, a zárlatból keletkező fényív, a forgó gépalkatrész, a vágott kéz, a kábeldob elgurulása vagy a szerszám leesése.

Definíció. A **munkaegészségügy** a hosszabb idő alatt kialakuló egészségkárosodásokkal foglalkozik: por, vegyi anyag, zaj, rossz testhelyzet, vibráció vagy pszichés terhelés. Például a poros szerelőtérben tartós munkavégzés légzőszervi panaszokhoz, a hosszú éveken át tartó térdeplés térdízületi panaszokhoz vezethet.

Definíció. Az **ergonómia** a munkahely, a szerszám, a munkafolyamat és az emberi adottságok összehangolásával csökkenti a terhelést. Villamos kapcsolószekrény szerelésekor ilyen kérdés, hogy a gyakran csatlakozókat szerelő dolgozó elérje a kapcsokat, megfelelő legyen a világítás, a csavarbehajtón ne kelljen túlzott erőt kifejteni, és a nehéz szerelvényeket ne egyedül kelljen mozgatni.

A gyakorlatban a három terület átfedi egymást: egy rosszul kialakított munkaasztal miatt kialakuló kényszertesthelyzet egyszerre munkabiztonsági, egészségügyi és ergonómiai probléma.

2.1.2. Jog, szabvány, belső szabályzat: a normarendszer rétegei

A munkavédelmi szabályok nem egyetlen dokumentumban vannak, hanem több rétegben. A villanyszerelő munkáját is ez a rétegződés szabályozza.

A legfelső réteg a **jogszabály**. A munkavédelem alapvető hazai jogszabálya az 1993. évi XCIII. törvény (munkavédelmi törvény, rövidítve Mvt.). A törvény keretjelleggel meghatározza a munkáltató és a munkavállaló jogait, kötelezettségeit, a hatósági ellenőrzés rendszerét, az oktatás,

az alkalmassági vizsgálat és a balesetek kivizsgálásának fő szabályait. A törvényhez **végrehajtási rendeletek** kapcsolódnak, például egyes munkavédelmi határértékekről, eszközökről vagy ágazati részletszabályokról. A jogszabályokat mindenki köteles betartani, megszegésük hatósági, szabálysértési vagy büntetőjogi következménnyel járhat.

A második réteg a **szabvány**. A szabvány jellemzően műszaki megoldást, vizsgálati módszert, méretet vagy határértéket rögzít. A hazai és európai jelölések: MSZ, illetve MSZ EN, MSZ HD. A szabvány önmagában általában önkéntes, de a gyakorlatban két esetben válik kötelezővé:

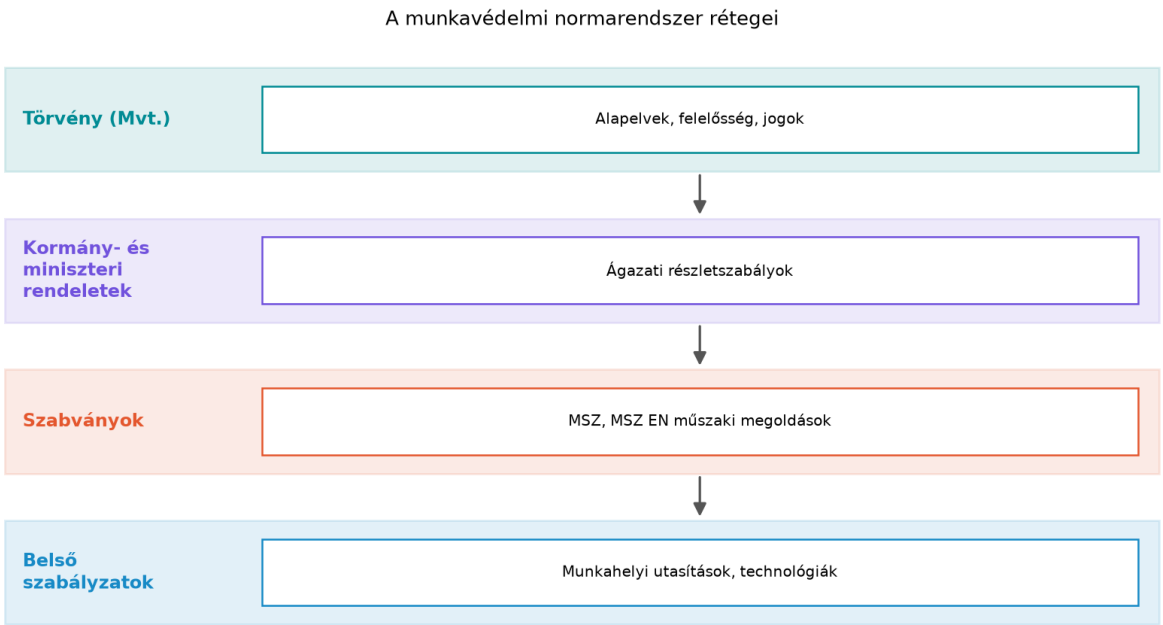
- ha jogszabály hivatkozik rá, vagy kötelező alkalmazását írja elő;
- ha a munkáltató belső szabályzata, szerződése vagy utasítása kötelezővé teszi.

A gyártó a termék megfelelőségét gyakran harmonizált szabvánnyal igazolja (megfelelőségi vélelem). Ez nem teszi a szabványt a szerelő számára kötelezővé; ilyenkor a szerelőre a gyártói szerelési és használati utasítás betartása kötelező **(ellenőrizendő: termékbiztonsági jogszabályok)**.

Szabvány. A munkavédelmi és villamos biztonsági gyakorlatban az MSZ HD 60364 sorozat, az MSZ EN 61439, az MSZ EN 60529, az MSZ EN 60204-1 vagy az MSZ EN 60898-1 a mindennapos példa. A szabvány pontos szakasz- és táblázatszámát, valamint az éppen hatályos kiadását mindig ellenőrizni kell a munkavégzés előtt, mert a szabványok időben változnak. **(ellenőrizendő: hatályos szabványkatalógus)**

A harmadik réteg a **belső szabályzat**, más néven helyi szabályzat vagy munkahelyi utasítás. Ezt a munkáltató adja ki, és a saját munkahelyére igazítja a jogszabályi és szabványi követelményeket. Ide tartozik a munkavédelmi szabályzat, a technológiai utasítás, a karbantartási utasítás, a kockázatértékelésből következő egyedi előírás vagy a munkaengedélyezési rend.

A rétegek közötti viszony egyszerűen így foglalható össze:



2.1. ábra. A munkavédelmi normarendszer rétegei - A törvény keretjellegű, a rendelet részletezi, a szabvány műszaki megoldást ad, a belső szabályzat konkrét munkahelyre igazít. A felső réteg kötelező erejű; lefelé haladva nő a részletesség, de a felsőbb szintet nem írhatja felül.

Továbbvitt eredmény. A jog–szabvány–szabályzat hierarchia: a jogszabály a kötelező minimum; a szabvány akkor válik kötelezővé, ha jogszabály hivatkozik rá, vagy ha a munkáltató kötelezővé teszi; a belső szabályzat konkretizálhat, és lehet szigorúbb, de enyhébb nem lehet. Ezt a rétegzést használjuk a Kockázatértékelés, védőeszközök, balesetek és tűzvédelem alfejezetben, amikor a kockázatértékelés dokumentációját és a védőeszköz-kiválasztást tanuljuk.

2.1.3. A munkavédelmi törvény alapelvei

A munkavédelmi törvény nem úgy működik, mint egy katalógus, amelyben minden munkaműveletre külön előírás van. Néhány alapelv mentén szabályoz, és ezekből kell a mindennapi szituációkat levezetni.

Szabály. A munkáltató a felelős az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés feltételeinek megteremtéséért. Ez az úgynevezett **munkáltatói felelősség elve**. A munkavállaló mulasztása sem mentesíti a munkáltatót attól, hogy a szükséges védelmi intézkedéseket meghozza.

Szabály. A **megelőzés elsődlegessége** azt jelenti, hogy a veszélyt elsősorban a forrásánál kell megszüntetni, nem elegendő a munkavállalót ellátni védőeszközzel. Például a vezetékeket feszültségmentesítéssel kell biztonságossá tenni, nem elegendő kesztyűben, feszültség alatt dolgozni.

Szabály. A munkakörülményeket az emberhez kell igazítani, nem az embert a munkakörülményekhez. Ezt fejezi ki az ergonómia is: a munkaeszközt, a munkateret, a munkaszervezést úgy kell kialakítani, hogy a munkavállaló ne károsodjon.

Szabály. A munkavállalókat be kell vonni a biztonságot érintő döntésekbe, és tájékoztatni kell őket a kockázatokról, a védelmi intézkedésekről, a munkavédelmi képviselőjükről. A munkavállalói jogok és a munkáltatói kötelezettségek együtt alkotnak zárt rendszert.

2.1.4. Munkáltatói és munkavállalói kötelezettségek

A törvény mindkét oldalra kötelezettségeket telepít, nem csak a munkáltatóra.

A **munkáltató legfontosabb kötelezettségei**:

- kockázatértékelést készíteni és azt folyamatosan frissíteni;
- munkavédelmi oktatást tartani a munkába lépés előtt, majd időszakosan, munkahely- vagy technológiaváltozáskor;
- a munkavállaló munkaköri alkalmassági vizsgálatát megszervezni;
- az egészséget nem veszélyeztető munkahelyet, munkaeszközöket, szerszámokat és védőeszközöket biztosítani;
- a munkát úgy megszervezni, hogy az ne járjon indokolatlan testi vagy lelki terheléssel;
- a baleseteket, veszélyhelyzeteket kivizsgálni, nyilvántartani, és meghozni a megelőző intézkedéseket;
- a munkavédelmi hatósági ellenőrzést tűrni, az ellenőrzésekhez adatot szolgáltatni.

A **munkavállaló legfontosabb kötelezettségei**:

- a munkát a munkáltató munkavédelmi utasításai, a kockázatértékelésben foglalt szabályok szerint végezni;
- a részére biztosított egyéni védőeszközt az előírás szerint használni;
- a rendellenességet, hibát, közvetlen veszélyt haladéktalanul jelenteni;

- munkavédelmi oktatáson részt venni, az ott elhangzottakat alkalmazni;
- munkáját úgy végezni, hogy azzal másokat ne veszélyeztessen;
- olyan utasítást, amely mások életét, egészségét vagy testi épségét közvetlenül és súlyosan veszélyeztetné, megtagadni (a saját veszélyeztetésnél a megtagadás jog, lásd lent) **(ellenőrizendő: Mvt. és Mt. vonatkozó rendelkezései)**.

Látható, hogy a munkavállaló nem passzív alanya a védelemnek: ő is felelős a saját és a környezete biztonságáért.

2.1.5. Oktatás, alkalmassági vizsgálat és dokumentálás

A munkavédelmi ismereteket nem elég egyszer elolvasni. A munkáltatónak **munkavédelmi oktatást** kell tartania, és azt dokumentálnia kell. Az oktatás jellemzően ezekre terjed ki:

- a munkakörre jellemző kockázatok,
- az alkalmazandó egyéni és kollektív védelmi intézkedések,
- az elsősegélynyújtó hely, a mentés, a tűzvédelem,
- az anyagok biztonságos kezelése,
- a munkaeszközök és védőeszközök használata.

Az oktatást a munkavállaló aláírásával igazolja. A formális aláírás azonban nem elegendő: ha a munkavállaló nem érti, kérdeznie kell, a munkáltatónak pedig biztosítania kell, hogy a tudás a gyakorlatban is meglegyen.

A **munkaköri alkalmassági vizsgálat** célja annak orvosi megítélése, hogy a dolgozó az adott munkakört egészségkárosodás nélkül, illetve mások veszélyeztetése nélkül képes-e ellátni. Villanyszerelői munkakörben ez különösen fontos, mert a munka magasban, feszültség közelében, kapcsolószekrényben, gyakran egyedül vagy felelősen történik. Az alkalmassági vizsgálat lehet előzetes, időszakos és soron kívüli.

Megjegyzés. A konkrét oktatási gyakoriság, az alkalmassági vizsgálat rendje, a bejelentési határidők és a baleseti kivizsgálási kötelezettségek a hatályos Mvt.-ből és végrehajtási rendeleteiből olvashatók ki. Ebben a tananyagban a szabályok szerkezetét tanuljuk, nem a hatályos paragrafusokat. **(ellenőrizendő: hatályos jogszabályszöveg)**

2.1.6. A munkabaleset bejelentése és kivizsgálása

Definíció. A **munkabaleset** olyan baleset, amely a szervezett munkavégzés során vagy annak következtében következik be. A baleset jellemzője a hirtelen fellépő külső hatás, ellentétben a foglalkozási megbetegedéssel, amely hosszabb expozíció következménye.

A baleset bekövetkeztekor a munkát azonnal meg kell szakítani, ha a helyzet további veszélyt jelent. Első a veszély megszüntetése (áramtalanítás) és a sérült ellátása, majd a baleset bejelentése. Áramütésnél a sérültet csak az áramkör lekapcsolása (vagy szigetelt eszközzel való leválasztása) után szabad megérinteni, mert a mentő is áramütést szenvedhet; az elsősegély részleteit Az áram élettani hatásai és az elsősegélynyújtás alfejezet tárgyalja. A gyakorlatban a sorrend így alakul:



2.2. ábra. Munkabaleset bejelentésének és kivizsgálásának lépései - A sorrend a mindennapi munkafolyamatot mutatja; a dobozok sorszáma megegyezik a 4. feladat megoldásának hét lépésével. A határidőket és a hatósági bejelentési kötelezettséget a hatályos Mvt. és rendeletek tartalmazzák (ellenőrizendő).

A balesetet a sérült, illetve aki észlelte, haladéktalanul jelenti a munkáltatónak. A munkáltató köteles a balesetet kivizsgálni, és arról jegyzőkönyvet felvenni. A súlyos baleseteket a munkavédelmi hatóságnak be kell jelenteni. A kivizsgálás célja nem a bűnbakkeresés, hanem az okok feltárása és a hasonló esetek megelőzése.

Hiba. Súlyos jogi hiba a balesetet „házon belül” intézni, a sérültet lebeszélni a bejelentésről, vagy a jegyzőkönyvet úgy felvenni, hogy az okot elhallgatja. Ez a munkáltatót és a munkavállalót is súlyosabb helyzetbe sodorhatja, mint maga az eredeti baleset.

2.1.7. Munkavállalói jogok és a veszélyes munka megtagadása

A munkavédelmi törvény egyik legfontosabb munkavállalói joga, hogy a dolgozó megtagadhatja az olyan utasítást, amelynek végrehajtása az ő vagy más életét, egészségét vagy testi épségét közvetlenül és súlyosan veszélyezteti.

Szabály. Ha az utasítás végrehajtása a saját életedet, egészségedet közvetlenül és súlyosan veszélyeztetné, megtagadhatod (jog); ha másokét veszélyeztetné (pl. a védelem kiiktatása a későbbi kezelőket veszélyezteti), akkor köteles is vagy megtagadni **(ellenőrizendő: Mvt. és Mt. vonatkozó rendelkezései)**. Ha a veszély megszűnik, a munka elvégzése alól nem mentesül, de a veszélyes időszakban a megtagadás jogos. A megtagadás miatt a munkavállalót hátrány nem érheti.

Figyelem. Ez a jog nem általános engedetlenségi jog. A munkavállaló nem tagadhatja meg a munkát pusztán azért, mert az kényelmetlen, nehéz vagy kockázattal járó, de a munkáltató az előírt védelmi intézkedéseket maradéktalanul betartotta. A megtagadás akkor jogos, ha közvetlen és súlyos veszély áll fenn.

A gyakorlatban ilyen például, ha a villanyszerelőt arra utasítják, hogy jogosultság nélkül, feszültség alatt dolgozzon egy 400 V-os elosztóban, vagy hogy kösse ki a védővezetőt, mert az zavarja a mérést. **Biztonsági korlát.** Hálózati feszültségű (230/400 V) munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet; a tanuló ilyen munkát önállóan nem gyakorolhat.

A felelősség oldala: aki a szabályokat megszegi, felelősséggel tartozik. A **munkavállaló** részéről felmerülhet fegyelmi felelősség, kártérítési felelősség, súlyosabb esetben szabálysértési vagy büntetőjogi felelősség. A **munkáltató** oldalán a munkavédelmi hatóság munkavédelmi bírságot

szabhat ki, szabálysértési vagy büntetőjogi eljárás indulhat, és a polgári jogi kárfelelősség is megjelenik.

2.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy szerelő egy munkahelyi elosztószekrényben hibakeresést végzett. A termelési vezető utasította, hogy az éjszakai műszak alatt hidalja át (iktassa ki) az áram-védőkapcsolót, mert a termelés nem állhat le. A szerelő jelezte, hogy a védelmi eszköz kikötése áramütés elleni védelmet szüntet meg, és ezt az utasítást megtagadja. Felhívta a figyelmet arra, hogy a kockázatértékelés szerint a területen csak feszültségmentesítés után lehet dolgozni, és a hiba felderítéséhez a gépet le kell állítani.

A szerelő nem kapott hátrányos intézkedést, mert a megtagadás jogszerű volt, a munkáltató pedig vizsgálatot indított a vezető utasításával kapcsolatban. Ez az eset azt mutatja, hogy a munkavédelmi szabályok nem papíron élnek: a szerelő akkor tudta megvédeni magát és a későbbi kezelőket, ha ismerte a jogait.

2.1.9. Tipikus hibák

Hiba 1. A dolgozó azt hiszi, hogy a szabvány mindig kötelező. Valójában a szabvány önkéntes, kivéve, ha jogszabály vagy belső szabályzat kötelezővé teszi. Helyes gyakorlat: ellenőrizni, hogy az adott munkahelyi szabályzat és a jogszabály hivatkozik-e rá.

Hiba 2. A munkavállaló aláírja a munkavédelmi oktatási jegyzőkönyvet anélkül, hogy megértené a tartalmát. Helyes gyakorlat: kérdezni, visszakérdezni, és csak a valóban megértett tartalom után dokumentálni.

Hiba 3. A munkavállaló nem meri megtagadni a veszélyes utasítást, mert fél a főnöktől. Helyes gyakorlat: a megtagadás jogszerű, és a munkáltatónak kötelessége kivizsgálni a helyzetet.

Hiba 4. A balesetet nem jelentik, mert „kis sérülés”, de később kiderül, hogy súlyosabb. Helyes gyakorlat: minden balesetet, sérülést, közel balesetet a helyi szabályzat szerint haladéktalanul jelenteni, mert a kivizsgálás megelőzheti a súlyosabb eseményt.

2.1.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A munkavédelmi szabvány automatikusan jogszabályi kötelezettséget jelent.
2. Sorolj fel három munkáltatói kötelezettséget.
3. Mi a különbség a munkabaleset és a foglalkozási megbetegedés között?
4. Megtagadhatja-e a munkavállaló a feszültség alatti munkát, ha nincs meg hozzá a jogosultsága? Indokold.
5. Mi az első teendő egy baleset észlelésekor?
6. Lehet-e a belső szabályzat enyhébb a munkavédelmi törvénynél?

2.1.11. Feladatok

1. feladat (A) Határozd meg röviden saját szavaiddal a munkavédelem fogalmát, és sorold fel a három részterületét.

2. feladat (A) Sorold fel a munkavédelmi normarendszer rétegeit növekvő részletességgel, és írd le, milyen esetben lesz a szabvány kötelező.

3. feladat (B) Képzeld el, hogy új villanyszerelő lép be egy üzembe. Sorold fel, milyen munkáltatói és milyen munkavállalói kötelezettségeknek kell teljesülnie az első napján.

4. feladat (B) Áramütés gyanújával járó balesetet észlelsz. Írd le a baleset bejelentésének és kivizsgálásának lépéseit helyes sorrendben.

5. feladat (C) A munkáltató szóban utasítja a dolgozót, hogy végezzen feszültség alatt munkát egy lakáselosztóban, mert a megrendelő nem engedi lekapcsolni az áramot. A dolgozó megtagadja. Elemezd, mit kell a dolgozónak tennie, és miért nem érheti hátrány.

6. feladat (C) Hasonlítsd össze a jogszabály, a szabvány és a belső szabályzat megszegésének lehetséges jogkövetkezményeit. Melyik réteg megszegése von maga után általában munkavédelmi bírságot?

7. feladat (D) Egy belső munkavédelmi szabályzatot kapsz, amelyből hiányzik a feszültségmentesítés öt szabályának ismertetése, a munkabalesetek bejelentési rendje és a védőeszközök használatának leírása. Írd le, mely hiányok miért veszélyesek, és mit kellene pótolni.

2.1.12. Megoldások

2.1.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A szabvány általában önkéntes, attól válik kötelezővé, ha jogszabály hivatkozik rá, vagy a munkáltató kötelezővé teszi.
2. Például: kockázatértékelés, munkavédelmi oktatás, a szükséges védőeszközök biztosítása, a munkabalesetek kivizsgálása, a biztonságos munkaeszközök biztosítása.
3. A munkabaleset hirtelen bekövetkező külső hatás, a foglalkozási megbetegedés hosszabb expozíció következménye.
4. Igen, megtagadhatja, mert jogosultság nélkül feszültség alatt dolgozni közvetlen és súlyos veszélyt jelent, és a jog a munkavállalót védi.
5. Először a veszély megszüntetése és a saját biztonságod: áramütésnél a sérültet csak az áramkör lekapcsolása (vagy szigetelt eszközzel való leválasztása) után szabad megérinteni. Utána a mentők hívása (112) és az elsősegély, majd a baleset haladéktalan bejelentése a munkáltatónak.
6. Nem, a belső szabályzat nem lehet enyhébb a jogszabálynál; szigorúbb lehet.

2.1.12.2. 1. feladat megoldása

A munkavédelem olyan szervezett tevékenység, amely a biztonságos és egészséget nem veszélyeztető munkavégzés feltételeit teremti meg. Részterületei: munkabiztonság, munkaegészségügy, ergonómia.

2.1.12.3. 2. feladat megoldása

A rétegek: törvény (Mvt.), végrehajtási rendeletek, szabványok, belső szabályzatok. A szabvány akkor válik kötelezővé, ha jogszabály hivatkozik rá, vagy ha a munkáltató belső szabályzata vagy utasítása kötelezővé teszi.

2.1.12.4. 3. feladat megoldása

Munkáltató: előzetes munkavédelmi oktatás, munkaköri orvosi alkalmassági vizsgálat megszervezése, munkaszerződés és munkavédelmi szabályzat biztosítása, a munkakörhöz szükséges szerszámok, védőeszközök biztosítása, a munkaterület biztonságos kialakítása. Munkavállaló: az oktatáson részt venni, az utasításokat betartani, védőeszközöket használni, a rendellenességeket jelenteni, a munkát másokat nem veszélyeztetve végezni.

2.1.12.5. 4. feladat megoldása

A helyes sorrend: 1. veszély megszüntetése (áramtalanítás, a sérült szigetelt eszközzel való leválasztása) és saját biztonság, 2. mentőhívás (112) és elsősegély (Az áram élettani hatásai és az elsősegélynyújtás), 3. a baleset haladéktalan bejelentése a munkáltatónak, 4. a helyszín megőrzése, ha ez lehetséges, 5. a munkáltatói kivizsgálás és jegyzőkönyv felvétele, 6. súlyos baleset esetén hatósági bejelentés, 7. megelőző intézkedések és dokumentálás.

2.1.12.6. 5. feladat megoldása

A dolgozó megtagadhatja az utasítást: feszültség alatti munka csak külön képesítéssel, írásos munkaengedéllyel és az előírt eszközökkel, technológiával végezhető, és nem rendelhető el pusztán azért, mert a megrendelő nem engedi a lekapcsolást; ezek hiányában a munka közvetlen és súlyos élet-, egészség- és balesetveszélyt jelent a saját életére nézve. Mivel a feszültség alatti munka közben keletkező zárlat/ív a jelen lévőket és a lakókat is veszélyeztetheti, a megtagadás kötelesség is lehet **(ellenőrizendő: MSZ EN 50110-1, Mvt. és Mt. vonatkozó rendelkezései)**. A helyes megoldás a megrendelővel egyeztetett, ütemezett feszültségmentesítés az öt szabály szerint. A megtagadás miatt a munkavállalót hátrány nem érheti. Célszerű a munkavédelmi képviselőt, a munkáltató felettesét vagy a munkavédelmi hatóságot bevonni, és az esetet írásban is jelezni. A munkáltató feladata a kockázatértékelés szerinti biztonságos feltétel megteremtése, például feszültségmentesítés vagy megfelelő munkaengedély.

2.1.12.7. 6. feladat megoldása

A jogszabály megszegése általában hatósági jogkövetkezménnyel jár: munkavédelmi bírság, szabálysértési vagy büntetőjogi eljárás. A szabvány megszegése önmagában nem feltétlenül jogszabálysértés, de ha a szabvány jogszabály vagy belső szabályzat révén kötelező, ugyanúgy hatósági vagy munkáltatói jogkövetkezménye lehet. A belső szabályzat megszegése elsősorban munkáltatói jogkövetkezmény (fegyelmi, kártérítési felelősség), de súlyos esetben akár büntetőjogi is lehet.

2.1.12.8. 7. feladat megoldása

A hiányzó öt szabály miatt a dolgozó nem tudja, hogyan kell biztonságosan feszültségmentesíteni; enélkül feszültség alatti munkavégzés és áramütés következhet be. A baleseti bejelentési rend hiánya miatt a balesetek elmaradhatnak, a kivizsgálás késhet, és a megelőzés nem működik. A védőeszköz-használat hiánya miatt a dolgozók nem tudják, mikor mit kell viselni. Pótolni kell: a feszültségmentesítés öt szabályát, a baleset bejelentés és kivizsgálás lépéseit, a védőeszközök felsorolását és használatukat, valamint az oktatási és ellenőrzési rendet.

2.1.13. Rövid összefoglaló

A munkavédelem a biztonságos munkavégzés rendszere; három területe a munkabiztonság, a munkaegészségügy és az ergonómia. A hazai alapot az 1993. évi XCIII. törvény adja. A normarendszer rétegei: törvény, végrehajtási rendelet, szabvány és belső szabályzat. A szabvány önkéntes, de jogszabályi hivatkozás vagy munkáltatói kötelezés esetén kötelezővé válik; a belső szabályzat lehet szigorúbb, de enyhébb nem. A munkáltató felelős a feltételek megteremtéséért, a munkavállaló pedig köteles az utasításokat megtartani, védőeszközt használni és veszélyt jelenteni. A munkavállaló jogosult megtagadni a közvetlen és súlyos veszélyt jelentő utasítást; emiatt hátrány nem érheti. A baleseteket a munkáltató vizsgálja ki, súlyos esetben hatósági bejelentés is szükséges. A jogszabály–szabvány–belső szabályzat hierarchia a későbbi kockázatértékelési, védőeszköz- és tűzvédelmi fejezetek alapja.

2.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

- Kiindulópontok: net.jogtar.hu, magyarkozlony.hu, mee.hu. A szöveg írásakor ezeket nem dolgoztuk fel ellenőrzött jogi forrásként.
- Ellenőrizendő: a munkavédelmi törvény hatályos szövege és módosításai, a munkabaleset bejelentés határidői, a súlyos baleset fogalma és a hatósági bejelentés pontos rendje.
- Ellenőrizendő: a munkavédelmi oktatás és az orvosi alkalmassági vizsgálat pontos gyakorisága, valamint a munkáltatóra és munkavállalóra vonatkozó aktuális jogkövetkezmények.

2.2. Kockázatértékelés, védőeszközök, balesetek és tűzvédelem

2.2.1. Motiváció: miért kell kockázatértékelést végeznem?

Egy segédszerelő azt kapja, hogy cserélje ki egy régi lakáselosztó kismegszakítóját, de a mérőnél nincs szakaszoló, ezért a betáp kábel feszültség alatt maradna. Ha a szerelő ezt nem ismeri fel, könnyen áramütést szenvedhet; ha pedig „majd vigyázok” alapon, egy kesztyűben bízva kezd hozzá, ugyanígy. A helyes út a betáp lekapcsolásának megszervezése (a hálózati engedélyestől) – a kesztyű ezt nem pótolja. A kockázatértékelés nem papírmunka: az a gondolkodási sor, amellyel a munka megkezdése előtt felméred, mi árthat neked vagy másnak, és mit kell tenned, hogy ne történjen baleset.

A villanyszerelői munka veszélyei gyakran egyszerre jelennek meg: feszültség alatti rész, magasban végzett munka, éghető anyag, rossz szigetelésű szerszám. Ha ezeket módszeresen végiggondolod, a védőeszközöket és a tűzoltó készüléket is helyesen választod ki.

2.2.2. Szemléletes kép: egy rövid kockázatértékelés

Egy lakásfelújítás során a szerelő feladata: új világítási áramkör kiépítése, miközben a lakás többi része feszültség alatt marad. A munka előtti gyors értékelés:

- **Veszélyforrás:** a szomszédos, feszültség alatti áramkörök fedetlen kapcsai.
- **Kockázat:** áramütés vagy rövidzárlat, ha a szerszám hozzáér.
- **Kiküszöbölés:** feszültségmentesítés a munkaterületen.
- **Műszaki védelem:** a szomszédos részek letakarása.
- **Szervezési védelem:** csak oktató felügyeletével dolgozol, a munkateret elkerítik.
- **Egyéni védelem:** védőszemüveg, szigetelt szerszám, megfelelő lábbeli.

Ez a sorrend egyszerre mutatja a megelőzési hierarchiát és a gyakorlati munkavégzés logikáját.

2.2.3. Kockázatértékelés lépései

A jogszabályok a munkáltató feladatává teszik a munkahelyi kockázatok értékelését; a szerelőnek azonban a napi szinten meg kell értenie és alkalmaznia kell ezt a gondolkodást, még akkor is, ha a papírt nem ő tölti ki. A lépések minden munkára alkalmazhatók.

Definíció. A **veszélyforrás** olyan dolog, anyag, berendezés vagy munkahelyzet, amely kárt, sérülést vagy egészségkárosodást okozhat.

Definíció. A **kockázat** annak a valószínűsége és súlyossága együtt, hogy a veszélyforrás ténylegesen kárt okoz.

A kockázatértékelés egyszerű, kézzel is elvégezhető lépései:

1. **Veszélyforrások azonosítása.** Járd körbe gondolatban a munkahelyet: hol van feszültség, hol lehet leesés, éghető anyag, por, éles szél, szűk hely, zaj.
2. **A veszélyeztetettek meghatározása.** Ki lehet a közelben: te, segítő, lakó, járókelő.
3. **Kockázat becslése.** Mennyire valószínű a baleset, és mennyire súlyos következménnyel jár?
4. **Intézkedések meghatározása.** A megelőzési hierarchia szerint válassz védelmet.
5. **Ellenőrzés és nyomon követés.** Működik-e a védelem, nem hozott-e be új kockázatot?

Szabály. A kockázat csökkentésére a következő sorrendet kell alkalmazni, amikor csak lehetséges:

1. **kiküszöbölés** – a veszély megszüntetése, például feszültségmentesítés;
2. **helyettesítés** – veszélyes anyag vagy eljárás cseréje kevésbé veszélyesre;
3. **műszaki védelem** – burkolat, letakarás, védőkapcsoló, szigetelés;
4. **szervezési védelem** – oktatás, munkaengedély, jelölés, munkaidő korlátozása;
5. **egyéni védőeszköz (EVE)** – szemüveg, kesztyű, védősisak, lábbeli.

Az EVE az utolsó védelmi vonal, nem helyettesíti a feszültségmentesítést vagy a letakarást.

Példa. Egy régi elosztóban dolgozol, ahol a betáp nem kapcsolható le. - Kiküszöbölés: a betáp lekapcsolását a hálózati engedélyestől kell kérni (a mérő előtti biztosító plombált); a lekapcsolt állapotban lehet a mérő utáni szakaszolót is beépíteni. Ha ez nem oldható meg, a munkát tanuló nem végezheti; a feszültség közelében végzett munka külön feltételeit lásd Villamos munkavégzés biztonsága: az öt szabály és a munkaengedély. - Műszaki védelem: a lekapcsolt állapotban a

szomszédos, feszültség alatt maradó részeket letakarod. - Szervezési védelem: jogosult oktató felügyeletével dolgozol, munkaterületet jelölsz. - Egyéni védelem: védőszemüveg, munkakesztyű; a szigetelő kesztyű nem helyettesíti a lekapcsolást.

Biztonsági korlát. Hálózati feszültségen önállóan ne dolgozz; a tanműhelyi gyakorlat törpefeszültségen vagy jogosult oktató felügyelete mellett végezhető.

2.2.4. Az egyéni védőeszközök kiválasztása villanyszerelőnek

A védőeszköz akkor jó, ha megfelel a tényleges veszélynek, a viselőjének, és nem akadályozza a biztonságos munkát.

Szabály. Villanyszerelői munkához legalább a következőkről kell dönteni:

- **Fejvédelem:** építkezésen, fej feletti munkahelyen védősisak.
- **Szem- és arcvédelem:** ív, szikra, levágott vezeték, por ellen védőszemüveg vagy arcvédő.
- **Kézvédelem:** mechanikai sérülés ellen munkakesztyű; feszültség közeli munkánál csak a munkafeszültségre bevizsgált, megfelelő osztályú szigetelő kesztyű.
- **Lábbeli:** villanyszerelői környezetben szigetelő talpú, orrbetétes, zárt munkavédő cipő.
- **Ruházat:** szikra- vagy hőálló, testet fedő, nem lógó ruházat; fém ékszert, nyakláncot villamos munka közben ne viselj.
- **Szerszám:** csak szigetelt, hibátlan szerszámmal dolgozz.

Figyelem. A szigetelő kesztyű nem önmagában tesz feszültség alatti munkára alkalmassá. A feszültség alatti munkának külön feltételei vannak, és a kesztyű osztályának meg kell felelnie a munkafeszültségnek. A közönséges mechanikai kesztyű nem villamos védőkesztyű.

Szabvány. A villamos szigetelő kesztyűk osztályát az MSZ EN 60903 adja: a kisfeszültségű munkához a 00 (500 V AC) és a 0 (1000 V AC) osztály használatos; az osztály a kesztyű mandzsettáján lévő címkén és színkódban látható. Használat előtt felfújásos (légpróba) szemrevételezés kötelező, és a kesztyűt időszakosan vizsgáltatni kell **(ellenőrizendő: MSZ EN 60903 aktuális kiadás, időszakos vizsgálat gyakorisága)**.

A munkavédelmi cipőnél a talp szigetelő képessége idővel, kopással csökken; a sérült cipőt le kell cserélni. A védőeszközök használata után mindig meg kell vizsgálni, hogy sértetlenek-e.

2.2.5. Biztonsági és egészségvédelmi jelzések

A veszélyek gyors felismerését és a kötelező magatartást biztonsági jelzések mutatják.

Szabály. A leggyakoribb jelzéstípusok:

- **Tiltó jel:** piros karikás, áthúzott jel, például „Villamos berendezésre vizet ne locsolj!”
- **Kötelező jel:** kék kör, fehér ábrával, például „Védőkesztyű használata kötelező”.
- **Figyelmeztető jel:** sárga háromszög, fekete szegéllyel, például „Villamos feszültség”.
- **Tűzvédelmi jel:** piros négyzet vagy téglalap, fehér ábrával, például tűzoltó készülék helye.
- **Menekülési jel:** zöld téglalap, fehér ábrával, például vészkijárat, menekülési útvonal.

A villanyszerelő munkahelyén a legfontosabb a sárga háromszög „Villamos feszültség” jelzés; ha ezt látod, külön ellenőrizd, hogy a berendezés valóban feszültségmentes-e.

2.2.6. Munkaeszközök biztonsága: létra, állvány, kéziszerszám

A magasban végzett munka gyakori villanyszerelői feladat. A létrát és állványt csak rendeltetésszerűen, sérülésmentes állapotban szabad használni.

Szabály. Létra használata előtt ellenőrizd:

- a létra stabilan áll, nem csúszik;
- a fokozatok és az összekötő elemek épek;
- fém létra tilos villamos munka közelében, mert vezeti az áramot;
- a támasztó létrát a megfelelő szögben, rögzítve kell használni.

Állványzatnál a munkaszint korlátja, a palló teljes szélessége és az állvány rögzítése a legfontosabb. A villanyszerelő gyakran kis szerelődobogót vagy mobillátrát használ; ezeket is ellenőrizni kell, mert egy hibás fokozat súlyos eséshez vezet.

A kéziszerszámoknál a következőket vizsgáld:

- a nyél ne legyen törött, repedt, zsíros;
- a penge, vágóél legyen éles, de a szigetelés ép;
- a szerszám ne legyen kicsorbult, kilazult;
- áramütés-veszélyes helyen ne használj fémmarkolatú, szigeteletlen szerszámot.

A sérült szerszámot jelöld meg, és vedd ki a használatból; ne „még egyszer használom”.

2.2.7. Tűzvédelem: az égés feltételei

A villamos berendezés tüzet okozhat, ha túlmelegszik, zárlat vagy ív keletkezik, éghető anyaggal érintkezik. A tűzoltás megkezdése előtt meg kell érteni az égés feltételeit.

Törvény. Az égéshez egyidejűleg szükséges:

1. **éghető anyag** (szigetelés, fa, műanyag, por),
2. **égést tápláló oxidálószer** (levegő oxigénje),
3. **gyulladási hőmérsékletet biztosító energia** (ív, túlmelegedett ellenállás, szikra).

E három tényező közül elegendő egyet megszüntetni az oltáshoz. A leggyakoribb oltóanyagok az éghető anyagot szigetelik el az oxigéntől, a hőt elvonják, vagy megszakítják az égési láncreakciót.

Szabály. Villamos tűznél **először a berendezést kell feszültségmentesíteni**, ha ez biztonságosan lehetséges. Feszültség alatti kisfeszültségű berendezésre csak arra jelölt, nem vezető oltóanyag (CO_2, a készüléken feltüntetett feszültséghatárig és biztonsági távolságból az ABC por) használható; víz és hab csak feszültségmentesítés után **(ellenőrizendő: a készülék címkéjén szereplő feszültséghatár és távolság, MSZ EN 3-7)**.

2.2.8. Tűzoltó készülékek és villamos tűz oltása

A tűzoltó készülékeket az éghető anyag és a környezet szerint választjuk.

Szabvány. A hordozható tűzoltó készülékek jelölését és vizsgálatát az MSZ EN 3 szabványsorozat adja (CEN); a létesítményi tűzvédelmi követelményeket az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) írja elő **(ellenőrizendő: aktuális OTSZ-rendelet és MSZ EN 3 részek)**.

Összefüggés. A leggyakoribb oltóanyagok és alkalmazhatóságuk:

- **ABC poroltó:** éghető anyagok, folyadékok, gázok, rövid ideig villamos berendezések (de a por szennyezi a berendezést).
- **CO_2 oltó:** villamos berendezések, folyadékok; szűk helyiségben az oxigénhiány miatt ügyelni kell.
- **Vízzel oltó:** feszültség alatti villamos berendezésre tilos; feszültségmentesítés után csak a megfelelő típus használható.
- **Hab oltó:** folyadéktüzek, éghető anyagok; villamos berendezésre feszültség alatt nem szabad.

Példa. Egy kapcsolószekrényben ív keletkezett, és a szekrény műanyag részei füstölnek. - Ha a szekrényt nem lehet lekapcsolni, a feszültség alatti állapotra alkalmas CO_2 oltó használható, a gyártó és a helyi előírások szerint. - Ha a szekrény lekapcsolható, a feszültségmentesítés után az ABC poroltó is használható. - A tűzjelzést mindig meg kell tenni (112), és a területet el kell hagyni, ha az oltás nem biztonságos.

Figyelem. A víz vagy hab feszültség alatti villamos berendezésre oltva áramütést okozhat; ezért villamos tűzhöz csak a készüléken jelölt, arra alkalmas oltóanyag való.

2.2.9. Biztonsági jelzések és tűzvédelmi jelölések a munkahelyen

A tűzoltó készülékek helyét piros tábla jelzi, a menekülési útvonalat zöld. A szerelőnek tudnia kell:

- hol vannak a tűzoltó készülékek,
- hol a riasztó gomb,
- hol a vészkijárat,
- hol van a tűzvédelmi főkapcsoló, és mit jelöl a „Tűzvédelmi főkapcsoló” tábla (a tűzoltóság ezzel teszi feszültségmentessé az épületet) **(ellenőrizendő: OTSZ/TvMI jelölési előírás)**.

Ez különösen fontos akkor, ha a vezérlőszekrény közelében dolgozol, mert a menekülési út nem lehet eltorlaszolva.

2.2.10. A munkaengedély és a tűzvédelmi szabályok kapcsolata

Tűzveszélyes munkát (nyílt láng, hegesztés, köszörülés) csak a helyi tűzvédelmi előírások szerint szabad végezni. Villanyszerelőnél a kábelvágás szikrát hozhat létre, ezért:

- a munkaterületet előre tisztítsd meg éghető anyagtól,
- a parázslás, izzás veszélyét a munka után is figyeld,
- a tűzgátló lezárásokat ne rongáld meg (kábeláttörésnél a tűzgátló habot, tömítést helyre kell állítani).

2.2.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy munkacsoport egy régi lakás elosztócseréjét végezte. A mérőhely közelében a betáp kábel csupasz, feszültség alatti részét fedetlenül hagyták. A szerelő felvette a munkavédelmi kesztyűjét, de az nem volt szigetelő kesztyű. Amikor a kábelhez nyúlt, a keze hozzáért a feszültség alatti részhez; a közönséges kesztyű nem védte meg, és áramütést szenvedett.

A valós tanulság: a balesetet a hiányos kockázatértékelés okozta. A munkaterületet le kellett volna takarni, a munkát feszültségmentesíteni vagy szakaszolóval leválasztani. A kesztyű legfeljebb kiegészítő védelem lehetett volna; feszültség alatti munkára nem jogosít. A munkáltató a baleset után a munkafolyamatot átdolgozta: a betáp előtt szakaszolót építtetett, a munkavégzők pedig oktatást kaptak a betáp lekapcsolásának megrendeléséről és a letakarásról; feszültség alatti munkát (FAM) a csoport nem végez.

Ez az eset mutatja, hogy a védőeszköz kiválasztása csak az utolsó lépés, és soha nem pótolhatja a kiküszöbölést vagy a műszaki védelmet.

2.2.12. Gyakorlati útmutató: egyszerű kockázatértékelés villanyszerelői feladatra

Cél. Egy szerelési feladat előtt meghatározni a szükséges védőintézkedéseket és védőeszközöket.

Eszközök és anyagok. A feladatleírás, kapcsolási rajz, helyszínrajz, zseblámpa, jelölőtábla, védőeszközök.

Biztonsági korlát. Hálózati feszültségű munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet. A gyakorlat tanműhelyi környezetben vagy jogosult oktató felügyeletével végezhető; hálózati feszültségen önállóan ne dolgozz.

Öt biztonsági szabály. Alkalmazd a Villamos munkavégzés biztonsága: az öt szabály és a munkaengedély alfejezet öt szabályát: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

Lépések:

1. **Veszélyforrások felmérése.** Sorold fel: feszültség alatti táp, magasban végzett munka, éghető anyag, por, szűk hely, éles szél.
2. **Veszélyeztetettek.** Írd le, ki lehet a közelben: te, segítő, lakó, járókelő.
3. **Kockázat becslése.** Melyik veszélyből mi történhet? Például: áramütés, leesés, tűz, vágott sérülés.

4. **Megelőzési hierarchia alkalmazása.** Először kiküszöbölés, majd helyettesítés, műszaki, szervezési, EVE.
5. **Tűzvédelmi ellenőrzés.** Van-e éghető anyag, szikrafogó, tűzoltó készülék a közelben?
6. **Döntés a védőeszközökről.** Indokold a választást: miért pont az a kesztyű, szemüveg, cipő, sisak.
7. **Dokumentálás.** Készíts rövid feljegyzést: dátum, hely, feladat, azonosított kockázat, intézkedések, védőeszközök.

Ellenőrzési pontok. A veszélyforrások listája ne legyen üres; minden kockázathoz tartozzon intézkedés; a védőeszköz ne helyettesítse a feszültségmentesítést.

Tipikus hibák. Az EVE-t az első lépésként választani; a tűzveszélyt elhagyni; a munka után nem ellenőrizni az izzást.

Továbbvitt eredmény. A megelőzési hierarchiát Az áram élettani hatásai és az elsősegélynyújtás alfejezet használja az áramütéses esetek megelőzésének értelmezésére, a Kéziszerszámok, gépi szerszámok és a biztonságos használat alfejezet pedig a szerszámok kiválasztásakor alkalmazza. Az égés feltételeit és az oltóanyag-választást ebben az alfejezetben tárgyaltuk; a tűzoltó készülékek kiválasztásának elvét később a Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése alfejezet is alkalmazza a munkakörnyezet biztonsági előkészítésénél.

2.2.13. Tipikus hibák

Hiba 1. A villanyszerelő a védőkesztyűt választja első lépésnek, és feszültség alatt dolgozik.
Helyes gyakorlat. Először a veszélyt kell kiküszöbölni vagy műszakilag megvédeni; a kesztyű csak kiegészítő védelem, ha a feszültség alatti munka feltételei biztosítottak.

Hiba 2. A szerelő a munka végén a kábelvágásból keletkezett szikrát nem ellenőrzi, és a felület izzani kezd.
Helyes gyakorlat. A munkaterületet folyamatosan tisztán kell tartani, és a munka után is ellenőrizni kell a parázslást.

Hiba 3. A szerelő fém létrán dolgozik, mert az éppen kéznél van, és a szigetelt szerszámot elégnek tartja.
Helyes gyakorlat. Villamos munka közelében nem használunk fém létrát; a létra, a szerszám és a munkamódszer együtt ad biztonságot.

Hiba 4. A CO_2 oltót szűk, rosszul szellőző helyiségben használják, és a kezelő oxigénhiányt kap.
Helyes gyakorlat. A tűzoltó készülék kiválasztásánál a környezetet is figyelembe kell venni; szükség esetén a területet el kell hagyni.

2.2.14. Önellenőrzés

1. kérdés. Igaz-e, hogy a kockázat kiküszöbölése mindig lehetséges villanyszerelői munkában? Indokold!
2. kérdés. Feszültség alatti elosztóban melyik a legjobb védekezési sorrend?
3. kérdés. Miért tilos vizet használni feszültség alatti villamos berendezésre?
4. kérdés. Milyen szín jelzi a menekülési útvonalat?
5. kérdés. Milyen tűzoltó készüléket választasz indoklással egy lekapcsolható ipari kapcsolószekrény tüze esetén?
6. kérdés. Mi a hiba abban az állításban, hogy a munka elvégzése után a tűzvédelmi ellenőrzés felesleges?

2.2.15. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a megelőzési hierarchia öt lépését!
2. feladat (A). Írd le, mi az égés három feltétele!
3. feladat (B). Egy szerelő feszültség alatti kábel csupasz részét szeretné megérinteni. Mi a teendője, ha a kiküszöbölés nem lehetséges?
4. feladat (B). Rendezd sorrendbe és indokold: a) védőszemüveg, b) feszültségmentesítés, c) munkaengedély, d) letakarás.
5. feladat (C). Készíts kockázatértékelést egy aljzatcsere feladatra, ha a szomszédos aljzatkör feszültség alatt marad.
6. feladat (D). Válassz tűzoltó készüléket egy lakáselosztó tüze esetén, ha az elosztó lekapcsolható, és indokold a választásodat.

2.2.16. Megoldások

2.2.16.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Nem. A kiküszöbölés a legjobb, de ha nem lehetséges (pl. egy folyamatosan üzemelő berendezés szomszédos, le nem kapcsolható része – ekkor a letakarás és a távolságtartás jön), akkor a hierarchia következő szintjeit kell alkalmazni.

2. Kiküszöbölés, helyettesítés, műszaki, szervezési, egyéni védelem.

3. A víz vezeti az áramot, áramütést okozhat.

4. Zöld, fehér ábrával.

5. A lekapcsolható szekrényt először feszültségmentesítem, majd az oltóanyagot a berendezéshez és a környezethez választom: például CO_2, mert nem károsítja a villamos berendezést, de szűk helyen az oxigénhiányra ügyelek.

6. A tűzvédelmi ellenőrzésre a munka után is szükség van, mert a szikra, izzás, parázslás késleltetve is tüzet okozhat.

1. feladat. Kiküszöbölés, helyettesítés, műszaki védelem, szervezési védelem, egyéni védőeszköz. Ez a sorrend a hivatalos megelőzési hierarchia.

2. feladat. Éghető anyag, oxidálószer (levegő oxigénje), gyulladási hőmérsékletet biztosító energia. Mindháromnak egyszerre kell jelen lennie.

3. feladat. A csupasz, feszültség alatti részt nem érintheted meg. A helyes lépés a kiküszöbölés megszervezése: a lekapcsolás kérése (a mérő előtti szakasznál a hálózati engedélyestől), addig a munkaterület elkerítése és a feszültség alatti rész letakarása (csak arra jogosult személy által). Ha a lekapcsolás nem oldható meg, a munkát a szerelő nem végezheti el; feszültség alatti munkát (FAM) kizárólag erre külön kiképzett, kijelölt személy végezhet külön engedéllyel és technológiai utasítással (MSZ EN 50110-1, MSZ 1585 **(ellenőrizendő)**), ez nem a tanuló vagy az általános szerelő munkája. A közönséges kesztyű semmilyen esetben nem elegendő.

4. feladat. A hierarchia szerinti erősségi sorrend: b) feszültségmentesítés (kiküszöbölés), d) letakarás (műszaki védelem), c) munkaengedély (szervezési védelem), a) védőszemüveg (EVE). Időrendben a munkaengedély kiadása megelőzi a munkát, de védelmi erejét tekintve a műszaki védelem után áll.

5. feladat. Példamegoldás:

- Veszélyforrás: feszültség alatti szomszédos aljzatkör, fedetlen kapcsok.
- Veszélyeztetettek: szerelő, lakó.
- Kockázat: áramütés, rövidzárlat.
- Intézkedések: a munkaterület feszültségmentesítése és biztosítása; a szomszédos feszültség alatti részek letakarása; szigetelt szerszám; védőszemüveg; oktatói felügyelet; munkaterület elkerítése.
- Ellenőrzés: feszültségmentesség mérése, a letakarás rögzítése, a munkavégzés előtti ismételt ellenőrzés.

6. feladat. Ha az elosztó lekapcsolható, először feszültségmentesítem. Utána a tűz jellegétől függően ABC poroltó vagy CO_2 oltó használható. A CO_2 nem hagy maradványt a villamos berendezésen, ezért előnyös; ABC poroltó esetén a por szennyezi az elosztót, de hatékony égő anyagra. A szűk helyen CO_2-nél az oxigénhiányra kell ügyelni.

2.2.17. Rövid összefoglaló

A kockázatértékelés lépései: veszélyforrások azonosítása, veszélyeztetettek meghatározása, kockázatbecslés, intézkedések, ellenőrzés. A kockázat csökkentésére a megelőzési hierarchia érvényes: kiküszöbölés, helyettesítés, műszaki védelem, szervezési védelem, egyéni védőeszköz. Az EVE az utolsó védelmi vonal; villanyszerelőnek szigetelt szerszám, védőszemüveg vagy arcvédő, megfelelő kesztyű és lábbeli kell, de a kesztyű önmagában nem tesz alkalmassá feszültség alatti munkára. A biztonsági jelzések a tiltó, kötelező, figyelmeztető, tűzvédelmi és menekülési jelekkel segítik a veszély felismerését; a létra, állvány és kéziszerszámok használata előtt sérülésmentességi ellenőrzés szükséges. Tűz csak éghető anyag, oxidálószer és gyulladási energia együttes jelenlétében keletkezik; az oltás ezek elválasztásával érhető el. Villamos tűznél először feszültségmentesíts, ha lehet; feszültség alatti berendezésre víz vagy hab nem alkalmas, a célra jelölt, CO_2 vagy ABC poroltó használható a környezet figyelembevételével. A tűzjelzést mindig meg kell tenni, és a menekülési útvonalat szabadon kell hagyni. A megelőzési hierarchiát az Az áram élettani hatásai és az elsősegélynyújtás és a Kéziszerszámok, gépi szerszámok és a biztonságos használat alfejezet viszi tovább.

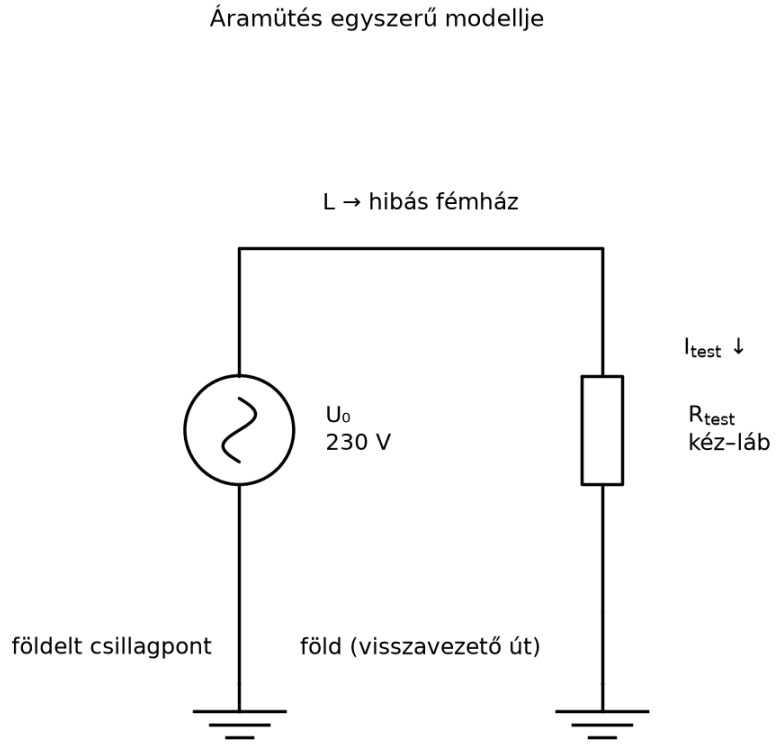
2.3. Az áram élettani hatásai és az elsősegélynyújtás

2.3.1. Motiváció

Villanyszerelőként gyakran dolgozol olyan közelben, ahol egy rossz mozdulat, egy hibás szigetelés vagy egy elmaradt feszültségmentesítés áramütéshez vezethet. Az áramütés nemcsak a sérültnek, hanem a segíteni akaró kollégának is életveszélyes, ha rossz sorrendben nyúl a helyzethez. Ebben az alfejezetben megtanulod, hogy mit okoz az emberi testben a villamos áram, miért éppen az áram és az idő együttese a döntő, és hogyan kell helyesen, biztonságosan elsősegélyt nyújtani áramütött személynek. Ez a tudás a munkahelyi biztonság és a emberi élet védelme miatt is kiemelt fontosságú.

2.3.2. Szemléletes kép: a test mint ellenállás

Az áramütés legegyszerűbb modellje egy villamos kör: a hálózati feszültségforrás, a testen átfolyó áram, valamint a test és a föld felé vezető út ellenállása. Ha a kezeddel megérinted a feszültség alatti, hibás fémburkolatú készüléket, és a lábad a földön van, akkor az áram a kéz–törzs–láb útvonalon folyik keresztül.



2.3. ábra. Áramütés egyszerű modellje - Hibás készülék: a fázisfeszültség (U_0 = 230 V) a fémházon jelenik meg; az áram a kéz–törzs–láb úton (R_{test}) a földön át záródik a forrás földelt csillagpontjához. A föld visszavezető útjának ellenállását a modell elhanyagolja.

A képen a forrás fázis felőli sarka a hibás fémházon és a testen (R_{test}) át, a másik, földelt sarka a földön át csatlakozik: a kör a testen keresztül záródik. A testen átfolyó áramot az Ohm-törvény

adja meg:

$$I_{\text{test}} = \frac{U_{\text{érintés}}}{R_{\text{test}}},$$

ahol $U_{\text{érintés}}$ a testen megjelenő érintési feszültség, R_{test} pedig az emberi test eredő ellenállása.

Definíció. Az **érintési feszültség** az a feszültség, amely az érinthető vezetőképes részek és a föld (vagy egyidejűleg érinthető más vezetőképes rész) között jelenhet meg, és amely hatására a testen áram folyhat át.

Megjegyzés. A test ellenállása nem állandó. A száraz, ép bőr ellenállása nagy, jellemzően 10–100 kΩ nagyságrendű, a nedves, izzadt vagy sérült bőr ellenállása viszont 1 kΩ alá is csökkenhet. A bőr alatti szövetek ellenállása már csak néhány száz ohm, ezért a bőrréteg az elsődleges védő ellenállás. Magasabb feszültség esetén a bőr átütődik, és az ellenállás lecsökken.

2.3.3. Az emberi test ellenállása és az áramhatások

Példa. Két kézzel számolható alapeset mutatja meg, miért veszélyes a 230 V-os hálózat.

Számítás. Száraz bőrrel, $U_{\text{érintés}} = 230\,\text{V}$, $R_{\text{test}} = 100\,\text{k}\Omega$:

$$I_{\text{test}} = \frac{230\,\text{V}}{100\,000\,\Omega} = 0{,}0023\,\text{A} = 2{,}3\,\text{mA}.$$

Ez a 2,3 mA körüli áram már érzékelhető, bizsergést, enyhe izomösszehúzódást okoz, de általában még nem önállóan életveszélyes.

Számítás. Ugyanaz a feszültség nedves, izzadt kézzel, $R_{\text{test}} = 1\,\text{k}\Omega$ esetén:

$$I_{\text{test}} = \frac{230\,\text{V}}{1000\,\Omega} = 0{,}23\,\text{A} = 230\,\text{mA}.$$

Ez már súlyosan károsító tartomány. Az áram izomgörcsöt, légzésbénulást és szívkamra-fibrillációt okozhat, különösen ha az áramütés időtartama meghaladja a néhány száz ezredmásodpercet.

Összefüggés. Az emberi testen átfolyó áram hatása nem csupán az áram nagyságától függ, hanem az áramütés időtartamától, az áram útjától, a frekvenciától és a test egyéni adottságaitól is. A villamos biztonságban ezért az **áram–idő tartományokat** használjuk.

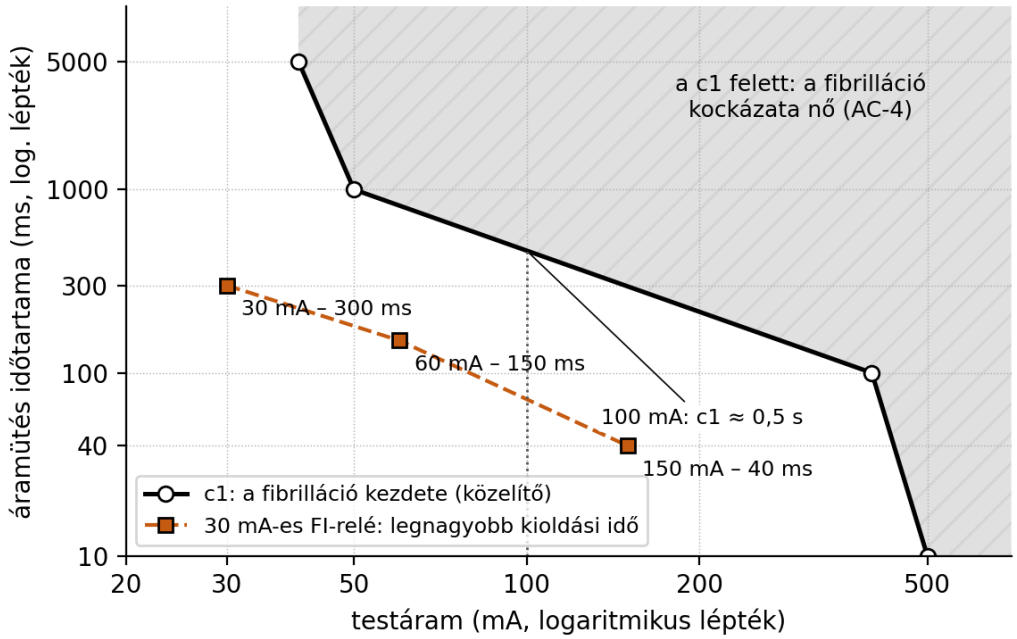
Szabály. A váltakozó áramú, 50 Hz-es áramütésnél a tipikus hatások nagyságrendje:

- kb. 0,5 mA alatt: érzékelési küszöb, enyhe bizsergés;
- kb. 5–10 mA: fájdalmas izomösszehúzódás, a kéz szorító görcse; az elengedési határ környéke;
- kb. 20–30 mA: légzőizmok görcse, légzési nehézség;
- kb. 50 mA felett, különösen 1 s-nál hosszabb áramütésnél: szívkamra-fibrilláció veszélye;
- nagy áramoknál (több száz mA) és erős ív esetén: súlyos égés, szövetkárosodás, szívleállás.

Ezek a számok irányszámok, a pontos élettani határokat az IEC 60479 jellegű műszaki dokumentumok és a hatályos szabványok tartalmazzák **(ellenőrizendő: aktuális IEC 60479 kiadás)**.

Törvény. Az áramütéses kockázat szempontjából a döntő mennyiség nem önmagában a feszültség, hanem a testen átfolyó áram és az áramütés időtartamának együttese. Ezért használ a hibavédelem kioldási időket és áram-korlátozó eszközöket.

Az alábbi ábra a szívkamra-fibrilláció kezdetét jelző áram–idő határgörbét (az IEC 60479-1 c1 görbéjének közelítő pontjait: kb. 500 mA – 10 ms, 400 mA – 100 ms, 50 mA – 1 s, 40 mA – 5 s; ellenőrizendő: IEC 60479-1 / MSZ IEC 60479-1) és mellette a 30 mA-es áram-védőkapcsoló (FI-relé) legnagyobb megengedett kioldási idejeit mutatja: minél nagyobb az áram, annál rövidebb idő alatt válik életveszélyessé.



2.4. ábra. A szívkamra-fibrilláció kezdetét jelző c1 határgörbe (közelítő, ellenőrizendő: IEC 60479-1) és a 30 mA-es FI-relé legnagyobb kioldási idejei (ellenőrizendő: MSZ EN 61008-1), logaritmikus léptékben

A grafikon jól mutatja: a 30 mA-es FI-relé kioldási pontjai (30 mA – 300 ms, 150 mA – 40 ms) mind a c1 görbe alatt maradnak, vagyis a relé előbb kapcsol le, mint ahogy az adott áram fibrillációt okozhatna. Kis áramnál (40–50 mA) már a néhány száz ms – 1 s-os áramütés is a veszélyes tartomány határán van, nagy áramnál (400–500 mA) a 10–100 ms is. A védekezésben ezért nem elég az áramot korlátozni, az időt is rövidre kell szabni.

2.3.4. Áram–idő zónák és a védelem logikája

A műszaki irodalom az áramütés hatásait zónákba sorolja. Az IEC 60479 szerint a leggyakrabban használt zónák a következők (a pontos görbéket és elnevezéseket a hatályos kiadás szerint ellenőrizni kell):

- **AC-1:** áramérzet, nincs káros élettani hatás.
- **AC-2:** izomösszehúzódás, fájdalom, de még nincs fibrilláció.

- **AC-3:** izomgörcs, légzési nehézség, a szívműködés visszafordítható zavarai; kamrafibrilláció általában még nem várható.
- **AC-4** (a c1 görbe felett): kamrafibrilláció lehetséges, valószínűsége az árammal és az idővel nő; súlyos égés, szív- és légzésleállás. **(ellenőrizendő: IEC 60479-1 aktuális kiadás)**

Továbbvitt eredmény. Ez az áram–idő szemlélet adja az alapot a Villamos munkavégzés biztonsága: az öt szabály és a munkaengedély és az Alapvédelem, hibavédelem, kiegészítő védelem alfejezetek kioldási időihez és a 30 mA-es áram-védőkapcsoló (FI-relé) alkalmazásához. A FI-relé azért fontos, mert a hibaáramot gyorsan lekapcsolja, így az áramütés időtartama a fibrillációs határhoz tartozó idő alatt marad. A testáram nagyságát a készülék nem csökkenti, azt az érintési feszültség és a testellenállás határozza meg. Ez nem jelent teljes védelmet, de a kockázatot erősen csökkenti.

2.3.5. Kidolgozott példák

Példa 1. Egy szerelő izzadt kézzel megfog egy hibás, 230 V-os fémburkolatú kéziszerszámot. A test ellenállása 800 Ω. Mekkora áram folyik át rajta?

Számítás.

$$I_{\text{test}} = \frac{230\,\text{V}}{800\,\Omega} = 0{,}2875\,\text{A} \approx 288\,\text{mA}.$$

Ez az áram a fibrilláció szempontjából rendkívül veszélyes, mert már néhány száz ezredmásodperc alatt is súlyos szívritmuszavart okozhat. Ellenőrzésképpen: egy 30 mA-es FI-relé a 288 mA-es hibaáramot ($\approx 10 \cdot I_{\Delta n}$) legfeljebb kb. 40 ms alatt lekapcsolná (a késleltetés nélküli típusra már az $5 \cdot I_{\Delta n}$ vizsgálóáramnál 40 ms a határ) **(ellenőrizendő: MSZ EN 61008-1)**, így az áramütés időtartama jóval a c1 görbéhez tartozó idő alatt maradna.

Példa 2. Egy hibavédelmi rendszerben a testzárlatos készülék érinthető fémrészén 50 V érintési feszültség jelenik meg. A test ellenállása 1 kΩ. Mekkora a testáram, és miért éppen 50 V körül húzzák meg a tartós érintési feszültség határát?

Számítás.

$$I_{\text{test}} = \frac{50\,\text{V}}{1000\,\Omega} = 0{,}05\,\text{A} = 50\,\text{mA}.$$

Az 50 mA a fibrillációs tartomány alsó széle – ez az 1 kΩ-os, kedvezőtlen (nedves bőr, nagy érintkezési felület) esetre jön ki. Tipikus száraz körülmények között 50 V-on a test impedanciája ennél jóval nagyobb, a testáram kisebb; a kedvezőtlen esetre ezért szigorúbb, 25 V-os határt alkalmaznak nedves és építési környezetben, a többi esetben pedig a kioldási idő korlátozása adja a biztonságot **(ellenőrizendő: IEC 60479-1 testimpedancia-táblázat, MSZ HD 60364-4-41)**.

Hibás példa. Sokan azt gondolják, hogy a 30 mA-es FI-relé „teljesen megvédi” az embert. Valójában a 30 mA már fájdalmas izomösszehúzódást okozhat, gyermekeknél vagy szívbetegeknél pedig alacsonyabb áram is veszélyes lehet. A FI-relé nem a feszültség ellen véd, hanem a hibaáramot szakítja meg; a legjobb védelem a feszültségmentesítés, a hibás készülék javítása és a megfelelő védőfelszerelés.

2.3.6. Szabványi háttér és határértékek

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések hibavédelmére vonatkozó MSZ HD 60364-4-41 (vagy annak aktuális kiadása) írja elő az érintési feszültség határértékeit és a védőeszközök kioldási időit. Az élettani határokat az IEC 60479 tartalmazza. A gyakorlatban ezeket az értékeket a mindenkori hatályos szabvány és a nemzeti előírások szerint kell ellenőrizni.

Megjegyzés. A tartós érintési feszültség határértéke Magyarországon a kisfeszültségű hálózatokon jellemzően 50 V váltakozó feszültség, nedves vagy építési környezetben ennél alacsonyabb, például 25 V váltakozó feszültség lehet **(ellenőrizendő: aktuális MSZ HD 60364-4-41 és a vonatkozó magyar előírások)**. A törpefeszültségű, védőelválasztott rendszerek (SELV/PELV) célja éppen az, hogy a feszültség olyan alacsony maradjon, hogy még közvetlen érintés esetén se alakuljon ki veszélyes testáram.

2.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Esettanulmány: hajszárító a fürdőszobában

Egy lakásban a fürdőszobai aljzatkörön nem volt áram-védőkapcsoló, a régi hajszárító vezetékének szigetelése pedig a ház bevezetésénél megsérült. A használó nedves kézzel a sérült vezetékrészt fogta meg, és a hajszárító vízcseppes környezetben testzárlatossá vált. A testen átfolyó áram a 230 V és a nedves bőr miatt 200 mA feletti értékűre is emelkedhetett. A sérült a hajszárítót nem tudta elengedni, mert az izmai görcsbe rándultak. A családtag szerencsére nem érintette meg puszta kézzel, hanem először a fürdőszobai áramkör kismegszakítóját kapcsolta le, majd mentőt hívott. A sérült eszméletlen volt, légzése rendszertelen, ezért a mentő érkezéséig a 112 diszpécser utasításai alapján mellkasi nyomásokat kezdtek. A helyszínre érkező mentők AED-et alkalmaztak, és a sérültet kórházba szállították.

Tanulságok:

1. A fürdőszobai és nedves helyiségi áramköröknél a FI-relé és a megfelelő védettségű szerelvény nem kényelmi kérdés, hanem életvédelmi követelmény.
2. A mentés első lépése mindig a feszültségmentesítés vagy a biztonságos távolságtartás, nem a sérült közvetlen megfogása.
3. Az áramütött személy akkor is orvosi vizsgálatra szorul, ha magához tér, mert a szívritmuszavar később is kialakulhat.

2.3.8. Gyakorlati útmutató: elsősegély áramütéses balesetnél

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezz munkát. Elsősegélyt bárki nyújthat, de a saját biztonságod az első.

Eljárás: mentési sorrend áramütéses balesetnél

1. **Saját biztonság.** Ne érj a sérülthöz, amíg az áramkört meg nem szakítottad, vagy amíg a sérült feszültség alatti részhez ér. Villamos ív, sérült kábel vagy nedves környezet veszélyét előbb mérd fel.
2. **Feszültségmentesítés.** Kapcsold le az áramkört a legközelebbi kapcsolóval, kismegszakítóval, dugasz kihúzásával. Ha ezt nem lehet megtenni, száraz, szigetelt nyelű eszközzel távolítsd el a vezetéket a sérülttől; nagyfeszültségű berendezésnél tarts nagy távolságot, és várd a szakszemélyzetet.

3. **Állapotfelmérés.** Ha a helyszín biztonságos, vizsgáld meg, reagál-e a sérült, és lélegzik-e normálisan (legfeljebb 10 s). Ne mozgasd feleslegesen, különösen gerincsérülés gyanúja esetén.
4. **Hívás.** Hívd a 112-es egységes segélyhívó számot. Mondd el: áramütés történt, a pontos helyszínt, a sérült állapotát (eszméletlen-e, lélegzik-e), és hogy a feszültségmentesítés megtörtént-e. Ha van segítő, ő már a feszültségmentesítés után hívjon, és hozza az AED-t **(ellenőrizendő: hatályos ERC/OMSZ elsősegély-ajánlás)**.
5. **BLS (alap újraélesztés).** Ha a sérült nem lélegzik normálisan, kezdd meg a mellkasi nyomásokat: 30 nyomás, majd 2 befúvás, percenként 100–120 nyomás ütemben.
6. **AED.** Ha elérhető félautomata defibrillátor, kapcsold be, kövesd a hangutasításokat. A készülék elemzése alatt és sokkoláskor ne érjen senki a sérülthez.
7. **További ellátás.** Az égési sérüléseket hűtsd tiszta, hideg vízzel, fedd steril vagy tiszta lappal; ne kenj rá semmit. A sokkos sérültet fektesd, tartsd melegen, és figyeld a légzését.
8. **Dokumentálás.** A balesetet, a megtett intézkedéseket és a helyszíni körülményeket a munkahelyi baleseti jegyzőkönyvben rögzítsd, a munkáltatót és a hatósági előírásokat betartva.

Ellenőrzési pontok a mentés közben:

- Megszűnt-e a feszültség? (Véletlen visszakapcsolás ellen biztosítsd a kapcsolót, ha lehetséges.)
- Hívás megtörtént-e? A 112 diszpécser utasításait mindig kövesd.
- Légzésvizsgálat 10 másodpercen belül megtörtént-e?
- AED használatakor a mellkas száraz-e, és senki nem ér a sérülthöz?

2.3.9. Tipikus hibák

1. **A sérültet puszta kézzel megragadni.** Ha a sérült még hozzáér a feszültség alatti részhez, a mentő is az áramkör részévé válhat. Helyes: először feszültségmentesíteni vagy szigetelt eszközzel eltávolítani a vezetéket.
2. **Nem hívni mentőt, mert a sérült „csak megszédült”.** Az áramütés után később is kialakulhat szívritmuszavar vagy belső sérülés. Helyes: bármilyen erős áramütés után orvosi vizsgálatot kérni.
3. **A FI-relé kioldása után azonnal visszakapcsolni.** Ha a hiba oka fennáll, a visszakapcsolás újabb áramütést okozhat. Helyes: előbb a hibát feltárni és megszüntetni, majd szabványossági ellenőrzés után visszakapcsolni.
4. **Nedves vagy gyúlékony környezetben vizet használni mentéshez.** A víz vezeti az áramot, növeli a baleseti kockázatot. Helyes: száraz, szigetelt eszközökkel dolgozni, és a környezetet is figyelembe venni.
5. **Az AED használatakor nem tartani távol a sérültet.** A defibrillátor elemzése és a sokk leadása közben minden érintő személy sérülhet. Helyes: hangos figyelmeztetés, majd mindenki eltávolodik.

2.3.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e: a testen átfolyó áram nagysága kizárólag az érintési feszültségtől függ? Indokold.
2. Mekkora testáram folyik 50 V érintési feszültség és 2 kΩ testellenállás esetén? Melyik zónába esik?
3. Miért fontos az áramütés időtartama, nemcsak az áram nagysága?
4. Sorold fel az elsősegély első három lépését áramütésnél.

5. Mi a fő különbség a FI-relé 30 mA-es kioldási értéke és a szívkamra-fibrillációt okozó áram tartománya között?

2.3.11. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg, mit jelent az érintési feszültség, és miért nem állandó az emberi test ellenállása.

2. feladat (A). Számítsd ki a testáramot, ha $U_{\text{érintés}} = 230\,\text{V}$ és $R_{\text{test}} = 50\,\text{k}\Omega$ (száraz bőr). Állapítsd meg, hogy ez a tartomány érzékelhető-e.

3. feladat (B). Egy testzárlatos készülék fémburkolatán 120 V érintési feszültség jelenik meg. A test ellenállása 1,2 kΩ. Mekkora a testáram? Hova sorolódik ez az áram a fibrillációs kockázat szerint?

4. feladat (B). Nézd meg a fibrillációs áram–idő ábrát, és becsüld meg: 100 mA-es testáram esetén körülbelül hány másodperc alatt válik valószínűvé a fibrilláció? Hasonlítsd össze a 30 mA-es FI-relé védelmével.

5. feladat (C). Egy munkahelyi balesetben a sérült a hálózati feszültség alatti vezetéket fogja, és nem tudja elengedni. A kolléga először megpróbálja puszta kézzel lehúzni. Mi a hiba? Írd le a helyes mentési sorrendet.

6. feladat (D). Tanműhelyi szimulációban játsszátok el a mentést: egy gyakorló bábu „áramütött”, eszméletlen, nem lélegzik. Mutasd be a lépéseket a feszültségmentesítéstől a BLS megkezdéséig, és nevezd meg, mit ellenőriznél a 112 hívásakor.

2.3.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A testáram az érintési feszültség és a test ellenállásának hányadosa; a testellenállás függ a bőr állapotától, nedvességtől, érintkezési felülettől és az áram útjától.
2. $I = 50\,\text{V}/2\,\text{k}\Omega = 0{,}025\,\text{A} = 25\,\text{mA}$. Ez a 20–30 mA körüli tartomány, ahol légzési nehézség és izomgörcs léphet fel, de a fibrilláció még nem minden esetben valószínű. Rövid áramütésnél az AC-2 zónába esik (izomösszehúzódás, fájdalom, fibrilláció még nem); hosszabb (néhány száz ms-nál hosszabb) áramütésnél az AC-3 zónába kerül: izomgörcs, légzési nehézség, visszafordítható szívritmuszavar lehetséges. A c1 fibrillációs határt (kb. 40 mA alatt) tartós áramütés sem éri el, de egyéni érzékenységnél és kedvezőtlen áramútnál a kockázat nem nulla – ezért kell a kioldási időt korlátozni **(ellenőrizendő: IEC 60479-1, b és c1 görbe)**.
3. A rövid idejű, kis áramú hatás kevésbé veszélyes. Ugyanaz az áram hosszabb idő alatt a szív érzékeny fázisában fibrillációt okozhat. A védelem ezért a kioldási időt is korlátozza.
4. Első lépés: saját biztonság. Második: feszültségmentesítés vagy a sérült eltávolítása a feszültség alól szigetelt eszközzel. Harmadik: állapotfelmérés (reagál-e, lélegzik-e). Negyedik: 112 hívása (segítő jelenlétében ő már a feszültségmentesítés után hívjon).
5. A 30 mA az FI-relé névleges hibaárama, a fibrillációt többnyire 50 mA feletti áram okoz, de az egyéni érzékenység és az idő miatt a 30 mA sem „nulla kockázatú”. A 30 mA-es FI-relé nem csökkenti a testáramot, de a hibaáramot rövid idő alatt megszakítja, így az áramütés időtartama a fibrillációs határhoz tartozó idő alatt marad; a kapcsoló nem helyettesíti a feszültségmentesítést.

1. feladat megoldása. Az érintési feszültség az érinthető vezetőképes részek és a föld közötti potenciálkülönbség. A testellenállás a bőr ellenállásától függ: száraz bőrnél nagy, nedvesnél kicsi; a bőr átütésekor lecsökken.

2. feladat megoldása.

$$I_{\text{test}} = \frac{230\,\text{V}}{50\,000\,\Omega} = 0{,}0046\,\text{A} = 4{,}6\,\text{mA}.$$

Ez a 0,5 mA érzékelési küszöb felett van, már fájdalmas bizsergés, de a fibrilláció tartománya alatt marad. Ellenőrzés: a testellenállás 50 kΩ, így az áram a 230/50 000 = 4,6 mA, nagyságrendileg helyes.

3. feladat megoldása.

$$I_{\text{test}} = \frac{120\,\text{V}}{1200\,\Omega} = 0{,}1\,\text{A} = 100\,\text{mA}.$$

100 mA a fibrillációs kockázat szempontjából már veszélyes: a c1 görbe szerint kb. 0,5 s-nál hosszabb áramütésnél kamrafibrilláció léphet fel (lásd a 4. feladatot), rövidebb idő alatt is súlyos izomgörcs és légzési nehézség lehet. Ezért a 120 V érintési feszültség jóval a tartós érintési feszültség határ felett van.

4. feladat megoldása. A grafikon c1 görbéje 100 mA-nél nagyjából 0,5 s-nál halad (a két szomszédos pont: 400 mA – 100 ms és 50 mA – 1 s; a pontos érték a szabvány görbéjéről olvasandó le), vagyis 100 mA-es testáramnál már kb. fél másodperces áramütés is fibrillációt okozhat. A 30 mA-es FI-relé nem csökkenti a testáramot – a 100 mA marad –, de 30 mA-nél nagyobb hibaáramnál kiold, és a kört rövid idő alatt lekapcsolja ($5 \cdot \text{I}\Delta\text{n} = 150$ mA hibaáramnál a szabvány szerinti legnagyobb kioldási idő 40 ms nagyságrendű; **ellenőrizendő: MSZ EN 61008-1 táblázata**, illetve a gyártói adat). Így az áram–idő pont a fibrillációs görbe alá kerül.

5. feladat megoldása. A puszta kézzel való lehúzás hibás, mert a kolléga is az áramkör részévé válik, és ő is áramütést szenvedhet. A helyes sorrend: 1. saját biztonság; 2. feszültségmentesítés vagy szigetelt eszközzel eltávolítás; 3. állapotfelmérés; 4. 112 hívás; 5. szükség esetén BLS; 6. AED használat, ha van; 7. további ellátás; 8. dokumentálás.

6. feladat megoldása. A szimulációban a lépések: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás (például a kapcsoló leragasztása, kitáblázás), feszültségmentesség ellenőrzése, a bábu megközelítése, eszmélet vizsgálat, légzés vizsgálat, 112 hívás (segítő jelenlétében ő már korábban, a feszültségmentesítés után hív), BLS: 30 mellkasi nyomás, 2 befúvás, 100–120/perc ütem. A hívásnál elmondandó: áramütés történt, helyszín, a sérült eszméletlen, nem lélegzik, a feszültségmentesítés megtörtént.

2.3.13. Rövid összefoglaló

Az áramütés veszélyét a testen átfolyó áram és az áramütés időtartama együtt határozza meg. A test ellenállása a bőr állapotától függően 1 kΩ alattitól 100 kΩ felettiig terjedhet, ezért ugyanaz a 230 V-os érintési feszültség néhány mA-től több száz mA testáramot is létrehozhat. A tipikus hatástartományok: 0,5 mA érzékelés, 5–10 mA elengedési nehézség, 20–30 mA légzési problémák, 50 mA felett szívkamra-fibrilláció. Az IEC 60479 és az MSZ HD 60364-4-41 szerinti áram–idő zónák és érintési feszültség határértékek indokolják a hibavédelmi kioldási időket és a 30 mA-es FI-relék alkalmazását **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadások)**. Az elsősegély sorrendje: saját biztonság, feszültségmentesítés, 112 hívás, állapotfelmérés, szükség esetén BLS, AED, égési sérülések ellátása, dokumentálás. **Továbbvitt eredmény:** az áram–idő határok alapozzák

meg a Villamos munkavégzés biztonsága: az öt szabály és a munkaengedély és az Alapvédelem, hibavédelem, kiegészítő védelem alfejezetekben tárgyalt kioldási időket és védelmi filozófiát.

2.4. Villamos munkavégzés biztonsága: az öt szabály és a munkaengedély

A megelőző alfejezetben megismerted az áram élettani hatásait. Láthattuk, hogy a hálózati feszültség (230/400 V) nem csupán kellemetlen, hanem közvetlen életveszélyt jelent. Most ezt a tudást ültetjük át a mindennapi szerelői gyakorlatba. Amikor egy villanyszerelő egy kismegszakítót cserél, egy régi alumínium bekötést javít, vagy egy motor kapocsdobozában dolgozik, az első gondolata nem az, hogy „merre húzom be a kábelt?”, hanem az, hogy „hogyan teszem ezt feszültségmentessé?”. Az áramütéses balesetek legnagyobb része a rutinmunka közben, figyelmetlenségből vagy rossz munkamódszerből következik be. Ebben az alfejezetben a legalapvetőbb és legfontosabb szerelői „szertartást” tanuljuk meg: a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát, valamint a munkavégzés jogszabályi és szervezeti kereteit.

2.4.1. Szemléletes kép: egy egyszerű munka kezdete

Képzeljük el a következő helyzetet: egy lakáselosztóban ki kell cserélnünk egy hibás FI-relét (áram-védőkapcsolót) vagy kismegszakítót. Megérkezünk a helyszínre. A fogyasztó azt mondja: „nyugodtan dolgozzon, lekapcsoltam a villanyóránál”. Mit teszünk?

A hibás, felelőtlen szerelő ilyenkor kinyitja az elosztó fedelét, és a szigetelés nélküli csavarhúzóval vagy egy fogóval nekiáll a csavaroknak. Mi azonban tudjuk, hogy az elosztóban lehetnek feszültség alatt álló csupasz rézvezetők. Nem érjünk semmihez addig, amíg a saját érzékszerveinkkel és műszerünkkel meg nem győződtünk arról, hogy a munkavégzés helye ténylegesen feszültségmentes. Ehhez nyújt világos, kötelezően betartandó eljárási rendet az **öt biztonsági szabály**.

2.4.2. Az öt biztonsági szabály

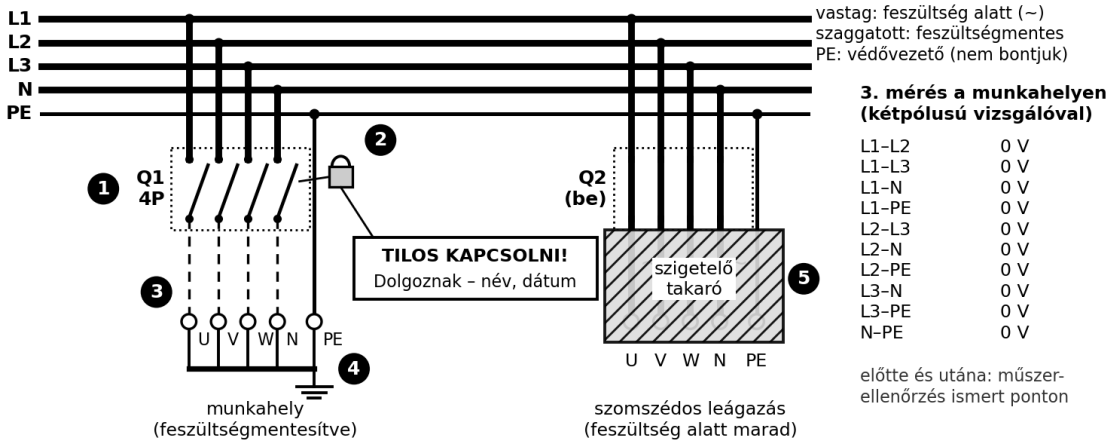
Definíció. A feszültségmentes munkavégzés (isolation) olyan munkavégzés, amelynek során a villamos berendezés aktív részei feszültségmentesek, és ezt az állapotot a munkavégzés teljes időtartamára biztosítják. A feszültségmentesítés az alábbi öt biztonsági szabály szigorú sorrendben történő végrehajtását jelenti.

Szabvány. Az öt biztonsági szabály európai szinten egységes, és a villamos berendezések üzemeltetéséről szóló MSZ EN 50110-1 európai szabvány és az azt kiegészítő hazai MSZ 1585 (Villamos berendezések üzemeltetése) írja elő a munkamódszer alapjaként. A magyar gyakorlatban ezt a sorrendet minden villamos szakembernek kötelezően ismernie és alkalmaznia kell. **(ellenőrizendő: mindkét szabvány hatályos kiadása és viszonya)**.

Eljárás: A feszültségmentesítés lépéssora 1. **Teljes lekapcsolás (Minden pólus leválasztása)** 2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás (Zárolás-jelölés, LOTO)** 3. **Feszültségmentesség ellenőrzése (Kétpólusú vizsgálóval)** 4. **Földelés és rövidre zárás (Ha előírt)** 5. **Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése (Letakarás)**

Az alábbi ábra az öt szabályt egy elosztó háromfázisú leágazásán mutatja. A gyűjtősínről (L1, L2, L3, N, PE) a munkahely felé a Q1 4 pólusú leválasztó visz; mellette a Q2 leágazás feszültség alatt marad. A számok a lépéseket jelölik: (1) a Q1 minden aktív vezetőt bont, a PE folytonos marad; (2) lakat és „Tilos kapcsolni!” tábla a Q1-en; (3) a feszültségmentesség ellenőrzése mind a 10 pontpáron (L1–L2, L1–L3, L1–N, L1–PE, L2–L3, L2–N, L2–PE, L3–N, L3–PE, N–PE; mindenhol 0 V), előtte és utána a műszer ellenőrzésével ismert feszültségű ponton; (4) földelő-rövidrezáró a

munkahely kapcsain; (5) a szomszédos Q2 ág letakarása. A HTML-kiadás interaktív változatában a lépések egyenként lejátszhatók, és egy „hibás sorrend” mód megmutatja, miért érvénytelen a zárolás előtt végzett mérés, ha valaki közben visszakapcsol.



2.5. ábra. Az öt biztonsági szabály egy háromfázisú leágazáson: leválasztás (1), zárolás és tábla (2), mérés tíz pontpáron (3), földelés és rövidre zárás (4), a szomszédos ág letakarása (5)

Nézzük meg részletesen az egyes lépéseket, a hozzájuk tartozó szakmai indoklással együtt.

2.4.2.1. 1. Lekapcsolás (minden pólus leválasztása)

A berendezésnek a hálózatról való leválasztását úgy kell elvégezni, hogy a leválasztási pont (például egy kapcsoló, leválasztó szakaszoló, vagy biztosíték eltávolítása) minden pólust leválasszon. Nem elég a fázist lekapcsolni, a nullavezetőt is le kell választani, ahol a leválasztó készülék ezt lehetővé teszi, mert hálózati aszimmetria esetén a nullavezetőn is lehet veszélyes feszültség. A védővezetőt (PE) soha nem választjuk le: az a munkavégzés alatt is a testeket a földpotenciálon tartja. Ha a nullavezető nem választható le (pl. egypólusú kismegszakító, PEN-vezető), a 3. lépésben a nullavezető feszültségmentességét is meg kell mérni.

Indoklás: Ha egy egyfázisú áramkörnél csak a fázist kapcsoljuk le, a nullavezetőn visszacsatolás útján, vagy egy másik áramkör terhelése miatt mérhető feszültség jelenhet meg. A leválasztásnak tehát minden aktív vezetőre (fázisvezetők és – ahol lehetséges – a nullavezető) ki kell terjednie.

2.4.2.2. 2. Visszakapcsolás elleni biztosítás

Ez a lépés kritikus fontosságú. Ha a lakásban dolgozunk, és a lekapcsoló szerv (kismegszakító) a lakáselosztóban van, egy másik személy, aki nem tudja, hogy dolgozunk, könnyen visszakapcsolhatja azt, hogy „segítsen” vagy elindítson egy fogyasztót. A lekapcsoló szervet tehát meg kell akadályozni abban, hogy bárki visszakapcsolhassa.

Szabály. Ezt a gyakorlatban zárolással és jelöléssel tesszük. A lekapcsolt kismegszakító karjára, a biztosíték foglalatára, vagy a leválasztó kapcsolóra **lakatot** helyezünk (ha van erre mechanikai lehetőség), és egy **tiltó táblácskát** vagy címkét erősítünk rá, amelyen szerepel a munkavégző neve és a dátum. Ezt hívjuk a gyakorlatban **LOTO-nak** (Lockout-Tagout, azaz „lezárom és

megjelölöm"). A kulcsot csak a munkavégző tarthatja magánál. Ha többen dolgoznak egy rendszeren, mindenkinek saját lakatot kell elhelyeznie.

2.4.2.3. 3. Feszültségmentesség ellenőrzése

Ez az a lépés, amit a leggyakrabban elhibáznak a rutinmunkában. A lekapcsolás ténye nem jelenti azt, hogy a vezető valóban feszültségmentes. Lehet, hogy rossz vezetéket kapcsoltunk le, a leválasztó kapcsoló egyik pólusa beragadt, vagy áthúzás található. **Mielőtt bármihez hozzáérünk, műszerrel kell ellenőrizni a feszültségmentességet.**

Eszköz: Kétpólusú feszültségvizsgáló (pl. hálózati feszültségvizsgáló). Ezt a műszert ne keverjük a csavarhúzóba épített egyfázisú „fázisceruzával".

Figyelem. A fázisceruza (egyfázisú feszültségvizsgáló) arra jó, hogy jelezze, ha egy vezető fázis alatt áll, de **nem alkalmas** a feszültségmentesség biztonsági ellenőrzésére. Ha szigetelt talpazaton állunk, vagy kesztyűben vagyunk, a fázisceruza izzója nem világít, mert a testünk kapacitásán keresztül nem záródik az áramkör. Így a fázisceruza „nem világít" jele hamis biztonságérzetet ad, miközben a vezető akár 230 V-on is állhat. A kétpólusú vizsgáló ténylegesen a két mért pont között (pl. L és N, L és PE) mutatja a potenciálkülönbséget, így nem függ a testünktől.

Hiba. A leggyakoribb végzetes hiba a „nem megy a műszer, akkor biztos nincs fesz" gondolkodás. Mi van, ha a műszer eleme merült le, vagy a mérőzsinór szakadt? Feszültségmentesnek fogja jelezni a hálózatot, holott fesz alatt van.

Szabály. A mérés előtt és után mindig ellenőrizzük a műszert: Először egy **ismert feszültség alatt álló** forráshoz érintjük a mérőműszert (pl. egy dugaszoló aljzat, amiről tudjuk, hogy működik). Ha kijelzi a feszültséget, akkor a műszer jó. Ezután mérjük meg a munkavégzés helyét. Végül újra érintsük a műszert az ismert feszültségű ponthoz, hogy meggyőződjünk arról, a mérés alatt nem romlott el. Ezt hívjuk **előtte-utána ellenőrzésnek**.

2.4.2.4. 4. Földelés és rövidre zárás

Ez a lépés a kisfeszültségű (230/400 V), lakossági vagy kisebb ipari munkáknál ritkán szükséges, de a közép- és nagyfeszültségű (KÖF/NAF) hálózatokon, valamint kisfeszültségen (KIF) a szabadvezetékeken és ott, ahol visszatáplálás vagy indukált feszültség lehetséges (pl. hosszú, párhuzamosan futó kábeleknél), kötelező **(ellenőrizendő: MSZ EN 50110-1 / MSZ 1585 KIF-re vonatkozó előírása)**. A munkavégzés helyén az összes aktív vezetőt (L1, L2, L3, N) egy erre a célra kialakított, zárlatbiztos **földelő-rövidre záró eszközzel** összekötjük és földeljük. Ennek célja, hogy ha valaki mégis visszakapcsolna, vagy indukált feszültség jelenne meg, a zárlat azonnal kioldja a védelmet, és a munkavégzőre nem jut életveszélyes feszültség.

Hiba. Soha ne használjunk házilag, kábeldarabból készített rövidzárat! A fellépő zárlati áramok hatalmas hő- és erőhatásokat okoznak, csak a szabványos, méretezett eszköz bírja ki. **(ellenőrizendő: a pontos legkisebb szükséges keresztmetszet a gyártói adatok szerint)**.

2.4.2.5. 5. Szomszédos feszültség alatt álló részek lefedése

Egy elosztószekrényben gyakran kell dolgozni úgy, hogy a lekapcsolt áramkör mellett más leágazások továbbra is feszültség alatt vannak. Ne feledjük az Az áram élettani hatásai és az elsősegélynyújtás alfejezetben tanult áramütési és ív okozta égési kockázatot. Ha ilyen helyen dolgozunk, a feszültség alatt álló részeket (sínek, kapcsok, kötések) le kell takarni szigetelő

anyaggal, gumilepedővel, vagy erre kialakított takaróelemekkel. Ez megakadályozza, hogy a csavarhúzónk, a kicsúszó fogó, vagy az alkarunk hozzáérjen a feszültség alatt álló részhez.

Továbbvitt eredmény. Ezt az öt lépéses eljárást (öt biztonsági szabály) alkalmazzuk a könyv IX. részének összes gyakorlati útmutatójában, például a Lakáselosztó építése és bekötése vagy a Motor kapocsbekötése és beüzemelése alfejezetekben. A feladatok megoldásának mindig ennek a szabálynak a betartásával kell kezdődnie.

2.4.3. Munkavégzési módok és jogosultságok

A villamos munkavégzés nagyon különböző kockázatú munkákat foglal magában. Mást jelent egy motor próbajáratása, mint egy kismegszakító cseréje, és megint mást jelent egy 20 kV-os szabadvezeték szerelése. A munkavégzés módjait a feszültség közelsége és a szükséges technológiai eljárások alapján kategorizáljuk.

Definíció. A munkavégzés háromféle módját különböztetjük meg: - **Feszültségmentes munkavégzés:** A munkavégzés helyszínén minden aktív rész feszültségmentes, az öt biztonsági szabályt betartották. Ez a hétköznapi szerelői munka tipikus esete. - **Feszültség közeli munkavégzés:** A dolgozó a testével vagy a szerszámával megközelíti a feszültség alatt álló részt, de nem érinti meg. Kisfeszültségen a feszültség közeli zóna külső határa jellemzően kb. 30 cm a csupasz, feszültség alatti résztől; ezen belül (érintés nélkül) végzett munka feszültség közeli munka, amely letakarást, távolságtartást és kijelölt, kioktatott személyt igényel. A pontos értékeket a szabályozás és a munkáltató belső utasítása rögzíti. **(ellenőrizendő: MSZ EN 50110-1 DL/DV értékei és MSZ 1585)**. - **Feszültség alatti munkavégzés:** A dolgozó (vagy a szerszáma) közvetlenül érinti a feszültség alatt álló részt, vagy belép a feszültség alatti munka zónájába (kisfeszültségen ez gyakorlatilag az érintés). Ez rendkívül kockázatos, speciális szerszámokat, szigetelt kesztyűt, védőruházatot és speciális képzést igényel.

Jogosultságok és felelősség. Hálózati feszültségű munkát villamosan szakképzett személy (villamos szakképesítés, valamint a munkára vonatkozó ismeret és gyakorlat) vagy – korlátozott, kijelölt feladatra – villamosan kioktatott személy végezhet a munkáltató írásos megbízása/kijelölése alapján; laikus nem. A villamos biztonsági felülvizsgáló külön szakképesítés, amely a felülvizsgálatok elvégzésére jogosít, és nem a 230/400 V-os munkavégzés feltétele. A személyi kategóriákat az üzemeltetési szabvány (MSZ EN 50110-1, MSZ 1585) rögzíti **(ellenőrizendő: az üzemeltetési szabványok személyi kategóriái és a vonatkozó rendelet)**.

- **Villamosan szakképzett személy:** Aki a munkaköréhez szükséges villamos szakképesítéssel rendelkezik (pl. villanyszerelő, technikus, mérnök), és ismeri a vonatkozó előírásokat.
- **Kioktatott személy:** Aki nem villamos szakember, de a munkájához egy adott, korlátozott feladat elvégzésére megfelelő tájékoztatást és oktatást kapott (pl. egy gépkezelő, aki a gépen előírt kapcsolási műveleteket és egyszerű ellenőrzéseket végezheti, ha a munkáltatója ezt betanította és írásban kijelölte). **(ellenőrizendő: a fogalmak pontos definíciója a hatályos jogszabályban)**.

Biztonsági korlát. Tanulóként, aki most tanulja a szakmát, feszültség alatti munkát semmilyen körülmények között nem végezhetsz. A gyakorlati képzésen kizárólag feszültségmentesített oktatótáblákon, törpefeszültségen, vagy közvetlen, jogosult oktatói felügyelet mellett dolgozhatsz. Ha a munkahelyeden arra utasítanának, hogy „csak gyorsan, áram alatt cseréld ki a kapcsolót”, ezt biztonsággal **meg kell tagadnod**, és jelezned kell a felettesednek, mert ez jogszabályba ütközik és életveszélyes.

2.4.4. A zárolás-jelölés (LOTO), munkaengedély és átadás-átvétel

2.4.4.1. LOTO (Lockout-Tagout) a gyakorlatban

Az öt biztonsági szabály második lépéséhez kapcsolódik a LOTO rendszere. A nagyobb ipari üzemekben, ahol bonyolult gépsorok és több fős karbantartó csoportok dolgoznak, a LOTO szigorúan formalizált folyamat.

Szabály. 1. **Azonosítás:** Ki kell deríteni a munkaterület összes energiaforrását (villamos, mechanikai, pneumatikus, hidraulikus). 2. **Lekapcsolás:** A gépet/vonalat le kell állítani. 3. **Leválasztás:** Az energiaforrásokat leválasztó készülékkel (szakaszoló, főkapcsoló) bontjuk; a tárolt energiát (kondenzátor, rugó, nyomás) levezetjük. 4. **Zárolás:** Minden dolgozó elhelyezi a saját, egyedi kulccsal rendelkező lakatját a leválasztó szerkezeten. 5. **Jelölés:** A lakat mellé „Tilos kapcsolni! Munkavégzés” feliratú, a dolgozó nevét, fényképét, dátumát tartalmazó címke kerül. 6. **Ellenőrzés:** Meg kell próbálni elindítani a gépet, hogy meggyőződjünk arról, a leválasztás sikeres volt és a zárolás megakadályozza az energiázást.

2.4.4.2. Munkaengedély

Bizonyos, magasabb kockázatú villamos munkákhoz (feszültség alatti munkához, vagy veszélyes környezetben, pl. robbanásveszélyes zónában történő munkához) **írásbeli munkaengedély** (work permit) szükséges.

Szabály. A munkaengedélyt a munkavégzésért felelős vezető állítja ki. Tartalmazza: - a munkavégzők nevét, - a munkavégzés pontos helyét és idejét, - a szükséges biztonsági intézkedéseket, lekapcsolási pontokat, - az egyéni védőeszközök listáját, - a munkavégzés módját (feszültségmentes, feszültség alatti stb.), - az aláírásokat.

A munkavégző csak akkor kezdheti meg a munkát, ha az engedélyt aláírták, és az abban foglaltakat a helyszínen is végrehajtották.

2.4.4.3. Átadás-átvétel

A munka befejezésekor ugyanilyen fegyelmezett eljárást kell követni.

Eljárás: A munka befejezésének lépései 1. **Rend a helyszínen:** Minden szerszámot, anyagot, ideiglenes bekötést eltávolítunk a berendezéstől. Az összes kapocshuzal szoros. 2. **A személyek ellenőrzése:** Meggyőződünk arról, hogy mindenki, aki a munkában részt vett, elhagyta a veszélyzónát, és a felelős ezt megerősíti. 3. **A földelő-rövidre záró eszközök, majd a letakarások eltávolítása:** Ezt naplózni kell, hogy egy se maradjon bent. 4. **A védőfedelek visszahelyezése:** Csak a földelő eszköz és a letakarás eltávolítása után, mert ezek a burkolaton belül vannak. 5. **A zárolások feloldása:** Mindenki eltávolítja a saját lakatját. Csak az oldhatja fel a zárolást, aki elhelyezte. Ha valaki elfelejti, azt a neve alapján meg kell keresni. 6. **Visszakapcsolás:** A felhasználó értesítése után a visszakapcsolást csak az arra jogosult, megbízott személy végezheti el, általában aki a munkaengedélyt kiadta.

2.4.5. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy karbantartó csapatnak egy nagy teljesítményű háromfázisú szivattyú motorjánál kellett cserélnie egy meghibásodott mágneskapcsolót a kapcsolószekrényben. A munkavezető lekapcsolta a kapcsolószekrény főkapcsolóját, de nem helyezett el lakatot és tiltó táblát, mert „öt perc alatt végeznek". A munka közben a szivattyú automatikája jelzett, hogy leállt a termelés, a karbantartó pedig – nem tudva, hogy a kollégája még a szekrényben dolgozik – az utasítás szerint visszakapcsolta a főkapcsolót. A másik dolgozó szerencsére éppen akkor vette ki a kezét a szekrényből, így baleset nem történt; a csavarhúzója a mágneskapcsoló kapcsán maradt, amely így feszültség alá került. Ha a lakat és a tábla a főkapcsolón van, a visszakapcsolás meg sem történhetett volna. Ebből az esetből jól látszik, hogy a lekapcsolás önmagában semmit sem ér, ha nem garantáljuk, hogy senki más nem fogja visszakapcsolni. Az ilyen eseményt (baleset nem történt, de történhetett volna) **majdnem-balesetnek** nevezzük, és ugyanúgy jelenteni és kivizsgálni kell.

Hiba. A „csak egy pillanatra kapcsold be" jellegű kommunikáció, vagy a szóbeli megállapodás („ne kapcsolja be, jó?") nem számít biztonsági intézkedésnek. A fizikai lakat és a jelölés az, ami garantálja a biztonságot.

2.4.6. Gyakorlati útmutató

Cél: Feszültségmentes állapot létrehozása és a LOTO szabályainak begyakorlása egy tanműhelyi elosztótáblán.

Eszközök és anyagok: Tanműhelyi elosztótábla (törpefeszültségű vagy leválasztott 230 V-os oktatótábla), kétpólusú feszültségvizsgáló, lakatok, tiltó táblák, szigetelő takarólemez.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Lépések: 1. **Azonosítsd a lekapcsolási pontot:** Nézd meg a tanműhelyi kapcsolási rajzot. Azonosítsd, melyik szakaszoló vagy megszakító választja le a munkaterületet. 2. **Lekapcsolás (1. szabály):** Kapcsold le a főkapcsolót vagy az adott áramköri megszakítót; a leválasztás minden aktív vezetőre terjedjen ki, a védővezetőt (PE) soha ne bontsd. 3. **Zárolás-jelölés (2. szabály):** Helyezd el a lakatot a lekapcsolt kismegszakító karján (ha van erre kialakítás), és akaszd fel a tiltó táblát; próbáld meg a kapcsolót visszakapcsolni, hogy a zárolás hatásos-e (a bekapcsolási próbát csak a lakat és a tábla felhelyezése után, a zárolt kapcsolón végezd). 4. **Műszerellenőrzés (előtte):** A kétpólusú vizsgálót dugd be egy ismert, feszültség alatt álló aljzatba. Győződj meg arról, hogy a kijelző a hálózati értéket mutatja. 5. **Feszültségmentesség ellenőrzése (3. szabály):** A munkaterületen mérj minden pontpár között: L1–L2, L2–L3, L3–L1, L1–N, L2–N, L3–N, L1–PE, L2–PE, L3–PE, N–PE. Ellenőrizd, hogy nincs jelzés. 6. **Műszerellenőrzés (utána):** Dugd vissza a vizsgálót az ismert aljzatba, és ellenőrizd, hogy még mindig jól működik. 7. **Földelés és rövidre zárás (4. szabály):** Ha az oktató vagy a munkautasítás előírja, végezd el; ha elmarad, a jegyzőkönyvben indokold (tanműhelyi, törpefeszültségű környezetben jellemzően nem szükséges). 8. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése (5. szabály):** Takard le a közeli feszültség alatti részeket szigetelő takarólemezzel. 9. **A munka elvégzése:** Végezd el a rád bízott feladatot (pl. egy vezeték áthelyezését a gyakorló panelen). 10. **Befejezés:** Ellenőrizd a szerszámokat és a személyeket, szólj a társadnak, távolítsd el a földelést és a letakarást, tedd vissza a fedeleket, majd távolítsd el a lakatot. Jelezd az oktatónak, hogy a munka kész.

Dokumentálás: Rögzítsd a mérési jegyzőkönyvben a vizsgáló típusát, a mért értékeket és a lekapcsolási pont azonosítóját.

2.4.7. Tipikus hibák

1. **A fázisceruza használata a feszültségmentesség ellenőrzésére.** Mint fentebb részleteztük, a fázisceruza alkalmatlan arra, hogy megbízhatóan jelezze a nulla potenciált. Helyes gyakorlat: mindig kétpólusú feszültségvizsgálót használj.
2. **„Nem villog a vizsgáló, akkor mehetünk” – a műszer előzetes ellenőrzése nélkül.** Ha a vizsgáló eleme lemerült vagy a kábeltörés van, minden feszültségmentesnek tűnik. Helyes gyakorlat: minden mérés előtt és után teszteld a műszert egy ismert feszültség alatt álló ponton.
3. **Csak az egyik fázist lekapcsolni.** Háromfázisú rendszernél a másik két fázis továbbra is 230 V-os potenciálon van. Helyes gyakorlat: a lekapcsolásnak minden aktív vezetőre (L1, L2, L3, N) ki kell terjednie.
4. **Lakat nélküli munkavégzés.** A munkatárs, vagy a felhasználó visszakapcsolhatja az áramkört. Helyes gyakorlat: a lekapcsoló szerkezetet fizikailag zárold le, és jelöld meg.

2.4.8. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A feszültségmentesség ellenőrzéséhez elegendő egy fázisceruza. (Indokold!)
2. **Sorold fel** az öt biztonsági szabályt a helyes sorrendben.
3. **Mi a teendő**, ha a munkavégzés helyén a lekapcsolt sín mellett egy másik, feszültség alatt álló gyűjtősín is található?
4. **Mi a LOTO lényege?** Milyen elemekből áll?
5. **Jogosult-e egy tanuló** feszültség alatti munkavégzést végezni a gyakorlati képzésén?
6. **Miért kell a mérés után újra megvizsgálni a feszültségvizsgáló műszert?**

2.4.9. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel az öt biztonsági szabályt. Mindegyik mellé írj egy rövid példát, hogyan lehet azt a gyakorlatban megvalósítani egy lakáselosztóban.

2. feladat (A) Igaz-e, hogy ha a kismegszakítót lekapcsoltam, akkor a nullavezető is biztosan feszültségmentes? Indokold a válaszodat.

3. feladat (B) Egy szerelő a munkavégzés előtt a kétpólusú feszültségvizsgálót bedugja a konnektorba. A műszer 230 V-ot mutat. Ezután a célterületen megméri az L1 - PE pontokat, és a műszer 0 V-ot mutat. Kijelenti, hogy a terület feszültségmentes. A biztonsági protokoll szerint mi hiányzik még a mérési lépésekből?

4. feladat (B) Rajzolj le egy 3 fázisú (L1, L2, L3 és N) lekapcsoló szakaszolót. Jelöld, hová teszed a lakatot és a tiltó táblát, ha minden pólust le kell választani.

5. feladat (C) Keresd meg a hibát: Egy munkáltató azt az utasítást adja egy villanyszerelő tanulónak, hogy „gyorsan, áram alatt cserélje ki a meghibásodott kapcsolót, mert nincs idő lekapcsolni az áramkört”. Hogyan reagálj? Milyen szabályokat sértene meg ez az utasítás?

6. feladat (D) Egy oktatóteremben egy munkapadon el kell végezned egy motor kapcsolódobozának bekötését. Írd le számozottan, lépésről lépésre, hogyan készíted elő a munkát a feszültségmentesítés és a LOTO szabályai szerint.

2.4.10. Megoldások

2.4.10.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A fázisceruza a testünkön keresztüli kapacitív lezárást használja, szigetelt talajon nem jelez, ezért hamis biztonságérzetet ad. Csak kétpólusú feszültségvizsgálóval ellenőrzünk.
2. 1. Lekapcsolás (minden pólus leválasztása), 2. Visszakapcsolás elleni biztosítás (Zárolás-jelölés), 3. Feszültségmentesség ellenőrzése, 4. Földelés és rövidre zárás (ha szükséges), 5. Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.
3. **Lefedem:** A feszültség alatt álló síneket vagy kapcsokat szigetelő takaróval, gumilepedővel vagy megfelelően szigetelt lapokkal le kell takarni, hogy véletlenül se érhessünk hozzá a szerszámmal vagy a testünkkel.
4. **Zárolás-jelölés.** Lényege, hogy a lekapcsolt kapcsolóra lakatot (Lock) és tiltó táblát/címkét (Tag) helyezünk, megakadályozva ezzel az illetéktelen visszakapcsolást.
5. **Nem.** A tanuló semmilyen körülmények között nem végezhet feszültség alatti munkát. Csak feszültségmentesített, felügyelt tanműhelyi környezetben dolgozhat.
6. **Azért, hogy meggyőződjünk róla,** a mérés közben nem romlott-e el a műszer vagy nem szakadt-e meg a mérőzsinór, így a mért „feszültségmentesség" eredmény valóban hiteles legyen.

2.4.10.2. Feladatok megoldása

1. feladat megoldása: 1. **Lekapcsolás:** Lekapcsolom a lakáselosztóban a főkapcsolót vagy az adott áramkör kismegszakítóját. 2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás:** A kismegszakító karjára lakatolható zárószerkezetet teszek, vagy ha ilyen nincs, a lekapcsolást ott végzem, ahol zárolható (pl. a főkapcsolón), és tiltó táblát helyezek rá; a ragasztószalag nem zárolás, legfeljebb ideiglenes jelölés a tábla mellett. (Megjegyzés: élesben mindig a leválasztó szerkezethez kell lakatolni, pl. a főleválasztóhoz). 3. **Feszültségmentesség ellenőrzése:** Elsősorban az elvégezni kívánt munkahelyen (a vezeték végein) kétpólusú műszerrel megmérem az L–N, L–PE és N–PE pontpárt (háromfázisú környél mind a tíz pontpárt). Előtte és utána ellenőrzöm a műszer működését. 4. **Földelés és rövidre zárás:** Lakáselosztóban általában nem szükséges, de ha hosszú, párhuzamosan futó kábelben indukált feszültség feltételezhető, el kell végezni. 5. **Lefedés:** Ha az elosztóban más, feszültség alatt álló gyűjtősín van a munkaterület közelében, szigetelő lappal lefedem.

2. feladat megoldása: Hamis. A kismegszakító hagyományosan csak a fázist szakítja meg. A nullavezető másik áramkörből származó visszacsatolás, vagy terhelés melletti PEN-vezető szakadásakor feszültség alá kerülhet. Soha nem szabad feltételezni, hogy a nulla feszültségmentes, mindig mérni kell.

3. feladat megoldása: Két dolog hiányzik. (1) A mérés nem teljes: a háromfázisú munkahelyen mind a tíz pontpárt mérni kell (L1–L2, L1–L3, L2–L3, L1–N, L2–N, L3–N, L1–PE, L2–PE, L3–PE, N–PE), mert egy be nem kapcsolt pólus vagy a nullavezető feszültsége csak így derül ki. (2) Hiányzik a **műszer utána történő ellenőrzése**. A mérés befejezése után a műszert ismét be kell dugni az ismert feszültség alatt álló konnektorba, hogy megbizonyosodjunk arról, a műszer a mérés közben nem romlott el. Ha a műszer éppen a mérés pillanatában hibásodik meg (pl. a mérőzsinór megszakad), akkor a 0 V-os eredmény hamis, és a szerelő életveszélybe kerülhet.

4. feladat megoldása: (Lerajzolni vagy leírni: A szakaszoló négy pólusú. A kar működteti mind a négy pólust. A lakatot a karra kell helyezni olyan mechanikával, ami megakadályozza a

kar elfordítását (bekapcsolását). A tiltó tábla a lakatra vagy a szakaszoló előlapjára kerül, olyan helyre, ami jól látható.)

5. feladat megoldása: Az utasítás **jogszabályba ütközik és életveszélyes**. Meg kell tagadni a munkát. A tanuló nem végezhet feszültség alatti munkát, a munkáltató pedig nem utasíthat erre. Az utasítás sértené a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát, valamint a munkavédelmi törvénynek a munkavállaló biztonságáért való felelősségére vonatkozó alapelveit.

6. feladat megoldása: 1. **Műhelymunka regisztrálása:** Jelzem az oktatónak a munkavégzés szándékát. 2. **Lekapcsolás:** Lekapcsolom a munkapad tápellátását a munkapadi leválasztó kapcsolóval. 3. **Zárolás:** A leválasztó kapcsolóra elhelyezem a saját, feliratozott lakatomat és a „Tilos kapcsolni! Munkavégzés" táblát (név, dátum); megpróbálom bekapcsolni a kapcsolót, hogy a zárolás hatásos-e. 4. **Műszerellenőrzés (előtte):** A kétpólusú vizsgálóval megmérek egy ismert, feszültség alatt álló konnektort. 5. **Feszültségmentesség ellenőrzése:** A motor kapocsdobozában minden pontpár között mérek (U1–V1, U1–W1, V1–W1, valamint a kapcsok és a védővezető (PE) között), és a bejövő tápkábel erein is (L1–L2, L1–L3, L2–L3, minden fázis–PE és N–PE között). 6. **Műszerellenőrzés (utána):** Újra megmérem az ismert konnektort. 7. **Földelés és rövidre zárás (4. szabály):** az oktató/munkautasítás szerint; a törpefeszültségű vagy leválasztott munkapadon jellemzően nem szükséges – ezt a jegyzőkönyvben indoklással rögzítem. 8. **Szükség esetén lefedés:** Ha a szomszédos munkapad feszültség alatt van, és közel van, szigetelő takarólapot helyezek el. 9. **A munkavégzés:** Elvégzem a bekötést. 10. **Végellenőrzés:** Meggyőződöm a szerszámok meglétéről és arról, hogy mindenki elhagyta a veszélyzónát (a személyek ellenőrzése). 11. **Földelés és letakarás eltávolítása:** Ha volt földelés vagy letakarás, eltávolítom, és naplózom; ezután visszahelyezem a kapocsdoboz fedelét. 12. **Zárolás feloldása:** Eltávolítom a lakatot, és jelzem az oktatónak, hogy a munka kész.

2.4.11. Rövid összefoglaló

A feszültségmentes munkavégzés a villanyszerelő szakma alapvető és megkerülhetetlen munkamódszere. A feszültségmentesítés **öt biztonsági szabálya** szigorú sorrendben: 1. **Lekapcsolás** (minden pólus leválasztása), 2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás** (zárolás-jelölés, LOTO), 3. **Feszültségmentesség ellenőrzése** (kétpólusú vizsgálóval, a műszer előtte-utána ellenőrzésével), 4. **Földelés és rövidre zárás** (ha előírt), 5. **Szomszédos részek lefedése**. A munkavégzés lehet feszültségmentes, feszültség közeli vagy feszültség alatti; utóbbi kettő speciális képzést, védőeszközöket és munkaengedélyt igényel. Tanulóként feszültség alatti munkát tilos végezni. A **LOTO** azt jelenti, hogy a lekapcsoló szerkezetet fizikailag lezárjuk (lakat) és megjelöljük (tiltó tábla), így akadályozva meg az illetéktelen visszakapcsolást. A munkavégzés befejezésekor a szerszámok, személyek és védelmek ellenőrzése után a zárolást csak az oldhatja fel, aki elhelyezte. **Továbbvitt eredmény:** Ezt a szigorú eljárási rendet a könyv IX. részének minden gyakorlati útmutatójában, így a Lakáselosztó építése és bekötése és a Motor kapocsbekötése és beüzemelése alfejezetekben is kötelezően alkalmazni kell a munka megkezdése előtt.

2.4.12. Források és ellenőrzési hiányok

- **MSZ 1585** – Villamos berendezések üzemeltetése (az MSZ EN 50110-1 hazai kiegészítője; hatályos kiadása és viszonya ellenőrizendő).
- **MSZ EN 50110-1** – Villamos berendezések üzemeltetése. (A pontos szám, kiadási év és a nemzeti bevezető jogszabály ellenőrizendő).
- **Munkavédelmi törvény** (a hatályos, villamos munkavégzésre vonatkozó paragrafusok, a képzettségi és megbízási szabályok ellenőrizendőek).

- **Feszültségközeli munkavégzés távolságai** – ellenőrizendő az aktuális MSZ szabvány vagy munkavédelmi rendelet számszaki előírása.

II. RÉSZ – Elektrotechnika alapjai

3 Villamos alapfogalmak

3.1. Atom, töltés, feszültség, áram és ellenállás

3.1.1. Motiváció: miért éppen az atomtól indulunk?

Képzeld el, hogy egy régi lakásban készülsz kicserélni egy kapcsolót. A kezedben van a kétpólusú feszültségvizsgáló, a szigetelt csavarhúzó, és a kapcsoló mögött ott van néhány színes vezeték. A munka akkor lesz biztonságos és értelmes, ha pontosan tudod, hogy mi „van” a vezetékekben; miért ráz meg a feszültség; miért melegszik a vékony vezeték; és miért nem enged áramot a szigetelő csavarhúzó nyele. Ezt a tudást nem lehet elválasztani az anyag legkisebb építőköveitől, az atomoktól. A villanyszerelő napi munkája során nem az atomot nézi, de a feszültség, áram és ellenállás fogalma minden egyes mérésnél, bekötésnél és hibakeresésnél az atomi töltésekre vezethető vissza. Ha ezt az alapot jól megérted, a későbbi kapcsolások, védelmek és gépek már csak ennek az egyszerű képnek a kiterjesztései lesznek.

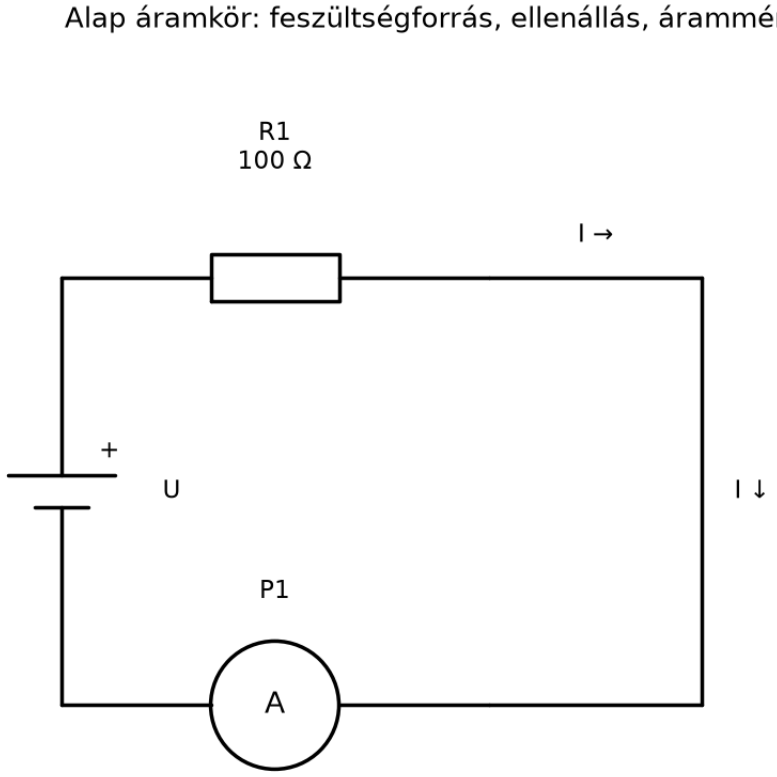
A másik ok, amiért ezzel a fejezettel kezdünk: a villamosipar jelölésrendszere, méréstechnikája és hibavédelme mind feltételezi, hogy a szerelő meg tudja különböztetni a feszültséget, az áramot és az ellenállást. Akkor fogsz jól mérni multiméterrel, ha nem kevered a `V` és az `A` állást; akkor fogsz jó vezetéket választani, ha érted, miért növeli a vékony, hosszú, rossz anyagú vezető az ellenállást. Így ez a fejezet nem csak elméleti érdekesség, hanem a szakmai nyelv és a napi mérések alapkő-lefektetése.

3.1.2. Szemléletes kép: az atom, az áramkör és a vízanalógia

Egy atomot leggyakrabban úgy képzelünk el, mint egy parányi naprendszert: a középpontjában van a **proton**okból álló atommag, körülötte pedig **elektron**ok mozognak. A protonok pozitív, az elektronok negatív töltésűek. Az atommagban lévő **neutron**ok elektromosan semlegesek. Az anyagot a protonok és az elektronok közötti vonzó kölcsönhatás tartja össze, ugyanakkor bizonyos anyagokban a legkülső elektronok viszonylag könnyen elszakadhatnak eredeti atomjuktól. Ez a többlet- vagy hiánytöltés a villamos jelenségek alapja.

A feszültség–áram–ellenállás hármast legkönnyebb egy vízvezeték-rendszerrel szemléltetni, bár a hasonlat nem tökéletes, és a későbbi számításoknál mindig a pontos fizikai definíciókhoz kell visszatérni. A **feszültség** olyan, mint a cső két vége közötti nyomáskülönbség: ha nincs nyomáskülönbség, nem folyik víz; ha nincs feszültség, nem folyik áram. Az **áram** olyan, mint a víz áramlási sebessége, pontosabban a cső keresztmetszetén időegység alatt átáramló vízmennyiség. Az **ellenállás** pedig a cső szűkülete, belső súrlódása, amely akadályozza az áramlást: adott nyomáskülönbség mellett a szűkebb, hosszabb csövön kevesebb víz fér át. Ennek az analógiának a segítségével az áramkört is könnyen átlátod: a feszültségforrás a nyomást, az ellenállás a fogyasztót, a vezeték pedig a csövet jelenti.

Az alábbi ábra azt a legegyszerűbb, tanulási célú áramkört mutatja, amelyet élesben csak feszültségmentesítés és a tanműhelyi, törpefeszültségű gyakorlatok szabályai szerint szabad használni. A rajzon a feszültségforrás, egy ellenállás és egy árammérő látható.



3.1. ábra. Alap áramkör: feszültségforrás, ellenállás, árammérő - A technikai áramirány a feszültségforrás pozitív sarkától az ellenálláson át a negatív sarok felé mutat. Az árammérőt mindig sorosan kötjük, hogy ugyanaz az áram folyjon át rajta, mint az ellenálláson.

A rajz értelmezése: a feszültségforrás (U) nyomáskülönbséget hoz létre, az azonos vezetőszálon az ellenállás (R1) az áramot korlátozza, az ampermérő (P1, a körben „A” jellel) pedig ugyanabba az áramkörbe van sorosan beiktatva, ezért azt az áramot méri, amely a körben folyik. A technikai áramirányt a forrás pozitív sarkától a negatív sarkig rajzoljuk, függetlenül attól, hogy a valóságban az elektronok negatívból pozitív felé mozognak.

3.1.3. Az atom, a töltés és az elektrosztatikus jelenségek

Definíció. Elektromos töltés az anyag azon alapvető tulajdonsága, amely miatt a részecskék az elektromos térben erőhatást gyakorolnak egymásra. Jele Q, SI-mértékegysége a **coulomb**, jele C. A legkisebb, szabadon előforduló negatív töltés az **elektron töltése**, amelyet **elemi töltésnek** nevezünk:

$$e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}.$$

A proton töltése ugyanekkora nagyságú, de pozitív. A semleges atomban annyi proton van, mint elektron, ezért a külső töltése nulla. Ha egy atomból elektront távolítunk el, **pozitív ion**, ha elektront adunk hozzá, **negatív ion** keletkezik.

Az **elektrosztatikus jelenségek** akkor lépnek fel, amikor töltések halmozódnak fel egy anyagon, például dörzsölés hatására. A műanyag fésű megdörzsölve papírdarabkákat vonz, a szőnyegen járva pedig feltöltődhet a testünk, és egy kilincs megérintésekor apró szikra ugrik. A szerelőnek ezért különösen fontos tudnia, hogy a feltöltődés érzékeny elektronikai alkatrészeket is tönkretehet, és egyes üzemekben az ilyen kisüléseket külön védelmi intézkedésekkel kell megelőzni.

3.1.4. Vezetők, szigetelők és félvezetők

Az anyagokat a villamosiparban aszerint csoportosítjuk, hogy milyen könnyen engedik elmozdulni a töltéshordozókat.

Definíció. Vezető az az anyag, amelyben a töltéshordozók szabadon, viszonylag csekély akadállyal el tudnak mozdulni. **Szigetelő** az az anyag, amelyben a töltéshordozók gyakorlatilag nem tudnak szabadon elmozdulni. **Félvezető** az az anyag, amelynek vezetőképessége a vezető és a szigetelő közé esik, és ezt a vezetőképességet adalékolással, hőmérséklettel, fénnyel vagy elektromos térrel jelentősen befolyásolni lehet.

A villanyszerelő napi gyakorlatában a legfontosabb vezetők a fémek, elsősorban a **réz** és az **alumínium**. A fémekben az atomok legkülső elektronjai úgynevezett **delokalizált elektronfelhőt** alkotnak, amelyben az elektronok már nem egyetlen atomhoz tartoznak, hanem az egész anyagban elmozdulhatnak. A szigetelőkben, például a PVC-ben, a gumiban, az üvegben, a kerámiában és a száraz levegőben, az elektronok erősen kötöttek, ezért nem lép fel jelentős áramvezetés. A félvezetők közé tartozik a szilícium és a germánium; ezeket a későbbi elektronikai fejezetekben használjuk majd diódákhoz, tranzisztorokhoz és fényelemekhez.

3.1.5. Feszültségforrások fajtái

A tartós villamos áram létrehozásához olyan berendezésre van szükség, amely folyamatosan töltéseket választ szét, és így potenciálkülönbséget tart fenn. A fontosabb feszültségforrások:

- **Generátor:** mechanikai energiát alakít villamos energiává elektromágneses indukció útján. A közcélú hálózat 50 Hz-es feszültségét ilyen, erőművi vagy erőgéppel hajtott generátorok állítják elő.
- **Galvánelem (elem, akkumulátor):** kémiai energia alakul villamos energiává. Az elem kimerülése után általában nem tölthető újra, az akkumulátor viszont külső árammal újra feltölthető.
- **Napelem:** fényenergiát alakít közvetlenül egyenfeszültséggé a félvezető fényelemben. Kis teljesítményű napelem a hétköznapi számológépekben, nagyobb a háztartási napelemes rendszerekben dolgozik.
- **Termoelem:** hőmérséklet-különbség hatására hoz létre feszültséget. Tipikusan hőmérsékletmérésre használják.

A villanyszerelő számára a feszültségforrások két nagy csoportja fontos: a **hálózati váltakozó feszültség** és a **törpefeszültségű egyen- vagy váltakozó forrás**, például akkumulátor vagy leválasztó transzformátor. Az Otthoni tanulólabor és szerszámkészlet biztonságosan alfejezetben már olvashattad a biztonságos tanulólabor kialakítását, itt pedig az a lényeg, hogy a feszültségforrás mindig valamilyen energiabefektetéssel hozza létre a töltésszétválasztást.

3.1.6. Feszültség, potenciál és áram

Definíció. Feszültség két pont között a **potenciálkülönbség**, amely megmutatja, mekkora munkát végez a villamos tér, miközben egységnyi (1 C) töltést az egyik pontból a másikba mozgat. Jele U, SI-mértékegysége a **volt**, jele V. Képlete:

$$U = \frac{W}{Q},$$

ahol W a villamos munka joule-ban (J), Q pedig a mozgatott töltés coulombban (C). A feszültség tehát nem „folyik”, hanem két pont közötti állapotkülönbség.

A feszültség mindig **két pont között** értelmezhető. A kapcsolási rajzokon a feszültségmérőt ezért mindig **párhuzamosan** kötjük a mérendő két ponthoz. A gyakorlatban egy fázis és a nulla között 230 V, két fázis között 400 V a hálózati feszültség a hazai kisfeszültségű rendszerben (az értékek tájékoztató jellegűek, és a hálózati engedélyes, illetve a hatályos szabványok előírásai szerint ellenőrizendők).

Definíció. Villamos áram a töltések rendezett, irányított mozgása. Az áramerősség, röviden **áram**, megadja, hogy a vezető keresztmetszetén időegység alatt mekkora töltésmennyiség halad át. Jele I, SI-mértékegysége az **amper**, jele A. Képlete:

$$I = \frac{Q}{t},$$

ahol Q coulombban, t pedig másodpercben (s) adott. A gyakorlatban használjuk még a milliampert ($1\,\mathrm{mA} = 10^{-3}\,\mathrm{A}$) és a kiloampert ($1\,\mathrm{kA} = 10^{3}\,\mathrm{A}$) is.

Szabály. Technikai áramirány: a kapcsolási rajzokon és a szakmai számításokban az áram irányát a feszültségforrás **pozitív sarkától a negatív sarkáig**, tehát a potenciálmagasabb ponttól a potenciálalacsonyabb pont felé vesszük fel. A valóságban a fémekben az **elektronok** a negatív saroktól a pozitív sarok felé mozognak, ám a technikai áramirány a pozitív töltéshordozók fiktív mozgását írja le. Ennek a megállapodásnak az a jelentősége, hogy a rajzokon, a nyilak és a mérések mindig ugyanazt az irányt jelöljék; a szerelőnek tehát nem kell minden alkalommal az elektronok haladási irányát keresnie.

3.1.7. Az ellenállás

Definíció. Villamos ellenállás a vezető azon tulajdonsága, amely akadályozza a töltéshordozók áramlását. Jele R, SI-mértékegysége az **ohm**, jele Ω. Ha egy adott feszültség hatására a vezetőn átfolyó I áramot mérünk, az ellenállás az

$$R = \frac{U}{I}$$

hányadossal adható meg. Ez a képlet a(z) Ohm törvénye, villamos munka, teljesítmény és hatásfok alfejezetben kerül majd részletes tárgyalásra, de a fogalmat már itt meg kell alapozni.

Az ellenállás mértékét az anyag minősége, a vezető hossza, keresztmetszete és hőmérséklete határozza meg; ezt a(z) Az ellenállás függése az anyagtól, mérettől és hőmérséklettől alfejezetben vizsgáljuk pontosan. A gyakorlati szerelői munkában az ellenállás egyaránt jelentheti a fogyasztó ellenállását (például izzószál, fűtőszál, motor tekercselése), a vezeték káros ellenállását, a rossz kötés átmeneti ellenállását vagy a szigetelés szivárgási ellenállását. Nem mindegy, hogy éppen hasznos vagy káros ellenállásról van szó.

3.1.8. Az áram hatásai

Az áramnak nem látjuk közvetlenül a töltésáramlást, ezért a villanyszerelő mindig valamelyik **hatásán** keresztül érzékeli és méri.

- **Hőhatás:** a töltéshordozók és a vezető atomjai közötti ütközések hőt fejlesztenek. Erre épül a fűtőtest, a vasaló, az izzólámpa, a kismegszakító termikus kioldója és a biztosíték olvadószála. Ugyanakkor a hőhatás a vezetékek és kötések túlmelegedését is okozhatja, ezért nem szabad alulméretezett vezetéket vagy laza kötést építeni.
- **Mágneses hatás:** az áramjárta vezető körül mágneses mező alakul ki. Erre épülnek a villamos gépek, a mágneskapcsolók, a relék és a lakatfogós árammérő is. A mágneses hatás nem csak elméleti: ha egy kábelben nagy zárlati áram folyik, a fellépő erőhatás el is ronthatja a szerelvényeket.
- **Kémiai hatás:** az elektrolit oldatokban az áram kémiai változást okoz, például bevonatképzés vagy gázfejlődés. Az akkumulátorok töltése is ezen alapul.
- **Élettani hatás:** az emberi testen áthaladó áram izomgörcsöt, légzésbénulást vagy szívműködési zavart okozhat. A baleseti veszély miatt a hálózati feszültségű munkát kizárólag jogosult, képesített személy végezheti, és tanulóként csak tanműhelyi, törpefeszültségű feladatokat gyakorolhatsz önállóan.

3.1.9. Kidolgozott példák

Példa. 1. kidolgozott feladat – töltés és áram. Egy tanműhelyi áramkörben, 12 V-os egyenáramú tápegységről hajtott izzón 1,8 A erősségű áram folyik. Mennyi töltés halad át az izzó keresztmetszetén 40 másodperc alatt?

Megoldás. Adott: $I = 1{,}8\,\mathrm{A}$, $t = 40\,\mathrm{s}$. Keresett: Q. Képlet: $I = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = I \cdot t$. Behelyettesítés:

$$Q = 1{,}8\,\mathrm{A} \cdot 40\,\mathrm{s} = 72\,\mathrm{C}.$$

Az eredmény $Q = 72\,\mathrm{C}$ töltés. Ellenőrzésképpen: ha a töltés valóban 72 C, akkor az áram $72/40 = 1{,}8\,\mathrm{A}$, ami visszaadja az eredeti adatot.

Példa. 2. kidolgozott feladat – feszültség és villamos munka. Egy elem két pólusa között a feszültség 9 V. Az elemből a fogyasztó 0,3 C töltést mozgat át. Mennyi villamos munkát végez az elem ezalatt?

Megoldás. Adott: $U = 9\,\mathrm{V}$, $Q = 0{,}3\,\mathrm{C}$. Keresett: W. Képlet: $U = \frac{W}{Q} \Rightarrow W = U \cdot Q$. Behelyettesítés:

$$W = 9\,\mathrm{V} \cdot 0{,}3\,\mathrm{C} = 2{,}7\,\mathrm{J}.$$

Az eredmény $W = 2{,}7\,\mathrm{J}$ villamos munka. Ellenőrzés: a mértékegység joule, ami a feszültségvolt és a töltés-coulomb szorzatából adódik. A valóságban ilyen kis munkát az elem könnyen elvégez, de a mindennapi hálózati fogyasztóknál a mozgatott töltésmennyiség és a feszültség sokkal nagyobb, ezért a munka joule-ban óriási szám lenne; ehelyett a teljesítményt és a kWh-t használjuk.

3.1.10. Valós életbeli alkalmazás: mit lát a szerelő a multiméterrel?

Egy tipikus hibakeresési helyzetben, például egy 12 V-os tanműhelyi kapcsolásban a szerelő azt tapasztalja, hogy a lámpa nem világít, pedig a tápegység be van kapcsolva. Első lépésben multiméterrel feszültséget mér a tápegység kimenete között: 12,3 V-ot kap. Ezután a lámpa kapcsai közé mér, ott már csak 0 V-ot. A hiányzó feszültség arra utal, hogy a vezető valahol megszakadt, vagy egy sorkapocs meglazult. Ezt ellenállásméréssel tudja megerősíteni: feszültségmentesítés után a sorkapcsokon a vártnál sokkal nagyobb, gyakorlatilag végtelen ellenállást mér. Itt egyszerre jelenik meg mindhárom fogalom: a feszültség mint potenciálkülönbség, az áram mint a töltésáramlás, és az ellenállás mint a vezetőben és a csatlakozásokban lévő akadály.

A gyakorlati helyszíni munkában a szerelő a mérési kategóriáknak megfelelő minőségű műszert választ; ezt részletesen a(z) Mérés alapjai, mérési hibák és műszerosztályok alfejezet tárgyalja. Itt annyit kell rögzíteni: a feszültséget mindig párhuzamosan, az áramot mindig sorosan mérjük, az ellenállást pedig csak feszültségmentesített, kisütött áramkörben.

3.1.11. Tipikus hibák

- **„A feszültség folyik a vezetékben”** – feszültség nem folyik, hanem két pont között fennálló potenciálkülönbség. A vezetékben töltések áramlanak, tehát áram folyik. A helyes mondat: „a feszültség a vezető két pontja között mérhető, a vezetőn áram folyik”.
- **Az árammérőt párhuzamosan kötni** – az árammérő belső ellenállása nagyon kicsi, ezért párhuzamos kötése gyakorlatilag rövidzárat jelent, ami tönkreteszi a műszert vagy kioldja a védelmet. Helyesen az árammérőt sorosan kell beiktatni abba az ágba, amelynek az áramát mérni akarjuk.
- **A feszültségmérőt sorosan kötni** – a feszültségmérő belső ellenállása nagy, ezért soros kötésben a mérő korlátozza az áramot, és a kapott érték nem a keresett feszültségesést mutatja. Helyesen a feszültségmérőt párhuzamosan kell kötni a mérendő két ponthoz.
- **A vezető–szigetelő besorolást abszolútnak hinni** – például a tiszta víz rossz vezető, de a sós, szennyezett víz már veszélyes mértékben vezet. A nedves fa sem tekinthető biztonságos szigetelőnek. Ezért vizes környezetben mindig a megfelelő IP-védettségű szerelvényeket és hibavédelmet kell alkalmazni.
- **A technikai áramirány és az elektronmozgás összekeverése** – a számításokban a pozitív saroktól induló áramirányt használjuk, a fémekben az elektronok valójában negatívból pozitív felé mozognak. Ez nem hiba a gyakorlati méréseknél, de a megértést zavarja, és a félreértett irány rossz kötési gondolkodáshoz vezet.

3.1.12. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a feszültség a vezetőben mozgó elektronok sebessége? Indokold is!
2. Mennyi töltés halad át egy vezetőn 2 A áram esetén 25 másodperc alatt?
3. Milyen irányba mutat a **technikai áramirány** egy rajzon, és ez egybeesik-e az elektronok haladási irányával?
4. Milyen mérőműszert kötünk sorosan, és milyet párhuzamosan egy áramkörben?
5. Adj példát vezetőre, szigetelőre és félvezetőre a villanyszerelő napi gyakorlatából!
6. Miért veszélyes az áram élettani hatása, ha a testen áthalad?

A válaszokat a Megoldások szakasz elején találod.

3.1.13. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a feszültséget, az áramot és az ellenállást, és add meg mindhárom SI-mértékegységét! Írd le a kapcsolódó áramerősség-képletet is.

2. feladat (A). Egy tápegység 4,5 V feszültséget tart fenn, és 0,6 C töltést mozgat át a fogyasztón. Mennyi villamos munkát végez? Számolj mértékegységekkel!

3. feladat (B). Egy akkumulátor adattábláján ez áll: 1,2 V, 2500 mA·h. Hány coulomb töltést tud leadni, ha teljesen feltöltött állapotból teljesen lemerül? (Segítség: $1\ \text{mA} \cdot \text{h} = 3{,}6\ \text{C}$.)

4. feladat (B). Rajzold le szövegesen azt az áramkört, amelyben egy feszültségforrásra sorosan kapcsolnak egy ellenállást, és az ellenállással sorosan egy árammérőt, majd az ellenállással párhuzamosan egy feszültségmérőt! Melyik műszer melyik fizikai mennyiséget méri?

5. feladat (C). Egy kezdő szerelő úgy próbálja megmérni az izzó áramát, hogy a multimétert az izzó kapcsaira közvetlenül párhuzamosan köti, miközben az izzó sorosan csatlakozik a feszültségforráshoz. Mi történik, és miért? Mi a helyes bekötés?

6. feladat (D). Egy tanműhelyi 12 V-os áramkörben a lámpa nem világít. A szerelő feszültségmérést végez: a tápegység kimenetén 12,2 V, a lámpa kapcsain 0 V. Feszültségmentesítés után ellenállásméréssel a lámpa bekötő vezetékén a mérőműszer “OL” (túl nagy, végtelen) értéket mutat. Mi a legvalószínűbb hiba, és mi a javítás?

3.1.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A feszültség két pont közötti potenciálkülönbség; az áram a töltések rendezett mozgása, amelynek sebessége – az elektronok vándorlási sebessége – csak tized milliméter/másodperc nagyságrendű, mégis a jel a vezetéken szinte azonnal végigfut. A feszültség a hajtóerő, az áram a töltésáramlás.
2. $Q = I \cdot t = 2\,\text{A} \cdot 25\,\text{s} = 50\,\text{C}$.
3. A technikai áramirány a feszültségforrás pozitív sarkától a negatív sarok felé mutat. A fémekben az elektronok ezzel ellentétesen, a negatív saroktól a pozitív felé mozognak.
4. Az árammérőt sorosan, a feszültségmérőt párhuzamosan kötjük.
5. Vezető: réz vezeték; szigetelő: PVC szigetelés; félvezető: szilícium diódában vagy napelem cellában.
6. Az emberi testen áthaladó áram izomgörcsöt, légzésbénulást vagy szívműködési zavart okozhat, ezért a hálózati feszültségű munkát csak jogosult személy végezheti, tanulóként pedig törpefeszültségű tanműhelyi feladatokat gyakorolhatsz.

1. feladat – megoldás. A feszültség két pont között a potenciálkülönbség, jele U, mértékegysége V. Képlete $U = \frac{W}{Q}$, ahol W joule, Q coulomb. Az áram a töltések rendezett mozgása, jele I, mértékegysége A. Képlete $I = \frac{Q}{t}$, ahol Q coulomb, t másodperc. Az ellenállás a vezető töltésáramlást akadályozó tulajdonsága, jele R, mértékegysége Ω. Képlete $R = \frac{U}{I}$.

2. feladat – megoldás. Adott: $U = 4{,}5\,\text{V}$, $Q = 0{,}6\,\text{C}$. Keresett: W. Képlet: $W = U \cdot Q$. Behelyettesítés: $W = 4{,}5\,\text{V} \cdot 0{,}6\,\text{C} = 2{,}7\,\text{J}$. Az eredmény 2,7 J villamos munka.

3. feladat – megoldás. Az akkumulátor kapacitása $Q = 2500\,\text{mA} \cdot \text{h} = 2{,}5\,\text{A} \cdot \text{h}$. Tudjuk, hogy $1\,\text{A} \cdot \text{h} = 3600\,\text{C}$, ezért $Q = 2{,}5 \cdot 3600\,\text{C} = 9000\,\text{C}$. Az akkumulátor tehát 9000 C töltést tud leadni.

4. feladat – megoldás. A kapcsolás: a feszültségforrás pozitív kivezetéséből vezeték megy az árammérő egyik kivezetésébe, az árammérő másik kivezetéséből az ellenállás egyik kapcsába, az ellenállás másik kapcsából vissza a feszültségforrás negatív kivezetésébe. Az ellenállás két kapcsa közé, tehát párhuzamosan, csatlakozik a feszültségmérő két kivezetése. Az árammérő az áramot, a feszültségmérő az ellenálláson eső feszültséget méri.

5. feladat – megoldás. Az árammérőt párhuzamosan kötni súlyos műszer- és áramköri hiba. Az árammérő belső ellenállása nagyon kicsi, ezért párhuzamos kötéskor gyakorlatilag rövidre zárja az izzót, a tápegység túlárama kioldhatja a védelmet vagy tönkreteszi a műszert. Helyes bekötés: az izzóval sorosan kell beiktatni az árammérőt, úgy, hogy a műszer bemenetén ugyanaz az áram folyjon át, mint az izzón.

6. feladat – megoldás. A tünetek alapján a lámpa kapcsain hiányzó feszültség és a vezeték végtelen ellenállása arra utal, hogy a lámpához vezető valamelyik vezeték megszakadt, egy sorkapocs meglazult, vagy a biztosíték/olvadóbiztosító kiolvadt, ha van ilyen az áramkörben. A javítás: feszültségmentesítés, a feltételezett szakasz ellenállásmérése, a meglazult kötés meghúzása vagy a szakadt vezeték cseréje, majd a feszültség visszakapcsolása után működési próba.

3.1.15. Rövid összefoglaló

Az anyag legkisebb, villamos szempontból meghatározó építőkövei a töltött részecskék: az elektron negatív, a proton pozitív töltésű. Az elektromos töltés SI-mértékegysége a coulomb, az elemi töltés $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C. A feszültség két pont közötti potenciálkülönbség, jele U, mértékegysége volt; $U = W/Q$, azaz egységnyi töltésre jutó munka. A villamos áram a töltések rendezett mozgása, jele I, mértékegysége amper; $I = Q/t$. A technikai áramirány a pozitív saroktól a negatív sarok felé mutat, az elektronok ezzel ellentétesen mozognak. Az ellenállás a töltésáramlást akadályozó tulajdonság, jele R, mértékegysége ohm; $R = U/I$. A feszültséget mindig párhuzamosan, az áramot mindig sorosan mérjük. A vezető anyagokban szabadon mozoghatnak az elektronok, a szigetelőkben nem; a félvezetők a kettő közötti átmenetet képviselik. Ezt az alapfogalom-készletet használjuk minden további fejezetben, így a(z) Ohm törvénye, villamos munka, teljesítmény és hatásfok és a(z) Mérés alapjai, mérési hibák és műszerosztályok alfejezetben is. Hálózati feszültségű munkát önállóan ne végezz; a tanműhelyi gyakorlatokhoz az Otthoni tanulólabor és szerszámkészlet biztonságosan alfejezet biztonsági irányelvei az irányadóak.

Továbbvitt eredmény. A feszültség, áram és ellenállás itt bemutatott definícióját, képleteit és mértékegységeit használja minden további alfejezet, különösen a(z) Ohm törvénye, villamos munka, teljesítmény és hatásfok, a(z) Az ellenállás függése az anyagtól, mérettől és hőmérséklettől és a(z) Mérés alapjai, mérési hibák és műszerosztályok alfejezet. A gyakorlati méréseknél e három fogalom nélkül nem értelmezhető sem a multiméter, sem a hibakeresés.

3.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

Nem hivatkoztam konkrét, csak interneten keresztül elérhető forrásra. A fizikai alapmennyiségek és az SI-mértékegységek stabil tudást képviselnek; a hálózati feszültségértékek (230/400 V, 50 Hz) a hazai gyakorlatban használatosak, de tervezési vagy kivitelezési alapadatként a hatályos szabványban és a hálózati engedélyes előírásai szerint ellenőrizendők.

3.2. Mennyiségek, mértékegységek, előtagok és számolási rutin

3.2.1. Miért költséges egy elírt előtag?

Egy villanyszerelő az elosztóban egy régi kondenzátort cserél. A dobozon `2,2 µF` szerepel, ő azonban `2,2 mF`-et rak be, mert a millifarad és a mikrofarad jele hasonlít. Az áramkör szűrése elhangolódik, a készülék hibásan működik, és a hibakeresés órákat emészt fel. Hasonló példa: valaki `10 kW`-ot ír `10k W` alakban, vagy a nullákat nem csoportosítja, és a tizedesvessző egy rossz helyre kerül. A munkánk számértékekből és mértékegységekből áll: ha a kettő nem illik össze, a számítás értéket nem ad, vagy ami rosszabb, hibás következtetést rejt.

Ez az alfejezet nem matematikai magolás. A cél az, hogy a számítási lépésekben mindig ellenőrizhető legyen: a mennyiség numerikus értéke, az egysége és a nagyságrendje összhangban van-e. Ezt a mértékegység-ellenőrzést minden későbbi fejezetben – például az Ohm törvénye, villamos munka, teljesítmény és hatásfok számításaiban – használni fogjuk.

3.2.2. Szemléletes kép: az előtagok egyetlen táblázatban

Az SI-rendszerben a fizikai mennyiségek nagy része túl kicsi vagy túl nagy ahhoz, hogy mindig az alapegységet írjuk ki. Ezért az alapegység elé olyan előtagot teszünk, amely a tíz valamilyen hatványával szoroz. A gyakori villamosipari előtagok:

Előtag	Jele	Szorzó	Példa
piko	p	10^{-12}	47 pF
nano	n	10^{-9}	100 nF
mikro	µ	10^{-6}	2,2 µF
milli	m	10^{-3}	25 mA
kilo	k	10^{3}	10 kΩ
mega	M	10^{6}	1,5 MΩ
giga	G	10^{9}	2,4 GHz

A táblázatot érdemes úgy megtanulni, hogy a szomszédos előtagok között 1000 a váltószám: milli és mikro között 1000, mikro és nano között 1000, nano és piko között 1000. A kilo és mega, valamint a mega és giga között szintén 1000 a váltószám. A milli és a kilo között ott van az alapegység (m → alapegység → k), ezért ott a váltószám 10^6. Ez megkönnyíti a fejben való átváltást.

3.2.3. Definíciók és szabályok

3.2.3.1. SI-alapmennyiségek és -mértékegységek

A villamos szakmában a legfontosabb SI-alapegységek:

- hossz: méter, jele m;
- tömeg: kilogramm, jele kg (nem gramm, ez kivétel);
- idő: másodperc, jele s;
- villamos áramerősség: amper, jele A;
- termodinamikai hőmérséklet: kelvin, jele K;
- fényerősség: kandela, jele cd.

Definíció. A **mértékegység** egy mérhető mennyiség összehasonlítására szolgáló, rögzített referencia. Az SI mértékegységrendszerben minden mértékegység a fenti alapegységekből és a prefixumokból áll elő. A mennyiségértéket mindig számérték és mértékegység szorzata adja, például $U = 230\,\mathrm{V}$.

A villamos mennyiségeknél a leggyakrabban használt származtatott egységek:

Összefüggés.

$$1\,\mathrm{C} = 1\,\mathrm{A}\cdot\mathrm{s}, \quad 1\,\mathrm{V} = 1\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{A}}, \quad 1\,\Omega = 1\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}},$$
$$1\,\mathrm{W} = 1\,\mathrm{J/s}, \quad 1\,\mathrm{F} = 1\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V}}, \quad 1\,\mathrm{H} = 1\,\frac{\mathrm{V}\cdot\mathrm{s}}{\mathrm{A}}.$$

Ezekben a definíciókban minden egység ugyanazt az egyenletet követi, mint a hozzá tartozó fizikai törvény. Például az ellenállás $R = U/I$, ezért az $\Omega = \mathrm{V/A}$.

3.2.3.2. Előtagok, normálalak, mérnöki jelölés

Definíció. A **prefixum** (előtag) a mértékegység elé írt, tíz hatványát jelentő jel. A táblázatban felsorolt előtagok a hivatalos SI-prefixumok; a mikro jele a görög µ betű, amely a magyar gyakorlatban „mikro”-nak ejtendő, és nem szabad összekeverni az m-mel.

Szabály. A számértéket és a mértékegységet mindig szóköz választja el, kivéve a szögfokot (`30°`); a Celsius-fok elé szóköz kell (`20 °C`): `230 V`, nem `230V`; `25 mA`, nem `25mA`. A prefixum szorosan a mértékegységhez tartozik: `10 kW`, nem `10 k W`. A prefixum jele betűnagyságra érzékeny: a `M` mega (10^6), az `m` milli (10^{-3}). A `k` kilo mindig kisbetű.

A nagy és nagyon kicsi számokat **normálalakban** vagy **mérnöki jelölésben** adjuk meg. A normálalak: $a \times 10^b$, ahol $1 \le |a| < 10$. A mérnöki jelölés a normálalak olyan változata, amelyben a kitevő hárommal osztható, az együttható pedig 1 és 1000 közé esik ($1 \le |a| < 1000$), például $2{,}5 \times 10^3$ (kilo), 25×10^{-6} (mikro), 330×10^{-6} (mikro). A mérnöki jelölés közvetlenül megfeleltethető a prefixumoknak, ezért a villamosiparban ezt részesítjük előnyben.

Példa.

$$0{,}000\,025\,\mathrm{A} = 25 \times 10^{-6}\,\mathrm{A} = 25\,\mu\mathrm{A}.$$

Itt a mérnöki alak kitevője -6, ami a mikro előtagot jelenti, így a számérték 25 lett.

3.2.3.3. Értékes jegyek, kerekítés, becslés

A mérések és számítások során az eredményt soha ne adjuk meg több értékes jeggyel, mint amennyit a legpontatlanabb kiindulási adat indokol.

Szabály. Kerekítésnél a hagyományos szabályt alkalmazzuk: ha az elhagyandó első számjegy 0–4, lefelé, ha 5–9, felfelé kerekítünk. A könyvben, ha a feladat mást nem kér, az eredményt három értékes jegyre adjuk meg (például 12,3 V), és mindig szúrópróbával ellenőrizzük a nagyságrendet.

A zsebszámológép kijelzője sok tizedesjegyet mutathat, de ez nem jelenti azt, hogy az eredmény valóban ilyen pontos. Az éles méréshez használt műszer pontossága határozza meg, mennyi értékes jegy hiteles.

A becslés fontos eszköz: mielőtt kiszámolunk valamit, becsüljük meg a nagyságrendet. Ha például egy 230 V hálózati feszültségből 10 mA áramot kapunk, akkor a teljesítmény nagyságrendje

$UI \approx 230 \times 0{,}01 = 2{,}3\,\mathrm{W}$, tehát pár wattos fogyasztó. Ha a számológép `2,3 kW`-ot adna, azonnal látnánk a hibát.

3.2.3.4. Magyar jelölési szokások

A könyvben, a magyar gyakorlat szerint, **tizedesvesszőt** használunk, nem tizedespontot. Képletben ezt `{,}` jellel írjuk, például $U = 0{,}5\,\mathrm{V}$. Az ezres csoportosítás vékony szóközzel történik: `10 000 W`, nem `10.000 W` és nem `10000W`. A szövegben a számérték után a mértékegységet szóközzel írjuk: `10 kW`. Pénzösszegnél a pénznem a szám után áll: `10 000 Ft`; ebben a könyvben pénzösszeget ritkán adunk meg.

Külföldi, például amerikai dokumentációkban előfordulhat az angolszász jelölés: tizedespont, ezres vessző, valamint a mértékegységek más rendszere (AWG, láb, hüvelyk). **Figyelem.** Ezeket csak dokumentációolvasáshoz ismerd meg, szerelésre, méretezésre soha ne használd. A magyarországi és európai munkában az SI-rendszert alkalmazzuk.

3.2.4. Kidolgozott példák

3.2.4.1. 1. példa – átváltás milli és mikro között

Adott: $I = 0{,}025\,\mathrm{A}$. **Keresett:** az áram értéke milliamperben és mikroamperben.

Számítás.

Először mérnöki alakra hozzuk: $0{,}025 = 25 \times 10^{-3}$, tehát $I = 25\,\mathrm{mA}$.

A mikroamperhez az amper értéket 10^6-nal szorozzuk:

$$I = 0{,}025\,\mathrm{A} \times \frac{10^6\,\mu\mathrm{A}}{1\,\mathrm{A}} = 25\,000\,\mu\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: $1\,\mathrm{mA} = 1000\,\mu\mathrm{A}$, ezért $25\,\mathrm{mA} = 25 \times 1000 = 25\,000\,\mu\mathrm{A}$, tehát a két eredmény összhangban van. A nagyságrend is stimmel: háztartási elektronikában 25 mA közepes jeláram.

∎

3.2.4.2. 2. példa – mértékegység-ellenőrzés a teljesítmény képleténél

Egy ellenálláson $U = 12\,\mathrm{V}$ feszültség hat, és $I = 0{,}5\,\mathrm{A}$ áram folyik. Számítsuk ki a felvett teljesítményt wattban, és ellenőrizzük a mértékegységet.

Képlet: $P = U \cdot I$.

Behelyettesítés:

$$P = 12\,\mathrm{V} \times 0{,}5\,\mathrm{A} = 6\,\mathrm{V \cdot A}.$$

Mivel $1\,\mathrm{V \cdot A} = 1\,\mathrm{W}$ (a watt definíciója), az eredmény $P = 6\,\mathrm{W}$.

Mértékegység-ellenőrzés: ha a képletben U és I egysége V és A, akkor a szorzat egysége $\mathrm{V \cdot A}$, ami a W-nak felel meg. Ha valaki mA-ben helyettesítene be úgy, hogy a feszültség volt, akkor az eredmény mW-ban lenne, tehát a prefixumot is ellenőrizni kell.

Ellenőrző becslés: $12 \times 0{,}5 = 6$, a teljesítmény kis érték, egy LED-lámpa vagy jelfogó fogyasztásának felel meg. ∎

3.2.5. Valós életbeli alkalmazás

Egy karbantartó egy motor adattábláján ezt olvassa: $P_n = 2{,}2\,\mathrm{kW}$ (a tengelyen leadott teljesítmény), $U_n = 230/400\,\mathrm{V}$, $\cos\varphi = 0{,}8$, $\eta = 0{,}82$ (szemléltető értékek). A munkalapon a névleges áramot kell kiszámolni a biztosíték kiválasztásához. (A gyakorlatban a névleges áramot az adattábláról olvassuk le; a háromfázisú teljesítmény képletét a későbbi, háromfázisú rendszerről szóló alfejezet vezeti be, itt csak a mértékegység-kezelést gyakoroljuk.) Ha a teljesítményt kilowattban, a feszültséget pedig voltban helyettesíti be a $P = \sqrt{3}\cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \eta$ képletbe, akkor az eredmény nem amperben, hanem kiloamperben jön ki, ha a prefixumot elfelejti átváltani.

A helyes eljárás: a 2,2 kW-ot 2200 W-ra váltjuk, hogy a W/V hányados közvetlenül ampert adjon. Mivel az adattáblán a tengelyen leadott teljesítmény áll, a felvett áramhoz a hatásfokkal is osztani kell; a képlet:

$$I_n = \frac{2200\,\mathrm{W}}{\sqrt{3}\times 400\,\mathrm{V}\times 0{,}8\times 0{,}82} \approx 4{,}84\,\mathrm{A}.$$

Nagyságrendi ellenőrzés: $2200/(1{,}73\times 400\times 0{,}8\times 0{,}82) \approx 4{,}84\,\mathrm{A}$ (a hatásfok nélkül $\approx 3{,}97\,\mathrm{A}$ jönne ki, ami kb. 20%-kal kisebb). Ha valaki 2,2 kW-ot és 400 V-ot használ, akkor 0,00484 kA-t kap, ami átszámítva szintén 4,84 A, de a köztes számérték nehezen értelmezhető, és a hibalehetőség megnő. A szabály: **a képletbe csak az alap SI-egységet, vagy az egységet és a hozzá tartozó prefixumot konzekvensen használjuk; az eredményt utána váltjuk mérnöki jelölésbe.**

3.2.6. Tipikus hibák

1. **Elírt prefixum:** `2,2 mF` helyett `2,2 µF`-et írunk, vagy fordítva. A millifarad $10^{-3}\,\mathrm{F}$, a mikrofarad $10^{-6}\,\mathrm{F}$, tehát ezerszeres eltérés. **Helyes gyakorlat:** kiejtve is ellenőrizd: „milli” ezred, „mikro” milliomod. Ezután írd le a számot mérnöki alakban.
2. **A mértékegység kihagyása a levezetés közben.** Például: $R = 10/0{,}5 = 20$ – de 20 micsoda? Ez lehet ohm, de a levezetés hibás, ha valaki kΩ-ban gondolkodik. **Helyes gyakorlat:** minden sorba írd ki az egységet: $R = 10\,\mathrm{V}/0{,}5\,\mathrm{A} = 20\,\Omega$.
3. **A tizedesvessző elírása.** A 0,5 helyett 0.5 vagy 05, az ezres csoportosításnál a pont használata: az `1.000 V` angolszász írásmódban egy volt, a magyarban pedig nem szabályos; az ezer volt helyesen `1000 V` vagy `1 000 V`. **Helyes gyakorlat:** a könyvben tizedesvesszőt és szóközös ezres tagolást használunk; ne keverd a kettőt.
4. **A prefixum kétszeres alkalmazása.** Például `10 k mA` – ez nem szabályos. A `k` és az `m` egyszerre nem illeszthető, helyette `10 A` vagy `10 000 mA`. **Helyes gyakorlat:** a mennyiséget egy prefixummal és az alapegységgel írjuk.

3.2.7. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A mértékegység és a számérték közé szóközt kell írni: `230 V` helyes, `230V` helytelen.
2. Váltsd át a 0,0047 A áramot milliamperbe és mikroamperbe.
3. Váltsd át a 47 kΩ ellenállást ohmba és megaohmba.
4. Mi a hiba ebben a kifejezésben: `10kW`? Írd le helyesen.
5. Egy izzón $P = 60\,\mathrm{W}$ teljesítményt ad meg a gyártó, és $U = 230\,\mathrm{V}$ feszültségen üzemeltetjük. Számítsd ki az áramot, és ellenőrizd a mértékegységet.
6. Milyen prefixumot használsz a $0{,}000\,000\,1\,\mathrm{F}$ kapacitás mérnöki jelölésére?

3.2.8. Feladatok

1. feladat (A) – Alap átváltás. Váltsd át a 2,5 kW teljesítményt wattra, majd az 1500 W teljesítményt kilowattra.

2. feladat (A) – Mérnöki jelölés. Írd fel mérnöki alakban a 0,000 33 F kapacitást, és add meg a megfelelő prefixumot is.

3. feladat (B) – Több lépéses számítás. Egy fűtőtest $P = 2300\,\mathrm{W}$ teljesítményt vesz fel $U = 230\,\mathrm{V}$ hálózatról. Számítsd ki az áramot amperben, majd add meg milliamperben is. Minden lépésben írd ki az egységet.

4. feladat (B) – Energia kiszámítása. Egy háztartási készülék $P = 2\,\mathrm{kW}$ teljesítménnyel $t = 3$ órán át működik. Számítsd ki az elfogyasztott energiát kilowattórában és joule-ban. Ellenőrizd az egységeket: $1\,\mathrm{kWh} = 3{,}6 \times 10^6\,\mathrm{J}$.

5. feladat (C) – Mértékegység-ellenőrzés és prefixum. Adott ellenállás $R = 12\,\mathrm{k\Omega}$ és áram $I = 0{,}5\,\mathrm{mA}$. Számítsd ki az ellenálláson eső feszültséget, és a fellépő teljesítményt. Ügyelj arra, hogy a képletbe az ellenállást ohmban, az áramot amperben helyettesítsd. Ellenőrizd a mértékegységet és a prefixumot.

6. feladat (D) – Gyakorlati hibakeresés. Egy tanuló azt mondja, hogy a 2,2 µF kondenzátor ugyanaz, mint a 2,2 mF. Magyarázd el, mi a hiba, és add meg a két kapacitás arányát. Milyen gyakorlati következménye lehet a cserének?

3.2.9. Megoldások

3.2.9.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A számérték és az egység közé szóközt teszünk.
2. $0{,}0047\,\mathrm{A} = 4{,}7 \times 10^{-3}\,\mathrm{A} = 4{,}7\,\mathrm{mA}$. Mikroamperben: $4{,}7 \times 10^{-3}\,\mathrm{A} = 4700\,\mu\mathrm{A}$.
3. $47\,\mathrm{k\Omega} = 47 \times 10^3\,\Omega = 47\,000\,\Omega$. Megaohmban: $47 \times 10^3\,\Omega = 0{,}047\,\mathrm{M\Omega}$.
4. Hiba: hiányzik a szóköz a számérték és az egység között; a prefixum (k) viszont szóköz nélkül tapad az egységhez. Helyesen: `10 kW`.
5. $I = P/U = 60\,\mathrm{W}/230\,\mathrm{V} \approx 0{,}261\,\mathrm{A}$. Egységellenőrzés: $\mathrm{W/V} = \mathrm{A}$, mivel $\mathrm{W} = \mathrm{V} \cdot \mathrm{A}$, így $\mathrm{W/V} = \mathrm{A}$.
6. $0{,}000\,000\,1\,\mathrm{F} = 1 \times 10^{-7}\,\mathrm{F}$. A legközelebbi hárommal osztható kitevő 10^{-9}, mert $10^{-7} = 100 \times 10^{-9}$, tehát 100 nF.

3.2.9.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A).
$2{,}5\,\mathrm{kW} = 2{,}5 \times 10^3\,\mathrm{W} = 2500\,\mathrm{W}$.
$1500\,\mathrm{W} = 1{,}5 \times 10^3\,\mathrm{W} = 1{,}5\,\mathrm{kW}$.

2. feladat (A).
$0{,}000\,33\,\mathrm{F} = 3{,}3 \times 10^{-4}\,\mathrm{F} = 330 \times 10^{-6}\,\mathrm{F} = 330\,\mu\mathrm{F}$. Tehát a prefixum a mikro (μ), az érték 330 µF (mikrofarad).

3. feladat (B).
$P = 2300\,\mathrm{W}$, $U = 230\,\mathrm{V}$.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2300\,\mathrm{W}}{230\,\mathrm{V}}.$$

Egység: W/V = A. Számolás: 2300/230 = 10. Ezért $I = 10\,\mathrm{A}$.
Milliamperben: $10\,\mathrm{A} = 10 \times 10^3\,\mathrm{mA} = 10\,000\,\mathrm{mA}$.

4. feladat (B).
$P = 2\,\mathrm{kW} = 2000\,\mathrm{W}$, $t = 3\,\mathrm{h} = 3 \times 3600\,\mathrm{s} = 10\,800\,\mathrm{s}$.
Energia kilowattórában: $W = P_{\mathrm{kW}} \times t_{\mathrm{h}} = 2\,\mathrm{kW} \times 3\,\mathrm{h} = 6\,\mathrm{kWh}$.
Joule-ban: $W = 2000\,\mathrm{W} \times 10\,800\,\mathrm{s} = 21\,600\,000\,\mathrm{J} = 2{,}16 \times 10^7\,\mathrm{J}$.
Ellenőrzés: $6\,\mathrm{kWh} \times 3{,}6 \times 10^6\,\mathrm{J/kWh} = 2{,}16 \times 10^7\,\mathrm{J}$, stimmel.

5. feladat (C).
Átváltás: $R = 12\,\mathrm{k\Omega} = 12 \times 10^3\,\Omega = 12\,000\,\Omega$.
$I = 0{,}5\,\mathrm{mA} = 0{,}5 \times 10^{-3}\,\mathrm{A} = 0{,}0005\,\mathrm{A}$.
Feszültség: $U = R \cdot I = 12\,000\,\Omega \times 0{,}0005\,\mathrm{A} = 6\,\mathrm{V}$.
Teljesítmény: $P = U \cdot I = 6\,\mathrm{V} \times 0{,}0005\,\mathrm{A} = 0{,}003\,\mathrm{W} = 3\,\mathrm{mW}$.
Ellenőrzés: $I^2R = (0{,}0005)^2 \times 12\,000 = 2{,}5 \times 10^{-7} \times 12\,000 = 0{,}003\,\mathrm{W}$.
Egységek: $\Omega \cdot \mathrm{A} = \mathrm{V}$, $\mathrm{V} \cdot \mathrm{A} = \mathrm{W}$.

6. feladat (D).
A `2,2 µF` jelentése $2{,}2 \times 10^{-6}\,\mathrm{F}$. A `2,2 mF` jelentése $2{,}2 \times 10^{-3}\,\mathrm{F}$. Ez utóbbi 1000-szer nagyobb kapacitást jelöl. Ha a szerelő a mikrofarádos kondenzátort millifaráddal helyettesíti, az időzítő vagy szűrő áramkör frekvenciatartománya nagyságrendekkel eltolódik: például egy motorindító kondenzátor esetén a váltakozó áramú hálózaton a meddő áram túl nagy lesz, ami túlhevülést és hibát okoz. **Tanulság:** a tizedesvessző és a prefixum nem apró részlet, hanem a méretezés lényege.

3.2.10. Rövid összefoglaló

A villamos számítások akkor megbízhatóak, ha minden mennyiségnél három dolgot ellenőrzünk: a számértéket, a mértékegységet és a prefixumot. Az SI-alapegységek (m, kg, s, A, K, cd) mellett a származtatott egységek: $1\,\mathrm{C} = 1\,\mathrm{A \cdot s}$, $1\,\mathrm{V} = 1\,\mathrm{W/A}$, $1\,\Omega = 1\,\mathrm{V/A}$, $1\,\mathrm{F} = 1\,\mathrm{C/V}$, $1\,\mathrm{H} = 1\,\mathrm{V \cdot s/A}$. A prefixumok p—n—µ—m—k—M—G 1000-es lépésekkel váltanak; a mérnöki jelölésben a kitevő hárommal osztható. A számértéket és az egységet szóköz választja el, a tizedesvesszőt vesszővel jelöljük, az ezreseket szóközzel tagoljuk. Kerekítésnél a legpontatlanabb adat értékes jegyei az irányadók, és minden eredményt nagyságrendileg is ellenőrzünk.

Továbbvitt eredmény. A **mértékegység-ellenőrzés** minden későbbi számítási feladatban kötelező: például az Ohm törvénye, villamos munka, teljesítmény és hatásfok, a Soros kapcsolás és feszültségosztó, valamint a Feszültségesés és a vezeték méretezése alfejezetekben is ugyanezt a módszert használjuk. A képletbe az alap SI-egységet vagy a hozzá illeszkedő prefixumot konzekvensen helyettesítjük, és az eredményt a mérnöki gyakorlatnak megfelelően váltjuk át. Ezzel a rutinnal a számítás maga is hibajelző eszközzé válik.

3.3. Ohm törvénye, villamos munka, teljesítmény és hatásfok

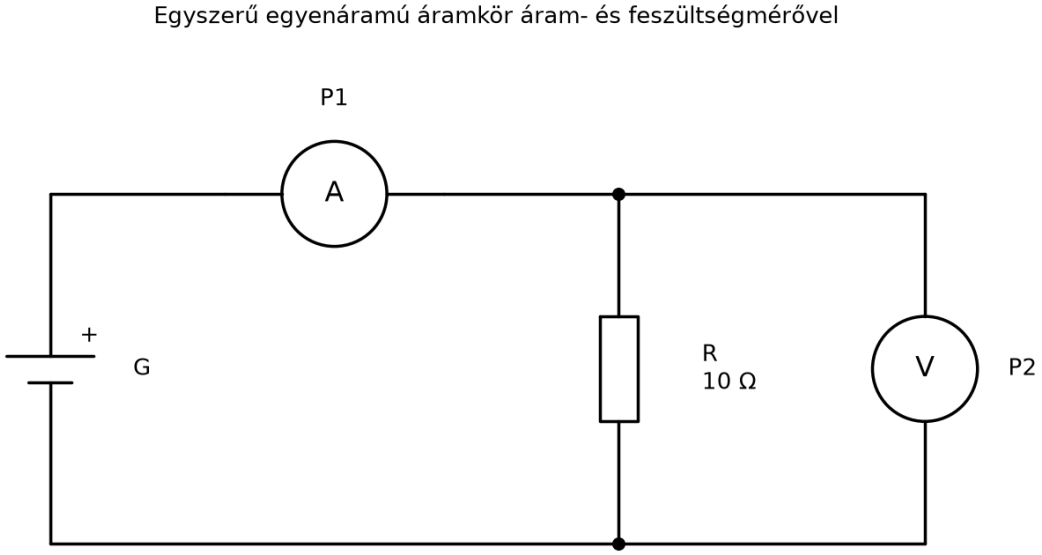
3.3.1. Motiváció

A villanyszerelő munkahelyén a leggyakoribb kérdések között szerepel: *mekkora a betáp árama? hány wattos a fogyasztó? mennyi lesz a havi villanyszámla? miért melegszik az ellenállás? miért csökken a motor fordulatszáma terheléskor?* Mindezek mögött az Ohm-törvény, a villamos teljesítmény, a munka és a hatásfok összefüggése áll. Aki ezeket a képleteket mértékegységekkel együtt, kézzel is ki tudja számolni, az a szerelési hibákat is jobban észreveszi: például egy

túlmelegedő vezeték vagy egy rosszul bekötött mérőműszer esetén a számok gyorsan elárulják, mi a gyanús.

3.3.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy fűtőbetétet, amelyet egyenáramú tápegységről működtetünk. Az alábbi kapcsolási rajzon az árammérő (A) sorba van kötve a fogyasztóval, a feszültségmérő (V) pedig a fogyasztóval párhuzamosan.



3.2. ábra. Egyszerű egyenáramú áramkör áram- és feszültségmérővel - Az árammérő sorosan, a feszültségmérő párhuzamosan kapcsolódik. A rajz tanulási célra készült: P1 az árammérő (A jel), P2 a feszültségmérő (V jel), R az ellenállás, G az egyenfeszültségű forrás.

Az áramkörben a generátor feszültséget hoz létre, a vezetőben és az ellenállásban áram folyik, az ellenállás pedig hővé alakítja a villamos energiát. A mérőműszerek elhelyezése nem véletlen: az áramot **soros**, a feszültséget **párhuzamos** kapcsolással mérjük.

3.3.3. Ohm törvénye

Definíció. Ha egy fémből készült, állandó hőmérsékletű ellenálláson U feszültség hat, akkor a rajta átfolyó áram I egyenesen arányos a feszültséggel. Az arányossági tényező az ellenállás R:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Ebből a másik két, gyakran használt alak:

$$U = R \cdot I, \qquad I = \frac{U}{R}.$$

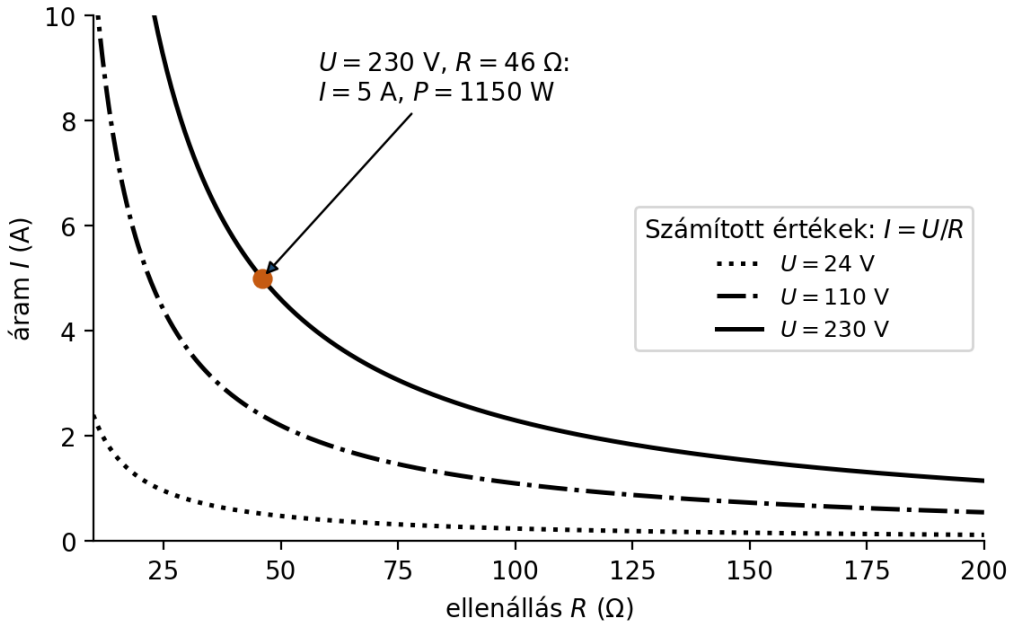
A képletben a feszültséget voltban (V), az áramot amperben (A), az ellenállást ohmban (Ω) kell behelyettesíteni. A mértékegységek összhangban vannak: $1\,\Omega = 1\,\mathrm{V}/1\,\mathrm{A}$.

A gyakorlatban használt ún. „Ohm-háromszög” segédeszköz hasznos lehet gyors átalakításra, de nem helyettesíti az egyenletrendezést. Ha valaki csak a háromszöget jegyzi meg, akkor bonyolultabb képletnél (például teljesítmény, ellenállások soros keverése) könnyen eltéved. Ezért a könyvben mindig a képletből indulunk ki, és mértékegységekkel ellenőrizzük az eredményt.

Szabály. Az Ohm-törvény csak akkor használható közvetlenül, ha az áramkörben a feszültség és az áram egyenesen arányos, vagyis az R ellenállás legalább közelítőleg állandó. Sok fém esetén a hőmérséklet növekedése növeli az ellenállást, ezért az izzólámpa hidegen mért ellenállása például sokkal kisebb, mint üzemi hőmérsékleten. Ezt részletesen az Az ellenállás függése az anyagtól, mérettől és hőmérséklettől alfejezet tárgyalja.

Továbbvitt eredmény. Az Ohm-törvény és a $P = U \cdot I$ teljesítményösszefüggés alapozza meg a vezetők anyag- és méretfüggését az Az ellenállás függése az anyagtól, mérettől és hőmérséklettől alfejezetben, a soros kapcsolások feszültség- és teljesítmény-viszonyait a Soros kapcsolás és feszültségosztó alfejezetben, valamint a kondenzátor energiatárolásának és váltakozó áramú viselkedésének megértését a Villamos tér és kondenzátor alfejezetben.

Ábra: az áram az ellenállás függvényében. Állandó feszültségnél az $I = U/R$ összefüggés hiperbola: kétszer akkora ellenálláson feleakkora áram folyik, kis ellenállásnál pedig az áram gyorsan nő. A három görbe 24 V, 110 V és 230 V feszültségre mutatja ugyanezt; a kiemelt pont az 1. feladat adata ($U = 230\,\mathrm{V}$, $R = 46\,\Omega \rightarrow I = 5\,\mathrm{A}$, $P = 1150\,\mathrm{W}$). A HTML-kiadás interaktív változatában a feszültség és az ellenállás csúszkával állítható, és a program kiírja az áramot és a teljesítményt.



3.3. ábra. Az áram az ellenállás függvényében állandó feszültségen (I = U/R)

3.3.4. Teljesítmény és villamos munka

A villamos teljesítmény azt mutatja meg, hogy a fogyasztó mennyi villamos energiát alakít át más energiává (hővé, fénnyé, mechanikai munkává) másodpercenként.

Összefüggés. Egyenáramú áramkörben, ha az U feszültség hatására I áram folyik, a felvett villamos teljesítmény:

$$P = U \cdot I.$$

Ohm-törvényt behelyettesítve két további alakot kapunk:

$$P = I^2 \cdot R, \qquad P = \frac{U^2}{R}.$$

A teljesítmény mértékegysége a watt: $1\,\mathrm{W} = 1\,\mathrm{V} \cdot 1\,\mathrm{A}$. A gyakorlatban használatos a kilowatt is: $1\,\mathrm{kW} = 10^3\,\mathrm{W}$.

A villamos munka a teljesítmény és az idő szorzata:

$$W = P \cdot t.$$

Ha a teljesítményt wattban, az időt másodpercben írjuk be, a munkát joule-ban (J) kapjuk: $1\,\mathrm{J} = 1\,\mathrm{W} \cdot 1\,\mathrm{s}$. A háztartási elszámolás azonban a kilowattóra (kWh) egységet használja: $1\,\mathrm{kWh} = 10^3\,\mathrm{W} \cdot 3600\,\mathrm{s} = 3{,}6 \cdot 10^6\,\mathrm{J}$. A villanyszámla a fogyasztott energiát kilowattórában számlázza; az ár jellemzően a szerződés szerinti díjszabástól függ, ezért konkrét árat itt nem adunk meg **(ellenőrizendő: aktuális egyetemes szolgáltatási árak)**.

Példa. Egy fűtőbetét 230 V feszültségről 10 A áramot vesz fel. Számítsuk ki az ellenállását, a teljesítményét, valamint a 2 óra alatt fogyasztott energiát és a költséget, ha 1 kWh ára 40 Ft (példaár).

Számítás.

Adott: $U = 230\,\mathrm{V}$, $I = 10\,\mathrm{A}$, $t = 2\,\mathrm{h}$, ár $= 40\,\mathrm{Ft/kWh}$.

Keresett: R, P, W, költség.

A képletek: $R = \frac{U}{I}$, $P = U \cdot I$, $W = P \cdot t$.

Behelyettesítés:

$$R = \frac{230\,\mathrm{V}}{10\,\mathrm{A}} = 23{,}0\,\Omega,$$

$$P = 230\,\mathrm{V} \cdot 10\,\mathrm{A} = 2300\,\mathrm{W} = 2{,}3\,\mathrm{kW},$$

$$W = 2{,}3\,\mathrm{kW} \cdot 2\,\mathrm{h} = 4{,}6\,\mathrm{kWh}.$$

Költség: $4{,}6\,\mathrm{kWh} \cdot 40\,\frac{\mathrm{Ft}}{\mathrm{kWh}} = 184\,\mathrm{Ft}$.

Ellenőrzés. A $P = \frac{U^2}{R}$ alakkal is ellenőrizzük:

$$P = \frac{(230\,\mathrm{V})^2}{23\,\Omega} = \frac{52900}{23} = 2300\,\mathrm{W},$$

tehát az eredmény összhangban van.

3.3.5. Hatásfok

A villamos berendezések a bevezetett teljesítmény egy részét hasznosítják, másik részét veszteségként hővé alakítják. A berendezés jóságát a hatásfok fejezi ki.

Definíció. A hatásfok a hasznos (leadott) teljesítmény és a befektetett (felvett) teljesítmény hányadosa:

$$\eta = \frac{P_{\text{hasznos}}}{P_{\text{befektetett}}}.$$

A hatásfok mértékegység nélküli szám, gyakorlatban százalékban adjuk meg:

$$\eta_{\%} = \frac{P_{\text{hasznos}}}{P_{\text{befektetett}}} \cdot 100\,\%.$$

A veszteségi teljesítmény a befektetett és a hasznos teljesítmény különbsége:

$$P_{\text{veszteség}} = P_{\text{befektetett}} - P_{\text{hasznos}}.$$

A hatásfok soha nem lehet 100 %-nál nagyobb, mert akkor a berendezés több energiát adna le, mint amennyit felvesz (energiamegmaradás). A gyakorlatban a veszteségek miatt $\eta < 1$.

Példa. Egy villanymotor 2,5 kW villamos teljesítményt vesz fel, és 2,2 kW mechanikai teljesítményt ad le a tengelyén. Számítsuk ki a hatásfokot és a veszteségi teljesítményt.

Számítás.

Adott: $P_{\text{fel}} = 2{,}5\,\text{kW}$, $P_{\text{hasznos}} = 2{,}2\,\text{kW}$.

Keresett: η, $P_{\text{veszteség}}$.

Képlet: $\eta = \frac{P_{\text{hasznos}}}{P_{\text{fel}}}$.

$$\eta = \frac{2{,}2\,\text{kW}}{2{,}5\,\text{kW}} = 0{,}88,$$

$$\eta_{\%} = 0{,}88 \cdot 100\,\% = 88\,\%.$$

Veszteség:

$$P_{\text{veszteség}} = 2{,}5\,\text{kW} - 2{,}2\,\text{kW} = 0{,}3\,\text{kW} = 300\,\text{W}.$$

Ellenőrzés. 88 % reális motornál, a 300 W hőveszteség pedig egy kisebb motor esetén elfogadható.

3.3.6. Ellenállások terhelhetősége

Az ellenállás nemcsak áramköri tulajdonság, hanem hőtermelő alkatrész is. A gyártó minden ellenállásra megadja a megengedhető legnagyobb teljesítményt, amelyet az ellenállás károsodás vagy túlzott melegedés nélkül elvisel. Ez az **ellenállás terhelhetősége** (névleges teljesítménye).

Összefüggés. Az ellenállás által keltett hőteljesítményt a $P = I^2 \cdot R$ vagy a $P = \frac{U^2}{R}$ összefüggéssel számoljuk. A gyakorlati szabály az, hogy a tényleges teljesítmény ne haladja meg a gyártó által megadott $P_{\max}$ értéket, és érdemes tartalékot hagyni.

Szabály. Ha egy ellenállásra R és $P_{\max}$ ismert, akkor a megengedhető legnagyobb feszültség:

$$U_{\max} = \sqrt{P_{\max} \cdot R},$$

a legnagyobb áram pedig:

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{P_{\max}}{R}}.$$

Példa. Egy $1\,\mathrm{k\Omega}$ ellenálláson a gyártó $0{,}25\,\mathrm{W}$ maximális teljesítményt enged meg. Mekkora a megengedhető feszültség és áram?

Számítás.

Adott: $R = 1000\,\Omega$, $P_{\max} = 0{,}25\,\mathrm{W}$.

Keresett: $U_{\max}$, $I_{\max}$.

$$U_{\max} = \sqrt{0{,}25\,\mathrm{W} \cdot 1000\,\Omega} = \sqrt{250} = 15{,}8\,\mathrm{V},$$

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{0{,}25\,\mathrm{W}}{1000\,\Omega}} = \sqrt{0{,}00025} = 0{,}0158\,\mathrm{A} = 15{,}8\,\mathrm{mA}.$$

Ellenőrzés. $P = U \cdot I = 15{,}8 \cdot 0{,}0158 \approx 0{,}25\,\mathrm{W}$, tehát a két eredmény összhangban van. A gyakorlatban például $12\,\mathrm{V}$ tápfeszültséggel is biztonságos a használat, mert $P = \frac{12^2}{1000} = 0{,}144\,\mathrm{W} < 0{,}25\,\mathrm{W}$.

3.3.7. Mérés az áramkörben: árammérő sorosan, feszültségmérő párhuzamosan

A villamos mennyiségek mérésére használt műszerek bekötése alapvető.

Szabály. Az árammérőt (ampermérőt) mindig **sorosan** kell bekötni, mert az áramnak át kell folynia rajta. Ideális árammérő belső ellenállása közel nulla, hogy ne befolyásolja az áramkört. Ha az árammérőt párhuzamosan kötnénk, akkor a kis belső ellenállásán keresztül nagy áram folyna, ami tönkreteheti a műszert vagy túláramot okoz.

Szabály. A feszültségmérőt (voltmérőt) mindig **párhuzamosan** kell bekötni a mérendő két pont közé. Ideális feszültségmérő belső ellenállása nagyon nagy, hogy alig vegyen fel áramot. Ha a feszültségmérőt sorosan kötnénk, az áramkör ellenállása megnőne, a fogyasztó nem kapná meg a feszültséget, és a műszer rossz értéket mutatna.

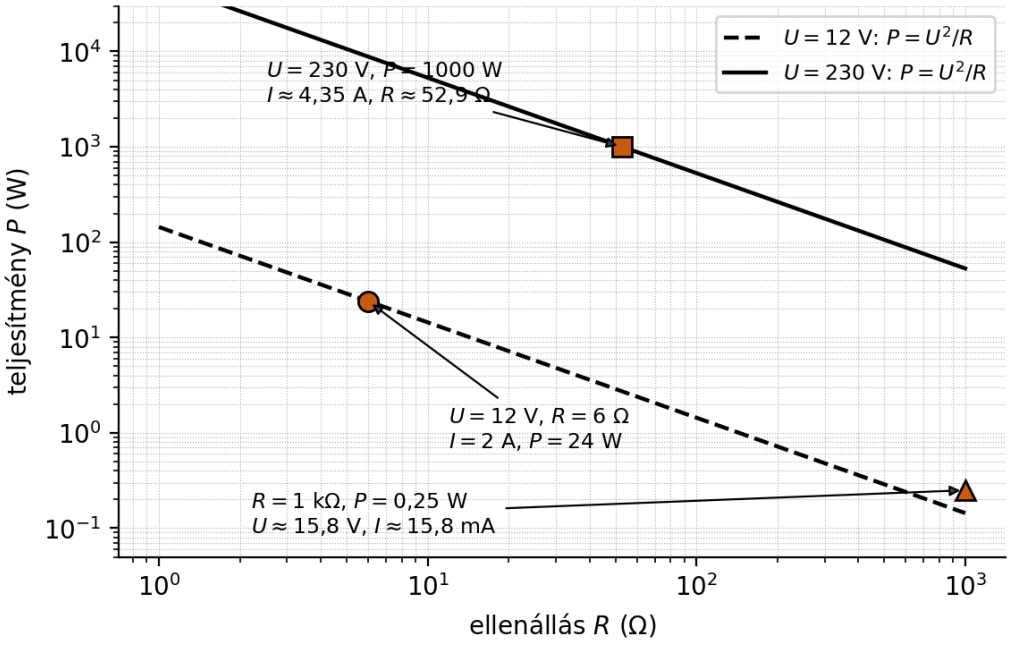
A mérőműszereknek van mérési kategóriája (CAT) és feszültségosztálya. A hálózati feszültségű mérésnél mindig a megfelelő kategóriájú műszert és mérőzsinórt kell használni, a mérés előtt a

műszer állapotát és a mérési állást ellenőrizni kell. Ezt részletesen a Multiméter, lakatfogó és mérési kategóriák alfejezet tárgyalja.

Figyelem. Hálózati feszültségen (230/400 V) mérést csak jogosult, képesített személy végezhet. Tanulóként ilyen mérést önállóan ne végezz; a gyakorlatban tanműhelyi törpefeszültségen vagy oktató felügyeletével dolgozz. A mérés megkezdése előtt a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát is alkalmazni kell, ha a mérőpontok előkészítése szükséges.

3.3.8. Interaktív kalkulátor

Az alábbi interaktív ábra segít az Ohm-törvény és a teljesítmény összefüggésének gyakorlásában: a feszültséget (U, 0–400 V) és az ellenállást (R, 0,5–1000 Ω) csúszkával állítod be, a kalkulátor pedig kiírja az áramot ($I = U/R$), a teljesítményt ($P = U \cdot I$) és az 1 óra alatti energiát; a többi alakot ($U = \sqrt{P \cdot R}$, $I = \sqrt{P/R}$, $R = U^2/P$) emlékeztetőként mutatja. A kalkulátor szemlélteti az összefüggéseket, de éles méretezésnél mindig saját számítással, mértékegységekkel ellenőrizz.



3.4. ábra. Ohm és teljesítmény kalkulátor

Statikus tartalék ábra. A nyomtatott ábra a $P = U^2/R$ összefüggést mutatja két tápfeszültségre (szaggatott: $U = 12\,\text{V}$, folytonos: $U = 230\,\text{V}$), mindkét tengelyen logaritmikus léptékben, és bejelöli a fejezet példáit: $U = 12\,\text{V}$, $R = 6\,\Omega \rightarrow I = 2\,\text{A}$, $P = 24\,\text{W}$; $P = 1000\,\text{W}$, $U = 230\,\text{V}$ $\rightarrow I \approx 4{,}35\,\text{A}$, $R \approx 52{,}9\,\Omega$; valamint az $1\,\text{k}\Omega$ / $0{,}25\,\text{W}$ ellenállás határát ($U_{\text{max}} \approx 15{,}8\,\text{V}$, $I_{\text{max}} \approx 15{,}8\,\text{mA}$). A logaritmikus léptéken látszik, hogy állandó feszültségen az ellenállás tízszerezése a teljesítményt tizedére csökkenti. Az interaktív változatban a második példát $U = 230\,\text{V}$, $R = 53\,\Omega$ beállítással kapod meg közelítőleg ($I \approx 4{,}34\,\text{A}$, $P \approx 998\,\text{W}$).

3.3.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy lakásfelújítás során a szerelőnek meg kell mondania, hogy egy új, 2,3 kW teljesítményű elektromos főzőlap milyen biztosítót igényel. A hálózat 230 V egyfázisú. Az áramot az $I = \frac{P}{U}$ képlettel határozza meg:

$$I = \frac{2300\,\mathrm{W}}{230\,\mathrm{V}} = 10\,\mathrm{A}.$$

Ha csak ezt a fogyasztót nézzük, egy 10 A-es kismegszakító elvileg elegendő lenne, de a gyakorlatban a csatlakozó vezeték vezeték-keresztmetszetét, a szerelési módot, a környezeti hőmérsékletet és a bekapcsolási áramot is figyelembe kell venni. Ezért a méretezésnél az $I_\mathrm{b} \le I_\mathrm{n} \le I_\mathrm{z}$ elv érvényesül, ahol I_b az üzemi áram, I_n a védőeszköz névleges árama, I_z a vezeték terhelhetősége. Ezt a Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram alfejezet részletezi. A szerelő itt azt is ellenőrzi, hogy a főzőlap hője nem terheli-e túl a kötéseket és a dugaszoló aljzatot, ezért a csavarkötéseket nyomatékkulccsal, a gyártó adatai szerint húzza meg.

Valós eset. Egy szerelő egy régi elosztóban azt tapasztalta, hogy egy 2300 W fűtőbetétre 1,5 mm² keresztmetszetű vezeték csatlakozott, és a betét áramköre 16 A-es kismegszakítóval védett. Számolás szerint az üzemi áram $I_\mathrm{b} = 10\,\mathrm{A}$. A 16 A-es kismegszakítóhoz azonban az kell, hogy a vezeték terhelhetősége $I_\mathrm{z} \ge 16\,\mathrm{A}$ legyen; 1,5 mm²-es rézvezetéknél ez a szerelési módtól függ, ezért ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 terhelhetőségi táblázat)** – lásd a Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram alfejezetet. A tényleges hibát azonban a kötés okozta: a kapocsban a vezetővég oxidálódott és meglazult, az átmeneti ellenálláson $P = I^2 R$ hő fejlődött (pl. $R_\mathrm{átm} = 0{,}1\,\Omega$ és $I = 10\,\mathrm{A}$ esetén $P = 10\,\mathrm{W}$ egy kis kapocsban), a kapocs átmelegedett, a szigetelés megbarnult. A szerelő ezért a javítás során a vezetéket visszavágta, új érvéghüvelyt préselt, és a kapcsot a gyártó nyomatékértékére húzta. Tanulság: a teljesítményből számított áram csak a méretezés kiindulópontja; a szerelés minősége is ugyanolyan fontos.

3.3.10. Tipikus hibák

1. **Az árammérőt párhuzamosan kötik.** A hiba: az ampermérő kis belső ellenállása miatt a feszültségforrást gyakorlatilag rövidre zárja. A műszer tönkremehet, a forrás túláramot adhat, vagy a vezeték melegszik. Helyesen: az árammérő mindig sorosan kerüljön az áramkörbe.
2. **A feszültségmérőt sorosan kötik.** A hiba: a voltmérő nagy belső ellenállása miatt az áramkörben alig folyik áram, a fogyasztó nem működik, és a műszer a fogyasztóra jutó feszültség helyett majdnem a teljes tápfeszültséget mutathatja. Helyesen: a feszültségmérőt párhuzamosan kötik.
3. **A teljesítményt és az energiát összekeverik.** A hiba: „a hűtő fogyasztása 200 watt havonta.” A watt a teljesítmény, a kilowattóra az energia. Helyesen: ha a hűtő kompresszora 150 W-ot vesz fel, és naponta összesen kb. 6 órát jár, akkor havi $0{,}15\,\mathrm{kW} \cdot 6\,\mathrm{h} \cdot 30 = 27\,\mathrm{kWh}$ energiát fogyaszt – ezt fizetjük ki, nem a wattot.
4. **A hatásfokot rossz irányban számolják.** A hiba: $\eta = \frac{P_\mathrm{fel}}{P_\mathrm{le}}$, amitől a hatásfok 100 %-nál nagyobbnak adódik. Helyesen: a hasznos (leadott) teljesítmény a számlálóban, a befektetett (felvett) a nevezőben: $\eta = \frac{P_\mathrm{hasznos}}{P_\mathrm{fel}} \le 1$.

3.3.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy az Ohm-törvény $U = R/I$? Indokold.
2. Egy 12 V-os áramkörben 4 Ω ellenállás van. Mennyi a körben folyó áram és az ellenállás teljesítménye?
3. Melyik mértékegység az energia? (válassz: watt, volt, kilowattóra, amper)
4. Mi történik, ha az árammérőt párhuzamosan kötik a fogyasztóval?

5. Egy 100 Ω ellenállás 0,5 W terhelhetőségű. Rákapcsolható-e közvetlenül 10 V? Számold ki.
6. Lehet-e egy motor hatásfoka 1,02? Indokold.

A válaszok a Megoldások rész elején találhatók.

3.3.12. Feladatok

3.3.12.1. 1. feladat (A) – Ohm-törvény alap

Egy fogyasztón 230 V feszültség hat, és 5 A áram folyik át rajta. Számítsd ki az ellenállását és a felvett teljesítményét.

3.3.12.2. 2. feladat (A) – Teljesítményből áram

Egy 2 kW névleges teljesítményű vízmelegítőt 230 V-ról üzemeltetünk. Számítsd ki a felvett áramot és az ellenállását.

3.3.12.3. 3. feladat (B) – Soros kapcsolás és feszültségosztó

Két ellenállást sorosan kötünk: $R_1 = 10\,\Omega$ és $R_2 = 20\,\Omega$. A soros kapcsolásra $U = 12\,\text{V}$ feszültséget kapcsolunk. Számítsd ki az áramköri áramot, az egyes ellenállásokra jutó feszültséget, valamint az ellenállásokon fellépő teljesítményt. (Ez a feladat előkészíti a soros kapcsolás tárgyalását a Soros kapcsolás és feszültségosztó alfejezetben.)

3.3.12.4. 4. feladat (B) – Energia és költség

Egy hősugárzó 2,0 kW teljesítményű, és átlagosan napi 4 órát üzemel. A villamos energia ára 45 Ft/kWh (példaár). Mennyi energiát fogyaszt havonta (30 nap), és mennyibe kerül ez?

3.3.12.5. 5. feladat (C) – Ellenállás terhelhetősége és hibaelemzés

Egy 47 Ω ellenállást 12 V-os tápegységről működtetünk. A gyártó szerint az ellenállás maximális terhelhetősége 0,25 W. Számold ki a tényleges teljesítményt, döntsd el, hogy megfelelő-e, majd számold ki, mekkora feszültségig terhelhető az ellenállás.

3.3.12.6. 6. feladat (D) – Gyakorlati mérési elrendezés

Egy tanműhelyi áramkörben egy izzót szeretnél mérni: az izzón átfolyó áramot és az izzó kapcsain lévő feszültséget. Rajzold le (szövegesen is leírhatod a kapcsolást), hová kell bekötni az ampermérőt és a voltmérőt. Mi történne, ha a két műszert felcserélnéd? Biztonsági korlát: törpefeszültségen dolgozz.

3.3.13. Megoldások

3.3.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Az Ohm-törvény helyes alakja: $U = R \cdot I$, vagy $I = \frac{U}{R}$. Az $U = R/I$ képlet nem szerepel, és mértékegységileg sem stimmel: Ω/A nem volt.
2. **I**:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12\,\mathrm{V}}{4\,\Omega} = 3\,\mathrm{A}, \qquad P = U \cdot I = 12 \cdot 3 = 36\,\mathrm{W}.$$

3. **Kilowattóra** a helyes válasz. A watt teljesítmény, a volt feszültség, az amper áram.
4. Az árammérő kis belső ellenállása miatt a fogyasztóval párhuzamosan kötve gyakorlatilag rövidzárat képez: nagy áram, a műszer tönkremegy, a vezeték melegszik.
5. A teljesítmény:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{10^2}{100} = 1{,}0\,\mathrm{W},$$

ami meghaladja a 0,5 W terhelhetőséget, tehát **nem** kapcsolható rá közvetlenül. A megengedett maximális feszültség:

$$U_{\max} = \sqrt{P_{\max} \cdot R} = \sqrt{0{,}5 \cdot 100} = 7{,}07\,\mathrm{V}.$$

6. **Nem.** A hatásfok a hasznos és a befektetett teljesítmény hányadosa, értéke legfeljebb 1 (100 %) lehet. Az 1,02 azt jelentené, hogy a motor több energiát ad le, mint amennyit felvesz, ami lehetetlen.

3.3.13.2. 1. feladat megoldása

Adott: $U = 230\,\mathrm{V}$, $I = 5\,\mathrm{A}$.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{5} = 46\,\Omega,$$

$$P = U \cdot I = 230 \cdot 5 = 1150\,\mathrm{W} = 1{,}15\,\mathrm{kW}.$$

3.3.13.3. 2. feladat megoldása

Adott: $P = 2000\,\mathrm{W}$, $U = 230\,\mathrm{V}$.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2000}{230} = 8{,}70\,\mathrm{A},$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{8{,}70} = 26{,}4\,\Omega.$$

Ellenőrzés: $P = \frac{U^2}{R} = \frac{230^2}{26{,}4} \approx 2000\,\mathrm{W}$.

3.3.13.4. 3. feladat megoldása

Adott: $R_1 = 10\,\Omega$, $R_2 = 20\,\Omega$, $U = 12\,\mathrm{V}$.

Soros kapcsolásban az eredő ellenállás:

$$R_\mathrm{e} = R_1 + R_2 = 10 + 20 = 30\,\Omega.$$

Áram:

$$I = \frac{U}{R_\mathrm{e}} = \frac{12}{30} = 0{,}4\,\mathrm{A}.$$

Feszültségek:

$$U_1 = I \cdot R_1 = 0{,}4 \cdot 10 = 4\,\mathrm{V}, \qquad U_2 = I \cdot R_2 = 0{,}4 \cdot 20 = 8\,\mathrm{V}.$$

Teljesítmények:

$$P_1 = I^2 \cdot R_1 = 0{,}4^2 \cdot 10 = 1{,}6\,\mathrm{W},$$

$$P_2 = I^2 \cdot R_2 = 0{,}4^2 \cdot 20 = 3{,}2\,\mathrm{W}.$$

Ellenőrzés: $P_\mathrm{össz} = U \cdot I = 12 \cdot 0{,}4 = 4{,}8\,\mathrm{W} = 1{,}6 + 3{,}2$.

3.3.13.5. 4. feladat megoldása

Adott: $P = 2{,}0\,\mathrm{kW}$, napi $t = 4\,\mathrm{h}$, 30 nap, ár $= 45\,\mathrm{Ft/kWh}$. Havi idő:

$$t_\mathrm{havi} = 30 \cdot 4 = 120\,\mathrm{h}.$$

Energia:

$$W = P \cdot t_\mathrm{havi} = 2{,}0\,\mathrm{kW} \cdot 120\,\mathrm{h} = 240\,\mathrm{kWh}.$$

Költség:

$$240\,\mathrm{kWh} \cdot 45\,\frac{\mathrm{Ft}}{\mathrm{kWh}} = 10\,800\,\mathrm{Ft}.$$

3.3.13.6. 5. feladat megoldása

Adott: $R = 47\,\Omega$, $U = 12\,\mathrm{V}$, $P_{\max} = 0{,}25\,\mathrm{W}$.

Tényleges teljesítmény:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{12^2}{47} = \frac{144}{47} = 3{,}06\,\mathrm{W}.$$

Ez **túl nagy**, meghaladja a 0,25 W-ot, az ellenállás túlmelegedne. A megengedett legnagyobb feszültség:

$$U_{\max} = \sqrt{P_{\max} \cdot R} = \sqrt{0{,}25 \cdot 47} = 3{,}43\,\mathrm{V}.$$

Tehát 12 V-ról nem üzemeltethető.

3.3.13.7. 6. feladat megoldása

A kapcsolás: a tápegység pozitív sarkától az ampermérőn át a fogyasztó (izzó) egyik sarkához, majd a fogyasztó másik sarkától a tápegység negatív sarkához csatlakoztatunk vezetéket. Az ampermérő tehát **sorosan** van. A voltmérőt a fogyasztó két kapcsára kötjük párhuzamosan: egyik zsinórja a fogyasztó egyik oldalára, másik zsinórja a másik oldalára. Ha a két műszert felcserélnénk, az ampermérő párhuzamosan kötve nagy áramot venne fel, a voltmérő sorosan kötve pedig lecsökkentené az izzó áramát. Mindkettő hibás méréshez vagy műszerhibához vezethet.

3.3.14. Rövid összefoglaló

Az Ohm-törvény a villamos alapösszefüggés: $R = \frac{U}{I}$, azaz $U = R \cdot I$ és $I = \frac{U}{R}$. A mértékegységek: volt, amper, ohm. A fémeknél az összefüggés csak állandó hőmérsékleten igaz; a hőmérsékletfüggést az Az ellenállás függése az anyagtól, mérettől és hőmérséklettől alfejezet vizsgálja. A villamos teljesítmény $P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$, mértékegysége a watt. A villamos munka $W = P \cdot t$, gyakorlati elszámolási egysége a kilowattóra. A hatásfok $\eta = \frac{P_{\text{hasznos}}}{P_{\text{befektetett}}}$; értéke legfeljebb 1. Az ellenállások terhelhetősége a gyártó által megadott maximális teljesítmény, a megengedett feszültség $U_{\max} = \sqrt{P_{\max} \cdot R}$. A mérési alapelv: árammérő sorosan, feszültségmérő párhuzamosan. A mérést törpefeszültségen, oktató felügyeletével gyakorold; hálózati feszültségen önállóan soha ne mérj. A tanult képletek a későbbi fejezetekben a soros kapcsolásokra, a vezetékméretezésre és a váltakozó áramú számításokra is visszatérnek.

3.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

Az SI-mértékegységek definícióit a BIPM (Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal) teszi közzé; a hazai szakmai anyagokban a MEE (Magyar Elektrotechnikai Egyesület) kiadványai irányadók. Ebben az alfejezetben konkrét szabványhelyre, jogszabályra vagy gyártói adatra nem hivatkoztam; az ellenállás terhelhetősége és a példaár tájékoztató jellegű. A mérési kategóriákat és a multiméter biztonságát a Multiméter, lakatfogó és mérési kategóriák alfejezetben kell részletesen ellenőrizni.

3.4. Az ellenállás függése az anyagtól, mérettől és hőmérséklettől

3.4.1. Motiváció

Egy hosszabbító kábel működés közben melegszik, a feszültség a kábel végén kisebb, mint a dugaszoló aljzatnál; egy motor tekercsének ellenállása hidegen kisebb, mint járás közben; egy izzólámpa bekapcsoláskor rövid időre nagyobb áramot vesz fel, mint üzemszerűen. Mindhárom jelenség mögött ugyanaz áll: a vezető ellenállása függ az anyagától, a méretétől és a hőmérsékletétől. Ha ezt érted, előre tudod becsülni a várható feszültségesést, a kábel melegedését vagy egy tekercs várható ellenállását – anélkül, hogy mindig csak mérnél.

3.4.2. Szemléletes kép: a vezető mint „cső”

Képzeld el a vezetéket úgy, mint egy csövet, amelyben apró golyók (a szabad elektronok) áramlanak. Minél hosszabb a cső, annál többször ütköznek a golyók a falába vagy a rácshibákba, tehát az ellenállás annál nagyobb. Ha a cső keresztmetszete nagyobb, egyszerre több golyó fér el, az ütközések hatása kisebb, így az ellenállás kisebb. Az anyag minősége pedig megmondja, hogy mennyire „engedékeny” a vezető rács: a rézben szabadabban mozognak az elektronok, mint például alumíniumban vagy vasban.

Egy egyszerű számpélda: 20 m hosszú, 1,5 mm² keresztmetszetű rézvezeték ellenállása 20 °C-on körülbelül 0,23 Ω. Ha 10 A áram folyik rajta, a vezeték egyik erén $U = I \cdot R = 10\,\mathrm{A} \cdot 0{,}233\,\Omega \approx 2{,}3\,\mathrm{V}$ esik. Egy 230 V-os egyfázisú fogyasztóhoz azonban két ér (fázis és nulla) vezet, ezért a fogyasztó kapcsain hiányzó feszültség kb. 4,7 V, azaz kb. 2%. Ha a kábel hosszabb vagy vékonyabb, ez gyorsan nő.

3.4.3. Definíciók és az ellenállás méretfüggése

Definíció. A **fajlagos ellenállás** (jele ρ, görög ró) az adott anyag egységnyi hosszúságú és egységnyi keresztmetszetű darabjának ellenállása, adott hőmérsékleten. Gyakori mértékegysége a $\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$, de SI-ben a $\Omega \cdot \mathrm{m}$ is használatos. Átváltás: $1\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m} = 10^{-6}\,\Omega \cdot \mathrm{m}$.

A gyakorlatban használt közelítő értékek 20 °C-on:

Anyag	ρ_{20} ($\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$)	ρ_{20} ($\Omega \cdot \mathrm{m}$)
Réz (Cu)	0,0175	$1{,}75 \cdot 10^{-8}$
Alumínium (Al)	0,028	$2{,}8 \cdot 10^{-8}$
Sárgaréz	kb. 0,07	kb. $7 \cdot 10^{-8}$
Vas/acél	kb. 0,10–0,13	kb. $(1{,}0\text{–}1{,}3) \cdot 10^{-7}$

Ezek a számok anyagminőségtől és szabványos besorolástól függően kissé eltérhetnek **(ellenőrizendő: a pontos érték a gyártói adatlap vagy az aktuális szabvány szerint)**.

Összefüggés. Egy homogén anyagú, állandó keresztmetszetű vezető ellenállása:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

ahol: - R a vezető ellenállása (Ω), - ρ a fajlagos ellenállás ($\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$), - l a vezető hossza (m), - A a vezető keresztmetszete (mm^2).

Fontos, hogy a mértékegységek összeillenek: ha ρ mértékegysége $\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$, akkor a hosszt méterben, a keresztmetszetet pedig négyzetmilliméterben kell behelyettesíteni. Ha ρ mértékegysége $\Omega \cdot \mathrm{m}$, akkor a keresztmetszetet négyzetméterben kell megadni, tehát $1{,}5\,\mathrm{mm}^2 = 1{,}5 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^2$.

Definíció. A **fajlagos vezetés** (vezetőképesség) a fajlagos ellenállás reciproka:

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

Mértékegysége gyakran $\mathrm{m}/(\Omega \cdot \mathrm{mm}^2)$ (vagy S/m, ahol a siemens (S) a vezetés egysége). A réz fajlagos vezetése 20 °C-on kb. $57\,\mathrm{m}/(\Omega \cdot \mathrm{mm}^2)$, az alumíniumé kb. $35\,\mathrm{m}/(\Omega \cdot \mathrm{mm}^2)$. A vezeték méretezésében sokszor a fajlagos vezetéssel számolunk, mert a képlet egyszerűbbé válik: a vezető vezetése $G = \gamma \cdot A/l$.

3.4.4. Kidolgozott példák

3.4.4.1. 1. példa: vezeték ellenállása anyagból és méretből

Egy lakásfelújítás során 25 m hosszú, 2,5 mm² réz vezetéket kell beépíteni. Mennyi a vezeték ellenállása 20 °C-on?

Adott: - Réz, ezért $\rho_{20} = 0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$ - $l = 25\,\mathrm{m}$ - $A = 2{,}5\,\mathrm{mm}^2$

Keresett: R

Képlet: $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$

Behelyettesítés:

$$R = 0{,}0175\,\frac{\Omega \cdot \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}} \cdot \frac{25\,\mathrm{m}}{2{,}5\,\mathrm{mm}^2} = 0{,}175\,\Omega$$

Ellenőrzés: A mértékegység $\frac{\Omega \cdot \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{mm}^2} = \Omega$, tehát az eredmény Ω-ban van. A nagyságrend is reális: egy 25 m-es, 2,5 mm²-es rézvezeték ellenállása néhány tized ohm.

3.4.4.2. 2. példa: ugyanaz a vezeték 60 °C-on

Ha ugyanez a vezeték üzemi hőmérsékleten 60 °C-ra melegszik, mennyi lesz az ellenállása? A réz hőmérsékleti tényezője $\alpha_{20} = 3{,}9 \cdot 10^{-3}\,1/\mathrm{K}$ **(ellenőrizendő: a pontos érték a szabványos vezetőosztálytól függ)**.

Adott: - $R_{20} = 0{,}175\,\Omega$ - $t_1 = 20\,^\circ\mathrm{C}$ - $t_2 = 60\,^\circ\mathrm{C}$ - $\alpha_{20} = 0{,}0039\,1/\mathrm{K}$

Képlet:

$$R(t) = R_{20} \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (t - 20\,^\circ\mathrm{C})]$$

Behelyettesítés:

$$R(60^\circ\mathrm{C}) = 0{,}175\,\Omega \cdot [1 + 0{,}0039 \cdot (60 - 20)] = 0{,}175\,\Omega \cdot (1 + 0{,}156) = 0{,}202\,\Omega$$

Ellenőrzés: A melegedés 40 K, az ellenállás kb. 15,6%-kal nő, ami reális a réznél. A mértékegység Ω, a szorzat dimenziótlan tényező, mert $\alpha \cdot \Delta t$ dimenziótlan.

3.4.5. Hőmérsékletfüggés, hidegellenállás és melegellenállás

A fémek ellenállása a hőmérséklet növekedésével nő, mert a melegebb rácsban jobban rezegnek az atomok, és az elektronok gyakrabban ütköznek. A gyakorlatban a szokásos üzemi hőmérséklet-tartományban (kb. –40 °C-tól 180 °C-ig) a változás lineárisnak tekinthető:

$$R(t) = R_{20} \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (t - 20\,^{\circ}\mathrm{C})]$$

ahol α_{20} a 20 °C-ra vonatkoztatott hőmérsékleti tényező (1/K vagy 1/°C). Rézre és alumíniumra ez kb. 0,0039 1/K körüli, más fémekre ettől eltér.

A kifejezés átalakítható egy másik referencia-hőmérsékletre is: ha ismerjük az R_1 ellenállást t_1 hőmérsékleten, akkor t_2 hőmérsékleten az ellenállás:

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (t_2 - t_1)]\,,$$

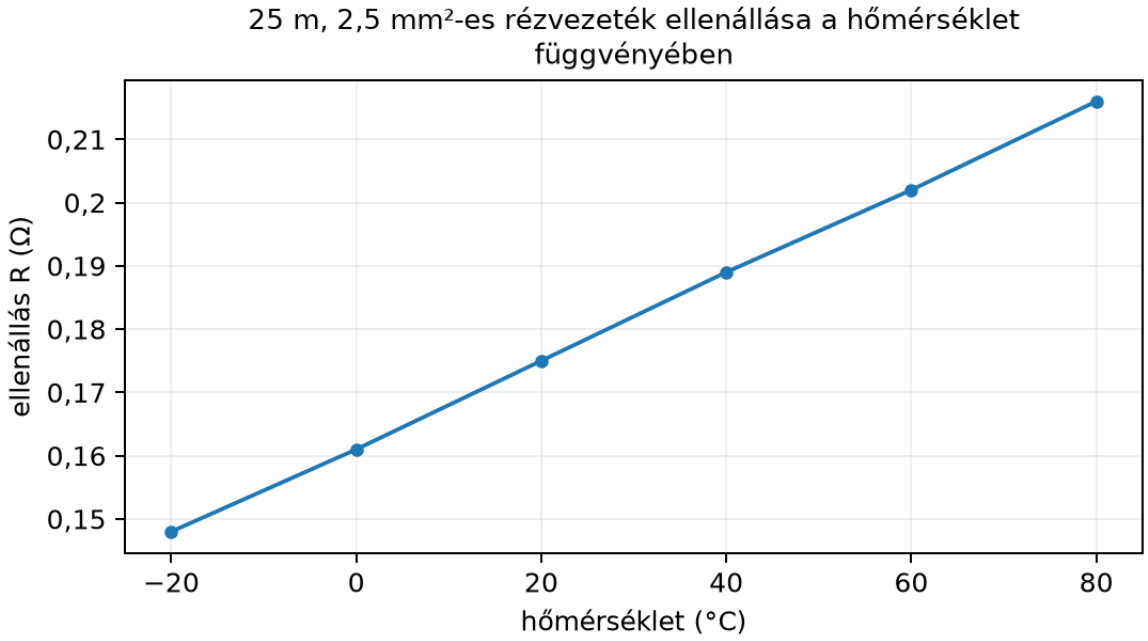
amennyiben α értékét a referencia-hőmérséklettől függetlenül állandónak vehetjük a vizsgált tartományban. Ez a közelítés a gyakorlatban a legtöbb számításhoz elegendő.

A fenti összefüggésből a hőmérséklet is kifejezhető, ha két ellenállásmérést végzünk:

$$t_2 = t_1 + \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot \alpha}$$

Ezt használjuk például motorok tekercsének hőmérséklet-meghatározására ellenállásmérésből.

Az alábbi grafikon az 1. és 2. példa 25 m-es, 2,5 mm²-es rézvezetékének ellenállását mutatja −20 °C és 80 °C között: az ellenállás a hőmérséklettel lineárisan nő, 20 °C-on 0,175 Ω, 60 °C-on 0,202 Ω.



3.5. ábra. 25 m, 2,5 mm²-es rézvezeték ellenállása a hőmérséklet függvényében - Képletből számolt: R(t) = R20 · (1 + 0,0039 · (t − 20 °C)), R20 = 0,175 Ω (1. példa); 60 °C-on 0,202 Ω (2. példa). Az α érték ellenőrizendő (vezetőosztálytól függ).

3.4.5.1. Kidolgozott példa: motortekercs hőmérséklete ellenállásmérésből

Egy aszinkronmotor tekercsét hidegen, 20 °C-on mértük: $R_1 = 0{,}80\,\Omega$. A motor üzemi melegedése után a tekercs ellenállása $R_2 = 1{,}02\,\Omega$. A tekercs réz, $\alpha = 0{,}0039\,1/\mathrm{K}$. Mekkora a tekercs becsült hőmérséklete?

Adott: - $t_1 = 20\,^\circ\mathrm{C}$ - $R_1 = 0{,}80\,\Omega$ - $R_2 = 1{,}02\,\Omega$ - $\alpha = 0{,}0039\,1/\mathrm{K}$

Képlet: $t_2 = t_1 + \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot \alpha}$

Behelyettesítés:

$$t_2 = 20\,^\circ\mathrm{C} + \frac{1{,}02\,\Omega - 0{,}80\,\Omega}{0{,}80\,\Omega \cdot 0{,}0039\,\mathrm{K}^{-1}} = 20\,^\circ\mathrm{C} + \frac{0{,}22\,\Omega}{0{,}00312\,\Omega/\mathrm{K}} \approx 20\,^\circ\mathrm{C} + 70{,}5\,^\circ\mathrm{C} = 90{,}5\,^\circ\mathrm{C}$$

Ellenőrzés: Az ellenállás 0,22/0,80 = 27,5%-kal nőtt; $\Delta t = 27{,}5\,\%/(0{,}0039\,1/\mathrm{K}) \approx 70{,}5\,\mathrm{K}$. A becsült hőmérséklet 90 °C, ami egy motortekercsre üzemszerűen elfogadható. Ha a mért érték alapján a tekercs hőmérséklete meghaladná a szigetelési osztály szerinti határértéket, a motor túlterhelt vagy hűtése elégtelen. **(ellenőrizendő: a szigetelési osztályok szerinti megengedett határhőmérsékletek a gyártói adatlapról és a vonatkozó szabványból vehetők.)**

3.4.6. A vezetékméretezés előkészítése

A vezető ellenállása közvetlenül meghatározza a rajta eső feszültséget. A Feszültségesés és a vezeték méretezése alfejezetben majd részletesen számolunk, de itt az alapösszefüggés már látszik: ha egyfázisú fogyasztóhoz vezetéken I áram folyik, a vezetéken (oda-vissza, tehát kétszeres hosszon) eső feszültségesés közelítőleg:

$$\Delta U \approx I \cdot 2R_{\text{vezeték}} = I \cdot 2\rho\frac{l}{A}$$

Minél kisebb a keresztmetszet, annál nagyobb a feszültségesés. A méretezéskor azt a legkisebb keresztmetszetet keressük, amelynél a feszültségesés a megengedett határon belül marad (a fogyasztói berendezésen belül jellemzően világításra 3%, más fogyasztókra 5% az ajánlott határ; a forrás a kisfeszültségű berendezések szerelési szabványa – **ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 feszültségesésre vonatkozó melléklete és a tervezői előírás**). Ehhez a rézre és alumíniumra megadott ρ értékét kell használni.

3.4.7. Továbbvitt eredmény

Továbbvitt eredmény. A vezető ellenállásának kiszámítása az $R = \rho \cdot l/A$ képlettel, valamint a hőmérsékletfüggés az $R(t) = R_{20}[1 + \alpha_{20}(t - 20)]$ képlettel alapvető eszköz lesz a következő alfejezetekben: - a Fémek és ötvözetek a villamosiparban alfejezetben az anyagok kiválasztásánál, - a Földelők és földelési ellenállás alfejezetben a földelő elektródák ellenállásának becslésénél, - valamint a Feszültségesés és a vezeték méretezése alfejezetben a vezeték-keresztmetszet meghatározásánál.

Ezt az összefüggést tehát a gyakorlatban is rendszeresen alkalmazni fogod, nem csak elméleti példaként.

3.4.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy fűtőbetétes eszköz 2 kW teljesítményű, 230 V-os. A szerelő egy 30 m hosszú, 1,5 mm²-es hosszabbítóval csatlakoztatja. A hosszabbító kábel réz, így a kábel oda-vissza számított ellenállása:

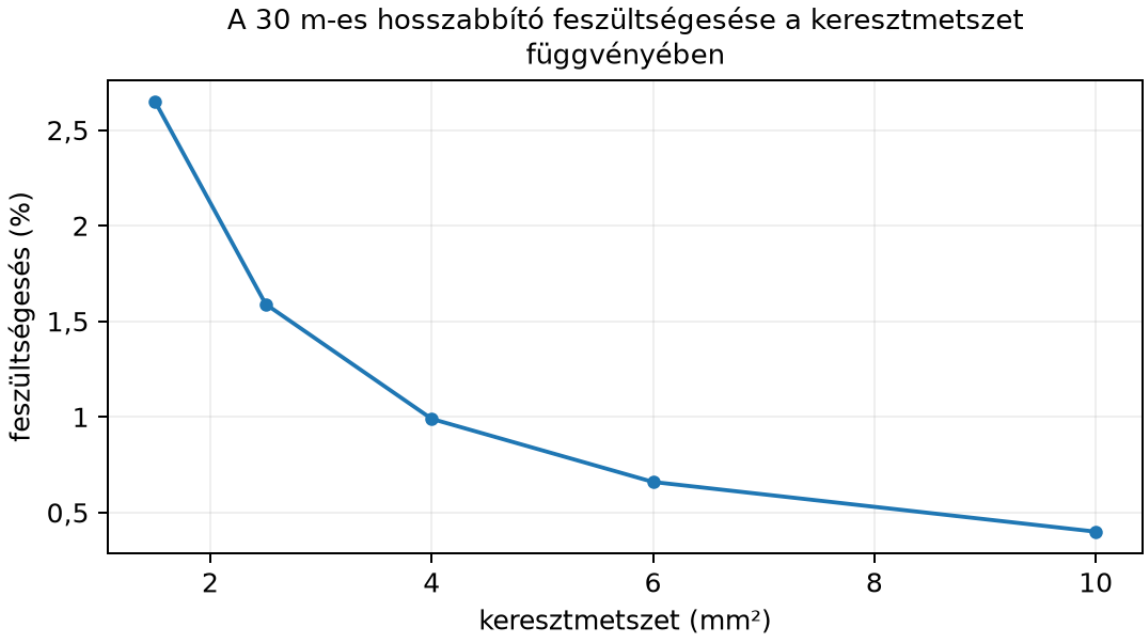
$$2R = 2 \cdot 0{,}0175\,\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \cdot \frac{30\,\text{m}}{1{,}5\,\text{mm}^2} = 0{,}7\,\Omega$$

A fűtőtest névleges árama: $I = P/U = 2000\,\text{W}/230\,\text{V} \approx 8{,}7\,\text{A}$. A kábelen eső feszültség:

$$\Delta U = I \cdot 2R \approx 8{,}7\,\text{A} \cdot 0{,}7\,\Omega \approx 6{,}1\,\text{V}$$

Ez még elfogadhatónak tűnhet (kb. 2,6%), de ha a csatlakozási ponton is van feszültségesés, vagy a kábel feltekerve van (rossz hűtés), a kábel melegedhet. Ráadásul ha a kábel 2,5 mm²-es lenne, az ellenállás csak kb. 0,42 Ω lenne, a feszültségesés pedig kb. 3,6 V-ra csökkenne. A szerelő ezért a hosszabbító kábelt mindig a fogyasztó teljesítményéhez illő keresztmetszettel választja ki.

Az alábbi grafikon ugyanezt a hosszabbítót különböző keresztmetszetekkel mutatja: a feszültségesés a keresztmetszettel fordítottan arányos (1,5 mm²: 2,65%, 2,5 mm²: 1,59%, 4 mm²: 0,99%, 6 mm²: 0,66%).



3.6. ábra. A 30 m-es hosszabbító feszültségesése a keresztmetszet függvényében - Képletből számolt: $\Delta U = I \cdot 2\rho l/A$, I = 2000 W / 230 V = 8,7 A, l = 30 m (oda-vissza 60 m), $\rho = 0{,}0175$ $\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$ (réz, 20 °C); a százalék a 230 V-hoz viszonyítva.

3.4.9. Tipikus hibák

1. **Helytelen mértékegység-átváltás.** A fajlagos ellenállást $\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$-ben adják meg, de a keresztmetszetet méterben számolják. Például $1{,}5\,\mathrm{mm}^2$-t $1{,}5\,\mathrm{m}^2$-ként behelyettesíteni óriási hibát okoz. Mindig ellenőrizd, hogy a ρ mértékegységéhez igazodik-e a keresztmetszet és a hossz egysége.

2. **A hőmérséklet-tényező rossz használata.** Ha a 20 °C-os ellenállásból számolunk, akkor $(t - 20\,^\circ\mathrm{C})$ hőmérséklet-különbséggel szorzunk. Ha a képletet abszolút hőmérsékletre (kelvinre) írjuk fel, ügyelni kell a referencia-hőmérséklet helyes átszámítására. A gyakori hiba: $R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t_{\mathrm{Celsius}})$, ahol R_0 a 0 °C-os ellenállás, nem pedig a 20 °C-os. Keverés esetén az eredmény jelentősen eltér.

3. **Ellenállásmérés motoron hidegen, majd az üzemi ellenállásból hőmérséklet becslése anélkül, hogy a mérővezeték ellenállását kompenzálnák.** Kétvezetékes mérésnél a mérőzsinór ellenállása hozzáadódik a tekercs ellenállásához, ami főleg kis ellenállásoknál (pl. 0,1–1 Ω) torzítja az eredményt. Ilyenkor négyvezetékes (Kelvin) mérést vagy a mérőzsinór ellenállásának levonását kell alkalmazni.

3.4.10. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A vezeték ellenállása fordítottan arányos a hosszával.
2. **Igaz vagy hamis?** A fémek ellenállása a hőmérséklet növekedésével csökken.
3. **Gyors számolás:** Egy 10 m hosszú, 1,0 mm² keresztmetszetű rézvezeték ellenállása 20 °C-on körülbelül mennyi? ($\rho_{\mathrm{Cu}} = 0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$)
4. **Mi a hiba ebben a számításban?** „R = ρ · l/A = 0,0175 · 10 / 1,5 = 0,117 Ω, tehát a vezeték ellenállása 0,117 mΩ.” Hol a hiba?

5. **Miért nő a vezeték ellenállása, ha melegszik?** Magyarázd el egy mondatban.
6. **Melyik vezetőnek kisebb az ellenállása azonos méret esetén: réznek vagy alumíniumnak?** Miért?

3.4.11. Feladatok

1. feladat (A)
Egy rézvezeték 50 m hosszú, 4 mm² keresztmetszetű. Mekkora az ellenállása 20 °C-on? ($\rho_{\mathrm{Cu}} = 0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$)

2. feladat (A)
Egy alumínium vezeték keresztmetszete 6 mm², hossza 80 m. Mekkora az ellenállása 20 °C-on? ($\rho_{\mathrm{Al}} = 0{,}028\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$)

3. feladat (B)
Egy fűtőszál ellenállása 20 °C-on 12 Ω. A hőmérsékleti tényezője $\alpha = 0{,}004\,1/\mathrm{K}$. Mennyi lesz az ellenállása 120 °C-on?

4. feladat (B)
Egy motor tekercsét hidegen, 20 °C-on mértük: 1,25 Ω. Meleg állapotban az ellenállás 1,6 Ω. A tekercs réz, $\alpha = 0{,}0039\,1/\mathrm{K}$. Becsüld meg a tekercs hőmérsékletét!

5. feladat (C)
Egy 25 m hosszú, 2,5 mm²-es rézvezetéken 16 A folyik. Becsüld meg a vezetéken eső feszültséget (oda-vissza számítva), ha a vezeték hőmérséklete 20 °C. Ha ugyanez a vezeték 60 °C-ra melegszik, hány százalékkal nő a feszültségesés?

6. feladat (D)
Egy raktárban egy 12 V-os halogénlámpa-rendszert üzemeltetnek. A transzformátortól a lámpáig 8 m-re van a csatlakozási pont. A lámpa áramfelvétele 5 A. A szerelő 1,5 mm²-es rézvezetéket használ. A lámpán mért feszültség 10,8 V. Mekkora a vezeték ellenállása oda-vissza? Mekkora a feszültségesés? Indokold, hogy a vezeték megfelelő-e, ha a megengedett feszültségesés 5%! (Tipp: a vezeték oda-vissza hossza kétszeres.)

3.4.12. Megoldások

3.4.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A vezeték ellenállása egyenesen arányos a hosszával, nem fordítottan: $R = \rho l / A$, tehát minél hosszabb, annál nagyobb az ellenállás.
2. **Hamis.** A fémek ellenállása a hőmérséklet növekedésével nő, mert a rácsrezgések erősödnek, és az elektronok gyakrabban ütköznek.
3. $R = 0{,}0175 \cdot 10 / 1{,}0 = 0{,}175\,\Omega$.
4. A számítás maga helyes, a hiba a mértékegységben van: az eredmény 0,117 Ω, nem mΩ. Azaz 117 mΩ, nem 0,117 mΩ.
5. Mert a fémrács atomjai melegebb állapotban nagyobb amplitúdóval rezegnek, így a szabad elektronok ütközése gyakoribb, ami megnöveli az ellenállást.
6. Réznek kisebb az ellenállása, mert a fajlagos ellenállása kisebb (0,0175 $\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$), mint az alumíniumé (0,028 $\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$). Azonos méretnél a réz vezetőképessége jobb.

3.4.12.2. A feladatok megoldásai

1. feladat (A)

Adott: $l = 50\,\text{m}$, $A = 4\,\text{mm}^2$, $\rho = 0{,}0175\,\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Képlet: $R = \rho \cdot l/A$
Behelyettesítés:

$$R = 0{,}0175 \cdot \frac{50}{4} = 0{,}21875\,\Omega \approx 0{,}219\,\Omega$$

Ellenőrzés: A mértékegység Ω, a nagyságrend reális.

2. feladat (A)

Adott: $l = 80\,\text{m}$, $A = 6\,\text{mm}^2$, $\rho_{\text{Al}} = 0{,}028\,\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Képlet: $R = \rho \cdot l/A$
Behelyettesítés:

$$R = 0{,}028 \cdot \frac{80}{6} = 0{,}3733\,\Omega \approx 0{,}373\,\Omega$$

Ellenőrzés: 0,373 Ω reális.

3. feladat (B)

Adott: $R_{20} = 12\,\Omega$, $t = 120\,^\circ\text{C}$, $\alpha = 0{,}004\,1/\text{K}$
Képlet: $R(t) = R_{20} \cdot [1 + \alpha(t - 20)]$
Behelyettesítés:

$$R(120) = 12 \cdot [1 + 0{,}004 \cdot (120 - 20)] = 12 \cdot (1 + 0{,}4) = 12 \cdot 1{,}4 = 16{,}8\,\Omega$$

Ellenőrzés: A 100 K hőmérséklet-növekedés $0{,}004 \cdot 100 = 0{,}4$ relatív ellenállásnövekedést ad, 40% növekedés, tehát 12 → 16,8 Ω helyes.

4. feladat (B)

Adott: $t_1 = 20\,^\circ\text{C}$, $R_1 = 1{,}25\,\Omega$, $R_2 = 1{,}6\,\Omega$, $\alpha = 0{,}0039\,1/\text{K}$
Képlet: $t_2 = t_1 + \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot \alpha}$
Behelyettesítés:

$$t_2 = 20 + \frac{1{,}6 - 1{,}25}{1{,}25 \cdot 0{,}0039} = 20 + \frac{0{,}35}{0{,}004875} \approx 20 + 71{,}8 = 91{,}8\,^\circ\text{C}$$

Ellenőrzés: Az ellenállásnövekedés 0,35/1,25 = 28%, ami 0,28/0,0039 ≈ 71,8 K hőmérséklet-különbséget ad, 20 + 71,8 = 91,8 °C.

5. feladat (C)

Adott: $l = 25\,\text{m}$, $A = 2{,}5\,\text{mm}^2$, $I = 16\,\text{A}$, $\rho_{20} = 0{,}0175\,\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Először kiszámítjuk a vezeték ellenállását 20 °C-on egy vezetőre:

$$R_{20} = 0{,}0175 \cdot \frac{25}{2{,}5} = 0{,}175\,\Omega$$

Oda-vissza (kétszeres hossz):

$$2R_{20} = 0{,}35\,\Omega$$

Feszültségesés 20 °C-on:

$$\Delta U_{20} = I \cdot 2R_{20} = 16 \cdot 0{,}35 = 5{,}6\,\mathrm{V}$$

A feszültségesés 230 V-hoz képest $5{,}6/230 \approx 2{,}43\%$.

60 °C-on az ellenállás:

$$R_{60} = R_{20} \cdot [1 + \alpha(60 - 20)] = 0{,}175 \cdot (1 + 0{,}0039 \cdot 40) = 0{,}175 \cdot 1{,}156 = 0{,}2023\,\Omega$$

Oda-vissza: $2R_{60} = 0{,}4046\,\Omega$, feszültségesés:

$$\Delta U_{60} = 16 \cdot 0{,}4046 = 6{,}47\,\mathrm{V}$$

Növekedés: $6{,}47/5{,}6 = 1{,}155$, azaz 15,5% növekedés. Ez megegyezik az ellenállás növekedésével, mert az áram változatlan.

6. feladat (D)

Adott: 12 V-os rendszer, $I = 5\,\mathrm{A}$, $l_{\mathrm{egy}} = 8\,\mathrm{m}$, oda-vissza hossz $2l = 16\,\mathrm{m}$, $A = 1{,}5\,\mathrm{mm}^2$, $\rho_{\mathrm{Cu}} = 0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$

Vezeték ellenállása oda-vissza:

$$2R = 2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{A} = 2 \cdot 0{,}0175 \cdot \frac{8}{1{,}5} = 2 \cdot 0{,}09333 = 0{,}1867\,\Omega \approx 0{,}187\,\Omega$$

Feszültségesés:

$$\Delta U = I \cdot 2R = 5 \cdot 0{,}1867 = 0{,}9335\,\mathrm{V} \approx 0{,}93\,\mathrm{V}$$

A lámpán mért feszültség 10,8 V, ami a 12 V-nál 1,2 V-tal kisebb. A számított feszültségesés 0,93 V, ami megközelíti a mért értéket; a különbség a csatlakozási ellenállásokból, a mérési pontatlanságból vagy a vezeték melegedéséből adódhat.

A mérésből: $2R_{\mathrm{mért}} = 1{,}2\,\mathrm{V}/5\,\mathrm{A} = 0{,}24\,\Omega$; a képletből $0{,}187\,\Omega$. A kb. $0{,}05\,\Omega$ többlet a kötések/csatlakozók átmeneti ellenállása – ezeket is ellenőrizni kell. Sem a mért ($1{,}2/12 = 10\,\%$), sem a számított ($0{,}93/12 \approx 7{,}8\,\%$) esés nem fér bele az 5 %-ba.

Megfelelőség: A megengedett feszültségesés 5%: $0{,}05 \cdot 12 = 0{,}6\,\mathrm{V}$. A számított 0,93 V meghaladja ezt, tehát a vezeték nem megfelelő 5%-os határ betartásához. Nagyobb keresztmetszetet (pl. 2,5 mm²) kellene választani, amelynek oda-vissza ellenállása $2 \cdot 0{,}0175 \cdot 8/2{,}5 = 0{,}112\,\Omega$, feszültségesése $5 \cdot 0{,}112 = 0{,}56\,\mathrm{V}$, ami már a határon belül van. Ez a 0,56 V csak akkor teljesül, ha a mérésből kimutatott kb. $0{,}05\,\Omega$-os átmeneti ellenállást is megszüntetjük (kötések, csatlakozók tisztítása, újrakötése); a kötések javítása nélkül 2,5 mm²-rel is kb. $(0{,}112 + 0{,}053)\,\Omega \cdot 5\,\mathrm{A} \approx 0{,}83\,\mathrm{V}$ ($\approx 6{,}9\,\%$) esne. A helyes sorrend: előbb a kötések rendbetétele, majd a keresztmetszet növelése.

3.4.13. Rövid összefoglaló

A vezető ellenállása az anyagtól, a mérettől és a hőmérséklettől függ. Az alapképlet: $R = \rho \cdot l/A$, ahol ρ a fajlagos ellenállás. A réz 20 °C-os fajlagos ellenállása kb. $0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$, az alumíniumé kb. $0{,}028\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$ (a pontos érték a szabványos anyagminőségtől függ, ezért mindig ellenőrizendő). A fémek ellenállása a hőmérséklettel nő: $R(t) = R_{20} \cdot [1 + \alpha_{20}(t - 20)]$, ahol a rézre és alumíniumra $\alpha_{20} \approx 0{,}0039\,1/\mathrm{K}$. Ebből két ellenállásmérésből becsülhető a tekercs hőmérséklete is: $t_2 = t_1 + (R_2 - R_1)/(R_1\alpha)$. Ezeket az összefüggéseket használjuk a vezetékméretezésnél a feszültségesés becslésére, valamint később az anyagválasztásnál és a földelési ellenállás számításánál: Fémek és ötvözetek a villamosiparban, Földelők és földelési ellenállás, Feszültségesés és a vezeték méretezése.

3.4.14. Források és ellenőrzési hiányok

A fajlagos ellenállás és a hőmérsékleti tényező pontos értékei a vezetőanyag szabványos osztályától, tisztaságától és a hőmérséklettől függnek; a fent megadott értékek gyakorlati közelítések. A pontos értékeket a mindenkori anyagszabványok, gyártói adatlapok és a hálózati engedélyes előírásai tartalmazzák, ezért azokat minden ellenőrzési vagy tervezési feladat előtt ellenőrizni kell. Az SI-mértékegységek hivatalos definíciói a BIPM kiadványában találhatók (a forrást ebben a könyvben nem hivatkozzuk pontosan).

4 Egyenáramú hálózatok

4.1. Soros kapcsolás és feszültségosztó

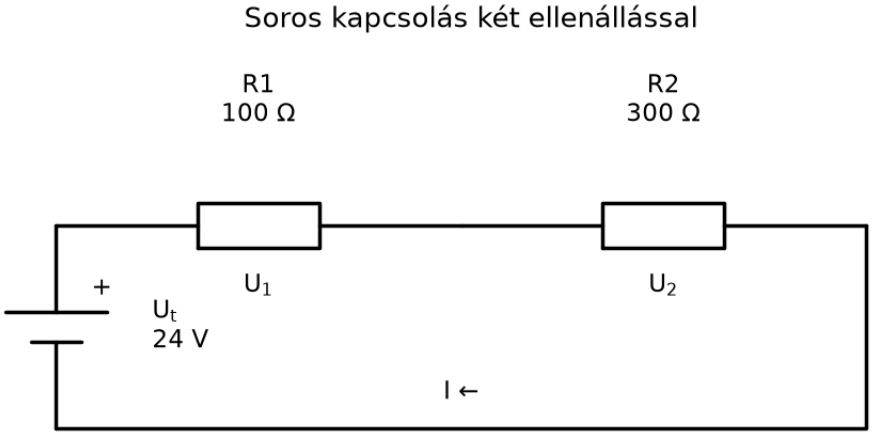
4.1.1. Miért kell értened a soros kapcsolást?

A munkahelyeden sokszor nem „kész” feszültségre van szükséged. Előfordul, hogy a rendelkezésre álló 24 V-os tápegységből kell egy érzékelőnek 5 V-ot, egy jelző LED-nek 2 V-ot, vagy egy régi, érzékeny műszernek illesztett jelet előállítanod. Ilyenkor az egyik legegyszerűbb és legolcsóbb megoldás a **soros kapcsolás** és az abból következő **feszültségosztás**.

Ha ezt az alfejezetet megérted, nemcsak számolni tudsz majd, hanem azt is látni fogod, miért ég ki azonnal egy LED, ha előtét-ellenállás nélkül kötöd rá a 12 V-ra, és miért nem lehet egy feszültségosztóval nagyobb teljesítményű motort szabályozni.

4.1.2. Szemléletes kép: két ellenállás egyetlen hurokban

Nézzünk a legegyszerűbb soros kapcsolást. Az ábrán egy valós munkahelyi helyzetet modellezünk: van egy 24 V-os egyenfeszültségű tápegységünk, és két ellenállást kötünk egymás után.



4.1. ábra. Soros kapcsolás két ellenállással - A hurokban minden elemen ugyanaz az I áram folyik át. A feszültségek összege a hurokban megegyezik a tápfeszültséggel: Ut = U1 + U2.

Ábra leírása: Az áramkör egyetlen zárt hurkot alkot. A tápegység (Ut) bal oldalon függőlegesen áll, pozitív pólusa felfelé mutat. A felső vízszintes ágon az R1 (100 Ω) és R2 (300 Ω) ellenállások

követik egymást. A jobb oldali függőleges és az alsó vízszintes vezeték zárja vissza az áramkört a tápegység negatív pólusához. Az áramkörben nincs elágazás.

Figyeld meg: a vezetékeknek itt nincs elágazása. Az áramkör egyetlen, folytonos körben folyik. Ebből következik a soros kapcsolás legfontosabb tulajdonsága:

Definíció. Soros kapcsolásról akkor beszélünk, ha az áramköri elemek (ellenállások, fogyasztók) egymás után, elágazás nélkül kapcsolódnak. A soros körben **minden elemen ugyanaz az áram** folyik át.

Szabály. Ha a soros körben bárhol megszakítjuk az áramkört, az áram mindenhol megszűnik. Ez az oka annak, hogy a régi karácsonyfaégősoroknál egyetlen izzó kiégése esetén az összes többi is elaludt.

4.1.3. A hurok törvény és az eredő ellenállás

A fenti áramkörben a 24 V-os tápfeszültség „ráfeszül" a két ellenállás sorozatára. Az energia megmaradásából következik, hogy a feszültségeknek a hurokban össze kell adódniuk. Ezt Kirchhoff II. törvénye (huroktörvény) mondja ki, amellyel később a Kirchhoff-törvények és hálózatszámítás alfejezetben részletesen is foglalkozol.

Törvény. Huroktörvény (Kirchhoff II.): Egy zárt áramköri hurokban a feszültségek előjeles összege nulla. Soros kapcsolás esetén ez azt jelenti, hogy a tápfeszültség megegyezik a részfeszültségek összegével:

$$U_t = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$$

Továbbvitt eredmény. Ezt az összefüggést használjuk minden több hurkos hálózat számításánál a Kirchhoff-törvények és hálózatszámítás alfejezetben, valamint a váltakozó áramú feszültségosztásnál a Kondenzátorok kapcsolása és az RC-tag részben.

Mivel a soros körben mindenhol ugyanaz az I áram folyik, az $U_1 = I \cdot R_1$ és $U_2 = I \cdot R_2$ összefüggéseket beírhatjuk a huroktörvénybe:

$U_t = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 = I \cdot (R_1 + R_2)$

Ebből láthatjuk, hogy a két ellenállás úgy viselkedik, mintha egyetlen, nagyobb ellenállás lenne.

Definíció. Eredő ellenállás (R_e): az az egyetlen ellenállás, amellyel egy hálózatot helyettesítve a tápfeszültség mellett ugyanaz az áram folyik. Soros kapcsolás esetén az eredő ellenállás az egyes ellenállások összege:

$$R_e = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

Megjegyzés. A soros eredő mindig nagyobb, mint bármelyik alkotó ellenállás. Ez logikus, hiszen az áramnak egymás után mindegyik ellenálláson „át kell küzdenie magát".

4.1.4. A feszültségosztó: a soros kapcsolás legfontosabb gyakorlati haszna

Az előzőekből kiindulva kiszámíthatjuk, hogyan oszlik meg a tápfeszültség az egyes ellenállásokon.

Összefüggés. Terheletlen feszültségosztó: Ha a soros körön átfolyó áram $I = \frac{U_t}{R_e}$, akkor az R_x ellenálláson eső feszültség:

$U_x = I \cdot R_x = \frac{U_t}{R_e} \cdot R_x$

Két ellenállás esetén a leggyakrabban használt alakok:

$$U_1 = U_t \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U_t \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Továbbvitt eredmény. Ez a **feszültségosztó képlete**, amelyet az egész továbbképzés során használni fogsz. Konkrétan visszatér: - a Párhuzamos kapcsolás és áramosztó alfejezetben, - a valódi feszültségforrás illesztésénél Valódi feszültségforrás: üresjárás, rövidzárás és illesztés, - a váltakozó áramú RC-körök vágási frekvenciájánál Kondenzátorok kapcsolása és az RC-tag, - valamint a mágneses körök analógiájánál: Mágneses tér, indukció és mágneses kör.

Számítás. Nézzük meg az ábrán szereplő konkrét értékekkel.

Adott: $U_t = 24\,\mathrm{V}, R_1 = 100\,\Omega, R_2 = 300\,\Omega$.

Keresett: I, U_1, U_2.

1. lépés: Eredő ellenállás.

$$R_e = R_1 + R_2 = 100\,\Omega + 300\,\Omega = 400\,\Omega$$

2. lépés: Áram.

$$I = \frac{U_t}{R_e} = \frac{24\,\mathrm{V}}{400\,\Omega} = 0{,}06\,\mathrm{A} = 60\,\mathrm{mA}$$

3. lépés: Részfeszültségek (Ohm-törvénnyel).

$$U_1 = I \cdot R_1 = 0{,}06\,\mathrm{A} \cdot 100\,\Omega = 6\,\mathrm{V}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 0{,}06\,\mathrm{A} \cdot 300\,\Omega = 18\,\mathrm{V}$$

Ellenőrzés: A huroktörvény szerint $U_t = U_1 + U_2 = 6\,\mathrm{V} + 18\,\mathrm{V} = 24\,\mathrm{V}$. A számítás helyes. ∎

Megjegyzés. Figyeld meg az arányt: a 100 Ω-os ellenállásra az összes feszültség negyede (6 V) jut, mert az ellenállások összege 400 Ω, és $100/400 = 1/4$.

4.1.5. Feszültségmérő méréshatárának kiterjesztése (előtét-ellenállás)

A feszültségosztó elvét szinte minden villanyszerelő kézben tartja, amikor egy analóg vagy digitális **multiméter**t használ. A mérőmű alapból csak egy nagyon kis feszültséget (pl. 100 mV) tud közvetlenül mérni. Ahhoz, hogy 10 V-ot vagy 1000 V-ot tudjunk mérni, egy soros **előtét-ellenállás**t kell beépíteni.

A kapcsolás gyakorlatilag ugyanaz: az előtét-ellenállás (R_{el}) és a mérőmű belső ellenállása (R_b) soros kapcsolást alkot. A mérendő feszültség (U_m) a teljes soros láncra jut, míg a mérőmű csak a saját belső ellenállásán eső U_0 feszültséget „érzékeli”. A fennmaradó feszültséget az előtét-ellenállásnak kell elnyelnie.

Számítás. Méréshatár kiterjesztése.

Adott: A mérőmű alapérzékenysége $U_0 = 100\,\text{mV}$. A belső ellenállása $R_b = 100\,\Omega$. A műszeren átfolyó maximális áram (végkitérésnél): $I_0 = U_0/R_b = 0{,}1\,\text{V}/100\,\Omega = 1\,\text{mA}$.

Cél: $U_m = 10\,\text{V}$ méréshatár elérése.

Keresett: A szükséges előtét-ellenállás (R_{el}) értéke.

Megoldás: A soros körben az előtétre $10\,\text{V} - 0{,}1\,\text{V} = 9{,}9\,\text{V}$ feszültségnek kell jutnia, miközben ugyanaz az 1 mA áram folyik át rajta.

$$R_{\text{el}} = \frac{U_m - U_0}{I_0} = \frac{10\,\text{V} - 0{,}1\,\text{V}}{0{,}001\,\text{A}} = \frac{9{,}9\,\text{V}}{0{,}001\,\text{A}} = 9900\,\Omega = 9{,}9\,\text{k}\Omega$$

Ellenőrzés a feszültségosztó képlettel: Ha rákötjük a 10 V-ot a 9,9 kΩ és a 100 Ω soros láncára, a mérőműre jutó feszültség: $U_0 = 10\,\text{V} \cdot \frac{100\,\Omega}{9900\,\Omega + 100\,\Omega} = 10\,\text{V} \cdot \frac{100}{10000} = 0{,}1\,\text{V}$. A számítás helyes. ∎

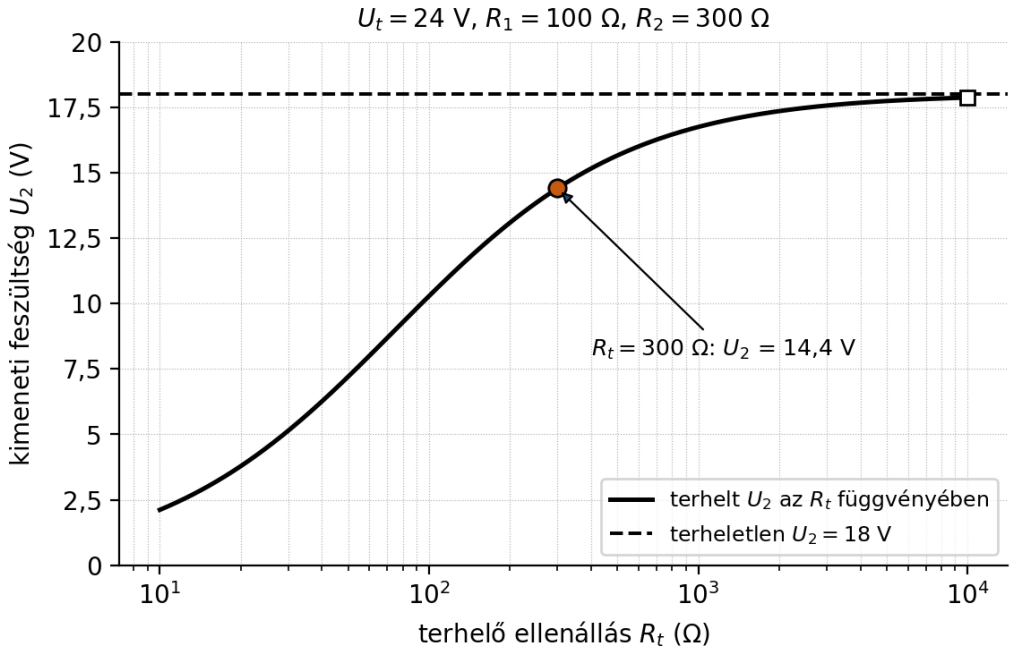
Szabály. Analóg (mutatós) műszernél a méréshatár kiterjesztéséhez szükséges előtét-ellenállás általános képlete:

$$R_{\text{el}} = \left(\frac{U_m}{U_0} - 1 \right) \cdot R_b$$

ahol U_m/U_0 a kiterjesztés tényezője.

4.1.6. Interaktív ábra: Játssz a feszültségosztóval

A gyakorlatban a legjobb, ha magad elé képzeled, mi történik az arányok változásával.



4.2. ábra. Feszültségosztó terheletlenül és terhelve: a kimeneti feszültség a terhelő ellenállás függvényében (U_t = 24 V, R1 = 100 Ω, R2 = 300 Ω)

Az ábra leírása / mit próbálj ki: A nyomtatott ábra az előző példa osztóját ($U_t = 24\,\text{V}$, $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 300\,\Omega$) mutatja, amikor a kimenetére (az R_2-vel párhuzamosan) egy R_t terhelő ellenállást kötünk: a szaggatott vízszintes vonal a terheletlen $U_2 = 18\,\text{V}$, a folytonos görbe a terhelt kimeneti feszültség. $R_t = 300\,\Omega$-nál R_2 és R_t párhuzamos eredője $150\,\Omega$, így $U_2 = 24\,\text{V} \cdot 150/250 = 14{,}4\,\text{V}$; nagy R_t-nél a görbe a 18 V-hoz simul, kis R_t-nél néhány voltra esik. Az interaktív változatban négy csúszka van: U_t, R_1, R_2 és a terhelés (R_t); a kapcsolási rajz alatt a kék sáv a terheletlen, a narancs sáv a terhelt U_2-t mutatja, a fejléc pedig U_1-et is kiírja. Az alapbeállításban a terheletlen értékek 6 V és 18 V. Húzd az R_2 csúszkát $300\,\Omega$-ról $100\,\Omega$-ra: a terheletlen részfeszültségek kiegyenlítődnek (12 V – 12 V). Ha R_2-t nagyon megnöveled, a terheletlen U_2 a teljes tápfeszültséghez közelít, mert a feszültség nagy része a nagyobb ellenálláson esik. Végül növeld az R_t-t: a narancs sáv a kékhez közelít – a terhelés annál kevésbé „húzza le” a kimenetet, minél nagyobb ellenállású (ezt a Párhuzamos kapcsolás és áramosztó alfejezet számolja ki pontosan).

4.1.7. Potenciométer: egy állítható feszültségosztó

A **potenciométer** (köznyelvben potméter) nem más, mint egy változtatható ellenállás, amelynek három kivezetése van. Ha a két szélső kivezetésre rákötjük a tápfeszültséget, a középső csúszó kivezetés és a negatív pólus között egy **állítható feszültségosztót** kapunk.

Gyakorlat. Hogyan használjuk? 1. Képzelj el egy $10\,\text{k}\Omega$-os potenciométert, amelyet 12 V-ra kötünk. 2. Ha a csúszkát pontosan középre állítjuk, az ellenállás kettéoszlik: $5\,\text{k}\Omega$ az egyik, $5\,\text{k}\Omega$ a másik oldalon. 3. A kimenő feszültség a csúszka és a negatív pólus között: $U_{ki} = 12\,\text{V} \cdot \frac{5000}{5000+5000} = 6\,\text{V}$. 4. Ha a csúszka egészen felül van, $R_{also} = 10\,\text{k}\Omega, R_{felso} = 0\,\Omega$, így $U_{ki} = 12\,\text{V}$. 5. Ha a csúszka alul van, $R_{also} = 0\,\Omega, R_{felso} = 10\,\text{k}\Omega$, így $U_{ki} = 0\,\text{V}$.

4.1.8. Valós életbeli alkalmazás: Előtét-ellenállás méretezése egy LED-hez

Valós eset. Egy jelzőpanelen egy zöld színű LED-del akarod jelezni a 12 V-os tápfeszültség meglétét. A gyártói katalógus szerint a LED nyitófeszültsége $U_{LED} = 2\,\mathrm{V}$, és a megengedett üzemi áram $I_{LED} = 20\,\mathrm{mA} = 0{,}02\,\mathrm{A}$.

Hiba. Ha a LED-et közvetlenül a 12 V-ra kötöd, a LED gyakorlatilag azonnal meghibásodik, mert a 12 V-ból a LED csak 2 V-ot tud „elnyelni”, a többlet áram pedig elszáll.

Megoldás: Soros ellenállást (R_{el}) kell beépíteni. Ez az ellenállás „elviszi” a maradék feszültséget.

Számítás. Adott: $U_t = 12\,\mathrm{V}, U_{LED} = 2\,\mathrm{V}, I_{LED} = 0{,}02\,\mathrm{A}$.

Keresett: R_{el}.

A soros hurokban az ellenállásra jutó feszültség: $U_R = U_t - U_{LED} = 12\,\mathrm{V} - 2\,\mathrm{V} = 10\,\mathrm{V}$.

Mivel a soros körben az áram közös, az ellenálláson is 0,02 A folyik át. Ohm-törvényből:

$$R_{\mathrm{el}} = \frac{U_R}{I_{LED}} = \frac{10\,\mathrm{V}}{0{,}02\,\mathrm{A}} = 500\,\Omega$$

Ilyen érték a kereskedelmi sorokban nincs: a következő nagyobb E24-sorértéket, az 510 Ω-ot választjuk; ekkor $I = 10\,\mathrm{V}/510\,\Omega \approx 19{,}6\,\mathrm{mA}$, ami a 20 mA alatt marad.

Teljesítmény-ellenőrzés: Az ellenálláson hővé alakuló teljesítmény: $P_R = I^2 \cdot R = 0{,}02^2 \cdot 500 = 0{,}2\,\mathrm{W}$. Ha 0,25 W-os ellenállást választasz, az kellemesen melegedhet, de méretezésileg elfogadható. Gyakorlati szempontból érdemesebb nagyobbat, pl. 0,5 W-os ellenállást betenni a tartósság érdekében. ∎

4.1.9. Tipikus hibák

1. **A hurok feszültségeinek összeadása helyett az áramot osztják meg.** A leggyakoribb fogalmi tévedés. Soros kapcsolásban az **áram közös**, a feszültség oszlik. Az ellenálláson nem „fogy el” az áram, csak a töltéshordozók energiája csökken (ezt látjuk feszültségesésként).
2. **A terhelt feszültségosztó figyelmen kívül hagyása.** A tanulók gyakran megvalósítanak egy nagy ellenállású osztót (pl. 1 kΩ – 1 kΩ, 12 V-ról 6 V-ra), majd rákötnek egy nagy fogyasztót, és csodálkoznak, hogy a feszültség leesik. A terhelés párhuzamosan kapcsolódik az alsó ellenállással, lecsökkenti annak értékét, így az osztásarány is megváltozik. Ezt a Párhuzamos kapcsolás és áramosztó alfejezetben fogod pontosan kiszámolni.
3. **A soros ellenállás teljesítményének elfelejtése.** Amikor előtét-ellenállást méretezel, a LED-példában szereplő 0,2 W hő nem tűnik el. Ha egy nagyobb feszültségkülönbséget kell elnyeletni, az ellenállás könnyen megéghet.

4.1.10. Önellenőrzés

1. kérdés (Igaz/Hamis). Ha egy soros körhöz hozzáadunk egy újabb ellenállást, az áramkörben folyó áram megnő. *(Indokold a választ!)*

2. kérdés (Gyors számolás). Egy 10 V-os áramkörben van egy 2 kΩ-os és egy 8 kΩ-os ellenállás sorosan. Mennyi a feszültség a 8 kΩ-os ellenálláson?

3. kérdés (Fogalom). Mit jelent az, hogy a feszültségosztó „terheletlen”?

4. kérdés (Gyakorlat). Miért fontos a multiméter méréshatárának kiterjesztésénél, hogy az előtét-ellenállás hőmérséklet-álló legyen?

5. kérdés (Számítás). Mekkora előtét-ellenállás szükséges ahhoz, hogy egy $U_0 = 1\,\mathrm{V}$ végkitérésű, $R_b = 1\,\mathrm{k\Omega}$ belső ellenállású műszerrel 10 V-ot mérhessünk?

4.1.11. Feladatok

1. feladat (A) – Alap. Az ábrán látható kapcsolásban $U_t = 15\,\mathrm{V}, R_1 = 500\,\Omega, R_2 = 1000\,\Omega$. Számold ki az eredő ellenállást, az áramköri áramot, és a két részfeszültséget. Ellenőrizd a hurok törvényét!

2. feladat (A) – Feszültségosztó. Egy érzékelő 5 V-os jelet igényel. Rendelkezésre áll egy 12 V-os akkumulátor. Tervezz feszültségosztót, ha az osztó teljes ellenállása 1200 Ω legyen! Add meg a két ellenállást!

3. feladat (B) – Előtét. Egy mutatós feszültségmérő alapérzékenysége $U_0 = 150\,\mathrm{mV}$, belső ellenállása $R_b = 50\,\Omega$. Mekkora előtét-ellenállást kell beépíteni, hogy 30 V végkitérésű műszert kapjunk? Mennyi teljesítmény disszipálódik az előtéten végkitérésnél?

4. feladat (B) – Terhelt osztó (előkészítés a Párhuzamos kapcsolás és áramosztó alfejezethez). Egy 10 kΩ-os potenciométert 12 V-ra kötünk. A csúszkát éppen félútra állítjuk. A kimenő pontra rákötünk egy 10 kΩ-os fogyasztót (terhelést). a) Mekkora a potenciométer alsó felének és a terhelésnek az eredője? b) Mennyi lesz a kimenő feszültség terhelés alatt?

5. feladat (C) – Gondolkodtató. Egy izzósoron 20 darab egyforma izzó van sorba kötve. A tápfeszültség 24 V (törpefeszültségű transzformátorról). Egy izzó kiég. A boltban kapható cseredarab, amit a szerelő betesz, rossz típusú: a réginek kétszerese az ellenállása. Hogyan változik meg a többi 19 izzó feszültsége? Veszélyes-e ez?

6. feladat (D) – Hibakeresés. Egy elosztószekrényben 3 darab, egyenként 10 Ω-os fűtőtest van sorosan kötve egy 24 V-os tápegységre. A feszültségmérések a következőket mutatják: $U_1 = 12\,\mathrm{V}, U_2 = 0\,\mathrm{V}, U_3 = 12\,\mathrm{V}$. Melyik alkatrész hibásodott meg, és milyen hibával? Magyarázd a feszültségek arányából!

4.1.12. Megoldások

4.1.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A soros eredő ellenállás az összeadás miatt nő ($R_e = R_1 + R_2 + \ldots$). Ha a feszültség állandó, az Ohm-törvény szerint ($I = U/R_e$) az áram csökken.
2. $U_2 = 10\,\mathrm{V} \cdot \frac{8\,\mathrm{k\Omega}}{2\,\mathrm{k\Omega}+8\,\mathrm{k\Omega}} = 10 \cdot \frac{8}{10} = 8\,\mathrm{V}$.
3. A terheletlen feszültségosztó kimenetére nem kötöttünk semmilyen fogyasztót. Az alsó ellenálláson csak az osztó saját árama folyik, így a képlet szigorúan igaz. Ha fogyasztót kötünk rá, az áram elágazik, és a kimenő feszültség csökken.

4. Mert az előtét-ellenálláson a mért feszültség miatt teljesítmény hővé alakul. Ha az ellenállás melegedésre megváltoztatja az értékét (nagy hőmérsékleti együttható), a mérőmű pontatlanul fog mérni, ráadásul a hő tönkre is teheti a környező műanyag alkatrészeket.
5. A műszer árama: $I_0 = 1/1000 = 0{,}001\,\text{A}$. Az előtétre jutó feszültség: $10 - 1 = 9\,\text{V}$. Ellenállás: $R_{\text{el}} = 9/0{,}001 = 9000\,\Omega = 9\,\text{k}\Omega$.

4.1.12.2. Feladatok megoldása

1. feladat. Adott: $U_t = 15\,\text{V}, R_1 = 500\,\Omega, R_2 = 1000\,\Omega$. **Eredő:** $R_e = 500 + 1000 = 1500\,\Omega$. **Áram:** $I = 15/1500 = 0{,}010\,\text{A} = 10\,\text{mA}$. **Részfeszültségek:** $U_1 = 0{,}010 \cdot 500 = 5\,\text{V}$. $U_2 = 0{,}010 \cdot 1000 = 10\,\text{V}$. **Ellenőrzés:** $5\,\text{V} + 10\,\text{V} = 15\,\text{V}$. Helyes.

2. feladat. Adott: $U_t = 12\,\text{V}, U_{ki} = 5\,\text{V}, R_e = 1200\,\Omega$. A feszültségosztó képlet szerint a kimenő feszültség a 2-es ellenálláson van. Képlet: $U_2 = U_t \cdot \frac{R_2}{R_e}$. Átrendezve: $R_2 = U_2 \cdot \frac{R_e}{U_t} = 5 \cdot \frac{1200}{12} = 5 \cdot 100 = 500\,\Omega$. $R_1 = R_e - R_2 = 1200 - 500 = 700\,\Omega$. **Ellenőrzés:** $U_2 = 12 \cdot \frac{500}{1200} = 12 \cdot 0{,}4167 = 5\,\text{V}$. Helyes.

3. feladat. Adott: $U_0 = 150\,\text{mV} = 0{,}15\,\text{V}, R_b = 50\,\Omega, U_m = 30\,\text{V}$. **Áram:** $I_0 = 0{,}15/50 = 0{,}003\,\text{A} = 3\,\text{mA}$. **Előtét:** $R_{\text{el}} = (30 - 0{,}15)/0{,}003 = 29{,}85/0{,}003 = 9950\,\Omega = 9{,}95\,\text{k}\Omega$. **Teljesítmény:** $P = I^2 \cdot R_{\text{el}} = 0{,}003^2 \cdot 9950 = 0{,}08955\,\text{W} \approx 90\,\text{mW}$. Egy 0,25 W-os ellenállás bőven elegendő, de hősokk miatt 0,5 W-os is választható.

4. feladat. Adott: $R_{pot} = 10\,\text{k}\Omega$, csúszka félúton, tehát $R_{alsó} = 5\,\text{k}\Omega, R_{felső} = 5\,\text{k}\Omega$. Terhelés: $R_t = 10\,\text{k}\Omega$. a) Az alsó fél és a terhelés párhuzamosan kapcsolódnak: $R_p = \frac{R_{alsó} \cdot R_t}{R_{alsó} + R_t} = \frac{5000 \cdot 10000}{15000} = \frac{50\,000\,000}{15\,000} = 3333{,}33\,\Omega \approx 3{,}33\,\text{k}\Omega$. b) A teljes hurok eredője: $R_e = R_{felső} + R_p = 5000 + 3333{,}33 = 8333{,}33\,\Omega$. A hurok árama: $I = 12/8333{,}33 = 0{,}00144\,\text{A}$. Kimenő feszültség (terhelve): $U_{ki} = I \cdot R_p = 0{,}00144 \cdot 3333{,}33 = 4{,}8\,\text{V}$. **Tanulság:** Terhelés nélkül 6 V, terheléssel 4,8 V. Az osztó feszültsége leesik.

5. feladat. A 20 izzóból 19 megmaradjon „eredeti” ellenállású (R). A csereizzó ellenállása $2R$. Összesen: 19R + 2R = 21R. Az áramkör árama: $I = \frac{24}{21R}$. Az eredeti izzók feszültsége: $U_{eredeti} = I \cdot R = \frac{24}{21R} \cdot R = \frac{24}{21} = 1{,}143\,\text{V}$. A csereizzó feszültsége: $U_{csere} = I \cdot 2R = 2{,}286\,\text{V}$. Normál esetben mindegyik éppen 1,2 V-ot kapna. A rossz cseredarab miatt a csereizzó túlfeszültséget kap, a többi izzó pedig kicsit halványabban világít. Veszélyes-e? Hálózati feszültség esetén (pl. 230 V-on 20 darabbal) a túlfeszültség túlterhelést és túl nagy hőt okozhat a nem megfelelő izzóban.

6. feladat. Hibátlan állapotban a 24 V három egyforma, 10 Ω-os fűtőtesten egyenlően oszlik meg, tehát mindegyiken 8 V esne. Most $U_1 = U_3 = 12\,\text{V}$ (nőtt), $U_2 = 0\,\text{V}$. A 12 V-os részfeszültség tehát azt mutatja, hogy a körben folyik áram: $I = 12\,\text{V}/10\,\Omega = 1{,}2\,\text{A} = 24\,\text{V}/20\,\Omega$. A második fűtőtesten $U_2 = I \cdot R_2 = 0$, tehát $R_2 = 0\,\Omega$: az R2 **zárlatos** (rövidre záródott), a többi két fűtőtest ép.

Ellenőrzés: a részfeszültségek összege $12 + 0 + 12 = 24\,\text{V}$ (huroktörvény). Ha R2 **szakadt** volna, a körben nem folyna áram, és a tápfeszültség teljes egésze (24 V) a szakadt elemen jelenne meg, a másik kettőn 0 V lenne ($U_1 = 0$, $U_2 = 24\,\text{V}$, $U_3 = 0$). A 0 V tehát soros körben csak zárlatra utal (vagy arra, hogy a kör áramtalan), a szakadást a teljes tápfeszültség jelzi.

4.1.13. Rövid összefoglaló

A soros kapcsolás az áramkörök alapvető kapcsolási módja, ahol az elemek egymás után, elágazás nélkül következnek. A megmaradó jellemző az áram: a soros körben minden pillanatban minden elemen ugyanaz az I áram folyik. A huroktörvény (Kirchhoff II.) alapján a tápfeszültség egyenlő az alkatrészeken eső részfeszültségek összegével. Az egyes elemeket helyettesítő összegzett érték

az eredő ellenállás: $R_e = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$. Ebből származik a gyakorlatban leggyakrabban használt összefüggés, a **feszültségosztó képlete**: $U_x = U_t \cdot \frac{R_x}{R_e}$. Ezt az eredményt elsősorban feszültségmérő méréshatárának kiterjesztésére (előtét-ellenállás), potenciométeres beállításra és LED-ek előtétjének méretezésére használjuk. A leggyakoribb szerelői tévedés, hogy az osztó áramát a feszültséggel keverik, vagy nem számolnak a fogyasztó (terhelés) árammal párhuzamos hatásával, ami a kimenő feszültséget lecsökkenti (ez utóbbi pontos számítása a következő, Párhuzamos kapcsolás és áramosztó alfejezet tárgya).

4.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

Ez az alfejezet a klasszikus elektrotechnika (Ohm-törvény, Kirchhoff-törvények) stabil matematikai alapjain nyugszik. A LED-es példa nyitófeszültsége és üzemi árama típustól függően változik, ezért éles alkalmazásnál mindig a gyártói adatlap (datasheet) a mérvadó. A multiméterek belső ellenállására és méréshatárára vonatkozó konkrét értékek a gyártói specifikációkban találhatók.

4.2. Párhuzamos kapcsolás és áramosztó

A párhuzamos kapcsolás a lakás- és épületvillamosság leggyakoribb üzemmódja: a dugaszoló aljzatok, a lámpák és a beépített fogyasztók szinte mindig párhuzamosan kapcsolódnak a hálózatra. Ezért mindegyik ugyanazt a hálózati feszültséget kapja, az áramok azonban összeadódnak a közös vezetőben. Ebben az alfejezetben az eredő ellenállás, az áramosztás és az árammérő méréshatár-kiterjesztésének számítását tanuljuk meg.

4.2.1. Párhuzamos kapcsolás: az áramok, nem a feszültségek oszlanak meg

Képzeljünk el egy vízvezeték-elosztót, amelyből két külön ág indul, majd a két ág újra összefut. A nyomáskülönbség mindkét ágon ugyanakkora, viszont a vízhozam megoszlik a két ág között: a bővebb, kisebb ellenállású ágon több víz folyik. A villamos párhuzamos kapcsolás ugyanilyen: a feszültség közös, az áramok összegződnek, és a kisebb ellenállású ágon nagyobb áram folyik.

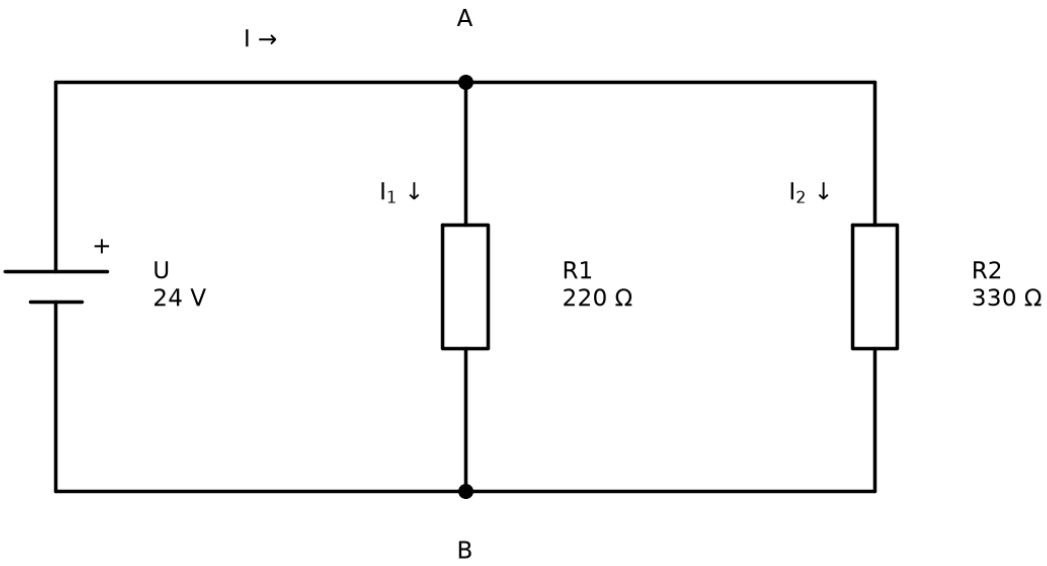
Definíció. Párhuzamos kapcsolásról akkor beszélünk, ha az alkatrészek két közös csomópontra csatlakoznak, ezért mindegyikük feszültsége azonos:

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n.$$

Törvény. Kirchhoff I. törvénye, azaz a csomóponti törvény: egy villamos csomópontba befolyó áramok összege egyenlő az onnan elfolyó áramok összegével. Párhuzamos ágakra:

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n.$$

A következő kapcsolási rajzon két ellenállás párhuzamos kapcsolása látható:



4.3. ábra. Két ellenállás párhuzamosan, közös feszültségen - A két ág ugyanarra a csomópontpárra csatlakozik, ezért a feszültségük azonos, az áramaik pedig összegződnek.

A felső (A) csomópontban az I főáram két ágra (I_1, I_2) válik szét, majd az alsó (B) csomópontban újra egyesül. A rajzon jól látható, hogy mindkét ellenállás ugyanarra a két csomópontra csatlakozik, tehát a feszültségük azonos.

4.2.2. Az eredő vezetés és az eredő ellenállás

A párhuzamos kapcsolás számításához a vezetés fogalmát használjuk.

Összefüggés. A villamos vezetés az ellenállás reciproka:

$$G = \frac{1}{R}.$$

Vezetés mértékegysége: siemens, jele S. Párhuzamos kapcsolásban az eredő vezetés az ágak vezetésének összege:

$$G_{\mathrm{e}} = G_1 + G_2 + \cdots + G_n.$$

Az eredő ellenállás ezért:

$$R_\mathrm{e} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}}.$$

Két ellenállás esetén az összefüggés egyszerűbb alakra hozható:

$$R_\mathrm{e} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Ha n darab azonos ellenállást kapcsolunk párhuzamosan, akkor az eredő ellenállás:

$$R_\mathrm{e} = \frac{R}{n}.$$

Megjegyzés. A párhuzamos eredő ellenállás mindig kisebb, mint a legkisebb ágellenállás, mert az áram számára minden párhuzamos ág újabb utat nyit. Ez fontos tervezői ellenőrzés: ha például egy számításból nagyobb eredő jön ki, mint valamelyik alkatrész ellenállása, akkor valahol fordítva írtunk be egy reciprokot.

Levezetés. Két párhuzamos ellenállás esetén az áramok összege:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right).$$

A kapcsolás eredője R_e, amelyre $I = U/R_\mathrm{e}$. A két kifejezést összehasonlítva:

$$\frac{1}{R_\mathrm{e}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

amiből közös nevezőre hozás után:

$$R_\mathrm{e} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

4.2.3. Az áramosztó

A párhuzamos kapcsolás másik alapkérdése: hogyan oszlik meg a főáram az egyes ágak között?

Összefüggés. Két párhuzamos ellenállás áramosztó képlete:

$$I_1 = I\frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

$$I_2 = I\frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

A képlet számlálójában mindig a másik ág ellenállása szerepel. Ennek oka, hogy a kisebb ellenálláson nagyobb áram folyik: ha R_1 kicsi, akkor I_1 nagy lesz, mert ekkor a képlet számlálójában a nagyobb R_2 áll, a nevező pedig $R_1 + R_2$.

Példa. Ha $R_1 = 2\,\mathrm{k\Omega}$, $R_2 = 8\,\mathrm{k\Omega}$ és a főáram $I = 10\,\mathrm{mA}$, akkor:

$$I_1 = 10\,\mathrm{mA}\frac{8\,\mathrm{k\Omega}}{2\,\mathrm{k\Omega}+8\,\mathrm{k\Omega}} = 8\,\mathrm{mA},$$

$$I_2 = 10\,\mathrm{mA}\frac{2\,\mathrm{k\Omega}}{10\,\mathrm{k\Omega}} = 2\,\mathrm{mA}.$$

A kisebb ellenálláson, R_1-en valóban nagyobb áram folyik.∎

4.2.4. Kidolgozott példa: párhuzamos fogyasztók és teljesítmény

Számítás. Egy tanműhelyi mérőkapcsolásban $R_1 = 220\,\Omega$ és $R_2 = 330\,\Omega$ ellenállást kapcsolunk párhuzamosan $U = 24\,\mathrm{V}$ feszültségre.

Adott: $U = 24\,\mathrm{V}$, $R_1 = 220\,\Omega$, $R_2 = 330\,\Omega$.
Keresett: R_e, I, I_1, I_2, P_1, P_2, P.

Először az eredő ellenállást számítjuk:

$$R_\mathrm{e} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{220\,\Omega \cdot 330\,\Omega}{220\,\Omega + 330\,\Omega} = \frac{72\,600\,\Omega^2}{550\,\Omega} = 132\,\Omega.$$

A főáram:

$$I = \frac{U}{R_\mathrm{e}} = \frac{24\,\mathrm{V}}{132\,\Omega} = 0{,}1818\,\mathrm{A} = 182\,\mathrm{mA}.$$

Az ágáramok közvetlenül Ohm törvényéből:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{24\,\mathrm{V}}{220\,\Omega} = 0{,}1091\,\mathrm{A} = 109\,\mathrm{mA},$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{24\,\mathrm{V}}{330\,\Omega} = 0{,}0727\,\mathrm{A} = 72{,}7\,\mathrm{mA}.$$

Ellenőrzés a csomóponti törvénnyel:

$$I_1 + I_2 = 109\,\mathrm{mA} + 72{,}7\,\mathrm{mA} = 181{,}7\,\mathrm{mA} \approx 182\,\mathrm{mA} = I.$$

A teljesítmények:

$$P_1 = UI_1 = 24\,\mathrm{V} \cdot 0{,}1091\,\mathrm{A} = 2{,}62\,\mathrm{W},$$

$$P_2 = UI_2 = 24\,\mathrm{V} \cdot 0{,}0727\,\mathrm{A} = 1{,}75\,\mathrm{W},$$

$$P = UI = 24\,\mathrm{V} \cdot 0{,}1818\,\mathrm{A} = 4{,}36\,\mathrm{W}.$$

A teljesítmények is összeadódnak, mert a feszültség közös:

$$P = P_1 + P_2 = 2{,}62\,\mathrm{W} + 1{,}75\,\mathrm{W} = 4{,}37\,\mathrm{W}.$$

4.2.5. Árammérő méréshatárának kiterjesztése söntellenállással

A párhuzamos kapcsolás gyakorlati alkalmazása az analóg árammérő méréshatárának kiterjesztése. Egy alapműszernek adott a végkitéréshez tartozó I_m árama és az R_m belső ellenállása. Ha ennél nagyobb áramot szeretnénk mérni, akkor a műszerrel párhuzamosan úgynevezett söntellenállást kapcsolunk.

Definíció. A sönt egy kis ellenállású, nagy áramú ág, amelyet az árammérővel párhuzamosan kapcsolunk. A mérendő áram nagyobb része a söntön folyik, a műszeren pedig csak a saját végkitéréséhez tartozó I_m áram marad.

A mérendő áram és a műszer végkitérésének aránya a méréshatár-kiterjesztés tényezője:

$$n = \frac{I}{I_\mathrm{m}}.$$

A sönt értékét a párhuzamos feszültségegyenlőségből vezetjük le:

$$I_\mathrm{m} R_\mathrm{m} = I_\mathrm{s} R_\mathrm{s},$$

ahol $I_\mathrm{s} = I - I_\mathrm{m}$. Ebből:

$$R_\mathrm{s} = \frac{I_\mathrm{m} R_\mathrm{m}}{I - I_\mathrm{m}} = \frac{R_\mathrm{m}}{n-1}.$$

Szabály. A söntellenállás értéke:

$$R_\mathrm{s} = \frac{R_\mathrm{m}}{n-1},$$

ahol $n = I/I_\mathrm{m}$ a kiterjesztés aránya. Minél nagyobb mérendő áramot akarunk mérni, annál kisebb söntellenállásra van szükség.

Példa. Egy analóg alapműszer végkitérése $I_\mathrm{m} = 100\,\mu\mathrm{A}$, belső ellenállása $R_\mathrm{m} = 500\,\Omega$. Szeretnénk $I = 10\,\mathrm{mA}$ méréshatárt.

A kiterjesztés aránya:

$$n = \frac{10\,\mathrm{mA}}{100\,\mu\mathrm{A}} = \frac{0{,}010\,\mathrm{A}}{0{,}0001\,\mathrm{A}} = 100.$$

A söntellenállás:

$$R_\mathrm{s} = \frac{R_\mathrm{m}}{n-1} = \frac{500\,\Omega}{99} = 5{,}05\,\Omega.$$

Ellenőrzés: a műszer feszültsége végkitéréskor:

$$U_\mathrm{m} = I_\mathrm{m} R_\mathrm{m} = 0{,}0001\,\mathrm{A} \cdot 500\,\Omega = 0{,}05\,\mathrm{V},$$

a sönt ág árama:

$$I_\mathrm{s} = \frac{U_\mathrm{m}}{R_\mathrm{s}} = \frac{0{,}05\,\mathrm{V}}{5{,}05\,\Omega} = 9{,}9\,\mathrm{mA},$$

a teljes mérendő áram pedig:

$$I = I_\mathrm{m} + I_\mathrm{s} = 100\,\mu\mathrm{A} + 9{,}9\,\mathrm{mA} = 10\,\mathrm{mA}.$$

Így a műszer valóban 10 mA-ig mér.∎

Biztonsági korlát. Az árammérő bekötése és a méréshatár-kiterjesztés tanműhelyi, törpefeszültségű gyakorlatra vonatkozik. Hálózati feszültségű áramkörön csak jogosult személy mérhet, feszültségmentesítés után bekötve, megfelelő CAT-besorolású műszerrel és mérőzsinórral.

4.2.6. Párhuzamos fogyasztók a lakásban: miért 230 V mindenhol?

A lakáselosztóban a világítási áramkörök és az aljzatkörök párhuzamosan kapcsolódnak a hálózathoz. Ezért minden dugaszoló aljzat ugyanazt a 230 V-os hálózati feszültséget kapja, függetlenül attól, hogy hány fogyasztó működik éppen. Ha az egyik fogyasztót kikapcsoljuk, a többi továbbra is teljes feszültséget kap, mert nem soros láncban helyezkednek el.

A párhuzamos üzem következménye azonban az is, hogy a közös bevezető vezetékben az ágáramok összege folyik. Ha például egy konyhai körre vízforralót, kenyérpirítót és kávéfőzőt csatlakoztatunk, akkor:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{P_1}{U} + \frac{P_2}{U} + \frac{P_3}{U}.$$

Továbbvitt eredmény. A párhuzamos fogyasztók áramát így összesítjük: a feszültség közös, az ágáramokat az áramosztó vagy Ohm törvény adja, az eredő áram pedig a csomóponti törvényből az ágáramok összege. Ezt az eredőre redukálást használjuk a Vegyes kapcsolások és eredő ellenállás alfejezetben, amikor soros és párhuzamos részeket egyetlen ellenállássá vonunk össze. A sönt számítása a Mérés alapjai, mérési hibák és műszerosztályok alfejezetben tér vissza, amikor a mérőműszerek belső ellenállásának hatását értelmezzük.

4.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy felnőttképzésben tanuló szerelő felújított egy konyhai áramkört. A tulajdonos szerint a vízforraló körülbelül 10 A-t vesz fel, a mikrohullámú sütő körülbelül 5 A-t, a kenyérpirító pedig körülbelül 4 A-t. A tulajdonos úgy gondolta, hogy ezeket egyszerre is használhatja, mert a vezeték elbírja.

A szerelő elmagyarázta, hogy a konyhai dugaszoló aljzatok párhuzamosan csatlakoznak a körre. Ezért a közös vezetőben az ágáramok összege folyik:

$$I = 10\,\mathrm{A} + 5\,\mathrm{A} + 4\,\mathrm{A} = 19\,\mathrm{A}.$$

Ha a kismegszakító névleges árama 16 A, akkor a 19 A a névleges áramnál nagyobb, tartós túlterhelés. A kismegszakító ilyen kis túlterhelésnél nem azonnal old ki: a jelleggörbe szerint $1{,}13 \cdot I_\mathrm{n}$-ig (18,1 A) egy órán belül nem, $1{,}45 \cdot I_\mathrm{n}$-nél (23,2 A) egy órán belül biztosan kiold **(ellenőrizendő: MSZ EN 60898-1)**. 19 A-nél tehát a vezeték akár hosszabb ideig is túlterhelt

lehet – ezért kell a fogyasztókat külön áramkörökre osztani; részletesen a Kismegszakítók és kioldási jelleggörbék (B, C, D) alfejezet. A megoldás az volt, hogy a vízforralót és a mikrohullámú sütőt külön áramkörökre osztották. A példa jól mutatja: párhuzamos fogyasztóknál nem az átlag, hanem az összeg számít.

4.2.8. Tipikus hibák

Hiba 1. A párhuzamos eredőt az ellenállások átlagaként számolják. Például $2\,\Omega$ és $8\,\Omega$ párhuzamos eredőjére $5\,\Omega$-t kapnak. Helyes:

$$R_{\mathrm{e}} = \frac{2\,\Omega \cdot 8\,\Omega}{2\,\Omega + 8\,\Omega} = 1{,}6\,\Omega.$$

Hiba 2. Az áramosztó képletben a saját ág ellenállását írják a számlálóba. A helyes képletben mindig a másik ág ellenállása szerepel, mert a kisebb ellenállásra nagyobb áram jut.

Hiba 3. Azt gondolják, hogy párhuzamos kapcsolásban a nagyobb ellenállású fogyasztón nagyobb áram folyik. Valójában a nagyobb ellenálláson kisebb áram folyik, mert a feszültség közös és $I = U/R$.

Hiba 4. A sönt méretezésénél az $R_{\mathrm{s}} = R_{\mathrm{m}}/n$ képletet használják. Ez azért hibás, mert a teljes áram a műszer és a sönt együttese; a helyes osztó $n - 1$. A két képlet csak nagyon nagy n esetén közelít egymáshoz.

4.2.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy párhuzamos kapcsolásban minden alkatrész feszültsége azonos?

2. Igaz-e, hogy párhuzamos kapcsolás eredő ellenállása mindig kisebb a legkisebb ágellenállásnál?

3. Igaz-e, hogy az áramosztóban a nagyobb ellenálláson nagyobb áram folyik?

4. Számítsd ki $R_1 = 3\,\Omega$ és $R_2 = 6\,\Omega$ párhuzamos eredőjét, majd az ágáramokat $U = 12\,\mathrm{V}$ esetén.

5. Ha egy sönt méretezésekor $R_{\mathrm{s}} = R_{\mathrm{m}}/4$ adódik, mekkora a méréshatár-kiterjesztés aránya?

6. Mi a hiba abban az állításban, hogy a párhuzamos főáram a két ágáram átlaga?

4.2.10. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a párhuzamos kapcsolást, és írd fel a csomóponti törvényt két párhuzamos ellenállásra.

2. feladat (A). Számítsd ki $R_1 = 10\,\Omega$ és $R_2 = 40\,\Omega$ párhuzamos eredőjét! Mekkora a főáram és az ágáramok, ha a kapcsolásra $U = 20\,\mathrm{V}$ jut?

3. feladat (B). Három ellenállást kapcsolunk párhuzamosan: $R_1 = 6\,\Omega$, $R_2 = 12\,\Omega$, $R_3 = 4\,\Omega$. A kapcsolás feszültsége $U = 12\,\mathrm{V}$. Számítsd ki az eredő ellenállást, a főáramot és az egyes ágáramokat!

4. feladat (B). Egy analóg alapműszer végkitérése $I_\mathrm{m} = 50\,\mu\mathrm{A}$, belső ellenállása $R_\mathrm{m} = 2000\,\Omega$. Szeretnénk $I = 5\,\mathrm{mA}$ méréshatárt elérni. Mekkora söntellenállást kell a műszerrel párhuzamosan kötni?

5. feladat (C). Egy konyhai aljzatkörön vízforraló, kenyérpirító és kávéfőző működik párhuzamosan. Ellenállásos fogyasztónak tekintjük őket. A teljesítmények: $P_1 = 2{,}2\,\mathrm{kW}$, $P_2 = 1{,}1\,\mathrm{kW}$, $P_3 = 0{,}9\,\mathrm{kW}$, a hálózati feszültség $U = 230\,\mathrm{V}$. Számítsd ki az ágáramokat és a közös bevezető áramot! Túllépi-e a közös áram a 16 A-es kismegszakító névleges áramát?

6. feladat (D). Egy párhuzamos hálózatban $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 150\,\Omega$ és $R_3 = 300\,\Omega$. A kapcsolás feszültsége $U = 60\,\mathrm{V}$. Számítsd ki az ágáramokat és a főáramot! Ezután az R_2 ág kiesik. Mekkora lesz az új eredő ellenállás és az új főáram? Hibakeresési szempontból hogyan lehet megkülönböztetni egy ág kiesését egy zárlatossá vált alkatrésztől a főáram változása alapján?

4.2.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz, ez a párhuzamos kapcsolás definíciója.

2. Igaz, mert minden új párhuzamos ág növeli az eredő vezetést.

3. Hamis. Azonos feszültség esetén a kisebb ellenálláson nagyobb áram folyik.

4. $R_\mathrm{e} = 2\,\Omega$, $I = 6\,\mathrm{A}$, $I_1 = 4\,\mathrm{A}$, $I_2 = 2\,\mathrm{A}$.

5. Ha $R_\mathrm{s} = R_\mathrm{m}/4$, akkor $R_\mathrm{s} = R_\mathrm{m}/(n-1)$, tehát $n - 1 = 4$, így $n = 5$.

6. A főáramot nem átlagolni kell, hanem a csomóponti törvény szerint összegezni: $I = I_1 + I_2$.

1. feladat megoldása

Párhuzamos kapcsolásban az alkatrészek két közös csomópontra csatlakoznak, ezért feszültségük azonos. A csomóponti törvény szerint a közös főáram az ágáramok összege:

$$I = I_1 + I_2.$$

2. feladat megoldása

Adott: $R_1 = 10\,\Omega$, $R_2 = 40\,\Omega$, $U = 20\,\mathrm{V}$.
Keresett: R_e, I, I_1, I_2.

Eredő:

$$R_\mathrm{e} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10\,\Omega \cdot 40\,\Omega}{50\,\Omega} = 8\,\Omega.$$

Főáram:

$$I = \frac{U}{R_\mathrm{e}} = \frac{20\,\mathrm{V}}{8\,\Omega} = 2{,}5\,\mathrm{A}.$$

Ágáramok:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{20\,\mathrm{V}}{10\,\Omega} = 2\,\mathrm{A},$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{20\,\mathrm{V}}{40\,\Omega} = 0{,}5\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: $I_1 + I_2 = 2\,\mathrm{A} + 0{,}5\,\mathrm{A} = 2{,}5\,\mathrm{A} = I$.

3. feladat megoldása

Adott: $R_1 = 6\,\Omega$, $R_2 = 12\,\Omega$, $R_3 = 4\,\Omega$, $U = 12\,\mathrm{V}$.
Keresett: R_e, I, I_1, I_2, I_3.

Eredő vezetéssel:

$$\frac{1}{R_\mathrm{e}} = \frac{1}{6\,\Omega} + \frac{1}{12\,\Omega} + \frac{1}{4\,\Omega}.$$

Közös nevezőre hozva:

$$\frac{1}{R_\mathrm{e}} = \frac{2}{12\,\Omega} + \frac{1}{12\,\Omega} + \frac{3}{12\,\Omega} = \frac{6}{12\,\Omega} = 0{,}5\,\mathrm{S}.$$

Ezért:

$$R_\mathrm{e} = \frac{1}{0{,}5\,\mathrm{S}} = 2\,\Omega.$$

Főáram:

$$I = \frac{U}{R_\mathrm{e}} = \frac{12\,\mathrm{V}}{2\,\Omega} = 6\,\mathrm{A}.$$

Ágáramok:

$$I_1 = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 2\,\mathrm{A},$$

$$I_2 = \frac{12\,\mathrm{V}}{12\,\Omega} = 1\,\mathrm{A},$$

$$I_3 = \frac{12\,\mathrm{V}}{4\,\Omega} = 3\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: $2\,\mathrm{A} + 1\,\mathrm{A} + 3\,\mathrm{A} = 6\,\mathrm{A}$.

4. feladat megoldása

Adott: $I_\mathrm{m} = 50\,\mu\mathrm{A} = 0{,}00005\,\mathrm{A}$, $R_\mathrm{m} = 2000\,\Omega$, $I = 5\,\mathrm{mA} = 0{,}005\,\mathrm{A}$.
Keresett: R_s.

A kiterjesztés aránya:

$$n = \frac{I}{I_\mathrm{m}} = \frac{0{,}005\,\mathrm{A}}{0{,}00005\,\mathrm{A}} = 100.$$

Söntellenállás:

$$R_\mathrm{s} = \frac{R_\mathrm{m}}{n-1} = \frac{2000\,\Omega}{99} = 20{,}2\,\Omega.$$

Ellenőrzés: a műszer feszültsége végkitéréskor:

$$U_\mathrm{m} = I_\mathrm{m} R_\mathrm{m} = 0{,}00005\,\mathrm{A} \cdot 2000\,\Omega = 0{,}1\,\mathrm{V}.$$

A sönt áram:

$$I_\mathrm{s} = \frac{0{,}1\,\mathrm{V}}{20{,}2\,\Omega} = 4{,}95\,\mathrm{mA},$$

a teljes áram:

$$I = I_\mathrm{m} + I_\mathrm{s} = 0{,}05\,\mathrm{mA} + 4{,}95\,\mathrm{mA} = 5\,\mathrm{mA}.$$

5. feladat megoldása

Adott: $P_1 = 2{,}2\,\mathrm{kW}$, $P_2 = 1{,}1\,\mathrm{kW}$, $P_3 = 0{,}9\,\mathrm{kW}$, $U = 230\,\mathrm{V}$.
Keresett: I_1, I_2, I_3, I.

Ellenállásos fogyasztóknál $P = UI$, tehát $I = P/U$:

$$I_1 = \frac{2200\,\mathrm{W}}{230\,\mathrm{V}} = 9{,}57\,\mathrm{A},$$

$$I_2 = \frac{1100\,\mathrm{W}}{230\,\mathrm{V}} = 4{,}78\,\mathrm{A},$$

$$I_3 = \frac{900\,\mathrm{W}}{230\,\mathrm{V}} = 3{,}91\,\mathrm{A}.$$

A közös bevezető áram:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 9{,}57\,\mathrm{A} + 4{,}78\,\mathrm{A} + 3{,}91\,\mathrm{A} = 18{,}26\,\mathrm{A}.$$

Ez meghaladja a 16 A-es kismegszakító névleges áramát, tehát tartós túlterhelés; a kismegszakító ennél a kis túlterhelésnél ($1{,}14 \cdot I_\mathrm{n}$) csak hosszú idő után vagy egyáltalán nem old ki, ezért a terhelést szét kell osztani külön áramkörökre.

6. feladat megoldása

Adott: $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 150\,\Omega$, $R_3 = 300\,\Omega$, $U = 60\,\mathrm{V}$.
Keresett: I_1, I_2, I_3, I; majd R_2 kiesése utáni R'_e és I'.

Eredeti ágáramok:

$$I_1 = \frac{60\,\mathrm{V}}{100\,\Omega} = 0{,}6\,\mathrm{A},$$

$$I_2 = \frac{60\,\mathrm{V}}{150\,\Omega} = 0{,}4\,\mathrm{A},$$

$$I_3 = \frac{60\,\mathrm{V}}{300\,\Omega} = 0{,}2\,\mathrm{A}.$$

Főáram:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0{,}6\,\mathrm{A} + 0{,}4\,\mathrm{A} + 0{,}2\,\mathrm{A} = 1{,}2\,\mathrm{A}.$$

Ha R_2 kiesik, csak R_1 és R_3 marad párhuzamosan:

$$R'_\mathrm{e} = \frac{100\,\Omega \cdot 300\,\Omega}{100\,\Omega + 300\,\Omega} = \frac{30\,000\,\Omega^2}{400\,\Omega} = 75\,\Omega.$$

Az új főáram:

$$I' = \frac{U}{R'_\mathrm{e}} = \frac{60\,\mathrm{V}}{75\,\Omega} = 0{,}8\,\mathrm{A}.$$

Hibakeresési szempontból: ha a mért főáram kisebb, mint az előre számolt érték, akkor valamelyik ág kiesett vagy megnövekedett az ellenállása. Ha a mért főáram nagyobb, mint a számolt érték, akkor az eredő ellenállás lecsökkent, ami zárlatra, átvezetésre vagy hibásan bekötött, kisebb értékű alkatrészre utalhat.

4.2.12. Rövid összefoglaló

Párhuzamos kapcsolásban az alkatrészek két közös csomópontra csatlakoznak, ezért feszültségük azonos. A csomóponti törvény szerint a főáram az ágáramok összege: $I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$. Az eredő vezetés az ágak vezetésének összege, így az eredő ellenállás reciproka az ágellenállások reciprokainak összege. Két ellenállásra $R_\mathrm{e} = R_1 R_2/(R_1 + R_2)$, azonos ellenállásokra pedig $R_\mathrm{e} = R/n$. Az áramosztó képletben a keresett ág árama egyenesen arányos a másik ág ellenállásával: $I_1 = I\frac{R_2}{R_1+R_2}$. Az árammérő méréshatár-kiterjesztéséhez párhuzamos söntöt használunk, amelynek értéke $R_\mathrm{s} = R_\mathrm{m}/(n-1)$, ahol $n = I/I_\mathrm{m}$. A párhuzamos fogyasztók árama a közös bevezetőben összeadódik; ezért méretezéskor az ágáramok összegét kell figyelembe venni. Ezt az eredőre redukálást használjuk a vegyes kapcsolások számításánál, a sönt elvét pedig a mérőműszerek méréshatárának értelmezésénél.

4.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

A levezetések és a példák az elektrotechnika klasszikus, stabil összefüggésein alapulnak. A műszerek tényleges belső ellenállását és a söntök terhelhetőségét mindig az adott gyártó adatlapjából kell ellenőrizni.

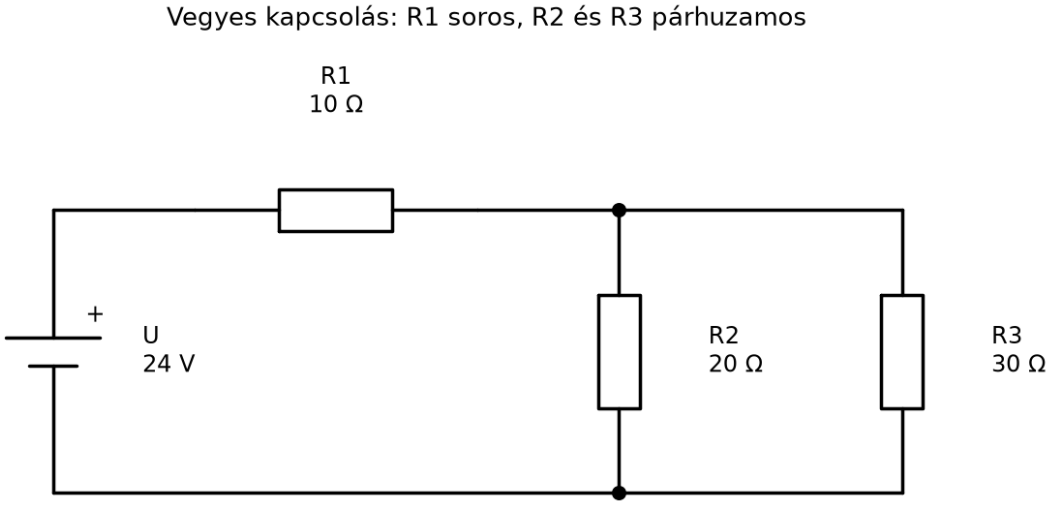
4.3. Vegyes kapcsolások és eredő ellenállás

4.3.1. Motiváció

Villanyszerelőként gyakran találkozol olyan kapcsolással, amelyben nemcsak soros vagy párhuzamos elemek szerepelnek, hanem a kettő egyszerre. Gondolj például egy kapcsolószekrény jelzőáramkörére, ahol több visszajelző lámpa párhuzamosan van kötve, de eléjük egy közös előtét-ellenállás kerül sorosan; vagy egy ipari fűtőpanelre, ahol két fűtőbetét párhuzamosan, egy harmadik pedig velük sorosan dolgozik. A feladat ilyenkor az, hogy meghatározd az eredő ellenállást, a teljes áramfelvételt, és az egyes elemeken eső feszültségeket és áramokat. E nélkül nem tudod megmondani, hogy mekkora teljesítmény jut egy-egy fogyasztóra, és nem tudod ellenőrizni, hogy a kapcsolás megfelel-e a tervezett üzemállapotnak.

4.3.2. Szemléletes kép

Az alábbi kapcsolásban egy 24 V tápegység táplál három ellenállást: R_1 sorosan, míg R_2 és R_3 párhuzamosan van kötve. Az ilyen hálózatot nevezzük vegyes kapcsolásnak.



4.4. ábra. Vegyes kapcsolás: R1 soros, R2 és R3 párhuzamos - 24 V tápegység, R1=10 Ω, R2=20 Ω, R3=30 Ω. A pontok a csomópontokat jelölik.

A rajzon jól látható, hogy az R_2 és R_3 két közös csomóponttal rendelkezik: a felső kapcsuk közös, az alsó kapcsuk szintén közös. Ezért ezek párhuzamosak. Az R_1 pedig sorosan kapcsolódik ehhez a párhuzamos csoporthoz, mert a párhuzamos részre jutó teljes áram keresztülfolyik rajta.

4.3.3. Definíciók és egyszerűsítési stratégia

Definíció. Vegyes kapcsolásnak nevezzük az olyan ellenállás-hálózatot, amely legalább egy soros és legalább egy párhuzamos csoportot tartalmaz.

Definíció. Csomópont a hálózatban az a pont, ahol legalább három vezeték vagy alkatrészkivezetés találkozik. A csomópontok felismerése segít eldönteni, hogy két elem soros vagy párhuzamos kapcsolatban van-e.

Szabály. A vegyes hálózat egyszerűsítésének lépései:

1. Rajzold le vagy jelöld be a feszültségforrás kivezetéseit, és keresd meg a táplált hálózat két kapcsát.
2. Jelöld be a csomópontokat. Ez segít felismerni az azonos feszültségű pontokat.
3. Keress tisztán soros csoportokat: olyan ellenállásokat, amelyeken azonos áram folyik, és köztük nincs csomópont.
4. Keress tisztán párhuzamos csoportokat: olyan ellenállásokat, amelyeknek mindkét kivezetése ugyanahhoz a két csomóponthoz kapcsolódik.
5. Helyettesítsd a talált csoportot egyetlen eredő ellenállással a korábban tanult képletek szerint:
   - soros: $R_s = R_a + R_b + ...$,
   - párhuzamos: $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + ...$, illetve két ellenállásnál $R_p = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b}$.
6. Ismételd az eljárást, amíg a hálózat egyetlen ellenállássá nem egyszerűsödik. Ez az eredő ellenállás.
7. Az eredőből számítsd ki a teljes áramot, majd lépésenként, visszafelé haladva bontsd ki a részáramokat és részfeszültségeket.

Rajzátrendezés. Sok kapcsolási rajzon a hálózat bonyolultabbnak látszik, mint amilyen valójában. A csomópontok áthelyezhetők, a vezetékek nyújthatók vagy rövidíthetők, ha közben a kapcsolatok nem változnak. Két pont akkor van azonos csomóponton, ha ellenállás (alkatrész) nélküli vezeték köti össze őket – akár elágazással is. Rajzold át a hálózatot úgy, hogy a csomópontok világosak legyenek.

4.3.4. Kidolgozott példák

4.3.4.1. 1. példa: soros és párhuzamos csoport egyszerűsítése

A fenti kapcsolás adatai: $U = 24\,\mathrm{V}$, $R_1 = 10\,\Omega$, $R_2 = 20\,\Omega$, $R_3 = 30\,\Omega$.

Megoldás:

1. Felismerjük, hogy R_2 és R_3 párhuzamos:

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{20\,\Omega \cdot 30\,\Omega}{20\,\Omega + 30\,\Omega} = \frac{600}{50}\,\Omega = 12\,\Omega.$$

2. Az eredő ellenállás:

$$R_{\text{eredő}} = R_1 + R_{23} = 10\,\Omega + 12\,\Omega = 22\,\Omega.$$

3. A teljes áram:

$$I = \frac{U}{R_{\text{eredő}}} = \frac{24\,\mathrm{V}}{22\,\Omega} = 1{,}09\,\mathrm{A}.$$

4. Az R_1 feszültsége:

$$U_1 = I \cdot R_1 = 1{,}09\,\mathrm{A} \cdot 10\,\Omega = 10{,}9\,\mathrm{V}.$$

5. A párhuzamos csoport feszültsége:

$$U_{23} = U - U_1 = 24\,\mathrm{V} - 10{,}9\,\mathrm{V} = 13{,}1\,\mathrm{V}.$$

Ugyanezt kapjuk a csoport eredőjéből is: $U_{23} = I \cdot R_{23} = 1{,}09\,\mathrm{A} \cdot 12\,\Omega = 13{,}1\,\mathrm{V}$.

6. Az egyes ágak áramai:

$$I_2 = \frac{U_{23}}{R_2} = \frac{13{,}1\,\mathrm{V}}{20\,\Omega} = 0{,}655\,\mathrm{A},$$

$$I_3 = \frac{U_{23}}{R_3} = \frac{13{,}1\,\mathrm{V}}{30\,\Omega} = 0{,}436\,\mathrm{A}.$$

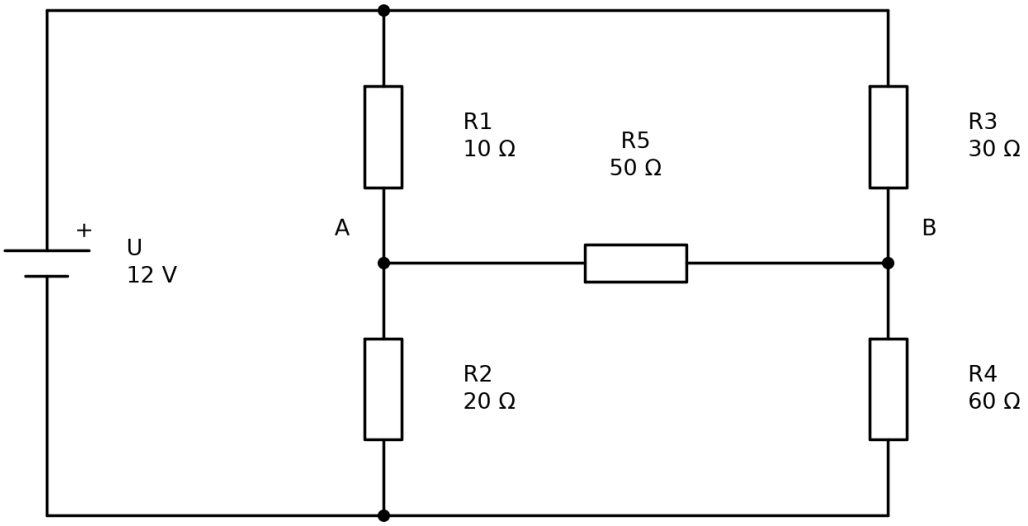
Ellenőrzés: a párhuzamos csomópontban a befolyó és elfolyó áramok összege egyenlő:

$$I_2 + I_3 = 0{,}655\,\mathrm{A} + 0{,}436\,\mathrm{A} = 1{,}091\,\mathrm{A} \approx I.$$

A kerekítésből adódó eltérés elfogadható. ∎

4.3.4.2. 2. példa: kiegyenlített hídkapcsolás

A hídkapcsolás négy ellenállásból és egy hídágból áll: az R_1–R_2 az egyik, az R_3–R_4 a másik soros ág, a két ág közös tápfeszültségen van, és az R_5 hídág a két ág középpontját (A és B) köti össze. Sokszor a rajz szimmetrikusnak tűnik, de a hídágat csak akkor hagyhatjuk el, ha a híd kiegyenlített.



4.5. ábra. Hídkapcsolás (2. példa) - Bal ág: R1 felül, R2 alul, középpontja A; jobb ág: R3 felül, R4 alul, középpontja B; az R5 hídág az A és B pont között. U = 12 V.

A híd akkor kiegyenlített, ha az A és a B pont potenciálja egyenlő, mert ekkor az R_5 két végén nincs feszültség, így áram sem folyik rajta. Az R_2 és az R_4 feszültsége a két ág feszültségosztójából:

$$U_{R2} = U\frac{R_2}{R_1+R_2}, \qquad U_{R4} = U\frac{R_4}{R_3+R_4}.$$

Az $U_{R2} = U_{R4}$ egyenlőségből $R_2(R_3 + R_4) = R_4(R_1 + R_2)$, azaz $R_2R_3 = R_1R_4$, amiből a kiegyenlítettség feltétele:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}.$$

Ekkor a hídágban (R_5) nem folyik áram, ezért elhagyható, és a kapcsolás két párhuzamos ággá rendeződik.

Adott: $U = 12\,\mathrm{V}$, $R_1 = 10\,\Omega$, $R_2 = 20\,\Omega$, $R_3 = 30\,\Omega$, $R_4 = 60\,\Omega$, $R_5 = 50\,\Omega$.

Ellenőrzés:

$$\frac{10\,\Omega}{20\,\Omega} = 0{,}5 \quad \text{és} \quad \frac{30\,\Omega}{60\,\Omega} = 0{,}5,$$

tehát a híd kiegyenlített.

A két ág eredője:

$$R_{\text{ág1}} = R_1 + R_2 = 10\,\Omega + 20\,\Omega = 30\,\Omega,$$

$$R_{\text{ág2}} = R_3 + R_4 = 30\,\Omega + 60\,\Omega = 90\,\Omega.$$

A teljes eredő:

$$R_{\text{eredő}} = \frac{30\,\Omega \cdot 90\,\Omega}{30\,\Omega + 90\,\Omega} = \frac{2700}{120}\,\Omega = 22{,}5\,\Omega.$$

A teljes áram:

$$I = \frac{12\,\text{V}}{22{,}5\,\Omega} = 0{,}533\,\text{A}.$$

Az ágáramok:

$$I_{\text{ág1}} = \frac{12\,\text{V}}{30\,\Omega} = 0{,}400\,\text{A},$$

$$I_{\text{ág2}} = \frac{12\,\text{V}}{90\,\Omega} = 0{,}133\,\text{A},$$

és a hídág árama $I_5 = 0$. ∎

Ha a híd nem kiegyenlített, a hídágat nem szabad elhagyni. Ilyenkor a hálózat már nem egyszerűsíthető tisztán soros-párhuzamos csoportokká; a megoldáshoz a Kirchhoff-törvények és hálózatszámítás alfejezetben bemutatott általános módszert használjuk.

4.3.5. Teljesítmény-mérleg mint ellenőrzés

Minden vegyes hálózat számításánál erős ellenőrzés a teljesítmény-mérleg. A forrás által leadott hatásos teljesítménynek egyenlőnek kell lennie az ellenállásokon disszipált teljesítmények összegével:

$$P_{\text{forrás}} = U \cdot I,$$

$$\sum P_{\text{ellenállások}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + \dots$$

Ha a kettő nem egyezik, akkor számolási hibát követtünk el.

Az 1. példa adataival, a pontosabb $I = 1{,}0909\,\text{A}$ értéket használva:

$$P_{\text{forrás}} = 24\,\text{V} \cdot 1{,}0909\,\text{A} = 26{,}18\,\text{W}.$$

A fogyasztói oldal:

$$P_1 = I^2 R_1 = (1{,}0909\,\text{A})^2 \cdot 10\,\Omega = 11{,}90\,\text{W},$$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = (0{,}655\,\mathrm{A})^2 \cdot 20\,\Omega = 8{,}58\,\mathrm{W},$$

$$P_3 = I_3^2 R_3 = (0{,}436\,\mathrm{A})^2 \cdot 30\,\Omega = 5{,}70\,\mathrm{W}.$$

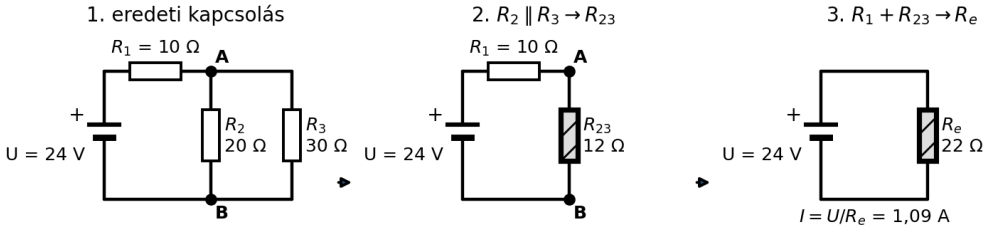
Összegük:

$$11{,}90\,\mathrm{W} + 8{,}58\,\mathrm{W} + 5{,}70\,\mathrm{W} = 26{,}18\,\mathrm{W}.$$

A teljesítmény-mérleg tehát zár. ∎

4.3.6. Interaktív kalkulátor

Az alábbi interaktív ábrán az 1. példa egyszerűsítését lépésenként követheted: a lépés-csúszkával előbb az összevonás (1. csomópontok, 2. R_2 és R_3 párhuzamos eredője: R_{23}, 3. $R_1 + R_{23} \to R_{\text{eredő}}$), majd a visszabontás (4. teljes áram, 5. részfeszültségek, 6. ágáramok, 7. teljesítmény-mérleg) játszható le. Az U, R_1, R_2, R_3 értéke is állítható; a számok minden lépésben frissülnek.



lépés	összefüggés	eredmény
2	$R_{23} = R_2 R_3/(R_2 + R_3)$	12 Ω
3	$R_e = R_1 + R_{23}$	22 Ω
4	$I = U/R_e$	1,09 A
5	$U_1 = IR_1$; $U_{23} = U - U_1$	10,9 V; 13,1 V
6	$I_2 = U_{23}/R_2$; $I_3 = U_{23}/R_3$	0,655 A; 0,436 A
7	$P = UI = P_1 + P_2 + P_3$	26,18 W = 11,90 + 8,57 + 5,71 W

4.6. ábra. Vegyes kapcsolás lépésenkénti egyszerűsítése: eredeti kapcsolás → R_{23} → $R_{\text{eredő}}$, alatta a visszabontás eredményei

A statikus tartalék ábra a három egyszerűsítési lépést és az eredménytáblát mutatja: $U = 24\,\mathrm{V}$, $R_1 = 10\,\Omega$, $R_2 = 20\,\Omega$, $R_3 = 30\,\Omega$; a kalkulátor kimenete $R_{\text{eredő}} = 22\,\Omega$, $I = 1{,}09\,\mathrm{A}$, $U_{23} = 13{,}1\,\mathrm{V}$, $I_2 = 0{,}655\,\mathrm{A}$, $I_3 = 0{,}436\,\mathrm{A}$.

4.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy üzemben a karbantartó azt tapasztalja, hogy egy három fűtőbetétből álló berendezés nem fűt rendesen. A terv szerint a betétek mindegyike $100\,\Omega$ névleges ellenállású, és $230\,\mathrm{V}$ kapocsfeszültségre tervezték (mindegyik tervezett teljesítménye $230^2/100 = 529\,\mathrm{W}$, a háromé $1587\,\mathrm{W}$). A beszerelés során azonban két betétet párhuzamosan, a harmadikat pedig eléjük sorosan kötötték. A szerelő kiszámolja a viszonyokat.

A két párhuzamos betét eredője:

$$R_p = \frac{100\,\Omega \cdot 100\,\Omega}{100\,\Omega + 100\,\Omega} = 50\,\Omega.$$

A teljes kör ellenállása:

$$R_{\text{eredő}} = 100\,\Omega + 50\,\Omega = 150\,\Omega.$$

A teljes áram:

$$I = \frac{230\,\mathrm{V}}{150\,\Omega} \approx 1{,}53\,\mathrm{A}.$$

A párhuzamos csoport feszültsége:

$$U_p = I \cdot R_p = 1{,}53\,\mathrm{A} \cdot 50\,\Omega \approx 76{,}7\,\mathrm{V},$$

tehát a két párhuzamos betét csak $76{,}7\,\mathrm{V}$-ot kap, a soros betét pedig $153{,}3\,\mathrm{V}$-ot. A párhuzamos betétek mindegyikének teljesítménye így nem a tervezett $529\,\mathrm{W}$, hanem:

$$P_{\text{betét,p}} = \frac{U_p^2}{R} = \frac{(76{,}7\,\mathrm{V})^2}{100\,\Omega} \approx 58{,}8\,\mathrm{W},$$

a soros betété $(153{,}3\,\mathrm{V})^2/100\,\Omega \approx 235\,\mathrm{W}$, a berendezésé összesen $230^2/150 \approx 353\,\mathrm{W}$ a tervezett $1587\,\mathrm{W}$ helyett.

A hiba oka a hibás bekötés; a javítás a három betét párhuzamos kötése, így mindegyik megkapja a teljes $230\,\mathrm{V}$ feszültséget.

Továbbvitt eredmény. A vegyes hálózatok lépésenkénti egyszerűsítése, a csomóponti áramok összegzése és a teljesítmény-mérleg alkalmazása közvetlenül előkészíti a Kirchhoff-törvények és hálózatszámítás alfejezetet: ott ugyanezeket a megmaradási elveket mondjuk ki általánosan, és olyan hálózatokat is meg tudunk oldani, amelyek nem egyszerűsíthetők soros-párhuzamos csoportokra. Az eredő ellenállás fogalmát használjuk a Valódi feszültségforrás: üresjárás, rövidzárás és illesztés alfejezetben is.

4.3.8. Tipikus hibák

1. **Soros és párhuzamos csoport téves felismerése.** Ha két ellenállásnak csak az egyik kivezetése közös, az nem feltétlenül soros; a párhuzamos kapcsolathoz az kell, hogy mindkét kivezetésük ugyanahhoz a két csomóponthoz kapcsolódjon. Soros kapcsolatnál az áramuk közös, és köztük nincs elágazás.
2. **A párhuzamos eredő reciprokának hibás képzése.** Gyakori hiba az $R_p = \frac{R_2+R_3}{2}$ átlagolás, vagy a szorzat/végösszeg felcserélése. A helyes képlet kettőnél több ellenállásra:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ...$$

3. **A feszültségosztás hibás alkalmazása.** Ha a párhuzamos csoportot egyetlen helyettesítő ellenállásnak tekintjük, a feszültségosztást erre a helyettesítő ellenállásra kell alkalmazni. A hibás $U_1 = U\frac{R_1}{R_1+R_2+R_3}$ képlet figyelmen kívül hagyja, hogy R_2 és R_3 párhuzamosak, ezért az eredmény téves.
4. **Kiegyenlítetlen hídnál a hídág elhanyagolása.** A hídág elhagyása csak akkor megengedett, ha teljesül a $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ feltétel. Ellenkező esetben a hídágban áram folyik, és a hálózatot másként kell megoldani.
5. **Mértékegység-tévesztés.** A kΩ és Ω felcserélése, vagy a mA és A összekeverése nagyságrendi hibát okoz. Mindig írd ki a mértékegységeket minden lépésben.

4.3.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Két ellenállás akkor párhuzamos, ha a kapcsolási rajzon egymás mellett láthatók.
2. Számítsd ki két 10 Ω-os ellenállás párhuzamos eredőjét!
3. Az 1. példában ($U = 24\,\text{V}$, $R_1 = 10\,\Omega$, $R_2 = 20\,\Omega$, $R_3 = 30\,\Omega$) mekkora az R_2-n eső feszültség?
4. Milyen feltétel esetén hagyható el a hídkapcsolás hídága?
5. Miért használunk teljesítmény-mérleget az ellenőrzéshez?

4.3.10. Feladatok

1. feladat (A). Adott $U = 12\,\text{V}$, $R_1 = 4\,\Omega$, $R_2 = 12\,\Omega$, $R_3 = 6\,\Omega$, ahol R_2 és R_3 párhuzamos, R_1 pedig velük soros. Határozd meg az eredő ellenállást, a teljes áramot és a két párhuzamos ág áramát!

2. feladat (A). Adott $U = 24\,\text{V}$, $R_1 = 6\,\Omega$, $R_2 = 3\,\Omega$ párhuzamos, és $R_3 = 2\,\Omega$ soros a párhuzamos csoporttal. Számítsd ki az eredő ellenállást, a párhuzamos csoport feszültségét, valamint az R_1 és R_2 áramát!

3. feladat (B). Három párhuzamos ágat tartalmazó hálózat: az első ágban $R_1 = 10\,\Omega$; a második ágban $R_2 = 20\,\Omega$ soros kapcsolásban $R_3 = 30\,\Omega$-mal; a harmadik ágban $R_4 = 40\,\Omega$. A tápfeszültség $U = 48\,\text{V}$. Határozd meg az egyes ágak áramát, és ellenőrizd a teljesítménymérleget!

4. feladat (B). Adott egy hídkapcsolás: $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 200\,\Omega$, $R_3 = 300\,\Omega$, $R_4 = 600\,\Omega$, $R_5 = 150\,\Omega$, $U = 24\,\mathrm{V}$. Igazold, hogy a híd kiegyenlített, határozd meg az eredő ellenállást és a hídág áramát!

5. feladat (C). Egy tanuló az alábbi módon számította ki az eredőt egy vegyes kapcsolásra: $R_1 = 5\,\Omega$, $R_2 = 10\,\Omega$ párhuzamos, majd $R_3 = 5\,\Omega$ soros, végül $R_4 = 20\,\Omega$ párhuzamos az egész soros résszel. Azt írta: $R_{12} = (5 + 10)/2 = 7{,}5\,\Omega$, $R_{123} = 7{,}5 + 5 = 12{,}5\,\Omega$, végül 12,5 Ω és 20 Ω párhuzamos eredőjére 7,69 Ω-ot kapott. Hol a hiba? Mennyi a helyes érték?

6. feladat (D). Egy karbantartó megméri egy fűtőpanel eredő ellenállását a sorkapcsokon: 34,8 Ω. A panel három azonos, egyenként 100 Ω névleges ellenállású fűtőbetétet tartalmaz. Hogyan vannak bekötve a betétek? Indokold a mérés alapján!

4.3.11. Megoldások

4.3.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A párhuzamos kapcsolat feltétele a két közös csomópont: mindkét ellenállás mindkét kivezetése ugyanahhoz a két csomóponthoz kapcsolódik.
2. $R_p = \frac{10\,\Omega \cdot 10\,\Omega}{10\,\Omega + 10\,\Omega} = \frac{100}{20}\,\Omega = 5\,\Omega$.
3. Az R_2 feszültsége megegyezik a párhuzamos csoport feszültségével, tehát $U_{23} = 13{,}1\,\mathrm{V}$.
4. A hídág akkor hagyható el, ha a híd kiegyenlített: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$.
5. A teljesítmény-mérleg azt ellenőrzi, hogy a forrás által leadott hatásos teljesítmény megegyezik az ellenállásokon disszipált teljesítmények összegével. Ha eltérés van, akkor valahol számolási hibát követtünk el.

4.3.11.2. 1. feladat megoldása

Párhuzamos eredő:

$$R_{23} = \frac{12\,\Omega \cdot 6\,\Omega}{12\,\Omega + 6\,\Omega} = \frac{72}{18}\,\Omega = 4\,\Omega.$$

Teljes eredő:

$$R_{\text{eredő}} = R_1 + R_{23} = 4\,\Omega + 4\,\Omega = 8\,\Omega.$$

Teljes áram:

$$I = \frac{12\,\mathrm{V}}{8\,\Omega} = 1{,}5\,\mathrm{A}.$$

A párhuzamos csoport feszültsége:

$$U_{23} = I \cdot R_{23} = 1{,}5\,\mathrm{A} \cdot 4\,\Omega = 6\,\mathrm{V}.$$

Ágáramok:

$$I_2 = \frac{6\,\mathrm{V}}{12\,\Omega} = 0{,}5\,\mathrm{A},$$

$$I_3 = \frac{6\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 1{,}0\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: $I_2 + I_3 = 0{,}5\,\mathrm{A} + 1{,}0\,\mathrm{A} = 1{,}5\,\mathrm{A} = I$.

4.3.11.3. 2. feladat megoldása

Párhuzamos eredő:

$$R_{12} = \frac{6\,\Omega \cdot 3\,\Omega}{6\,\Omega + 3\,\Omega} = \frac{18}{9}\,\Omega = 2\,\Omega.$$

Teljes eredő:

$$R_{\text{eredő}} = R_{12} + R_3 = 2\,\Omega + 2\,\Omega = 4\,\Omega.$$

Teljes áram:

$$I = \frac{24\,\mathrm{V}}{4\,\Omega} = 6\,\mathrm{A}.$$

A párhuzamos csoport feszültsége:

$$U_{12} = I \cdot R_{12} = 6\,\mathrm{A} \cdot 2\,\Omega = 12\,\mathrm{V}.$$

Ágáramok:

$$I_1 = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 2\,\mathrm{A},$$

$$I_2 = \frac{12\,\mathrm{V}}{3\,\Omega} = 4\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: $I_1 + I_2 = 2\,\mathrm{A} + 4\,\mathrm{A} = 6\,\mathrm{A} = I$.

4.3.11.4. 3. feladat megoldása

Az ágak eredői:

$$R_{\mathrm{I}} = 10\,\Omega,$$

$$R_{\mathrm{II}} = R_2 + R_3 = 20\,\Omega + 30\,\Omega = 50\,\Omega,$$

$$R_{\mathrm{III}} = 40\,\Omega.$$

A három párhuzamos ág eredője:

$$\frac{1}{R_{\text{eredő}}} = \frac{1}{10\,\Omega} + \frac{1}{50\,\Omega} + \frac{1}{40\,\Omega} = 0{,}1 + 0{,}02 + 0{,}025 = 0{,}145\,\frac{1}{\Omega},$$

$$R_{\text{eredő}} = \frac{1}{0{,}145}\,\Omega = 6{,}90\,\Omega.$$

Teljes áram:

$$I = \frac{48\,\mathrm{V}}{6{,}90\,\Omega} = 6{,}96\,\mathrm{A}.$$

Ágáramok:

$$I_{\mathrm{I}} = \frac{48\,\mathrm{V}}{10\,\Omega} = 4{,}8\,\mathrm{A},$$

$$I_{\mathrm{II}} = \frac{48\,\mathrm{V}}{50\,\Omega} = 0{,}96\,\mathrm{A},$$

$$I_{\mathrm{III}} = \frac{48\,\mathrm{V}}{40\,\Omega} = 1{,}2\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: $4{,}8 + 0{,}96 + 1{,}2 = 6{,}96\,\mathrm{A} \approx I$.

Teljesítmény-mérleg:

A forrás: $P_f = 48\,\mathrm{V} \cdot 6{,}96\,\mathrm{A} = 334{,}1\,\mathrm{W}$.

Fogyasztók:

$$P_1 = (4{,}8\,\mathrm{A})^2 \cdot 10\,\Omega = 230{,}4\,\mathrm{W},$$

$$P_2 = (0{,}96\,\mathrm{A})^2 \cdot 20\,\Omega = 18{,}4\,\mathrm{W},$$

$$P_3 = (0{,}96\,\mathrm{A})^2 \cdot 30\,\Omega = 27{,}6\,\mathrm{W},$$

$$P_4 = (1{,}2\,\mathrm{A})^2 \cdot 40\,\Omega = 57{,}6\,\mathrm{W}.$$

Összeg: $230{,}4 + 18{,}4 + 27{,}6 + 57{,}6 = 334{,}0\,\mathrm{W}$. A kerekítési eltérés elfogadható.

4.3.11.5. 4. feladat megoldása

Ellenőrizzük a kiegyenlítettséget:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{100\,\Omega}{200\,\Omega} = 0{,}5,$$

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{300\,\Omega}{600\,\Omega} = 0{,}5,$$

tehát a híd kiegyenlített.

Az ágak:

$$R_{\text{ág1}} = 100\,\Omega + 200\,\Omega = 300\,\Omega,$$

$$R_{\text{ág2}} = 300\,\Omega + 600\,\Omega = 900\,\Omega.$$

Eredő:

$$R_{\text{eredő}} = \frac{300\,\Omega \cdot 900\,\Omega}{300\,\Omega + 900\,\Omega} = \frac{270000}{1200}\,\Omega = 225\,\Omega.$$

Teljes áram:

$$I = \frac{24\,\mathrm{V}}{225\,\Omega} = 0{,}1067\,\mathrm{A}.$$

Ágáramok:

$$I_{\text{ág1}} = \frac{24\,\mathrm{V}}{300\,\Omega} = 0{,}08\,\mathrm{A},$$

$$I_{\text{ág2}} = \frac{24\,\mathrm{V}}{900\,\Omega} = 0{,}0267\,\mathrm{A}.$$

A hídág árama: $I_5 = 0$.

4.3.11.6. 5. feladat megoldása

A hiba a párhuzamos eredő kiszámításában van: a tanuló átlagot számolt $\frac{5+10}{2}$ módon, pedig a helyes párhuzamos eredő:

$$R_{12} = \frac{5\,\Omega \cdot 10\,\Omega}{5\,\Omega + 10\,\Omega} = \frac{50}{15}\,\Omega = 3{,}33\,\Omega.$$

Ezután a soros rész:

$$R_s = R_{12} + R_3 = 3{,}33\,\Omega + 5\,\Omega = 8{,}33\,\Omega.$$

Végül $R_4 = 20\,\Omega$ párhuzamosan kapcsolódik ehhez:

$$R_{\text{eredő}} = \frac{8{,}33\,\Omega \cdot 20\,\Omega}{8{,}33\,\Omega + 20\,\Omega} = \frac{166{,}6}{28{,}33}\,\Omega = 5{,}88\,\Omega.$$

A tanuló által kapott $7{,}69\,\Omega$ tehát hibás.

4.3.11.7. 6. feladat megoldása

Három azonos $100\,\Omega$-os ellenállás lehetséges kapcsolásai:

- Mind soros: $R_e = 300\,\Omega$
- Kettő soros, a harmadik párhuzamos a soros kettővel: $R_e = \frac{200\,\Omega \cdot 100\,\Omega}{200\,\Omega + 100\,\Omega} = 66{,}7\,\Omega$
- Kettő párhuzamos, a harmadik soros velük: $R_e = 100\,\Omega + \frac{100\,\Omega \cdot 100\,\Omega}{100\,\Omega + 100\,\Omega} = 100 + 50 = 150\,\Omega$
- Mindhárom párhuzamos: $R_e = \frac{100\,\Omega}{3} = 33{,}3\,\Omega$

A mért $34{,}8\,\Omega$ érték a mindhárom párhuzamos kapcsolásnak felel meg leginkább; a kismértékű eltérés a névleges ellenállás tűréséből, a mérővezeték ellenállásából és a hőmérsékletből adódhat.

4.3.12. Rövid összefoglaló

A vegyes kapcsolások olyan hálózatok, amelyekben soros és párhuzamos csoportok egyaránt előfordulnak. Az egyszerűsítés során először fel kell ismerni a csomópontokat, majd a tisztán soros vagy párhuzamos csoportokat lépésenként egyetlen eredő ellenállássá kell összevonni. A soros eredő az ellenállások összege, a párhuzamos eredő reciproka az egyes reciprokok összege. Az eredőből a teljes áram, majd visszafelé haladva a részfeszültségek és részáramok meghatározhatók. A hídkapcsolásnál a hídágat csak kiegyenlített híd esetén szabad elhagyni, ha $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$. A számítás ellenőrzésére mindig használjunk teljesítmény-mérleget: a forrás által leadott hatásos teljesítménynek egyenlőnek kell lennie az ellenállásokon disszipált teljesítmények összegével. **Továbbvitt eredmény:** a vegyes hálózatok lépésenkénti egyszerűsítése, a csomóponti áramok összegzése és a teljesítmény-mérleg alkalmazása közvetlenül előkészíti a Kirchhoff-törvények és hálózatszámítás alfejezetet, ahol ezeket az elveket általánosan, tetszőleges hálózatokra is kiterjesztjük.

4.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet klasszikus elektrotechnikai alapokra épül; a számítások Ohm törvényén és a soros/párhuzamos kapcsolások szabályain alapulnak. A hídkapcsolás kiegyenlítettségi feltétele általánosan érvényes. A konkrét példákban használt ellenállásértékek és feszültségek tanulási célúak; nem szabványos tervezési értékek. A használt rajzjelek a korábbi rajzjelekkel foglalkozó alfejezetekben bemutatott MSZ EN 60617 szerinti gyakorlatot követik.

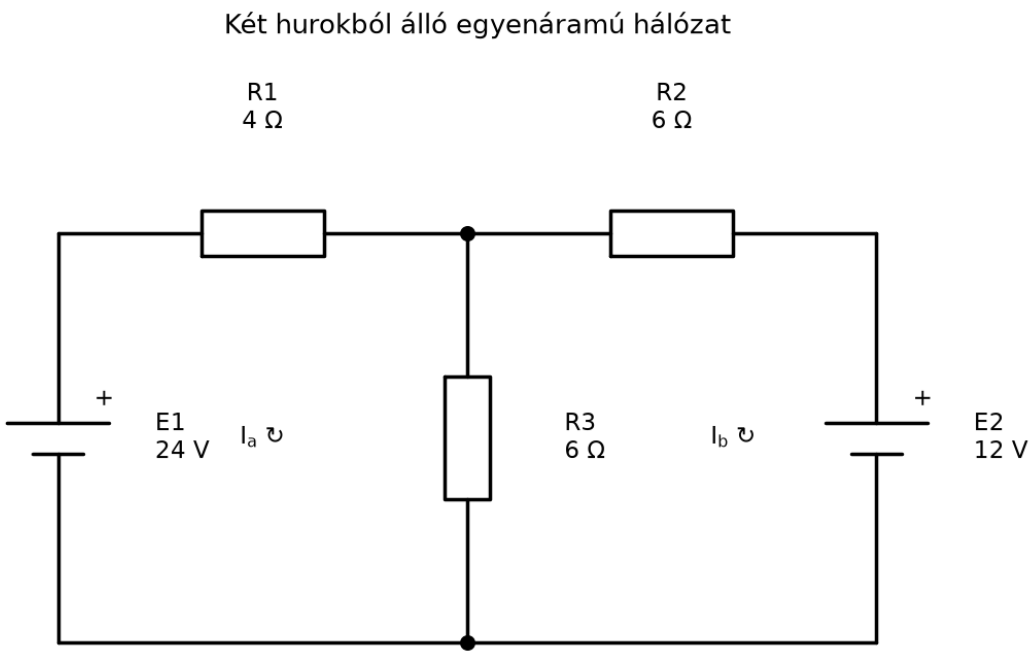
4.4. Kirchhoff-törvények és hálózatszámítás

4.4.1. Motiváció

Egy lakáselosztóban a fázis-, a nullavezető és több fogyasztói kör találkozásánál az áramok elágaznak, és a hurokban megjelenő feszültségeséseket már nem tudjuk pusztán soros vagy párhuzamos eredőkkel átlátni. Ugyanez a helyzet, amikor egy kapcsolószekrényben két tápforrás – például hálózati tápegység és tartalék akkumulátor – egyszerre dolgozik, vagy amikor egy hibás bekötés miatt két kör egy közös ponton összeér. A Kirchhoff-törvények és a hurokáramok módszere az az általános eszköz, amellyel a csomóponti áramokat és a hurkokban fellépő feszültségeséseket szisztematikusan felírjuk, és a hibakeresés során a mért értékeket számszerűen ellenőrizzük.

4.4.2. Szemléletes kép: két hurok egy elosztóban

Képzeljünk el egy egyenáramú hálózatot két feszültségforrással és három ellenállással. A bal oldali forrás táplál egy ellenálláson keresztül egy közös csomópontot, a jobb oldali forrás pedig egy másik ellenálláson át ugyanarra a csomópontra csatlakozik; a csomópontból egy függőleges ellenállás vezet a közös visszavezetésre.



4.7. ábra. Két hurokból álló egyenáramú hálózat - E1 bal oldali, E2 jobb oldali feszültségforrás; R1 a bal felső, R2 a jobb felső, R3 a középső függőleges ellenállás. A felső sín mindkét forrás pozitív pólusa felé néz.

A rajz bal hurokja: E1 – R1 – R3. A jobb hurok: E2 – R2 – R3. A két hurok közös ága az R3, ezért az R3-ban a két hurok árama egyszerre jelenik meg. A hurokegyenletekkel ezt a közös ágat is kezeljük.

4.4.3. Kirchhoff I. törvénye: a csomóponti törvény

Definíció. Egy villamos csomópontba befolyó áramok előjeles összege nulla:

$$\sum I = 0,$$

ahol a befolyó áramokat például pozitívnak, a kifolyókat negatívnak vesszük – a választás lehet fordított is, de egy feladaton belül egységesnek kell maradnia.

Törvény. A csomóponti törvény a töltésmegmaradást fejezi ki: egy csomópontban töltés nem halmozódhat fel, így ami befolyik, annak ugyanannyi ki is kell folynia.

A gyakorlati szerelői gondolat: a fogyasztásmérő utáni fő nullavezetőben ugyanakkora áram folyik, mint a fázisvezetők áramainak vektoros összege, ha a hálózat tökéletes és nincs szivárgó áram. Egy hibás, rosszul kötött csomópontnál ez a mérleg felborul.

Példa. Egy elosztó csomópontjába 3 A folyik be, két elmenő kör pedig 1,2 A és 1,8 A áramot visz. A harmadik elmenő kör árama:

$$I_3 = 3 - 1{,}2 - 1{,}8 = 0\,\mathrm{A}.$$

Ha a mért érték mégsem nulla, akkor valamelyik körben hiba van, vagy van egy nem mért (elfelejtett) leágazás.

4.4.4. Kirchhoff II. törvénye: a huroktörvény

Definíció. Egy zárt hurok mentén a feszültségek előjeles összege nulla:

$$\sum U = 0.$$

A feszültségforrás feszültségét akkor vesszük pozitívnak, ha a hurok körbejárási iránya a negatív kapocstól a pozitív felé halad, vagyis a forrás emeli a potenciált. Az ellenállásokon a körbejárási irányban folyó áram feszültségesést hoz létre, ezért az ellenállás feszültségét a körbejárás iránya szerint vesszük pozitívnak.

Előjelkonvenció a példákhoz. Körbejárva a potenciálváltozásokat adjuk össze: forráson negatívtól pozitív felé haladva $+E$, ellenálláson az áram irányában $-IR$, az árammal szemben $+IR$; az összeg nulla. Ha a forrásokat átrendezzük a másik oldalra, ugyanez a „forrás = ellenállásokon eső feszültségek összege” alakot adja (így íródik a bal hurok egyenlete); a két alak egyenértékű, csak az előjelek helye különbözik.

Törvény. A huroktörvény a potenciál egyértékűségét fejezi ki: ha egy töltést egy zárt hurkon végigviszünk, a potenciál visszaáll a kiindulási értékre.

A szerelői gyakorlatban ezt a törvényt akkor használjuk, amikor a mérőműszerrel ellenőrizzük, hogy a táplálás feszültsége egyenlő a fogyasztók és a vezetékek feszültségeséseinek összegével. Ha a számított hurokösszeg nem nulla, a kapcsolásban hiba van.

4.4.5. Hurokáramok módszere két hurokra

A hurokáramok módszere a huroktörvényt rendszerezetten alkalmazza. Két egymás melletti „ablakhurok” esetén a lépések:

1. Válasszunk mindkét hurokhoz egy-egy hurokáramot, például az óramutató járásával megegyező irányban. Jelölje a bal hurok áramát I_a, a jobb hurokét I_b.
2. Írjuk fel minden hurokra a hurokegyenletet: a forrásfeszültségek algebrai összege egyenlő az ellenállásokon eső feszültségek algebrai összegével.
3. A közös ellenálláson a két hurokáram különbsége folyik; az előjelet az adott hurok körbejárási iránya dönti el.
4. Oldjuk meg a kétismeretlenes egyenletrendszert.
5. Az ágáramokat a hurokáramokból visszaszámoljuk.

4.4.5.1. Kidolgozott példa

A fenti áramkör adatai: $E_1 = 24\,\mathrm{V}$, $E_2 = 12\,\mathrm{V}$, $R_1 = 4\,\Omega$, $R_2 = 6\,\Omega$, $R_3 = 6\,\Omega$.

Bal hurok. Az I_a hurokáram körbejárása az óramutató szerint: E1-en alulról felfelé, R1-en jobbra, R3-on lefelé. Az E1 emeli a potenciált, ezért $+E_1$. Az R1-en I_a feszültségesést hoz létre: $+I_aR_1$. R3-ban lefelé az I_a, felfelé az I_b folyik, ezért a lefelé irányú eredő áram $I_a - I_b$, így az R3 feszültségesése $+(I_a - I_b)R_3$. A hurokegyenlet:

$$E_1 = I_aR_1 + (I_a - I_b)R_3.$$

Jobb hurok. Az I_b hurokáram körbejárása az óramutató szerint: R2-n jobbra, E2-n lefelé, R3-on felfelé. Az R2-n az áram irányában haladunk, ezért a potenciál I_bR_2-vel csökken: $-I_bR_2$. Az E2-n a pozitív kapocstól a negatív felé haladunk: $-E_2$. Az R3-on az eredő $(I_a - I_b)$ árammal szemben haladunk felfelé, ezért a potenciál nő: $+(I_a - I_b)R_3$. A hurokegyenlet:

$$-I_bR_2 - E_2 + (I_a - I_b)R_3 = 0,$$

amit rendezve:

$$E_2 = (I_a - I_b)R_3 - I_bR_2.$$

Helyettesítsünk be:

$$24 = 4I_a + 6(I_a - I_b) = 10I_a - 6I_b,$$

$$12 = 6(I_a - I_b) - 6I_b = 6I_a - 12I_b.$$

Az első egyenletből:

$$24 = 10I_a - 6I_b.$$

A másodikból:

$$12 = 6I_a - 12I_b \quad \Rightarrow \quad 2 = I_a - 2I_b \quad \Rightarrow \quad I_a = 2 + 2I_b.$$

Ezt beírva az elsőbe:

$$24 = 10(2 + 2I_b) - 6I_b = 20 + 20I_b - 6I_b,$$

$$4 = 14I_b \quad \Rightarrow \quad I_b = \frac{4}{14} \approx 0{,}2857\,\mathrm{A}.$$

Ezután:

$$I_a = 2 + 2 \cdot 0{,}2857 = 2 + 0{,}5714 = 2{,}5714\,\mathrm{A}.$$

Az ágáramok:

- R1 árama: $I_a = 2{,}57\,\mathrm{A}$,
- R2 árama: $I_b = 0{,}286\,\mathrm{A}$,
- R3 árama lefelé: $I_a - I_b = 2{,}5714 - 0{,}2857 = 2{,}286\,\mathrm{A}$.

Ellenőrzés a hurokegyenletekkel:

Bal hurok: $10 \cdot 2{,}5714 - 6 \cdot 0{,}2857 = 25{,}714 - 1{,}714 = 24{,}0\,\mathrm{V}$, tehát a bal oldal valóban E_1.
Jobb hurok: $6 \cdot 2{,}286 - 6 \cdot 0{,}286 = 13{,}714 - 1{,}714 = 12{,}0\,\mathrm{V}$, tehát a jobb oldal valóban E_2.

4.4.6. Szuperpozíció

Törvény. Lineáris hálózatban több forrás együttes hatása egyenlő a források egyenkénti hatásának összegével. A vizsgált forrás hatását úgy számoljuk, hogy a többi feszültségforrást rövidzárral helyettesítjük, a kikapcsolt áramforrásokat pedig szakadással.

A módszer akkor hasznos, ha egy-egy forrás hatására a hálózat soros/párhuzamos egyszerűsítéssel könnyebben átlátható, mint a teljes hurokegyenlet-rendszer.

Ugyanezt a példát oldjuk meg szuperpozícióval.

4.4.6.1. Csak E1 hat

E2-t rövidzárral helyettesítjük. Ekkor a jobb oldali forrás helyén a felső sín és az alsó sín közvetlenül összekapcsolódik, ezért R2 és R3 párhuzamosan kapcsolódik, és ezekkel sorban van R1. Az eredő:

$$R_{\text{eredő}} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 4 + \frac{6 \cdot 6}{6 + 6} = 4 + 3 = 7\,\Omega.$$

Az E1 árama:

$$I_a^{(1)} = \frac{E_1}{R_{\text{eredő}}} = \frac{24}{7} \approx 3{,}4286\,\mathrm{A}.$$

Ez az áram folyik R1-en jobbra. A csomóponton R2 és R3 azonos ellenállású, ezért az áram feleződik:

$$I_{\mathrm{R2}}^{(1)} = I_{\mathrm{R3}}^{(1)} = \frac{3{,}4286}{2} \approx 1{,}7143\,\mathrm{A}.$$

Az R2 árama jobbra, az R3 árama lefelé folyik.

4.4.6.2. Csak E2 hat

Most E1-et helyettesítjük rövidzárral. Ilyenkor R1 és R3 párhuzamosan kapcsolódik, és ezekkel sorban van R2. Az eredő:

$$R_{\text{eredő}} = R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 6 + \frac{4 \cdot 6}{4 + 6} = 6 + 2{,}4 = 8{,}4\,\Omega.$$

Az E2 árama:

$$I_b^{(2)} = \frac{E_2}{R_{\text{eredő}}} = \frac{12}{8{,}4} \approx 1{,}4286\,\text{A}.$$

Ez az áram R2-n balra folyik. A párhuzamos R1 és R3 áramosztásából:

$$I_{\text{R1}}^{(2)} = I_b^{(2)} \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} = 1{,}4286 \cdot \frac{6}{10} \approx 0{,}8571\,\text{A},$$

$$I_{\text{R3}}^{(2)} = I_b^{(2)} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_3} = 1{,}4286 \cdot \frac{4}{10} \approx 0{,}5714\,\text{A}.$$

Az R1 árama balra, az R3 árama lefelé folyik.

4.4.6.3. Szuperpozíció összegzése

R1 árama jobbra:

$$I_{\text{R1}} = 3{,}4286 - 0{,}8571 = 2{,}5715\,\text{A}.$$

R2 árama jobbra:

$$I_{\text{R2}} = 1{,}7143 - 1{,}4286 = 0{,}2857\,\text{A}.$$

R3 árama lefelé:

$$I_{\text{R3}} = 1{,}7143 + 0{,}5714 = 2{,}2857\,\text{A}.$$

A kapott értékek ugyanazok, mint a hurokáramok módszerénél. A szuperpozíció tehát ellenőrzésre is kiváló, mert más úton kapjuk ugyanazt az eredményt.

4.4.7. Hálózatszámítás ellenőrzése

A számítás ellenőrzése a munkában sem maradhat el. Két egyszerű ellenőrzési lehetőség:

1. **Teljesítménymérleg:** a források által leadott teljesítmények algebrai összege megegyezik az ellenállásokon disszipált teljesítmények összegével.
2. **Másik módszer:** ugyanazt a feladatot szuperpozícióval vagy hurokegyenletekkel is kiszámoljuk, és az ágáramoknak egyezniük kell.

A fenti példa teljesítménymérlege:

$$P_{E1} = E_1 \cdot I_{\mathrm{R1}} = 24 \cdot 2{,}571 = 61{,}71\,\mathrm{W},$$

$$P_{E2} = -E_2 \cdot I_{\mathrm{R2}} = -12 \cdot 0{,}286 = -3{,}43\,\mathrm{W}.$$

Az E2 forrás teljesítménye negatív, mert az áram a pozitív kapcsán befelé folyik: itt a forrás töltődik, nem ad le teljesítményt. Ez nem hiba, hanem a két forrás feszültségviszonyainak következménye.

Az ellenállásokon:

$$P_{R1} = I_{\mathrm{R1}}^2 R_1 = 2{,}571^2 \cdot 4 \approx 26{,}45\,\mathrm{W},$$

$$P_{R2} = I_{\mathrm{R2}}^2 R_2 = 0{,}286^2 \cdot 6 \approx 0{,}49\,\mathrm{W},$$

$$P_{R3} = I_{\mathrm{R3}}^2 R_3 = 2{,}286^2 \cdot 6 \approx 31{,}35\,\mathrm{W}.$$

A források összege:

$$61{,}71 - 3{,}43 = 58{,}28\,\mathrm{W},$$

az ellenállások összege:

$$26{,}45 + 0{,}49 + 31{,}35 = 58{,}29\,\mathrm{W}.$$

A kerekítések miatt minimális eltérés elfogadható. Ha az eltérés jelentős, az egyenlet felírását vagy a behelyettesítést kell ellenőrizni.

4.4.8. Szabvány

Szabvány. A Kirchhoff-törvények a villamos hálózatok leírásának általános fizikai alapjai, ezért a kisfeszültségű berendezések ellenőrzésekor a zárlati áramok és feszültségesések egyszerű hálózatrészekre való számítása is ezekre épül. Az MSZ HD 60364 sorozat ellenőrzési és méretezési követelményeihez a mindenkor hatályos kiadást kell figyelembe venni, a gyártói adatlapokkal együtt **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és a konkrét berendezés adatai)**.

4.4.9. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy karbantartó egy 24 V-os tápegység és egy 12 V-os tartalék akkumulátor párhuzamos üzemét ellenőrizte: közös ellenállás-hálózaton keresztül tápláltak egy vezérlőmodult. A műszerrel mért áramok nem feleltek meg a kapcsolási rajz alapján várt értékeknek. A szerelő a csomóponti törvénnyel ellenőrizte a csomópontba befolyó és kifolyó áramokat: a főágban 2,6 A-t mért, a két leágazásban 0,3 A-t és 2,3 A-t, ami éppen kiadta a csomóponti mérleget. A feszültségesést a hurokegyenlettel is kiszámolta, és a mért értékekkel összevetette. Kiderült, hogy az akkumulátor nem adott le teljesítményt, hanem a tápegység töltötte (a negatív teljesítmény a mérlegben ezt jelzi) – ellenőrizetlen töltőáram folyt, és az akkumulátor melegedett. A hibát töltésvezérlő, illetve diódás leválasztás beépítésével oldották meg. Két különböző feszültségű tápegységet visszáram-védelem nélkül soha ne köss össze: a kisebb feszültségű kimenetébe folyó áram tönkreteheti.

A példa tanulsága: a Kirchhoff-törvények nem elméleti játékok, hanem a mindennapi hibakeresés ellenőrző eszközei.

4.4.10. Tipikus hibák

Hiba. A huroktörvénynél a feszültségforrás előjelét a körbejárási iránytól függetlenül mindig pozitívnak veszik. Ha a körbejárás a pozitív kapocs felől a negatív felé halad, a forrás feszültsége negatív. A helyes gyakorlat: először rögzítsük a hurok körbejárási irányát, majd minden forráson aszerint döntsük el az előjelet, hogy a negatív pólustól a pozitív felé haladunk-e.

Hiba. Szuperpozíciónál a kikapcsolt feszültségforrást szakadásként kezelik. A feszültségforrást rövidzárral, az áramforrást szakadással kell helyettesíteni. Ha valaki szakadást tesz be feszültségforrás helyére, a hálózat szerkezete megváltozik, és az eredmény hibás lesz.

Hiba. A csomóponti törvénynél a befolyó és kifolyó áramok előjelét következetlenül váltogatják. Az egyenlet felírása előtt meg kell állapodni: például a csomópontba befolyó áram pozitív, a kifolyó negatív, és ezt a teljes feladatban tartani kell.

4.4.11. Önellenőrzés

1. Egy csomópontba 2 A folyik be, és két elmenő vezetéken 0,8 A, valamint 0,5 A folyik ki. Mekkora a harmadik elmenő áram?

2. Érvényes-e a huroktörvény, ha a hurokban egy szakadás (nyitott kapcsoló) van? Mekkora feszültség mérhető a szakadáson?

3. Szuperpozíció alkalmazásakor hogyan kell egy nem vizsgált feszültségforrást kezelni?

4. Egy hurokban egy 9 V-os forrás van egy 3 Ω-os és egy 6 Ω-os ellenállással sorosan. Mekkora a hurokáram?

5. Mi a teljesítménymérleg szerepe a hálózatszámításban?

6. Mi a hiba az alábbi állításban: „Kirchhoff II. törvénye szerint a hurokban a feszültségek abszolút értékeinek összege nulla”?

4.4.12. Feladatok

1. feladat (A)
Egy csomópontba 4,5 A folyik be. Két kimenő vezetéken 1,2 A és 2,1 A folyik. Mekkora a harmadik kimenő vezeték árama?

2. feladat (A)
Egy soros áramkörben $E = 18\,\mathrm{V}$, $R_1 = 3\,\Omega$ és $R_2 = 6\,\Omega$. Írd fel a hurokegyenletet, és add meg az áramerősséget!

3. feladat (B)
Adott az alábbi hálózat: $E_1 = 18\,\mathrm{V}$, $E_2 = 9\,\mathrm{V}$, $R_1 = 3\,\Omega$, $R_2 = 6\,\Omega$, $R_3 = 6\,\Omega$, a topológia megegyezik a fejezet ábrájával. Hurokáramok módszerével számítsd ki az R1, R2 és R3 áramát, és jelöld az irányt!

4. feladat (B)
Oldd meg a 3. feladat hálózatát szuperpozícióval, és vesd össze a kapott áramokat!

5. feladat (C)
A 3. feladat eredményeit ellenőrizd teljesítménymérleggel. Melyik forrás ad le teljesítményt, és melyik viselkedik fogyasztóként?

6. feladat (D)
Egy egyfázisú alelosztó betápláló fázisvezetőjében 10 A, nullavezetőjében 9,5 A folyik (lakatfogóval mérve). A három leágazó kör fázisáramai: 3 A, 4 A és 2 A. a) Mit mond a csomóponti törvény a fázisoldalon? b) Hová folyhat a fázis- és a nullaáram 0,5 A-es különbsége?

4.4.13. Megoldások

4.4.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. A csomóponti törvény alapján: $2 - 0{,}8 - 0{,}5 - I = 0$, tehát $I = 0{,}7\,\mathrm{A}$.
2. Igen. A körüljárás a szakadás két kapcsa között is felírható; mivel áram nem folyik, az ellenállásokon nem esik feszültség, ezért a huroktörvény szerint a teljes forrásfeszültség a szakadáson mérhető. Ezt használjuk a feszültségméréses hibakeresésnél (lásd a Soros kapcsolás és feszültségosztó 6. feladatát).
3. A nem vizsgált feszültségforrást rövidzárral kell helyettesíteni: a kikapcsolt ideális feszültségforrás feszültsége nulla, belső ellenállása is nulla, tehát rövidzárként viselkedik.
4. Soros körben: $I = \frac{9}{3+6} = 1\,\mathrm{A}$.
5. A teljesítménymérleg független ellenőrzést ad: a források által leadott teljesítmények összegének egyenlőnek kell lennie az ellenállásokon disszipált teljesítmények összegével.
6. Nem az abszolút értékek összege nulla, hanem az előjeles feszültségek összege; az előjelek a körbejárási irányból következnek.

4.4.13.2. Feladatok megoldása

1. feladat
A csomóponti törvény: befolyó 4,5 A, kifolyó 1,2 A, 2,1 A és I. Tehát:

$$4{,}5 = 1{,}2 + 2{,}1 + I \quad \Rightarrow \quad I = 4{,}5 - 3{,}3 = 1{,}2\,\mathrm{A}.$$

2. feladat
A hurokegyenlet: $E - IR_1 - IR_2 = 0$, azaz $18 - I(3+6) = 0$. Ezért:

$$I = \frac{18}{9} = 2\,\mathrm{A}.$$

3. feladat
Az egyenletrendszer ugyanolyan szerkezetű, mint a fejezetben:

$$E_1 = I_a R_1 + (I_a - I_b)R_3,$$

$$-I_b R_2 - E_2 + (I_a - I_b)R_3 = 0.$$

Behelyettesítve:

$$18 = 3I_a + 6(I_a - I_b) = 9I_a - 6I_b,$$

$$-I_b \cdot 6 - 9 + 6(I_a - I_b) = 0 \quad \Rightarrow \quad 6I_a - 12I_b = 9.$$

Az első egyenletet 2-vel elosztva: $9 = 4{,}5I_a - 3I_b$. A másodikat 3-mal osztva: $3 = 2I_a - 4I_b$, ahonnan $I_a = (3 + 4I_b)/2 = 1{,}5 + 2I_b$.

Beírva az elsőbe:

$$18 = 9(1{,}5 + 2I_b) - 6I_b = 13{,}5 + 18I_b - 6I_b,$$

$$4{,}5 = 12I_b \quad \Rightarrow \quad I_b = 0{,}375\,\mathrm{A}.$$

$$I_a = 1{,}5 + 2 \cdot 0{,}375 = 2{,}25\,\mathrm{A}.$$

Az ágáramok: R1 árama $I_a = 2{,}25\,\mathrm{A}$ jobbra, R2 árama $I_b = 0{,}375\,\mathrm{A}$ jobbra, R3 árama lefelé $I_a - I_b = 2{,}25 - 0{,}375 = 1{,}875\,\mathrm{A}$.

4. feladat
Csak E1 hat: E2 rövidzár. R2 és R3 párhuzamos: $R_{23} = \frac{6\cdot 6}{12} = 3\,\Omega$. Eredő: $3 + 3 = 6\,\Omega$. $I_a^{(1)} = \frac{18}{6} = 3\,\mathrm{A}$. Ez oszlik meg R2 és R3 között: 1,5 A jobbra R2-ben és 1,5 A lefelé R3-ban.

Csak E2 hat: E1 rövidzár. R1 és R3 párhuzamos: $R_{13} = \frac{3\cdot 6}{9} = 2\,\Omega$. Eredő: $6 + 2 = 8\,\Omega$. $I_b^{(2)} = \frac{9}{8} = 1{,}125\,\mathrm{A}$ balra R2-ben. Áramosztás R1 és R3 között: R1 áram $= 1{,}125 \cdot \frac{6}{9} = 0{,}75\,\mathrm{A}$ balra, R3 áram $= 1{,}125 \cdot \frac{3}{9} = 0{,}375\,\mathrm{A}$ lefelé.

Szuperpozíció: R1 jobbra $3 - 0{,}75 = 2{,}25\,\mathrm{A}$; R2 jobbra $1{,}5 - 1{,}125 = 0{,}375\,\mathrm{A}$; R3 lefelé $1{,}5 + 0{,}375 = 1{,}875\,\mathrm{A}$. Egyezik a hurokáram-módszerrel.

5. feladat
Teljesítmények: $P_{E1} = 18 \cdot 2{,}25 = 40{,}5\,\mathrm{W}$; $P_{E2} = -9 \cdot 0{,}375 = -3{,}375\,\mathrm{W}$; R1: $2{,}25^2 \cdot 3 = 15{,}1875\,\mathrm{W}$; R2: $0{,}375^2 \cdot 6 = 0{,}84375\,\mathrm{W}$; R3: $1{,}875^2 \cdot 6 = 21{,}09375\,\mathrm{W}$. A források összege: $40{,}5 - 3{,}375 = 37{,}125\,\mathrm{W}$. Az ellenállások összege: $15{,}1875 + 0{,}84375 + 21{,}09375 = 37{,}125\,\mathrm{W}$. Az E1 lead, az E2 felvesz (fogyasztóként viselkedik).

6. feladat
a) $3 + 4 + 2 = 9\,\text{A} < 10\,\text{A}$: 1 A-t egy nem mért (pl. elfelejtett) leágazás visz el, vagy mérési hiba van – a csomópontban áram nem tűnik el. b) A visszatérő áram 0,5 A-rel kevesebb, mint a betáplált: ez az áram nem a nullavezetőn, hanem a védővezetőn vagy a földön át záródik – testzárlat, szigetelési hiba vagy hibás N–PE összekötés (szivárgó áram). Egy 30 mA-es áramvédőkapcsoló ekkora különbségnél kioldana; ha nincs, a hibát szigetelésméréssel kell felkutatni (lásd a Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés alfejezetet).

4.4.14. Rövid összefoglaló

A Kirchhoff-törvények a villamos hálózatok rendszerezett számításának alapjai. Az I. törvény szerint egy csomópontba befolyó és kifolyó áramok előjeles összege nulla, mert töltés nem tűnhet el. A II. törvény szerint egy zárt hurok mentén a feszültségek előjeles összege nulla, mert a potenciál körbejárás után visszaáll. A hurokáramok módszere két egymás melletti hurokra úgy alkalmazza ezt, hogy minden hurokhoz felveszünk egy-egy hurokáramot, a közös ágon a különbségüket vesszük, majd megoldjuk a kétismeretlenes egyenletrendszert. A szuperpozíció elve szerint több forrás hatása a források egyenkénti hatásának összege, ahol a kikapcsolt feszültségforrás rövidzár. Az eredményt teljesítménymérleggel ellenőrizzük: a források leadott teljesítményeinek algebrai összege megegyezik az ellenállásokon disszipált teljesítményekkel. **Továbbvitt eredmény.** A csomóponti és hurokegyenletek felírásának módszerét a későbbi fejezetekben a váltakozó áramú hálózatoknál, a hurokimpedancia és a zárlati áram számításánál, valamint a gépek és elosztók áramviszonyainak elemzésénél használjuk fel: akik a Váltakozó áram és az Áramütés elleni védelem fejezeteket tanulják, erre a módszerre építenek. A szerelői munka során a hálózatszámítás mindig kapcsolódik a méréshez: a számított és mért értékek eltérése hibát jelez.

4.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet klasszikus hálózatelméleti anyag, ezért szabványhivatkozást csak ott használtam, ahol az a gyakorlati ellenőrzéshez kapcsolódik. A konkrét szerelési és ellenőrzési határértékeket a hatályos MSZ HD 60364 sorozat és a gyártói adatlapok szerint kell ellenőrizni.

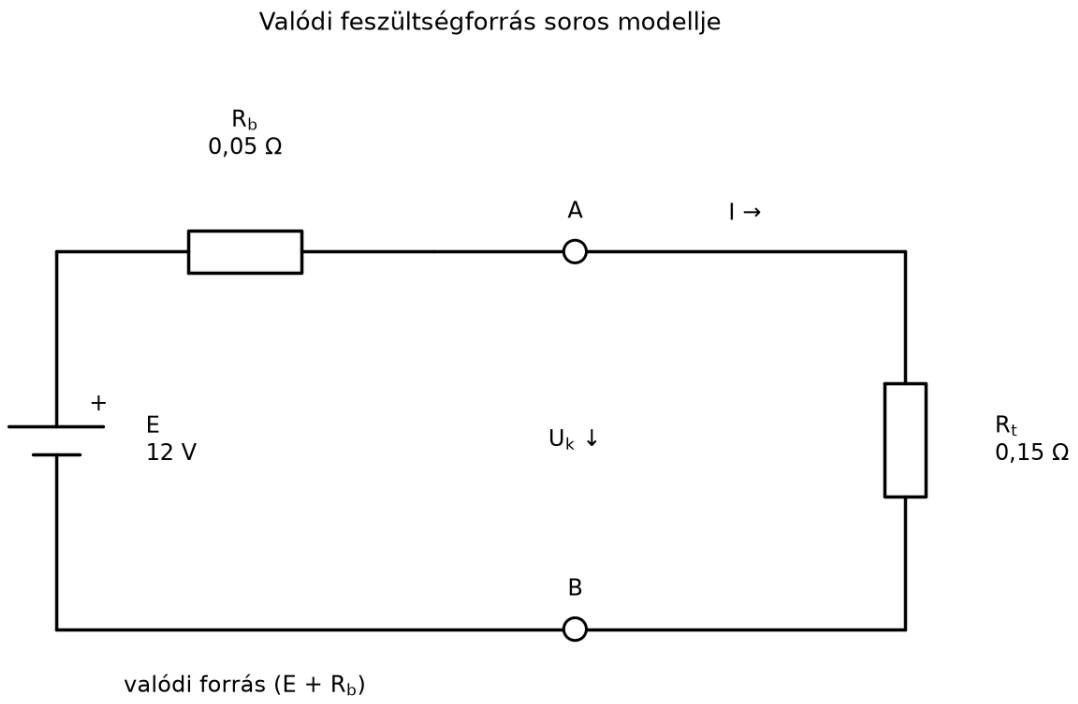
4.5. Valódi feszültségforrás: üresjárás, rövidzárás és illesztés

4.5.1. Motiváció: miért esik le a kapocsfeszültség?

Amikor az autószerelő a 12 V-os akkumulátort méri, üresjárásban 12,6 V-ot lát, indítózás közben viszont a fényszóró elhalványul, és a kapocsfeszültség 9–10 V-ra eshet. Ugyanezen az elven működik az épületvillamossági zárlatszámítás is: a 230 V-os hálózat sem ideális feszültségforrás, hanem a mögötte lévő transzformátornak és kábeleknek van belső impedanciája, ezért zárlatkor a zárlati áram nem „végtelen”, hanem éppen abból az impedanciából számítható. Ebben az alfejezetben a valódi feszültségforrás soros ellenállásos modelljét, a három jellegzetes üzemállapotot (üresjárás, terhelés, rövidzárás) és a teljesítményillesztést tanulod meg.

4.5.2. Szemléletes kép a forrásmodellről

Egy valódi feszültségforrást – például akkumulátort, tápegységet, hálózatot – úgy képzelhetünk el, hogy egy tökéletes, állandó feszültségű forrás mögött egy belső ellenállás van sorba kötve. A kapcsolási rajzon:



4.8. ábra. Valódi feszültségforrás soros modellje - E az ideális forrás (üresjárási feszültség), Rb a belső ellenállás, Rt a terhelés, A–B a kapcsok. A kapocsfeszültség Uk = E − I · Rb. Az értékek a kidolgozott példa (akkumulátor és indítómotor) adatai.

A rajzon $U_0 = E$ a forrás üresjárási feszültsége, R_b a belső ellenállás, R_t pedig a terhelő ellenállás. Az A–B kapcsokon mérhető feszültség a **kapocsfeszültség** (U_k). Amikor nincs terhelés, nem folyik áram, így a belső ellenálláson nincs feszültségesés, ezért a kapocsfeszültség megegyezik az ideális forrásfeszültséggel: $U_k = E$. Ha terhelést kapcsolunk, áram indul, és a belső ellenálláson $I \cdot R_b$ feszültség esik, ami csökkenti a kivehető feszültséget.

4.5.3. A három üzemállapot: üresjárás, terhelés, rövidzárás

Definíció.
- **Üresjárás:** a forrás kapcsai nyitottak, nem folyik áram ($I = 0$). A kapocsfeszültség ekkor $U_0 = E$.
- **Terhelés:** a kapcsokra R_t terhelő ellenállás csatlakozik. Ekkor $0 < I < I_k$, és a kapocsfeszültség kisebb, mint E.
- **Rövidzárás:** a kapcsokat közvetlenül, gyakorlatilag ellenállás nélkül összekötik ($R_t = 0$). A rövidzárási áramot csak a belső ellenállás korlátozza. A zárlati áram jele I_k (az I_z betűjelet a könyv a vezeték terhelhetőségére használja).

Összefüggés. Terhelésnél az áramköri áram és a kapocsfeszültség:

$$I = \frac{E}{R_b + R_t}$$

$$U_k = E - I \cdot R_b = \frac{E \cdot R_t}{R_b + R_t}$$

Üresjárásban $R_t \to \infty$, így $I = 0$ és $U_k = E$. Rövidzárásban $R_t = 0$, így a zárlati áram:

$$I_k = \frac{E}{R_b}$$

A képletből látszik, hogy a belső ellenállás kicsi értéke nagy zárlati áramot eredményez. Egy 12 V-os akkumulátor $R_b = 0{,}01\,\Omega$ belső ellenállással elvileg $1\,200\,\mathrm{A}$ zárlati áramot adhatna; a gyakorlatban a csatlakozók, kábelek és a cella kémiai folyamatai is ellenállást képviselnek, de az áram így is veszélyesen nagy lehet. **(ellenőrizendő: a konkrét akkumulátor zárlati áramadata gyártói adatlapból)**

4.5.4. Belső ellenállás, kapocsfeszültség terhelésre – kidolgozott példa

Példa. Egy 12 V-os akkumulátor belső ellenállása $R_b = 0{,}05\,\Omega$. Az indítómotor hideg állapotban $R_t = 0{,}15\,\Omega$ ellenállású. Számítsuk ki az áramot, a kapocsfeszültséget, a motor teljesítményét és a belső veszteséget.

Megoldás lépésenként.

1. Áram:

$$I = \frac{E}{R_b + R_t} = \frac{12\,\mathrm{V}}{0{,}05\,\Omega + 0{,}15\,\Omega} = \frac{12\,\mathrm{V}}{0{,}20\,\Omega} = 60\,\mathrm{A}$$

2. Kapocsfeszültség:

$$U_k = E - I \cdot R_b = 12\,\mathrm{V} - 60\,\mathrm{A} \cdot 0{,}05\,\Omega = 12\,\mathrm{V} - 3\,\mathrm{V} = 9\,\mathrm{V}$$

Ellenőrzés a másik képlettel: $U_k = I \cdot R_t = 60\,\mathrm{A} \cdot 0{,}15\,\Omega = 9\,\mathrm{V}$, a kettő egyezik. ∎

3. A terhelés (motor) teljesítménye:

$$P_t = I^2 \cdot R_t = (60\,\mathrm{A})^2 \cdot 0{,}15\,\Omega = 540\,\mathrm{W}$$

4. A belső ellenállás vesztesége:

$$P_b = I^2 \cdot R_b = (60\,\mathrm{A})^2 \cdot 0{,}05\,\Omega = 180\,\mathrm{W}$$

5. A forrás leadott összes teljesítménye: $P_{\text{össz}} = E \cdot I = 12\,\mathrm{V} \cdot 60\,\mathrm{A} = 720\,\mathrm{W}$. Ellenőrzés teljesítménymérleggel: $540\,\mathrm{W} + 180\,\mathrm{W} = 720\,\mathrm{W}$, tehát a számítás helyes.

A példa jól mutatja, hogy a kapocsfeszültség terhelés alatt 12 V-ról 9 V-ra esett, miközben a forrás belső vesztesége 180 W volt – ez az energia hő formájában az akkumulátorban jelentkezik.

4.5.5. Teljesítményillesztés és hatásfok

Definíció. A forrás akkor adja le a lehető legnagyobb teljesítményt a terhelésre, ha a terhelő ellenállás megegyezik a belső ellenállással: $R_t = R_b$. Ezt **teljesítményillesztésnek** nevezzük.

Levezetés. A terhelés teljesítménye:

$$P_t = I^2 R_t = \left(\frac{E}{R_b + R_t}\right)^2 R_t = \frac{E^2 R_t}{(R_b + R_t)^2}$$

Kérdés: melyik R_t mellett maximális ez a kifejezés? A nevező $(R_b + R_t)^2$ gyorsan nő nagy R_t-nél, a számláló pedig csak lineárisan nő, ezért P_t nem monoton. Hogy hol a maximum, azt deriválás nélkül is megmutathatjuk. Osszuk el a számlálót és a nevezőt R_t-vel:

$$P_t = \frac{E^2}{\dfrac{R_b^2}{R_t} + 2R_b + R_t}$$

P_t akkor a legnagyobb, ha a nevező a legkisebb. A nevezőben

$$\frac{R_b^2}{R_t} + R_t = \frac{(R_t - R_b)^2}{R_t} + 2R_b \geq 2R_b,$$

egyenlőség pontosan $R_t = R_b$ esetén. Tehát a nevező minimuma $2R_b + 2R_b = 4R_b$, a maximum pedig ott van, ahol $R_t = R_b$. Behelyettesítve:

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4R_b}.$$

∎ Ellenőrző számpélda a lenti 9 V / 2 Ω adatokkal: $R_t = 0{,}5\,\Omega$ esetén $P_t \approx 6{,}48\,\mathrm{W}$, $R_t = 2\,\Omega$ esetén 10,125 W, $R_t = 8\,\Omega$ esetén 6,48 W.

Szabály. Illesztéskor ($R_t = R_b$) a felvett teljesítmény maximális, de a hatásfok csak 50 %, mert a forrás belső ellenállásán ugyanakkora teljesítmény disszipálódik, mint a terhelésen: $P_b = P_t = P_{\max}$.

A hatásfok általános esetben:

$$\eta = \frac{P_t}{P_{\text{össz}}} = \frac{I^2 R_t}{I^2(R_b + R_t)} = \frac{R_t}{R_b + R_t} = \frac{U_k}{E}$$

Illesztésnél $R_t = R_b$, tehát $\eta = \frac{R_b}{2R_b} = 0{,}5$, azaz 50 %. Ha a terhelő ellenállás sokkal nagyobb a belsőnél ($R_t \gg R_b$), a hatásfok közel 100 %, de a kivett teljesítmény kisebb, mint a maximális lehetne. Ha a terhelés sokkal kisebb, mint a belső, a hatásfok rossz, és a teljesítmény is kicsi.

Példa. Egy 9 V-os elem belső ellenállása $R_b = 2\,\Omega$. Határozzuk meg az üresjárási feszültséget, a zárlati áramot, az illesztett terhelést, a maximális teljesítményt és a hatásfokot illesztésben.

- Üresjárási feszültség: $U_0 = E = 9\,\mathrm{V}$.
- Zárlati áram: $I_k = \frac{E}{R_b} = \frac{9\,\mathrm{V}}{2\,\Omega} = 4{,}5\,\mathrm{A}$.
- Illesztett terhelés: $R_t = R_b = 2\,\Omega$.
- Maximális terhelési teljesítmény: $P_{\max} = \frac{E^2}{4R_b} = \frac{(9\,\mathrm{V})^2}{4 \cdot 2\,\Omega} = \frac{81}{8}\,\mathrm{W} = 10{,}125\,\mathrm{W}$.

- Áram illesztéskor: $I = \frac{9\,\mathrm{V}}{2\,\Omega + 2\,\Omega} = 2{,}25\,\mathrm{A}$; kapocsfeszültség: $U_k = 2{,}25\,\mathrm{A} \cdot 2\,\Omega = 4{,}5\,\mathrm{V} = E/2$.
- Hatásfok: $\eta = \frac{R_t}{R_b + R_t} = \frac{2}{4} = 0{,}5$, azaz 50 %.

4.5.6. Akkumulátorok és elemek párosítása: soros és párhuzamos kapcsolás

A gyakorlatban gyakran több elemet kötünk sorba vagy párhuzamosan. A soros és párhuzamos eredő belső ellenállás kiszámítása ugyanúgy történik, mint a közönséges ellenállásoknál, mert a belső ellenállások is sorba vagy párhuzamosan kapcsolódnak az ideális feszültségforrásokkal.

Soros kapcsolás. n darab, egyenként E feszültségű és R_b belső ellenállású, azonos elem sorba kötve:

$$E_{\text{eredő}} = n \cdot E, \qquad R_{\text{b,eredő}} = n \cdot R_b$$

A zárlati áram:

$$I_k = \frac{nE}{nR_b} = \frac{E}{R_b}$$

Fontos észrevenni, hogy azonos elemek soros kapcsolásánál a zárlati áram nem változik, mert a feszültség és a belső ellenállás ugyanannyiszorosára nő.

Párhuzamos kapcsolás. n darab azonos elem párhuzamosan kötve (feltéve, hogy az üresjárási feszültségük pontosan egyenlő):

$$E_{\text{eredő}} = E, \qquad R_{\text{b,eredő}} = \frac{R_b}{n}$$

A zárlati áram:

$$I_k = \frac{E}{R_b/n} = n \cdot \frac{E}{R_b}$$

Tehát párhuzamos kapcsolással a zárlati áram nő, az üresjárási feszültség pedig változatlan marad.

Példa. Három darab 1,5 V-os, 0,2 Ω belső ellenállású elemet először sorba, majd párhuzamosan kötünk. Számítsuk ki az eredő feszültséget, az eredő belső ellenállást és a zárlati áramot mindkét esetben.

Soros kapcsolás:

$$E_{\text{eredő}} = 3 \cdot 1{,}5\,\mathrm{V} = 4{,}5\,\mathrm{V}$$

$$R_{\text{b,eredő}} = 3 \cdot 0{,}2\,\Omega = 0{,}6\,\Omega$$

$$I_k = \frac{4{,}5\,\mathrm{V}}{0{,}6\,\Omega} = 7{,}5\,\mathrm{A}$$

Párhuzamos kapcsolás:

$$E_{\text{eredő}} = 1{,}5\,\text{V}$$

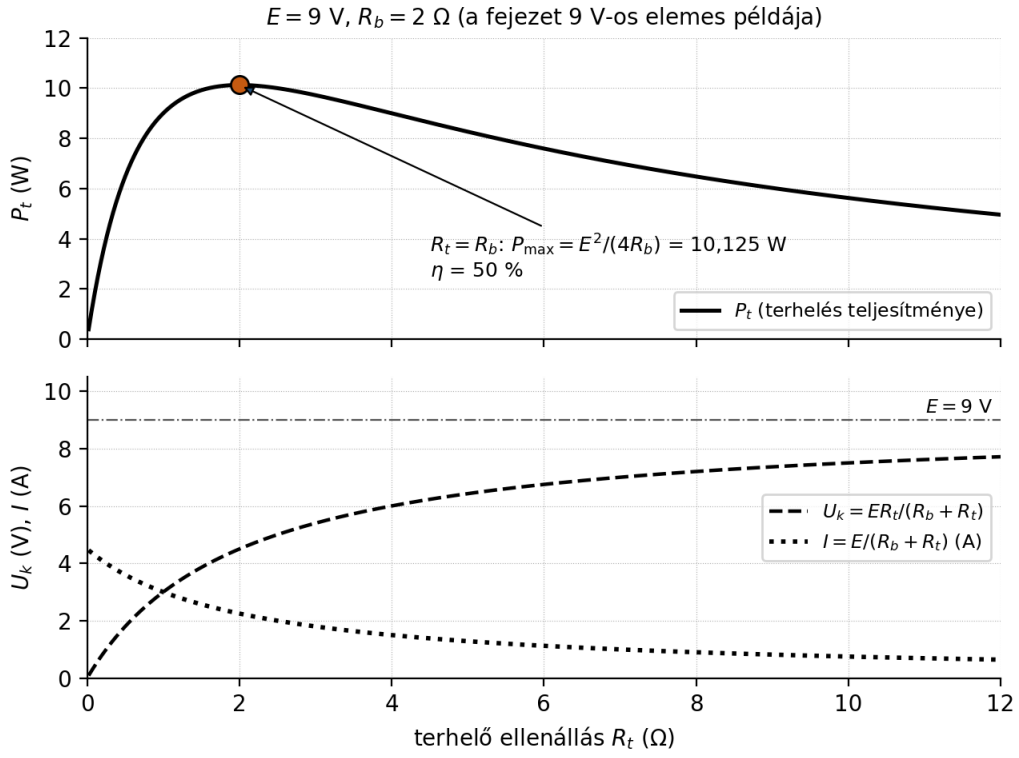
$$R_{\text{b,eredő}} = \frac{0{,}2\,\Omega}{3} \approx 0{,}0667\,\Omega$$

$$I_k = \frac{1{,}5\,\text{V}}{0{,}0667\,\Omega} \approx 22{,}5\,\text{A}$$

Figyelem. Különböző üresjárási feszültségű, illetve eltérő töltöttségű akkumulátorokat párhuzamosan kötni tilos: a nagyobb feszültségű elem a kisebbet tölteni kezdi, és a kiegyenlítő áram csak a kicsi belső ellenállásokkal korlátozódik, ami túlmelegedést, tüzet vagy robbanást okozhat.

4.5.7. Interaktív ábra: forrás terhelési görbéi

Az alábbi interaktív ábra egy paraméterezhető valódi feszültségforrást mutat. A csúszkákkal beállíthatod az E üresjárási feszültséget, az R_b belső ellenállást és az R_t terhelő ellenállást. A grafikon megjeleníti a terhelés teljesítményét $P_t(R_t)$, a kapocsfeszültséget $U_k(R_t)$ és az áramköri áramot $I(R_t)$. A teljesítménygörbén jól látszik, hogy a maximum ott van, ahol $R_t = R_b$; a kapocsfeszültség pedig E felől monoton csökken, és $R_t \to 0$-nál nullához tart.



4.9. ábra. Valódi feszültségforrás terhelési görbéi

Statikus tartalék ábra leírása. A nyomtatott ábra a fejezet 9 V-os elemes példáját mutatja ($E = 9\,\text{V}$, $R_b = 2\,\Omega$): a vízszintes tengelyen a terhelő ellenállás R_t látható lineáris skálán (0–12 Ω), a felső panelen a terhelés teljesítménye, az alsó panelen a kapocsfeszültség és az áram. A P_t görbe kezdetben emelkedik, az $R_t = R_b$ pontban eléri a $P_{\max} = E^2/(4R_b)$ értéket, majd csökken.

Az U_k görbe monoton nő 0-tól E felé, ahogy R_t nő. Az áramgörbe $I_k = E/R_b$ értékről indul, és nagy R_t-nél nullához tart.

4.5.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy villanyszerelő ügyfélpanaszt vizsgál: a 12 V-os akkumulátoros hűtőláda nem indul, bár az akkumulátor üresjárási feszültsége 12,4 V-nak mutatkozik. A szerelő nem cseréli ki azonnal az akkumulátort, hanem terhelést kapcsol rá: egy 0,5 Ω-os, nagy teljesítményű ellenállást, amely a hűtőláda indítóáramát szimulálja. Terhelés alatt a kapocsfeszültség 10,2 V-ra esik. Az így felvett két pontból kiszámíthatja a belső ellenállást:

$$I = \frac{U_k}{R_t} = \frac{10{,}2\,\mathrm{V}}{0{,}5\,\Omega} = 20{,}4\,\mathrm{A}$$

$$R_b = \frac{E - U_k}{I} = \frac{12{,}4\,\mathrm{V} - 10{,}2\,\mathrm{V}}{20{,}4\,\mathrm{A}} = \frac{2{,}2}{20{,}4}\,\Omega \approx 0{,}108\,\Omega$$

A mért belső ellenállás a tipikus újnál sokkal nagyobb, tehát az akkumulátor elhasználódott, hiába mutat közel teljes feszültséget. Ez a módszer mutatja, miért nem elég a feszültséget üresjárásban mérni. **(ellenőrizendő: a hűtőláda tényleges indítóáramát és a pontos terhelő ellenállást a gyártói dokumentációból kell megválasztani)**

4.5.9. A modell és a hálózati zárlati áram kapcsolata

Továbbvitt eredmény. Ugyanaz a gondolatmenet alkalmazható a 230 V-os hálózatra is: a mögöttes transzformátor és a vezetékek soros impedanciája ugyanúgy „belső impedanciaként” viselkedik, ezért a zárlati áramot $I_k = E/Z_{\text{modell}}$ alakban becsülhetjük. Ezt az eredményt használjuk a Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram alfejezetben, és erre épül a hurokimpedancia-mérés is a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezetben. Itt nem hálózati, hanem csak tanműhelyi, törpefeszültségű vagy egyenáramú modellen gyakorolhatsz.

4.5.10. Tipikus hibák

1. **„Üresjárásban mért 12,6 V, tehát az akkumulátor jó.”**
   A hibás következtetés oka, hogy a feszültségmérés nem terheli a forrást. Az elhasználódott akkumulátor belső ellenállása megnő, ezért terhelés alatt leesik a feszültség. Helyes: terheléses vizsgálatot kell végezni, és az üresjárási és terhelt kapocsfeszültségből számítani a belső ellenállást.

2. **Két különböző töltöttségű vagy feszültségű akkumulátor párhuzamos kötése.**
   A nagyobb feszültségű akkumulátor visszatölti a kisebbet; a két belső ellenállás csak tizedszázad ohm, ezért a kiegyenlítő áram több tíz vagy száz amper lehet. Ez túlmelegedést és tüzet okozhat. Helyes: párhuzamosan mindig csak azonos típusú, azonos kapacitású és azonos feszültségű, lehetőleg azonos gyártási tételű akkumulátorokat kötni.

3. **Az illesztést minden áramkörnél célként kezelni.**
   A teljesítményillesztés $R_t = R_b$ esetén maximális ugyan a levett teljesítmény, de a hatásfok 50 %, tehát az energia fele a forrásban hővé válik. Ez a híradástechnikában, jeleknél lehet értelmes, de az erősáramú energiaátvitelben elfogadhatatlanul rossz hatásfokú. Helyes: erősáramú áramkörökben $R_t \gg R_b$ jellemző, mert a jó hatásfok fontosabb a maximális terhelési teljesítménynél.

4. **A zárlati áramot a kábel ellenállása nélkül, csak a transzformátor belső ellenállásából számítani.**
   A kábel, a csatlakozók és az érintkező ellenállások növelik a zárlati kör teljes impedanciáját, ezért a beszámításuk nélküli érték túl nagy lehet. Helyes: a teljes hibahurkot figyelembe kell venni; a hibaszámítást a hatályos szabvány szerint, ellenőrzött adatokkal kell végezni.

4.5.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a valódi feszültségforrás kapocsfeszültsége terhelés hatására nő?

2. Egy 12 V-os forrás belső ellenállása 0,4 Ω, a terhelés 3,6 Ω. Mennyi az áram és a kapocsfeszültség?

3. Mi a teljesítményillesztés feltétele, és mekkora a hatásfok abban az állapotban?

4. Miért veszélyes különböző feszültségű akkumulátorokat párhuzamosan kötni?

5. Soros kapcsolásnál a belső ellenállás nő vagy csökken?

4.5.12. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg, mit jelent a belső ellenállás, és melyik üzemállapotban egyezik meg a kapocsfeszültség az üresjárási feszültséggel, és milyen (elméleti) forrásnál egyezne meg terhelés alatt is?

2. feladat (A). Egy 24 V-os tápegység belső ellenállása 1 Ω. Mekkora az üresjárási feszültség és a rövidzárási áram?

3. feladat (B). Egy akkumulátor üresjárási feszültsége 12,6 V. Ha 1 Ω-os ellenállással terhelik, a kapocsfeszültség 11,2 V. Számítsd ki a belső ellenállást, a zárlati áramot és a terhelés teljesítményét! Ez a feladat készíti elő a hálózati zárlatszámításhoz használt forrásmodellt.

4. feladat (B). Egy 4,5 V-os laposelem belső ellenállása 1,5 Ω. Határozd meg az illesztett terhelést, a maximális terhelési teljesítményt, az áramot és a hatásfokot illesztésben! Mennyi a terhelési teljesítmény 0,5 Ω, illetve 4,5 Ω terhelésnél?

5. feladat (C). Négy darab 1,5 V-os, 0,3 Ω belső ellenállású elemet először sorba, majd párhuzamosan kötünk. Számítsd ki mindkét esetben az eredő feszültséget, az eredő belső ellenállást és a zárlati áramot! Elemezd, miért változott meg a zárlati áram a soros esethez képest, és miért nem szabad különböző feszültségű elemeket párhuzamosan kötni.

6. feladat (D). Van egy ismeretlen belső ellenállású 12 V-os akkumulátorod, egy 1 Ω-os, legalább 200 W-os terhelő ellenállásod és egy multimétered. **Biztonsági korlát.** A feladat csak tanműhelyi, törpefeszültségű környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne mérj. Hogyan határoznád meg a belső ellenállást és a zárlati áramot anélkül, hogy a kapcsokat rövidre zárnád? Végezd el a számítást, ha az üresjárási feszültség mért értéke 12,4 V, a terhelő ellenálláson pedig terhelés közben 10,2 V-ot mérsz.

4.5.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Terhelés hatására áram folyik, a belső ellenálláson feszültség esik, ezért a kapocsfeszültség csökken.

2. $I = \frac{12\,\mathrm{V}}{0{,}4\,\Omega + 3{,}6\,\Omega} = 3\,\mathrm{A}$; $U_k = 3\,\mathrm{A} \cdot 3{,}6\,\Omega = 10{,}8\,\mathrm{V}$.

3. Illesztéskor $R_t = R_b$, a hatásfok ekkor 50 %.

4. A nagyobb feszültségű elem a kisebbet tölteni kezdi; a belső ellenállások kicsik, ezért nagy kiegyenlítő áram folyik, ami túlmelegedést és tüzet okozhat.

5. Soros kapcsolásnál a belső ellenállások összeadódnak, tehát nő.

Feladatok megoldásai

1. feladat (A). A belső ellenállás a valódi feszültségforrás belső, soros ellenállása, amelyen a terhelőáram feszültséget ejt, és amely a zárlati áramot korlátozza. A kapocsfeszültség üresjárásban és idealizált, zérus belső ellenállású forrásnál mindig az üresjárási feszültséggel egyezik meg; üresjárásban $I = 0$, így $U_k = E$.

2. feladat (A). Üresjárási feszültség: $U_0 = E = 24\,\mathrm{V}$. Zárlati áram: $I_k = \frac{E}{R_b} = \frac{24\,\mathrm{V}}{1\,\Omega} = 24\,\mathrm{A}$.

3. feladat (B). Terhelésnél az áram: $I = \frac{U_k}{R_t} = \frac{11{,}2\,\mathrm{V}}{1\,\Omega} = 11{,}2\,\mathrm{A}$. A belső feszültségesés: $E - U_k = 12{,}6\,\mathrm{V} - 11{,}2\,\mathrm{V} = 1{,}4\,\mathrm{V}$. Így $R_b = \frac{1{,}4\,\mathrm{V}}{11{,}2\,\mathrm{A}} = 0{,}125\,\Omega$. Zárlati áram: $I_k = \frac{12{,}6\,\mathrm{V}}{0{,}125\,\Omega} = 100{,}8\,\mathrm{A}$. Terhelési teljesítmény: $P_t = (11{,}2\,\mathrm{A})^2 \cdot 1\,\Omega = 125{,}44\,\mathrm{W}$.

4. feladat (B). Illesztett terhelés: $R_t = R_b = 1{,}5\,\Omega$. Maximális teljesítmény: $P_{\max} = \frac{E^2}{4R_b} = \frac{20{,}25\,\mathrm{V}^2}{6\,\Omega} = 3{,}375\,\mathrm{W}$. Áram: $I = \frac{4{,}5\,\mathrm{V}}{3\,\Omega} = 1{,}5\,\mathrm{A}$. Hatásfok: $\eta = 0{,}5$ (50 %). Ha $R_t = 0{,}5\,\Omega$: $I = \frac{4{,}5}{2} = 2{,}25\,\mathrm{A}$; $P_t = 2{,}25^2 \cdot 0{,}5 \approx 2{,}53\,\mathrm{W}$, $\eta = 0{,}5/2 = 25\,\%$. Ha $R_t = 4{,}5\,\Omega$: $I = \frac{4{,}5}{6} = 0{,}75\,\mathrm{A}$; $P_t = 0{,}75^2 \cdot 4{,}5 \approx 2{,}53\,\mathrm{W}$, $\eta = 4{,}5/6 = 75\,\%$. A két utóbbi teljesítmény egyenlő (az $R_t \cdot R_b$ szorzatuk R_b^2 – a modell szimmetriája), de a hatásfok eltérő.

5. feladat (C). Soros: $E_{\text{eredő}} = 6\,\mathrm{V}$; $R_{\text{b,eredő}} = 1{,}2\,\Omega$; $I_k = \frac{6}{1{,}2} = 5\,\mathrm{A}$. Párhuzamos: $E_{\text{eredő}} = 1{,}5\,\mathrm{V}$; $R_{\text{b,eredő}} = 0{,}075\,\Omega$; $I_k = \frac{1{,}5}{0{,}075} = 20\,\mathrm{A}$. A soros esethez képest a párhuzamos kapcsolásnál a feszültség negyedére csökkent, a belső ellenállás tizenhatodára, ezért a zárlati áram négyszeresére nőtt. Különböző feszültségű elemek párhuzamos kötésekor a feszültségkülönbségből és a kicsi belső ellenállásokból nagy kiegyenlítő áram keletkezik.

6. feladat (D). A mérés menete:
1. Kapcsold le a terhelést, mérd meg az üresjárási feszültséget ($U_0 = 12{,}4\,\mathrm{V}$).
2. Ellenőrizd a multimétert és a mérőzsinórokat.
3. Csatlakoztasd az 1 Ω-os terhelő ellenállást a kapcsokra, majd azonnal mérd a kapocsfeszültséget közvetlenül az akkumulátor pólusain ($U_k = 10{,}2\,\mathrm{V}$).
4. Rövidre zárni tilos, a terhelést rövid ideig, csak a szükséges mérésig hagyd rákapcsolva, mert nagymértékben melegszik.
Számítás: $I = \frac{U_k}{R_t} = 10{,}2\,\mathrm{A}$; $R_b = \frac{U_0 - U_k}{I} = \frac{2{,}2\,\mathrm{V}}{10{,}2\,\mathrm{A}} \approx 0{,}216\,\Omega$; $I_k = \frac{12{,}4\,\mathrm{V}}{0{,}216\,\Omega} \approx 57{,}4\,\mathrm{A}$. Ha a kapocsfeszültséget nem közvetlenül az akkumulátor pólusain, hanem a terhelő ellenálláson mérjük, a csatlakozó vezetékek ellenállása is a számított R_b-be kerül; ezért a pólusokon fellépő zárlati áram a becsültnél nagyobb is lehet. Pontosabb eredményhez a terhelt feszültséget közvetlenül a pólusokon mérd. A számítás tájékoztató becslés; a zárlati áramot soha nem mérjük valódi rövidzárral.

4.5.14. Rövid összefoglaló

A valódi feszültségforrás soros modellje szerint egy ideális E forrás mögött R_b belső ellenállás van. Üresjárásban $I = 0$, ezért $U_k = E$. Terhelésnél $I = \frac{E}{R_b + R_t}$ és $U_k = E - IR_b$, tehát a kapocsfeszültség a belső feszültségeséssel csökken. Rövidzárásnál $R_t = 0$, így a zárlati áram $I_k = \frac{E}{R_b}$. A terhelésre jutó teljesítmény akkor maximális, ha $R_t = R_b$ (teljesítményillesztés); ekkor $P_{\max} = \frac{E^2}{4R_b}$, de a hatásfok csak 50 %. Soros elemkapcsolásnál az eredő feszültség és belső ellenállás is nő, párhuzamosnál a feszültség marad, a belső ellenállás csökken, így a zárlati áram nő. Különböző feszültségű elemeket párhuzamosan kötni tilos. **Továbbvitt eredmény.** A forrás belső impedanciájából számítható zárlati áram modelljét használjuk a Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram és a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezetekben; a hálózatot is soros belső impedanciájú forrásként kezeljük a hibaszámítás során.

4.5.15. Források és ellenőrzési hiányok

Ez az alfejezet klasszikus elektrotechnikai alapokon nyugszik, amelyek stabil, származtatható összefüggések. Konkrét akkumulátorok belső ellenállására, zárlati áramadataira és a hűtőláda terhelési jellemzőire vonatkozó értékeket mindig az adott gyártó adatlapja alapján kell ellenőrizni; ezeket a szövegben példaadatként jelöltem. Hálózati zárlatszámításhoz a hatályos MSZ HD 60364 sorozat, valamint a hálózati engedélyes előírásai szükségesek, ezért azok konkrét számadatai itt nem szerepelnek.

5 Villamos és mágneses tér

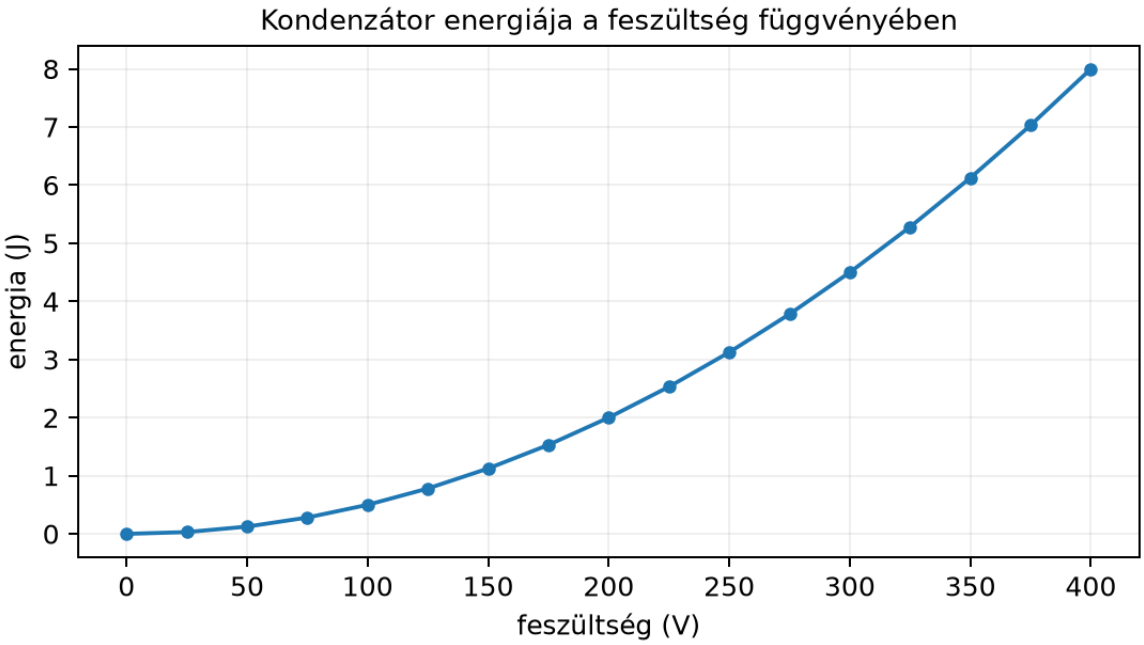
5.1. Villamos tér és kondenzátor

5.1.1. Motiváció

Amikor egy mosógép motorja zúg, de nem indul el, a szerelő gyakran az indítókondenzátorra gondol. Amikor egy régi villanyborotva vagy tápegység burkolatán figyelmeztetés van, hogy a kondenzátor feltöltve maradhat, az áramütés kockázata valós. A kondenzátor az energiát villamos térben tároló elem; a kapacitás fogalma és a villamos tér alaptörvényei nélkül nem értjük, miért tárol energiát, miért kell kisütni, és hogyan kell kiválasztani indító- vagy fázisjavító kondenzátort. Ez az alfejezet a villamos tér alapjait, a Coulomb-törvényt, a térerősséget, az átütést és a csúcshatást, valamint a kondenzátor kapacitását és energiáját építi fel, hogy később az RC-köröket, az indítókondenzátorokat és a fázisjavítást is szakszerűen kezeld.

5.1.2. Szemléletes kép

Képzelj el két, egymással párhuzamos fémlemezt, közöttük vékony műanyag szigetelőréteget. Ha a lemezek közé feszültséget kapcsolunk, az egyik lemezen elektronhiány (pozitív töltés), a másikon elektrontöbblet (negatív töltés) alakul ki. A lemezek között villamos tér (elektromos mező) jön létre, és a szerkezet energia tárolására válik képessé: ez a síkkondenzátor. A kapacitás azt fejezi ki, hogy adott feszültség mellett mekkora töltést tud felhalmozni; a tárolt energia a feszültség négyzetével nő, ahogy az alábbi ábrán is látszik.



5.1. ábra. Kondenzátor energiája a feszültség függvényében - Képletből számolt értékek: C = 100 µF, W = 1/2 · C · U², 25 V-os lépésekben (parabola). A feszültség kétszerezése négyszeres energiát eredményez: 200 V-on 2 J, 400 V-on 8 J.

Az ábrán a $C = 100\,\mu\text{F}$ kapacitású kondenzátor tárolt energiáját látjuk a feszültség függvényében. 100 V-on csak 0,5 J, 400 V-on már 8 J energia tárolódik: ezért a feltöltött kondenzátor akkor is balesetveszélyes lehet, ha az áramkör már le van kapcsolva.

5.1.3. Coulomb-törvény és térerősség

A villamos tér a töltések közötti erőhatást közvetítő fizikai mező. Az alapösszefüggést Coulomb-törvénynek nevezzük.

Törvény. Két pontszerű töltés között ható erő arányos a töltések szorzatával és fordítottan arányos a távolságuk négyzetével:

$$F = k \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2},$$

ahol F az erő (N), Q_1, Q_2 a töltések (C), r a távolság (m), $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$, és $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\text{F/m}$ a vákuum permittivitása.

Az azonos nemű töltések taszítják, a különbözők vonzzák egymást.

Definíció. A villamos térerősség (E) megadja, hogy a tér egy pontjában egységnyi pozitív töltésre mekkora erő hat:

$$E = \frac{F}{q},$$

mértékegysége V/m (volt/méter), ami ugyanaz, mint N/C. Ponttöltés terében a térerősség nagysága:

$$E = k \cdot \frac{Q}{r^2}.$$

Homogén (egyenletes) térben, például két nagy, párhuzamos lemez között a térerősség a lemezek közötti feszültségből és távolságból számítható:

$$E = \frac{U}{d},$$

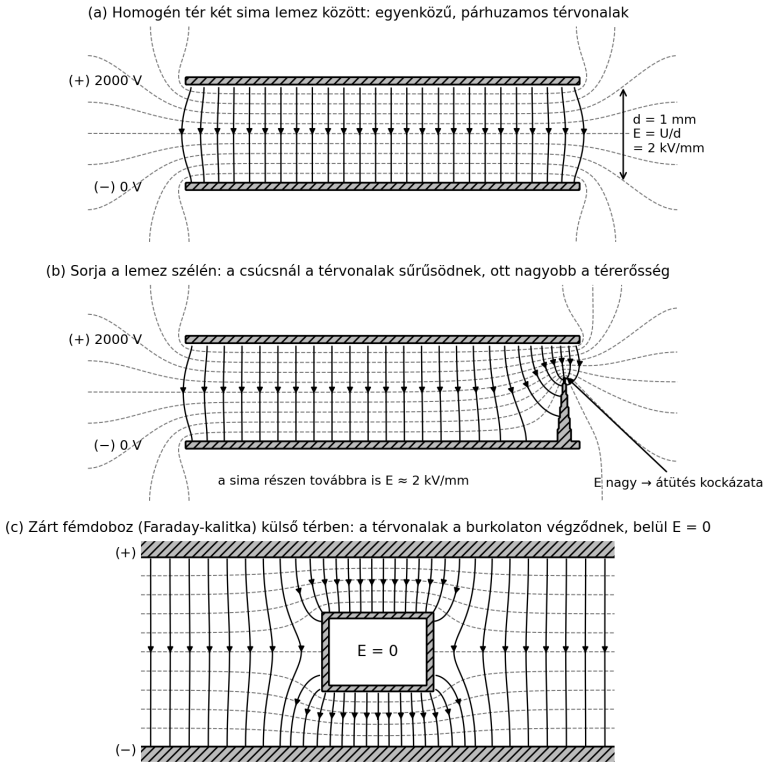
ahol U a lemezek közötti feszültség (V), d a lemezek távolsága (m). Ez a feszültség–térerősség kapcsolat az átütés és a csúcshatás megértésének kulcsa.

Számítás. $U = 2000\,\mathrm{V}$, $d = 1\,\mathrm{mm} = 0{,}001\,\mathrm{m}$.

$$E = \frac{2000}{0{,}001} = 2\,000\,000\,\mathrm{V/m} = 2\,\mathrm{kV/mm}.$$

Ez az érték közel van a száraz levegő kb. $3\,\mathrm{kV/mm}$ átütési szilárdságához (ellenőrizendő: az átütési értékek anyag- és környezetfüggők).

Az alábbi ábra ugyanezt a lemezpárt mutatja: (a) sima lemezek között a térvonalak párhuzamosak és egyenközűek, a tér homogén, $E = U/d = 2\,\mathrm{kV/mm}$; (b) ha az alsó lemez szélén sorja áll ki, a térvonalak a csúcsára sűrűsödnek, ott a térerősség a 2 kV/mm többszöröse, így ott indulhat meg először az átütés (csúcshatás); (c) a zárt fémdoboz burkolatán végződnek a térvonalak, a belsejében nincs tér (árnyékolás, lásd a következő szakaszt). A térvonalak sűrűsége a térerősséggel arányos.



5.2. ábra. A homogén tér, a sorja (csúcs) környezete és a zárt fémdoboz térvonalképe; $U = 2000$ V, $d = 1$ mm

5.1.4. Jelenségek villamos térben: kisülés, csúcshatás, megoszlás, árnyékolás

A villamos térben több, a gyakorlatban fontos jelenséget kell ismerni.

Átütés. Ha a térerősség egy szigetelőanyagban meghaladja az anyag átütési szilárdságát, a szigetelő elveszíti szigetelő képességét, és villamos kisülés (ív, szikra) jön létre. A levegő átütése villanyszerelőként fontos: nagy térerősségnél a levegő vezetővé válik. Száraz levegőben az átütési szilárdság kb. 3 kV/mm, de nedvesség, por, éles felületek vagy csökkent nyomás jelentősen csökkentheti (ellenőrizendő: konkrét anyagjellemző).

Csúcshatás. Éles csúcsok, sorja, hegyes vezetékvégek közelében a térerősség lokálisan sokkal nagyobb lehet, mint a sima felületeknél, mert a töltések sűrűbben helyezkednek el. Emiatt a csúcsoknál könnyebben indul meg a szikra vagy a koronakisülés. A szerelői gyakorlatban ezért kerüljük a lecsiszolatlan éles kábelvégződéseket, sorját, éles kábelsaru-sarkot a nagyfeszültségű vagy nagy térerősségű helyeken. A villámhárító felfogója ezzel szemben a környezeténél magasabb, földelt vezető, amely a becsapást saját magára tereli; a felfogók elhelyezését az MSZ EN 62305 sorozat szerinti módszerek (gördülő gömb, védőszög, háló) határozzák meg, nem a csúcs hegyessége (ellenőrizendő: MSZ EN 62305-3).

Megoszlás. Ha egy töltött testet egy vezetőhöz közelítünk, a vezetőben a töltések elmozdulnak, így a vezető közelebbi vége ellentétes, távolabbi vége azonos előjelű töltésűvé válik. Ez a jelenség a megoszlás (influencia), és alapja a kapacitív csatolásnak, az árnyékolásnak és a vezetékek közötti áthallásnak. Ennek gyakorlati következménye, hogy egy lekapcsolt ér, amely egy feszültség alatt álló vezeték mellett fut, a nagy belső ellenállású műszeren „fantomfeszültséget” mutathat; ezért a feszültségmentesség ellenőrzésére kétpólusú feszültségvizsgálót használunk (MSZ EN 61243-3).

Árnyékolás. A zárt fémburkolat (Faraday-kalitka) belsejét a külső villamos tér nem hatolja át, mert a fémben szabadon elmozduló töltések elrendeződése leárnyékolja a teret. Ezért a kényes vezetékeket fém csőben vagy árnyékolt (fóliás vagy fonott árnyékolású, egy ponton földelt) kábellel óvják; a sodrott érpár ezzel szemben nem árnyékol, hanem a mágneses zavarok hatását csökkenti: két erének hurkai felváltva ellentétes irányban fogják át a külső változó fluxust, ezért a bennük indukált zavarfeszültségek nagyrészt kioltják egymást (az indukció alapjait lásd: Elektromágneses indukció, önindukció és az RL-tag). A kapcsolószekrény fém burkolata is csökkenti a külső villamos zavarokat.

5.1.5. Kapacitás, dielektromos állandó

Definíció. A kondenzátor kapacitása (C) megadja, hogy adott feszültség mellett mekkora töltést tárol:

$$C = \frac{Q}{U},$$

mértékegysége a farad, jele F. A gyakorlatban a mikrofarad ($\mu\mathrm{F} = 10^{-6}\,\mathrm{F}$), nanofarad ($\mathrm{nF} = 10^{-9}\,\mathrm{F}$) és pikofarad ($\mathrm{pF} = 10^{-12}\,\mathrm{F}$) egységeket használjuk.

A síkkondenzátor kapacitása a geometriából és a szigetelőanyagból:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d},$$

ahol: - A a lemezek hatásos felülete (m^2), - d a lemezek távolsága (m), - $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{F/m}$ a vákuum permittivitása, - ε_r a szigetelőanyag relatív dielektromos állandója (más néven relatív permittivitás).

A ε_r azt mutatja, hogy az adott anyag mennyire növeli a kapacitást a vákuumhoz képest. Levegőben kb. 1, műanyagfóliáknál 2–3, papírnál 3–4, kerámiáknál 1000–10 000 is lehet (ellenőrizendő: konkrét anyagadatok gyártói táblázatból). A nagyobb ε_r tehát kisebb méret mellett is nagyobb kapacitást eredményez.

Szabály. A kapacitás a lemezek felületével arányos, a lemeztávolsággal fordítottan arányos, és a dielektrikum tulajdonságaitól is függ. A távolság csökkentése növeli a kapacitást, de növeli az átütés kockázatát is, mert azonos feszültség mellett nő a térerősség.

5.1.6. A kondenzátor energiája

A kondenzátor töltésekor munkát kell végezni a többlettöltések felhalmozásához. Ez a munka a kondenzátor villamos terének energiájaként tárolódik:

$$W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}QU = \frac{Q^2}{2C},$$

ahol W az energia (J), C a kapacitás (F), U a feszültség (V), Q a töltés (C).

Indoklás (vázlat). A töltés feszültségfüggése lineáris: $Q = C\,u$. A töltés kis lépésekben való felvitele során a pillanatnyi feszültség arányos a már felvitt töltéssel, ezért az átlagos feszültség az üres és a végfeszültség átlaga: $\frac{0+U}{2}$. A teljes munka tehát $W = Q \cdot \frac{U}{2} = \frac{1}{2}CU^2$.

Figyelem. A tárolt energia a feszültség négyzetével nő: ha a feszültséget kétszerezed, az energia négyszeres lesz. Egy 400 V-ra feltöltött nagy kapacitású kondenzátor kikapcsolás után percekig is életveszélyes áramot adhat le, ezért csak szakszerű kisütés után szabad megérinteni.

5.1.7. Kondenzátortípusok és alkalmazásuk

A szerelői gyakorlatban a következő főbb típusokkal találkozunk.

Fóliakondenzátor. Két fémfólia között vékony műanyag fólia (poliészter, polipropilén). Nagy feszültségre, váltakozó áramra is alkalmas; öngyógyuló változata is van. Jellemző a motor futókondenzátora és a fázisjavító kondenzátor.

Kerámia kondenzátor. Kis kapacitású, olcsó, nagy frekvencián jó. Tápegységeknél, szűrőáramköröknél, elektronikában használják. Egyes típusai a hőmérsékletre nagyon érzékenyek.

Elektrolitkondenzátor. Nagy kapacitás, de polarizált (a rákapcsolt feszültség polaritása számít), és élettartamát a meleg és a túlfeszültség jelentősen csökkenti. Egyenáramú tápegységek szűrésére, pufferkondenzátorként használják. Létezik bipoláris (nem polarizált, AC) változata is: ez a nagy kapacitású, csak rövid ideig bekapcsolt motor-indítókondenzátor; tartós üzemre nem alkalmas (ellenőrizendő: gyártói adatlap, üzemidő-arány).

Szuperkondenzátor (EDLC). Nagy kapacitás, energiatárolásra alkalmas, például memóriatartalék, rövid idejű szünetmentes támasz (ellenőrizendő: pontos típusadatok).

Motor indító- és futókondenzátor. Az egyfázisú aszinkron motoroknál indító nyomatékot és forgómezőt biztosít; tipikus névleges feszültsége 450 V AC, kapacitása néhány μF-tól néhányszor 100 μF-ig (ellenőrizendő: gyártói adatlap). Bekötéskor tartsuk be a motor kapocstábláját és a kondenzátor kapcsolási rajzát. A teljes folyamattal a Motor kapocsbekötése és beüzemelése alfejezet foglalkozik.

Fázisjavító kondenzátor. Háromfázisú hálózaton a meddőteljesítmény kompenzálására használják, hogy a $\cos\varphi$ értéke javuljon. Az elosztóhálózatokban külön lépcsőkben kapcsolják, és

méretét a meddőteljesítmény (kvar) alapján választják ki. A kondenzátort a fogyasztóval (vagy a fogyasztókat tápláló gyűjtősínnel) párhuzamosan kötik be, így a fogyasztó feszültsége nem változik, csak a hálózatból felvett meddőáram csökken. Erről a Fázisjavítás méretezése alfejezet ad részletes eljárást.

Továbbvitt eredmény. A kapacitás, a tárolt energia és a feltöltött kondenzátor kisütésének leírása közvetlenül előkészíti a Kondenzátorok kapcsolása és az RC-tag alfejezetet, ahol a kondenzátort feszültségváltozásra reagáló, időben késleltető elemként vizsgáljuk. A fázisjavító kondenzátor kiválasztását pedig a Fázisjavítás méretezése tárgyalja.

5.1.8. Kidolgozott példák

5.1.8.1. 1. példa: Síkkondenzátor kapacitása

Adott: $A = 100\,\mathrm{cm}^2$, $d = 0{,}1\,\mathrm{mm}$, dielektrikum polipropilén, $\varepsilon_r = 2{,}2$.

Keresett: C.

Először az egységeket SI-re váltjuk:

$$A = 100\,\mathrm{cm}^2 = 100 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2 = 0{,}01\,\mathrm{m}^2,$$

$$d = 0{,}1\,\mathrm{mm} = 0{,}1 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m} = 1 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}.$$

Képlet:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}.$$

Behelyettesítés:

$$C = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 2{,}2 \cdot \frac{0{,}01}{1 \cdot 10^{-4}} = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 2{,}2 \cdot 100.$$

$$C = 1{,}947 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{F} = 1{,}95\,\mathrm{nF}.$$

Ellenőrzés: A nanofarad nagyságrend helyes: egy vékony fóliás, $100\,\mathrm{cm}^2$ felületű kondenzátor tipikus értéke. A lemeztávolság kicsi, ezért a kapacitás érezhető.

5.1.8.2. 2. példa: Tárolt energia

Adott: $C = 100\,\mu\text{F} = 100 \cdot 10^{-6}\,\text{F}$, $U = 400\,\text{V}$.

Keresett: W.

Képlet:

$$W = \frac{1}{2} C U^2.$$

Behelyettesítés:

$$W = 0{,}5 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 400^2 = 0{,}5 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 160\,000.$$

$$W = 8\,\text{J}.$$

Ellenőrzés: A fenti chart ábrán a 400 V-os pontnál éppen 8 J a helyes érték. Ez az energia kellően nagy ahhoz, hogy egy feltöltött kondenzátor kisütése során fájdalmas áramütést vagy szikrát okozzon.

5.1.8.3. 3. példa (ellenpélda): kihagyott dielektromos állandó

Hibás számítás: Valaki a síkkondenzátor képletét úgy használja, hogy a szigetelőanyag relatív ε_r értékét elfelejti:

$$C_{\text{hibás}} = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{0{,}01}{1 \cdot 10^{-4}} = 0{,}885\,\text{nF}.$$

Ez majdnem fele a helyes 1,95 nF értéknek, mert a dielektrikum $\varepsilon_r = 2{,}2$ tényezője kimaradt. A helyes eljárás mindig az ε_r beszorzása.

5.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy gyakori szerelői helyzet: a mosógép vagy a szivattyú motorja nem indul, de zúg. A szerelő feszültségmentesíti a gépet, kisüti, majd lekötött állapotban megméri az indítókondenzátort. A kondenzátor felirata: $20\,\mu\text{F} \pm 5\%$, 450 V AC. A műszerrel mért érték 18,8 μF, ami kissé a $19{-}21\,\mu$F-os tűrésmező alatt van (-6%). Ekkora eltérés a műszer pontosságát is figyelembe véve határeset: a motor ettől általában még elindul, ezért a hibát máshol (indítótekercs, centrifugálkapcsoló, csapágy) is keresni kell. A szerelő ezért megmérte az indítótekercs ellenállását is: szakadást talált ($\infty\,\Omega$), tehát a motor ezért nem indult; a határeseti kondenzátort megelőző jelleggel szintén kicserélte. Ha a mért érték 15 μF lenne, akkor a kapacitásvesztés miatt csökken az indítónyomaték, és a motor nem tud elindulni.

Egy másik, biztonsági szempontból fontos eset: a hálózatról lekapcsolt, feltöltött fázisjavító kondenzátor kivezetései között a feszültség akár $400{-}500$ V is lehet, mert a kondenzátor megőrzi a töltését. A kisütés elmulasztása áramütéshez vezethet. A fázisjavító kondenzátorokba gyárilag kisütőellenállást építenek, amely lekapcsolás után meghatározott időn belül biztonságos szintre süti ki őket (ellenőrizendő: a vonatkozó kondenzátorszabvány – öngyógyuló sönt teljesítménykondenzátorokra az MSZ EN 60831-1, nem öngyógyulókra az MSZ EN 60931-1 – és a gyártói adatlap; tanulási példa: a beépített kisütőellenállás a kapocsfeszültséget kb. 3 percen belül 75 V

alá csökkenti, ellenőrizendő). Ezt az időt mindig várd ki, majd mérd meg a kapocsfeszültséget, mert a kisütőellenállás meghibásodhat (szakadás), és ekkor a kondenzátor töltött marad. A szakszerű eljárás: először feszültségmentesíts (öt szabály), majd a kondenzátor kapcsait egy megfelelő teljesítményű, néhányszor 1 kΩ ellenálláson keresztül rövid időre összekötve süsd ki, végül feszültségmérővel ellenőrizd, hogy a kapocsfeszültség közel nulla. A közvetlen vezetékkel történő rövidre zárás nagy kisütőáramot és szikrázást okozhat, ezért tilos.

5.1.10. Tipikus hibák

1. **A feltöltött kondenzátort ártalmatlannak gondolják.** A kondenzátor a hálózat lekapcsolása után is tárolhat energiát. Különösen a nagy kapacitású, nagy feszültségű kondenzátorok percekig veszélyesek. Helyes: mindig kisütés és feszültségmérés után szabad hozzáérni.
2. **A kapacitás mértékegységeit összekeverik.** A μF, nF, pF közötti váltás hibás, ha a számításoknál a 10^{-6}, 10^{-9}, 10^{-12} szorzót elfelejtik. Helyes: minden képletbe SI-egységeket helyettesítsünk, és a végeredménynél ellenőrizzük a nagyságrendet.
3. **A térerősség számításánál a feszültséget és a távolságot felcserélik.** A helyes képlet $E = U/d$, nem $E = d/U$. A rossz képlet az átütés lehetőségének megítélését is elrontja.
4. **A csúcshatást figyelmen kívül hagyják nagyfeszültségű kötésnél.** Éles sorja, meghajlított kábelvég, laza sodrott vezetékvég helyi átütést okozhat. A nagyfeszültségű bekötéseket simára, sorjamentesre kell készíteni, és követni a gyártói szerelési előírást.

5.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a síkkondenzátor kapacitása nő, ha a lemezek távolságát növeljük? Indokold.
2. Számítsd ki a kapacitást, ha $A = 200\,\text{cm}^2$, $d = 0{,}05\,\text{mm}$, $\varepsilon_r = 3$ (papír).
3. A kondenzátor energiájának képlete miért teszi veszélyessé a nagy feszültségű, feltöltött kondenzátort?
4. Ha a feszültséget a kétszeresére növeljük, hányszorosára nő a tárolt energia?
5. Mi a csúcshatás, és mi a gyakorlati következménye egy nagyfeszültségű vezetékvég kialakításánál?
6. Hová kell bekötni egy fázisjavító kondenzátort, és mi a szerepe?

5.1.12. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld a kapacitást, és add meg a mértékegységét!

2. feladat (A)
Egy síkkondenzátor lemezfelülete $A = 50\,\text{cm}^2$, a lemezek távolsága $d = 0{,}2\,\text{mm}$, a dielektrikum relatív permittivitása $\varepsilon_r = 2{,}5$. Számítsd ki a kapacitását!

3. feladat (B)
Egy fázisjavító kondenzátor kapacitása $C = 220\,\mu\text{F}$, és a hálózati feszültség effektív értéke 230 V. Mennyi energiát tárol, ha a pillanatnyi feszültség csúcsértéke a hálózati csúcsfeszültség, azaz $U_{\text{cs}} = \sqrt{2} \cdot 230\,\text{V}$? Figyelem: a hálózati feszültség effektív, de a kondenzátor csúcsfeszültségre töltődik!

4. feladat (B)
Rajzold le és indokold: két párhuzamos lemez közül az egyik sima, a másik szélén éles sorja van. Melyik környezetében nagyobb a térerősség azonos feszültség mellett, és miért nő az átütés kockázata?

5. feladat (C)
Egy $10\,\mu\text{F}$ kapacitású kondenzátort $10\,\text{kV}$ egyenfeszültségre töltünk fel. Számítsd ki a tárolt energiát, és hasonlítsd össze egy $100\,\mu\text{F}$ kapacitású, $400\,\text{V}$-ra töltött kondenzátor energiájával. Melyik a veszélyesebb, ha feltöltve marad?

6. feladat (D)
Egy motor indítókondenzátorának felirata: $20\,\mu\text{F} \pm 5\%$, $450\,\text{V}$ AC. A műszerrel mért kapacitás $18{,}8\,\mu\text{F}$, a kapocsfeszültség kikapcsolás után $300\,\text{V}$. Írd le a szakszerű ellenőrzés lépéseit, beleértve a kondenzátor kisütését is! Jó-e a kondenzátor?

5.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A kapacitás a lemeztávolsággal fordítottan arányos: ha d nő, C csökken.
2. $A = 200\,\text{cm}^2 = 0{,}02\,\text{m}^2$; $d = 0{,}05\,\text{mm} = 5 \cdot 10^{-5}\,\text{m}$; $C = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 3 \cdot \frac{0{,}02}{5 \cdot 10^{-5}} = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 3 \cdot 400 = 1{,}06 \cdot 10^{-8}\,\text{F} = 10{,}6\,\text{nF}$.
3. A $W = \frac{1}{2}CU^2$ képletben a feszültség négyzetesen szerepel, ezért nagy feszültségen már kis kapacitás is jelentős energiát tárolhat.
4. Négyszeresére: $W_2 = \frac{1}{2}C(2U)^2 = 4 \cdot \frac{1}{2}CU^2$.
5. A csúcshatás miatt a görbült, éles részeknél a térerősség nagyobb, ezért ott hamarabb átüthet a szigetelés. A vezetékvéget simára, sorjamentesre kell készíteni.
6. Fázisjavító kondenzátort a fogyasztóval párhuzamosan kell bekötni, szerepe a meddőteljesítmény kompenzálása, a $\cos\varphi$ javítása.

1. feladat megoldása.
Kapacitás: a kondenzátoron tárolt töltés és a fegyverzetek közötti feszültség hányadosa: $C = Q/U$. Mértékegysége a farad (F).

2. feladat megoldása.
Átváltás: $A = 50\,\text{cm}^2 = 0{,}005\,\text{m}^2$, $d = 0{,}0002\,\text{m}$.
Képlet: $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}$.
Behelyettesítés: $C = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 2{,}5 \cdot \frac{0{,}005}{0{,}0002}$.
Számolás: $0{,}005/0{,}0002 = 25$, ezért $C = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 2{,}5 \cdot 25 = 5{,}53 \cdot 10^{-10}\,\text{F} = 0{,}553\,\text{nF}$.
Ellenőrzés: a nanofarad alatti érték elfogadható egy kis lemezfelületű, viszonylag vastagabb dielektrikumú kondenzátor esetén.

3. feladat megoldása.
A hálózati csúcsfeszültség: $U_{\text{cs}} = \sqrt{2} \cdot 230 \approx 325\,\text{V}$.
$C = 220\,\mu\text{F} = 220 \cdot 10^{-6}\,\text{F}$.
$W = \frac{1}{2}CU_{\text{cs}}^2 = 0{,}5 \cdot 220 \cdot 10^{-6} \cdot 325^2$.
$325^2 = 105\,625$, így $W = 0{,}5 \cdot 220 \cdot 10^{-6} \cdot 105\,625 \approx 11{,}6\,\text{J}$.
Ellenőrzés: a $220\,\mu\text{F}$ nagy kapacitás, a csúcsfeszültség $325\,\text{V}$; a tárolt energia közel $12\,\text{J}$, ami feltöltött állapotban veszélyes.

4. feladat megoldása.
A rajz a Coulomb-törvény és térerősség szakasz térvonalképének (b) részével egyezik: két párhuzamos lemezt ábrázolunk, az egyik szélén éles sorjával, a sima részen egyenközű, a sorja csúcsánál sűrűsödő térvonalakkal. A sorja közelében a töltések sűrűbben helyezkednek el, ezért a

térerősség lokálisan nagyobb. Az azonos feszültség mellett az éles pontnál a térerősség elérheti az átütési szilárdságot, míg a sima felületen nem. Ezért nő a szikra vagy átütés kockázata.

5. feladat megoldása.
Első kondenzátor: $C_1 = 10\,\mu\text{F} = 10 \cdot 10^{-6}\,\text{F}$, $U_1 = 10\,\text{kV} = 10\,000\,\text{V}$.
$W_1 = 0{,}5 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 10\,000^2 = 0{,}5 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 100\,000\,000 = 500\,\text{J}$.
Második kondenzátor: $C_2 = 100\,\mu\text{F}$, $U_2 = 400\,\text{V}$.
$W_2 = 0{,}5 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 400^2 = 8\,\text{J}$.
Eredmény: a $10\,\mu$F-os, 10 kV-os kondenzátor 500 J energiát tárol, ami sokkal veszélyesebb, mint a $100\,\mu$F-os, 400 V-os. A feszültség nagy súlya miatt a nagyfeszültségű kis kapacitású kondenzátor is rendkívül veszélyes lehet.

6. feladat megoldása.
A felirat szerinti tűrés $20\,\mu\text{F} \pm 5\%$, azaz $19{-}21\,\mu$F. A mért $18{,}8\,\mu$F enyhén alatta van, de a kapacitásmérés pontosságától és a kondenzátor hőmérsékletfüggésétől függően még határérték körüli lehet (ellenőrizendő: gyártói adat). A szakszerű lépések:
1. Feszültségmentesítés (a többi biztonsági szabály is): kapcsold le a motort a hálózatról, biztosítsd visszakapcsolás ellen.
2. Ellenőrizd a motor tápkapcsain a feszültségmentességet feszültségmérővel; földelés és rövidre zárás, szomszédos részek lefedése a helyi előírás szerint.
3. Mérd meg a kondenzátor kapocsfeszültségét. Itt 300 V: a kondenzátor töltött, tilos hozzáérni!
4. Szigetelt kisütő eszközzel, néhány kΩ-os, megfelelő teljesítményű ellenálláson át süsd ki, majd mérd újra: közel 0 V legyen. Töltött kondenzátorra kapacitásmérőt kötni tilos, a műszert is károsíthatja.
5. Csak ezután kösd le a kondenzátort, és mérd a kapacitást. A $18{,}8\,\mu$F a tűrés alatt van (-6%); ha a műszer pontossága ezt nem magyarázza, cseréld a kondenzátort.
6. Ha a kapacitás rendben van, a motor indítási hibáját máshol keresd (indítótekercs, centrifugálkapcsoló, túlterhelés).

5.1.14. Rövid összefoglaló

A villamos tér a töltések közötti erőhatást közvetíti. Coulomb-törvénye: $F = k\frac{Q_1 Q_2}{r^2}$, a térerősség pedig $E = F/q$ vagy homogén térben $E = U/d$. A térerősségből megérthető az átütés és a csúcshatás: éles felületeknél lokálisan nagyobb a térerősség, ezért könnyebb a kisülés. A kondenzátor kapacitása $C = Q/U$, síkkondenzátorra $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r A/d$. A tárolt energia $W = \frac{1}{2}CU^2$. A feltöltött kondenzátor kikapcsolás után is veszélyes, ezért kisütés és feszültségmérés után szabad csak hozzáérni. A kapacitás, az energia és a kisütés fogalma a Kondenzátorok kapcsolása és az RC-tag alfejezetben az időbeli viselkedés, a fázisjavító kondenzátorok kiválasztása pedig a Fázisjavítás méretezése alfejezetben kerül elő.

Források és ellenőrzési hiányok: a klasszikus elektrosztatikai összefüggések stabil fizikai alapok. Az átütési szilárdságok, a relatív dielektromos állandók és a konkrét kondenzátor típusjellemzők a gyártói adatlapoktól függnek (ellenőrizendő).

5.2. Kondenzátorok kapcsolása és az RC-tag

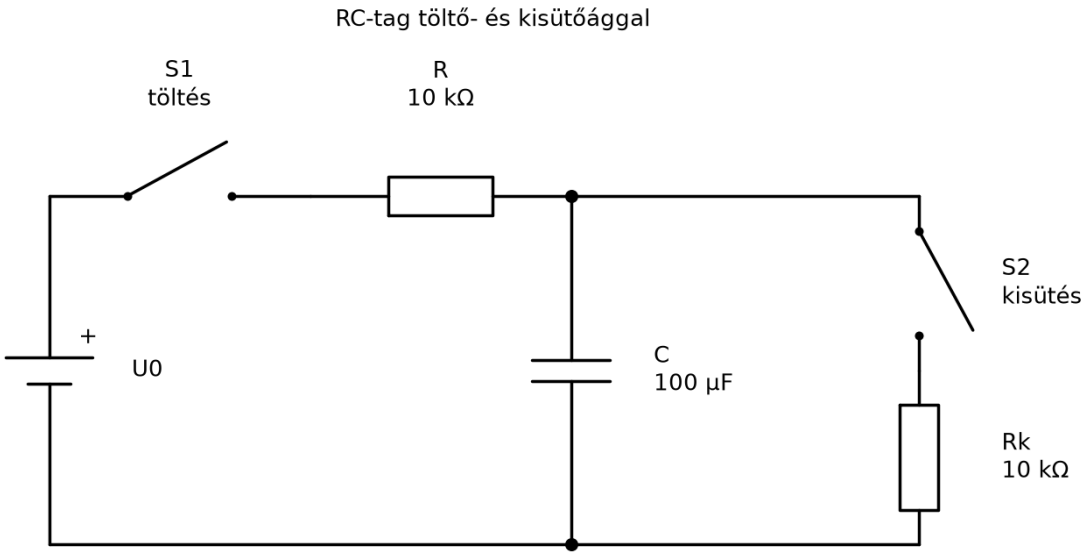
Amikor egy szervizben kinyitunk egy régi, kapcsolóüzemű tápegységet, hiába húztuk ki a hálózati csatlakozót, a nagy méretű szűrőkondenzátor kapcsain még hosszú másodpercekig – rossz esetben percekig – életveszélyes feszültség lehet. Ugyanazt a töltéstároló viselkedést használja az egyszerű RC-időzítő is, például amikor egy relé kikapcsolás után még néhány másodpercig működtet egy ventilátort. Ebben az alfejezetben azt tanuljuk meg, hogyan viselkedik a kondenzátor soros és

párhuzamos kapcsolásban, mennyi idő alatt töltődik, illetve sül ki, és hogyan lehet biztonságosan kisütni.

5.2.1. Szemléletes kép: a kondenzátor mint „rugalmas víztartály”

A kondenzátor viselkedését úgy képzelhetjük el, mint egy **kezdetben üres, rugalmas falú víztartályt**. Ha vékony csövön (ellenálláson) keresztül töltjük, a vízszint (feszültség) először gyorsan emelkedik, majd egyre lassabban közelíti a maximális szintet. Ha kinyitjuk a leeresztő csapot, a vízszint fordított görbe szerint csökken: először gyorsan, majd egyre lassabban. A cső vastagsága az R ellenállásnak, a tartály térfogata a C kapacitásnak felel meg.

Az alábbi kapcsolás a legalapvetőbb RC-tag egyenfeszültséggel. Az S1 kapcsoló zárása után a kondenzátor az R ellenálláson keresztül töltődik. Az S1 nyitása önmagában nem süti ki: a kondenzátor töltve marad, mert nincs zárt áramkör. Kisütéshez a külön S2–R_k ágat zárjuk, így a kondenzátor az R_k kisütőellenálláson át sül ki (ugyanazon az R-en csak váltókapcsolóval lehetne, amely az R szabad végét a negatív sínre kapcsolja).



5.3. ábra. RC-tag töltő- és kisütőággal - Töltés: S1 zárva, S2 nyitva – a kondenzátor az R ellenálláson át töltődik. Kisütés: S1 nyitva, S2 zárva – a kondenzátor az Rk kisütőellenálláson át sül ki (Rk = R = 10 kΩ esetén τ ugyanakkora). Nyitott S1 és S2 mellett a kondenzátor töltve marad.

A rajzon U_0 a tápfeszültség, R a töltőellenállás, R_k a kisütőellenállás, C a kondenzátor. A feszültséget a kondenzátor kapcsain mérjük; a rajz szerinti irányok szemléltető jellegűek.

5.2.2. Eredő kapacitás soros és párhuzamos kapcsolásnál

Definíció. Párhuzamos kapcsolásnál a kondenzátorok feszültsége azonos, az eredő kapacitás:

$$C_e = C_1 + C_2 + \cdots + C_n.$$

Soros kapcsolásnál a kondenzátorok töltése azonos, és az eredő kapacitás reciproka:

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}.$$

Két sorba kötött kondenzátor esetén az eredő:

$$C_e = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}.$$

Megjegyzés. A képletek a soros és párhuzamos ellenállásokéhoz képest „éppen fordítottak”: a soros kapacitások eredője mindig kisebb a legkisebb sorba kötött kapacitásnál, a párhuzamos eredő pedig mindig nagyobb a legnagyobb párhuzamosan kötött kapacitásnál.

Az ok fizikailag egyszerű: a kapacitás a töltés és a feszültség hányadosa, $C = Q/U$. Párhuzamos kapcsolásnál azonos U-n több töltést tárol a rendszer, ezért a kapacitások összeadódnak. Soros kapcsolásnál ugyanaz az áram hozza létre a töltést, de az egyes kondenzátorok feszültségei összeadódnak, így az eredő kapacitás kisebb lesz.

5.2.2.1. 1. kidolgozott példa – vegyes kapcsolás

Adott három kondenzátor: $C_1 = 4{,}7\,\mu\text{F}$, $C_2 = 10\,\mu\text{F}$, $C_3 = 22\,\mu\text{F}$. A C_2 és C_3 párhuzamosan van kötve, ezzel a párhuzamos csoporttal a C_1 sorba kapcsolódik. Mennyi az eredő kapacitás?

Megoldás.

1. A párhuzamos rész eredője:

$$C_{23} = C_2 + C_3 = 10\,\mu\text{F} + 22\,\mu\text{F} = 32\,\mu\text{F}.$$

2. A soros eredő:

$$C_e = \frac{C_1 \cdot C_{23}}{C_1 + C_{23}} = \frac{4{,}7 \cdot 32}{4{,}7 + 32}\,\mu\text{F} = \frac{150{,}4}{36{,}7}\,\mu\text{F} \approx 4{,}1\,\mu\text{F}.$$

Ellenőrzés. A soros eredő kisebb, mint a legkisebb sorba kötött elem ($4{,}7\,\mu\text{F}$), tehát a nagyságrend helyes.

5.2.3. Töltés és kisütés exponenciális görbéje, az időállandó

Ha egy kezdetben kisütött, C kapacitású kondenzátort R ellenálláson keresztül U_0 feszültségre kapcsolunk, a kondenzátor feszültsége nem ugrik azonnal U_0-ra, hanem exponenciális görbe szerint közelíti azt:

$$u_C(t) = U_0 \left(1 - e^{-t/\tau}\right),$$

ahol e a természetes logaritmus alapja, t az eltelt idő, τ pedig az úgynevezett **időállandó**. A töltőáram kezdetben $I_0 = U_0/R$, majd exponenciálisan csökken:

$$i(t) = \frac{U_0}{R}\, e^{-t/\tau}.$$

Definíció. Az RC-tag **időállandója**:

$$\tau = R \cdot C.$$

Mértékegysége: $\Omega \cdot \mathrm{F} = \Omega \cdot \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V}} = \Omega \cdot \frac{\mathrm{A \cdot s}}{\mathrm{V}} = \mathrm{s}$, tehát másodperc.

Ha a feltöltött kondenzátort ugyanazon az R ellenálláson át kisütjük, a feszültség a kezdeti U_0 értékről csökken:

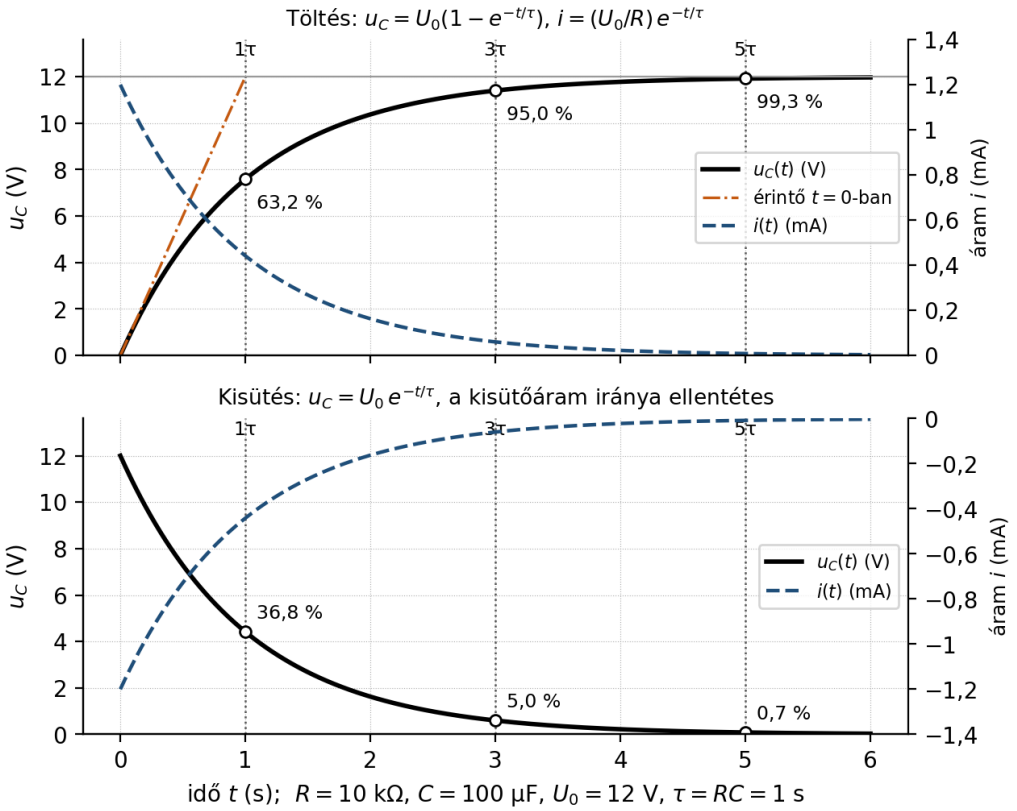
$$u_C(t) = U_0\, e^{-t/\tau}.$$

A kisütőáram kezdeti értéke U_0/R, iránya ellentétes a töltőárammal.

Az időállandó fizikai jelentése: minden τ másodperc alatt a feszültség a még hátralévő különbség kb. 63,2%-át teszi meg. A feszültség tehát **soha** nem éri el pontosan a végértéket, de a gyakorlatban 5τ után már 99,3% a telítettség:

Eltelt idő	Töltéskor elért feszültség	Kisütéskor megmaradt feszültség
1τ	63,2%	36,8%
3τ	95,0%	5,0%
5τ	99,3%	0,7%
10τ	99,995%	0,005%

Az alábbi ábra a töltés (felül) és a kisütés (alul) feszültség- és áramgörbéjét mutatja a gyakorlati útmutató adataival ($R = 10\,\mathrm{k\Omega}$, $C = 100\,\mu\mathrm{F}$, $U_0 = 12\,\mathrm{V}$, tehát $\tau = 1\,\mathrm{s}$ és $I_0 = 1{,}2\,\mathrm{mA}$). A $t = 0$-beli érintő éppen τ-nál éri el a végértéket; az 1τ, 3τ, 5τ jelölések a fenti táblázat százalékait adják. A HTML-kiadás interaktív változatában az R, a C és az U_0 csúszkával állítható, és a program kiírja a τ, az 5τ, a kezdeti áram, a kezdeti teljesítmény és a tárolt energia értékét.



5.4. ábra. RC-tag töltése és kisütése: feszültség- és áramgörbe, $\tau = RC = 1$ s

Törvény. A kondenzátor feszültsége nem változhat ugrásszerűen. Ha a feszültség egy pillanat alatt megváltozna, a töltési áram pillanatszerűen végtelen nagy lenne, ami a valóságban csak ívvel vagy káros túlárammal járna. Ez az „ugrástilalom” az alapja annak, hogy az RC-tag késleltetni tud reléket, jelfolyamatokat vagy feszültségmegjelenést.

5.2.3.1. 2. kidolgozott példa – időállandó és biztonsági várakozás

Egy $C = 470\,\mu\text{F}$ kapacitású kondenzátort $R = 100\,\Omega$ kisütőellenálláson keresztül sütünk ki a kezdeti $U_0 = 24\,\text{V}$ feszültségről. Mennyi az időállandó, és mennyi idő alatt csökken a feszültség a kiindulási érték 0,7%-ára?

Megoldás.

Az időállandó:

$$\tau = R \cdot C = 100\,\Omega \cdot 470 \times 10^{-6}\,\text{F} = 0{,}047\,\text{s} = 47\,\text{ms}.$$

A 0,7% eléréséhez 5τ idő kell:

$$t = 5\tau = 5 \cdot 47\,\text{ms} = 235\,\text{ms}.$$

Ellenőrzés. 5τ után a feszültség $24\,\text{V} \cdot 0{,}007 \approx 0{,}17\,\text{V}$, ami gyakorlatilag kisütött állapot, de mindig mérővel győződjünk meg róla.

5.2.4. Kondenzátorok üzemállapotai

A kondenzátor viselkedését három üzemállapot szerint érdemes megkülönböztetni:

1. **Egyenáramú tartós állapot.** Ha a kapcsolást hosszú ideig egyenfeszültségre kapcsolva tartjuk, a kondenzátor feltöltődik, és az áram megszűnik. A kondenzátor egyenáramú tartós állapotban **szakadásként** viselkedik.
2. **Átmeneti (tranziens) állapot.** A be- vagy kikapcsolás utáni időben a kondenzátor töltődik vagy kisül, és a feszültség, illetve az áram az előző pont szerinti exponenciális függvényt követi.
3. **Váltakozó áramú üzem.** Váltakozó feszültség hatására a kondenzátor folyamatosan töltődik-kisül, így váltakozó áram folyik. A kapacitív reaktanciát az Ellenállás, induktivitás és kapacitás váltakozó áramú körben alfejezet tárgyalja.

Továbbvitt eredmény. Az itt megismert $u_C(t) = U_0(1 - e^{-t/\tau})$ összefüggést és az időállandó fogalmát használni fogjuk az Elektromágneses indukció, önindukció és az RL-tag alfejezetben az RL-kör analógiájaként, a Passzív alkatrészek: ellenállás, kondenzátor, tekercs alfejezetben a kondenzátor kiválasztásánál, valamint az Egyfázisú aszinkron motorok alfejezetben az indító- és üzemi kondenzátorok szerepénél.

5.2.5. Biztonsági szabály: kisütés

Biztonsági korlát. Hálózati feszültségű berendezés kondenzátorának kisütését, mérését és javítását csak jogosult, arra feljogosított személy végezheti, a feszültségmentesítés öt szabálya szerint. A tanuló önállóan nem dolgozhat hálózati feszültségen.

Szabály. A kondenzátort mindig addig kell feszültség alatt állónak tekinteni, amíg a kapcsain mért feszültség – ismételt ellenőrzéssel is – biztonságos érték alá nem csökken. A biztonságos értéket a berendezés előírása és a mérési körülmények határozzák meg **(ellenőrizendő: aktuális munkavédelmi előírás, gyártói adat)**.

A gyakorlatban a kisütést célszerű **kisütőellenálláson** keresztül végezni, nem pedig a kivezetések közvetlen rövidre zárásával. A közvetlen rövidzár ugyanis igen nagy, íves áramot okozhat, károsíthatja a kondenzátort, és balesetet idézhet elő. A kisütőellenállás értékét úgy választjuk meg, hogy az időállandó elérje a kívánt kisütési időt, ugyanakkor a kezdeti áram és az ellenállás teljesítményterhelése ne legyen túl nagy.

5.2.5.1. 3. kidolgozott példa – kisütőellenállás méretezése

Egy $C = 1000\,\mu\text{F}$ kapacitású kondenzátor kezdeti feszültsége $U_0 = 60\,\text{V}$. Olyan kisütőellenállást keresünk, amelynél 5τ kisebb, mint 5 másodperc, és az ellenállás kezdeti árama nem haladja meg a $100\,\text{mA}$-t.

Megoldás.

A $5\tau < 5\,\text{s}$ feltételből:

$$\tau < 1\,\text{s}.$$

Mivel $\tau = RC$, így:

$$R < \frac{1\,\mathrm{s}}{1000 \times 10^{-6}\,\mathrm{F}} = 1000\,\Omega = 1\,\mathrm{k}\Omega.$$

A kezdeti áramra vonatkozó feltétel:

$$I_0 = \frac{U_0}{R} \leq 100\,\mathrm{mA}.$$

Ebből:

$$R \geq \frac{60\,\mathrm{V}}{0{,}1\,\mathrm{A}} = 600\,\Omega.$$

A két feltételt egyszerre $600\,\Omega \leq R < 1000\,\Omega$ teljesíti. Válasszunk például $R = 820\,\Omega$ ellenállást! Ekkor:

$$\tau = 820\,\Omega \cdot 1000 \times 10^{-6}\,\mathrm{F} = 0{,}82\,\mathrm{s},$$

$$5\tau = 4{,}1\,\mathrm{s} < 5\,\mathrm{s},$$

$$I_0 = \frac{60\,\mathrm{V}}{820\,\Omega} \approx 73\,\mathrm{mA}.$$

Az ellenállás kezdeti csúcsteljesítménye:

$$P_0 = U_0 \cdot I_0 = 60\,\mathrm{V} \cdot 0{,}073\,\mathrm{A} \approx 4{,}4\,\mathrm{W}.$$

A teljesítmény azonban az exponenciális görbe szerint csökken, ezért tartós üzemre nem kell a csúcsteljesítményt állandóan elviselni, de a kisütőellenállás kiválasztásánál mindig a gyártói adatlapot kell figyelembe venni **(ellenőrizendő: gyártói adatlap, túlterhelési jelleggörbe)**.

5.2.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy gyakran előforduló szerelői helyzet: kapcsolóüzemű tápegységben a bemeneti egyenirányító után egy $330\,\mu\mathrm{F}$, $400\,\mathrm{V}$ névleges feszültségű szűrőkondenzátor helyezkedik el. A hálózati csatlakozó kihúzása után a kondenzátor feszültsége akár $325\,\mathrm{V}$ közelében is maradhat. A táp belső áramkörei nem mindig sütik ki azonnal, ezért a szerelő a burkolat megbontása előtt mérje meg a feszültséget; ha szükséges, kisütőellenálláson keresztül süsse ki. A kapacitás és a feszültség ismeretében a tárolt energia:

$$W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2} \cdot 330 \times 10^{-6}\,\mathrm{F} \cdot (325\,\mathrm{V})^2 \approx 17{,}4\,\mathrm{J}.$$

Ez rövid idő alatt leadva már fájdalmas áramütést okozhat; ezért nem szabad a kivezetéseket kézzel érinteni. A biztonságos munkához először feszültségmentesítés, majd kisütés, majd ismételt feszültségmérés szükséges.

5.2.7. Gyakorlati útmutató

5.2.7.1. Kondenzátor biztonságos kisütése és egy RC-időzítő megépítése

Cél. A tanuló tanműhelyi környezetben mérje meg a kondenzátor töltési és kisütési feszültséggörbéjét, és győződjön meg az időállandó számított értékéről.

Eszközök és anyagok. Tanműhelyi törpefeszültségű tápegység, $U_0 = 10{-}30\,\mathrm{V}$; multiméter; stopper vagy oszcilloszkóp; két $10\,\mathrm{k\Omega}$-os ellenállás (R töltő-, R_k kisütőellenállás); $C = 100\,\mu\mathrm{F}$ kondenzátor; két kapcsoló (S_1, S_2); mérőzsinórok; védőszemüveg.

Biztonsági korlát. Ez a feladat csak tanműhelyi, törpefeszültségű környezetre vonatkozik, jogosult oktató felügyeletével. Hálózati feszültségen önállóan ne gyakorolj. A kondenzátort a feladat előtt és után is kisütött állapotba kell hozni.

1. **Lekapcsolás.** Győződj meg arról, hogy a tápegység le van kapcsolva.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás.** A tápegységet úgy helyezd el, hogy a csatlakozóját véletlenül se lehessen visszacsatlakoztatni.
3. **Feszültségmentesség ellenőrzése.** A multiméterrel ellenőrizd, hogy a tápegység kimenete feszültségmentes.
4. **Áramkör összeállítása.** Kösd össze a kapcsolást az előző ábra szerint: a tápegység pozitív kimenete a kapcsolóval, a kapcsoló az R ellenállással, az ellenállás a kondenzátor pozitív kivezetésével, a kondenzátor negatív kivezetése a tápegység negatív kimenetével. A kondenzátorral párhuzamosan kösd be az S_2 kapcsoló és az R_k ellenállás soros ágát; S_2 kezdetben legyen nyitva. A multimétert feszültségmérésre kapcsolva kösd a kondenzátor kapcsaira párhuzamosan.
5. **Töltés mérése.** Kapcsold be a tápegységet, zárd az S_1 kapcsolót (S_2 nyitva), és mérd a feszültséget. A várt görbe: a feszültség 1τ idő alatt kb. 63,2%-ra nő. A megadott értékekkel $\tau = RC = 10\,\mathrm{k\Omega} \cdot 100\,\mu\mathrm{F} = 1\,\mathrm{s}$. Tehát 1 s után a feszültség kb. $0{,}632 \cdot U_0$, 5 s után pedig kb. $0{,}993 \cdot U_0$ legyen.
6. **Kisütés mérése.** Nyisd az S_1 kapcsolót (a kondenzátor ekkor töltve marad), majd zárd az S_2 kapcsolót: a kondenzátor az $R_k = 10\,\mathrm{k\Omega}$ kisütőellenálláson át sül ki. Indítsd a stoppert az S_2 zárásakor, és figyeld a feszültség csökkenését; a mérés után kapcsold ki a tápegységet. A megadott értékekkel 1 s után 36,8%, 5 s után 0,7% marad.
7. **Feszültségmentesítés.** A mérés végén ismét süsd ki a kondenzátort, és multiméterrel ellenőrizd, hogy a kapocsfeszültség gyakorlatilag nulla.

Ellenőrzési pontok. A számított és mért 5τ időtartamnak közelítőleg egyeznie kell; az eltérés tipikusan az alkatrész-tűrésből vagy a multiméter belső ellenállásából adódik.

Dokumentálás. Jegyezd fel a felhasznált R és C értékeket, a számított τ és 5τ értékeket, valamint a mért feszültségeket az 1τ és 5τ időpontokban.

5.2.8. Tipikus hibák

1. **A kisütés elhagyása vagy a feszültség kézzel való ellenőrzése.** Sokan feltételezik, hogy a kondenzátor „úgyis kisült”, és megfogják a kivezetéseit. A helyes eljárás: mérés, kisütőellenállás, ismételt mérés.
2. **A kondenzátor rövidre zárása.** A kivezetések közvetlen dróttal való összezárása nagy áramcsúcsot és ívet okozhat, ami a kondenzátort károsítja, sőt a drótot is felhevítheti. Mindig megfelelő ellenálláson keresztül süssünk ki.

3. **A soros és párhuzamos képlet felcserélése.** Gyakori hiba, hogy valaki a soros kapacitások eredőjét számolja összegként. A soros eredő mindig kisebb a legkisebb sorba kötött kapacitásnál; ezt érdemes fejben ellenőrizni.
4. **Az időállandó és a teljes feltöltődési idő összekeverése.** A τ csak a folyamat sebességét jellemzi; a gyakorlatban általában 5τ után tekintjük a folyamatot lezajlottnak. Ha valaki azt hiszi, hogy τ alatt a kondenzátor teljesen feltöltődik, tévesen méretezhet időzítőt.

5.2.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A soros kondenzátorok eredő kapacitása mindig nagyobb, mint bármelyik elemé. Válaszodat indokold!
2. Számold ki a $\tau = RC$ időállandót, ha $R = 22\,\text{k}\Omega$ és $C = 47\,\mu\text{F}$!
3. Hány τ idő alatt csökken a kondenzátor feszültsége a kiindulási érték kb. 5%-ára?
4. Miért nem szabad a nagy kapacitású, feltöltött kondenzátort közvetlenül rövidre zárni?
5. Melyik üzemállapotban viselkedik a kondenzátor egyenáramú szakadásként?
6. Egy szerelő azt mondja: „a készüléket lekapcsoltam, a kondenzátoron már nem lehet feszültség”. Mi a hiba ebben a gondolatban?

5.2.10. Feladatok

1. feladat (A). Két kondenzátor, $C_1 = 10\,\mu\text{F}$ és $C_2 = 33\,\mu\text{F}$, sorba van kötve. Mennyi az eredő kapacitás?

2. feladat (A). Számold ki az időállandót, ha $R = 100\,\text{k}\Omega$ és $C = 4{,}7\,\mu\text{F}$!

3. feladat (B). Három kondenzátor, $C_1 = 4{,}7\,\mu\text{F}$, $C_2 = 10\,\mu\text{F}$, $C_3 = 10\,\mu\text{F}$. A C_2 és C_3 párhuzamosan van kötve, és ezzel a párhuzamos csoporttal a C_1 sorba. Mennyi az eredő kapacitás?

4. feladat (B). Egy $C = 220\,\mu\text{F}$ kondenzátort $R = 1\,\text{k}\Omega$ ellenálláson keresztül sütünk ki $U_0 = 48\,\text{V}$ feszültségről. Mennyi a feszültség 3τ idő elteltével?

5. feladat (C). Egy $C = 470\,\mu\text{F}$ kondenzátor kezdeti feszültsége $U_0 = 100\,\text{V}$. Válassz olyan kisütőellenállást, hogy $5\tau < 10\,\text{s}$ legyen, és az ellenállás kezdeti csúcsteljesítménye ne haladja meg a 10 W-ot! Ellenőrizd a feltételeket a választott értékre!

6. feladat (D). Egy tápegységben egy $1000\,\mu\text{F}$ kapacitású szűrőkondenzátort találsz, amelynek a feszültsége a kikapcsolás után 60 V-ot mutat. A rendelkezésedre áll egy $820\,\Omega$, 2 W névleges teljesítményű ellenállás. Indokoltan használható-e ez a kondenzátor kisütésére? Végezd el a számítást, és mondd el a mérési sorrendet a biztonságos kisütéshez!

5.2.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Soros kapcsolásnál az eredő kapacitás reciproka az egyes kapacitások reciprokainak összege, így a soros eredő mindig kisebb a legkisebb sorbakötött kapacitásnál.
2. $\tau = 22\,\text{k}\Omega \cdot 47 \times 10^{-6}\,\text{F} = 1{,}034\,\text{s} \approx 1{,}03\,\text{s}$.
3. 5% maradék feszültség kb. 3τ alatt érhető el (pontosabban 3τ alatt $e^{-3} \approx 0{,}05$).
4. Mert a kezdeti áram U_0/R szinte végtelen nagy lehet, ami ívet, hevülést, a kondenzátor vagy a rövidzáró eszköz károsodását okozhatja.

5. Egyenáramú tartós állapotban, amikor a kondenzátor feltöltődött, és áram már nem folyik.
6. A hiba az, hogy a kondenzátor a lekapcsolás után is töltött maradhat (tárolja a töltését), tehát tárolhat feszültséget. A feszültségmentességet mindig mérni kell, és a kondenzátort szabályosan kisütni.

1. feladat (A) megoldása.

A soros kapcsolás képlete:

$$C_e = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{10 \cdot 33}{10 + 33}\,\mu\text{F} = \frac{330}{43}\,\mu\text{F} \approx 7{,}67\,\mu\text{F}.$$

Ellenőrzés: $7{,}67\,\mu\text{F} < 10\,\mu\text{F}$, tehát a soros eredő valóban kisebb a legkisebb elemtől.

2. feladat (A) megoldása.

$$\tau = R \cdot C = 100 \times 10^3\,\Omega \cdot 4{,}7 \times 10^{-6}\,\text{F} = 0{,}47\,\text{s}.$$

3. feladat (B) megoldása.

A párhuzamos rész:

$$C_{23} = C_2 + C_3 = 10 + 10 = 20\,\mu\text{F}.$$

A soros eredő:

$$C_e = \frac{4{,}7 \cdot 20}{4{,}7 + 20}\,\mu\text{F} = \frac{94}{24{,}7}\,\mu\text{F} \approx 3{,}81\,\mu\text{F}.$$

Ellenőrzés: $3{,}81\,\mu\text{F} < 4{,}7\,\mu\text{F}$.

4. feladat (B) megoldása.

Az időállandó:

$$\tau = 1\,\text{k}\Omega \cdot 220 \times 10^{-6}\,\text{F} = 0{,}22\,\text{s}.$$

3τ elteltével a kisütő feszültség:

$$u_C = U_0 e^{-3} = 48\,\text{V} \cdot 0{,}0498 \approx 2{,}39\,\text{V}.$$

5. feladat (C) megoldása.

A $5\tau < 10\,\text{s}$ feltételből $\tau < 2\,\text{s}$, tehát:

$$R < \frac{2\,\text{s}}{470 \times 10^{-6}\,\text{F}} \approx 4255\,\Omega.$$

A csúcsteljesítményre:

$$P_0 = \frac{U_0^2}{R} \leq 10\,\text{W},$$

$$R \geq \frac{U_0^2}{P_0} = \frac{100^2}{10} = 1000\,\Omega.$$

Tehát $1000\,\Omega \leq R < 4255\,\Omega$ teljesülhet. Válasszunk $R = 2200\,\Omega$ értéket! Ekkor:

$$\tau = 2200\,\Omega \cdot 470 \times 10^{-6}\,\mathrm{F} \approx 1{,}03\,\mathrm{s},$$

$$5\tau \approx 5{,}17\,\mathrm{s} < 10\,\mathrm{s},$$

$$P_0 = \frac{100^2}{2200}\,\mathrm{W} \approx 4{,}55\,\mathrm{W} < 10\,\mathrm{W}.$$

6. feladat (D) megoldása.

Az $R = 820\,\Omega$ ellenállással az időállandó:

$$\tau = 820 \cdot 1000 \times 10^{-6}\,\mathrm{s} = 0{,}82\,\mathrm{s},$$

$$5\tau = 4{,}1\,\mathrm{s}.$$

A kezdeti áram:

$$I_0 = \frac{60\,\mathrm{V}}{820\,\Omega} \approx 73\,\mathrm{mA}.$$

A kezdeti csúcsteljesítmény:

$$P_0 = U_0 I_0 \approx 4{,}4\,\mathrm{W}.$$

A kezdeti csúcsteljesítmény 4,4 W, de ez gyorsan csökken: a teljesítmény időállandója $\tau/2 \approx 0{,}41\,\mathrm{s}$, az elnyelt teljes energia pedig $W = \frac{1}{2}CU_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 1000\,\mu\mathrm{F} \cdot (60\,\mathrm{V})^2 = 1{,}8\,\mathrm{J}$. Egy 2 W-os ellenállás ezt egyetlen kisütésnél rövid idejű túlterhelésként általában elviseli (ellenőrizendő: gyártói adatlap, impulzusterhelhetőség). Ismételt kisütésre, vagy ha az adatlap nem engedi, válasszunk 5 W-os típust vagy nagyobb ellenállást (pl. 2,2 kΩ: $P_0 = 1{,}6\,\mathrm{W}$, $5\tau = 11\,\mathrm{s}$). Az eljárás során először feszültségmentesítés, majd multiméterrel feszültségmérés, majd a kisütőellenállás bekötése, végül ismételt feszültségmérés.

5.2.12. Rövid összefoglaló

Soros kondenzátorok eredő kapacitását a reciprokösszeg adja, párhuzamos kapcsolásnál a kapacitások összegződnek. A soros eredő mindig kisebb a legkisebb sorbakötött kapacitásnál, a párhuzamos eredő mindig nagyobb a legnagyobb párhuzamos kapacitásnál. Az RC-tag időállandója $\tau = RC$, mértékegysége másodperc. Töltéskor a kondenzátor feszültsége $u_C(t) = U_0(1 - e^{-t/\tau})$, kisütéskor $u_C(t) = U_0 e^{-t/\tau}$; 5τ idő alatt a folyamat 99,3%-ban lezajlik. A kondenzátor feszültsége nem változhat ugrásszerűen, egyenáramú tartós állapotban szakadásként viselkedik. A feltöltött kondenzátort mindig kisütőellenálláson keresztül kell kisütni, soha nem közvetlen rövidzárral; a kisütést feszültségmentesítés után, méréssel ellenőrizve végezzük. Az RC-időzítés fogalmát a későbbi RL-tag, kondenzátor-kiválasztás és egyfázisú aszinkron motor alfejezetekben használjuk fel.

5.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

A leírt kapcsolások és matematikai összefüggések az elektrotechnika klasszikus alapegyenletein alapulnak. A munkavédelmi határértékek, a kisütőellenállás kiválasztásának gyakorlati szabályai és a berendezések paraméterei a mindenkori előírásoktól és gyártói adatoktól függenek; a szövegben jelzett helyeken ellenőrizni kell az aktuális szabványt, rendeletet és adatlapot. Az RC-tag töltési és kisütési görbéjét a „Töltés és kisütés exponenciális görbéje” szakasz ábrája mutatja; a HTML-kiadás interaktív változatában az R, a C és az U_0 értéke csúszkával állítható, a statikus tartalék ábrán a feszültség- és áramgörbe, valamint az 1τ, 3τ, 5τ jelölés szerepel.

5.3. Mágneses tér, indukció és mágneses kör

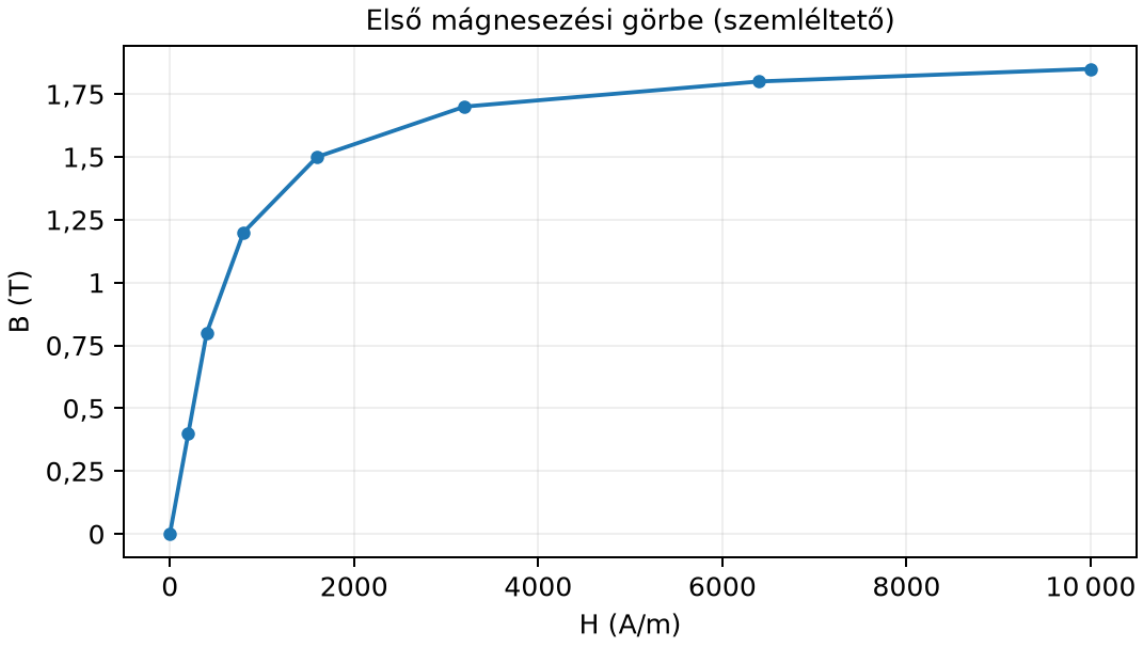
5.3.1. Miért kell ezt tudnod a munkahelyen?

Ha valaha bekötöttél mágneskapcsolót, transzformátort vagy motort, akkor már dolgoztál mágneses körrel, még ha nem is így gondoltál rá. A mágneskapcsoló tekercse csak azért húzza be a főérintkezőket, mert a gerjesztett vasmag mágneses tere erőt fejt ki a mozgó armatúrára. A transzformátor csak azért működik, mert a primer tekercs árama mágneses fluxust hoz létre a vasmagban, amelyet a szekunder tekercs is körülvesz. Ha nem érted a mágneses tér, a gerjesztés, a fluxus és a mágneses kör összefüggéseit, akkor nem tudod megmagyarázni, miért melegszik túl egy relé, miért kisebb egy légréses tekercs induktivitása, vagy miért kell lemezelt vasmagot használni váltakozó áramú készülékekben.

5.3.2. Szemléletes kép

Kezdjük egy egyszerű képpel: egy hosszú, egyenes rézvezetőn áram folyik. Iránytűt helyezve a vezető köré, a tű mindig a vezető körüli koncentrikus körök érintőjébe áll. Az áram tehát mágneses teret hoz létre maga körül; minél nagyobb az áram, annál erősebb a tér. Ha a vezetőt hurokká hajlítjuk, a hurok belsejében a tér összesűrűsödik, és már van egy északi–déli pólus jellegű elrendezés. Ha sok hurkot egymás mellé teszünk, tekercset kapunk, amelynek belsejében már viszonylag egyenletes, erős mágneses tér alakul ki. Ezt a teret vas vagy más ferromágneses anyag behelyezésével tovább erősíthetjük, mert a vas „vezeti” a mágneses teret, ahogy a réz vezeti az áramot.

Az alábbi ábra egy tipikus lágyvas jellegű anyag **első mágnesezési görbéjét** mutatja: vízszintes tengelyen a mágneses térerősség (H), függőlegesen az ebből létrejövő mágneses indukció (B). Jól látható, hogy kezdetben a görbe meredek, majd a növekvő H ellenére a B egyre kevésbé nő: az anyag telítődik.



5.5. ábra. Első mágnesezési görbe (szemléltető) - Szemléltető adatok: tipikus lágyvas jellegű anyag első mágnesezési görbéje; a telítés 1,8 T körül.

A görbe alakja a gyakorlatban anyagról anyagra más, de a jellegzetes „bekanyarodás” minden ferromágneses anyagnál megfigyelhető. A pontos értékeket mindig a gyártói adatlapból vagy mérésből vesszük.

5.3.3. A mágneses tér alapmennyiségei

Definíció. A **mágneses indukció** (B) a mágneses tér erősségét és irányát leíró vektormennyiség. Mértékegysége a tesla: $[B] = 1\,\mathrm{T} = 1\,\mathrm{Vs/m^2}$. A gyakorlatban előforduló értékek: a Föld mágneses tere néhány tíz μT, egy állandó mágnes felületén 0,1–1 T, egy transzformátor vasmagjában üzemszerűen 1,5–1,8 T.

Definíció. A **mágneses fluxus** (Φ) azt méri, hogy a mágneses indukció mekkora felületen halad át. Homogén térben, ha a felületre merőlegesen számolunk:

$$\Phi = B\,A,$$

ahol A a felület. Ha a tér nem merőleges a felületre, akkor $\Phi = B\,A\cos\alpha$, ahol α a B vektor és a felület normálisa közötti szög. A fluxus egysége a weber: $[\Phi] = 1\,\mathrm{Wb} = 1\,\mathrm{T}\cdot\mathrm{m}^2$.

Definíció. A **gerjesztés** (Θ) azt fejezi ki, hogy egy tekercs mennyire „hajtja” a mágneses teret. Értéke a menetszám és az áram szorzata:

$$\Theta = N\,I,$$

ahol N a menetszám, I az áram. Bár a mértékegysége amper, gyakran **ampermenet**-ként (A · menet) mondjuk ki, hogy megkülönböztessük az áramtól.

Definíció. A **mágneses térerősség** (H) a gerjesztés hossz menti eloszlását adja meg. Homogén esetben, l hosszúságú zárt középvonalon:

$$H = \frac{\Theta}{l} = \frac{NI}{l}.$$

Egysége amper per méter: $[H] = 1\,\mathrm{A/m}$.

Törvény. A **gerjesztési törvény** (Ampere-törvény) szerint a mágneses térerősség zárt görbe menti vonalintegrálja egyenlő a görbe által körülölelt áramok algebrai összegével:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I.$$

Egyszerű, homogén mágneses kör esetén ez a fenti $Hl = NI$ alakra egyszerűsödik.

Definíció. A **permeabilitás** (μ) az anyag mágneses „vezetőképességét” jellemzi. Vákuumban:

$$B = \mu_0 H, \qquad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{H/m}.$$

Anyagban a mágneses indukció:

$$B = \mu_0\,\mu_r\,H = \mu\,H,$$

ahol μ_r a **relatív permeabilitás**, dimenzió nélküli szám. Vákuumban $\mu_r = 1$; levegőben gyakorlatilag szintén 1. Ferromágneses anyagokban μ_r tipikusan néhány száz és néhány százezer közötti, de erősen függ a mágnesezettségtől.

5.3.4. Anyagok csoportosítása és a mágnesezési görbe

A mágneses szempontból fontos anyagokat három csoportba soroljuk:

1. **Diamágneses anyagok** ($\mu_r < 1$, de nagyon közel 1-hez): a mágneses teret gyengén kiszorítják. Ilyen például a réz, a víz, a bizmut. A gyakorlatban ez a hatás elhanyagolható.
2. **Paramágneses anyagok** ($\mu_r > 1$, de szintén közel 1-hez): a mágneses teret kissé erősítik. Ilyen az alumínium, a levegő, a platina.
3. **Ferromágneses anyagok** ($\mu_r \gg 1$): a mágneses teret nagyságrendekkel erősítik. Ide tartozik a vas, a kobalt, a nikkel és ezek ötvözetei, valamint a ferritek.

A ferromágneses anyagoknál a B és H kapcsolata nem lineáris, és a görbe **hiszterézist** mutat. Az első mágnesezési görbe (lásd fent) a kezdetben lemágnesezett anyag felmágnesezését írja le. Ha a mágnesezést váltakozó irányban ismételjük, a B–H pontok zárt hurkot futnak be, ez a **hiszterézishurok**.

A hiszterézishurok két kitüntetett pontja:

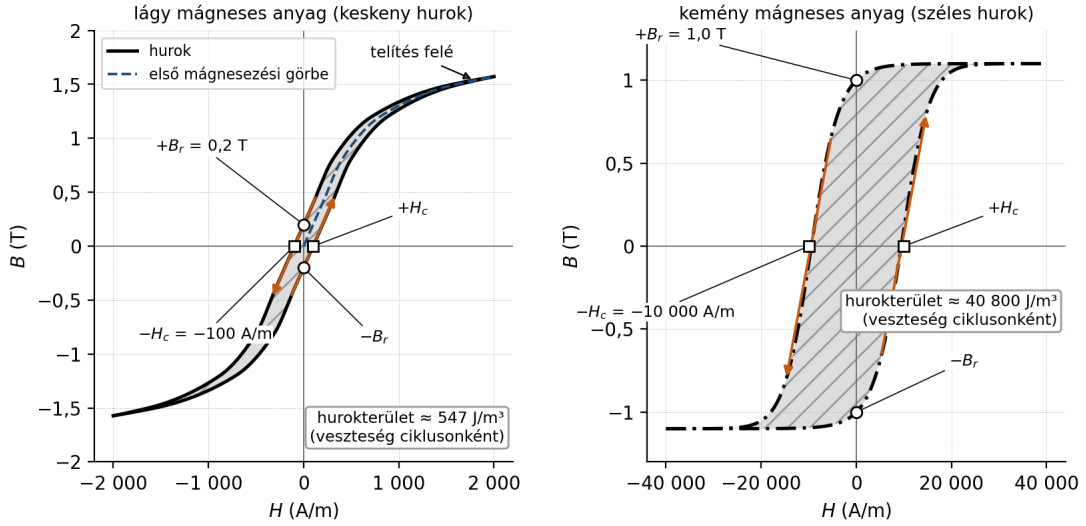
- **Remanencia** (B_r): az az indukció, ami a mágneses térerősség nullára csökkentése után megmarad.
- **Koercitív térerősség** (H_c): az a térerősség, ami ahhoz kell, hogy a megmaradt indukciót nullára csökkentsük.

Az anyagokat a hurok alakja alapján is csoportosíthatjuk:

- **Lágy mágneses anyagok**: keskeny hurok, kis remanencia és kis koercitív tér. Ilyenek a lemezelt transzformátorvasak, a relék és motorok vasmagjai. Váltakozó áramú alkalmazásokhoz ideálisak, mert a keskeny hurok kis energiaveszteséget jelent ciklusonként.
- **Kemény mágneses anyagok**: széles hurok, nagy remanencia és nagy koercitív tér. Ilyenek az állandó mágnesek (például neodímium, ferritmágnes), mert jól megtartják a mágnesességüket.

A hiszterézis hurok belső területe arányos az egy mágnesezési ciklus alatt hővé alakuló energiával. Ezért váltakozó áramú vasmagoknál anyagilag is fontos, hogy keskeny hurkú, lágy anyagot válasszunk. A vaslemez lemezelése (egymástól szigetelt vékony lemezek) pedig az örvényáramú veszteséget csökkenti.

Az alábbi ábra két szemléltető hiszterézishurkot hasonlít össze. Bal oldalon egy lágy mágneses anyag keskeny hurka látszik (a fenti első mágnesezési görbével, szaggatottan): $B_r \approx 0{,}2$ T, $H_c \approx 100$ A/m, a hurokterület kb. 550 J/m³ ciklusonként. Jobb oldalon egy kemény mágneses anyag széles hurka (más léptékben): $B_r \approx 1{,}0$ T, $H_c \approx 10\,000$ A/m, a hurokterület kb. 41 000 J/m³. A nyilak a bejárás irányát mutatják; a sraffozott terület a ciklusonként hővé alakuló energia (térfogategységenként). A HTML-kiadás interaktív változatában egy pont a $H(t) = H_{\max} \sin \omega t$ szerint járja körbe a lágy anyag hurkát, és a $H_{\max}$ csúszkával megfigyelhető, hogyan nő a hurok és hogyan jelenik meg a telítés.



5.6. ábra. Hiszterézishurok: lágy (keskeny) és kemény (széles) mágneses anyag, $\pm B_r$ és $\pm H_c$ jelöléssel (szemléltető modell, nem mért adat)

5.3.5. A mágneses kör és a Hopkinson-törvény

Az áramkörök analógiájára a mágneses teret is hurokban, **mágneses körben** modellezzük. A mágneses körben a fluxus (Φ) az áramnak, a gerjesztés ($\Theta = NI$) a feszültségnek, a **mágneses ellenállás** (reluktancia, R_m) pedig az elektromos ellenállásnak felel meg.

Definíció. A **mágneses ellenállás** (reluktancia) egy l hosszúságú, A keresztmetszetű, μ permeabilitású szakaszra:

$$R_m = \frac{l}{\mu\, A}.$$

Egysége: $[R_m] = 1\,\mathrm{A/Wb} = 1\,\mathrm{H}^{-1}$.

Törvény. A **Hopkinson-törvény** a mágneses kör Ohm-törvénye:

$$\Theta = \Phi\, R_m, \qquad \text{azaz} \qquad N I = \Phi\, \frac{l}{\mu\, A}.$$

Ha a mágneses kör több, sorosan kapcsolódó szakaszból áll (például vasmag + légrés), a mágneses ellenállások összeadódnak, és a gerjesztés:

$$\Theta = \Phi\,(R_{m1} + R_{m2} + \dots)\,.$$

Ezt úgy is írhatjuk, hogy a mágneses feszültségek ($V_m = H\,l$) összege egyenlő a teljes gerjesztéssel:

$$N I = H_1 l_1 + H_2 l_2 + \dots$$

A légrés mágneses ellenállása különösen fontos. Mivel a levegő relatív permeabilitása $\mu_r \approx 1$, a légrés ellenállása sokkal nagyobb, mint az azonos méretű vasé. Ezért már kis légrés is jelentősen megnöveli a kör teljes mágneses ellenállását, és adott fluxus eléréséhez nagyobb gerjesztést, tehát nagyobb áramot vagy több menetet igényel.

Megjegyzés. A Hopkinson-törvény csak akkor alkalmazható egyszerűen, ha a permeabilitás állandónak tekinthető. Telítésben vagy erősen nemlineáris anyagnál a μ_r függ a mágneses térerősségtől, ezért a számítás iterációt vagy mágnesezési görbe használatát igényli. A szerelői gyakorlatban a gyártók gyakran megadják a szükséges gerjesztést vagy a vasmag mágneses jelleggörbéjét.

5.3.6. Erőhatás: a Lorentz-erő

Ha mágneses térben áramjárta vezető helyezkedik el, a vezetőre erő hat. Ez az erő a motorok, hangszórók, mágneskapcsolók és sok más villamos készülék működésének alapja.

Törvény. A **Lorentz-erő** nagysága egyenes vezetőre, homogén mágneses térben:

$$F = B\, I\, l\, \sin\alpha,$$

ahol l a vezető hossza a mágneses térben, α pedig a B indukció és az áram iránya közötti szög. Ha a vezető merőleges a térre ($\alpha = 90^\circ$), akkor $\sin\alpha = 1$, és $F = B\, I\, l$.

Az erő irányát a **balkéz-szabály** (motorszabály) adja meg: ha a bal kezünk tenyerét úgy tartjuk, hogy a mágneses indukcióvonalak a tenyerünkbe lépnek, a kinyújtott ujjak az áram irányába mutatnak, akkor a kifeszített hüvelykujj az erő irányát mutatja. (A jobbkéz-szabályt a generátoros indukált feszültség irányára használjuk, lásd Elektromágneses indukció, önindukció és az RL-tag.)

5.3.7. Kidolgozott példák

Példa 1. Légmagos tekercs mágneses tere

Egy hosszú, légmagos tekercs menetszáma $N = 500$, hossza $l = 25\,\text{cm} = 0{,}25\,\text{m}$, árama $I = 0{,}2\,\text{A}$. Számítsuk ki a tekercs belsejében a mágneses térerősséget és a mágneses indukciót!

Megoldás.

A mágneses térerősség:

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{500 \cdot 0{,}2}{0{,}25} = 400\,\text{A/m}.$$

Mivel levegőben $\mu_r \approx 1$, az indukció:

$$B = \mu_0 H = 4\pi \times 10^{-7} \cdot 400 \approx 5{,}03 \times 10^{-4}\,\text{T} = 0{,}503\,\text{mT}.$$

Ez igen gyenge tér; egy ferromágneses vasmaggal ugyanez a tekercs több százszor nagyobb indukciót hozna létre.

2. példa. Vasmagos tekercs légréssel (kidolgozott mágneses kör)

Egy mágneses kör vasmagból és egy kis légrésből áll. A vasmag közepes kerülete $l_v = 0{,}6\,\text{m}$, keresztmetszete $A = 6\,\text{cm}^2 = 6 \times 10^{-4}\,\text{m}^2$. A légrés hossza $l_g = 0{,}5\,\text{mm} = 5 \times 10^{-4}\,\text{m}$, keresztmetszete megegyezik a vaséval. A tekercs menetszáma $N = 300$. A vas relatív permeabilitása a munkapontban $\mu_r = 1500$. Célfluxus: $\Phi = 0{,}6\,\text{mWb} = 6 \times 10^{-4}\,\text{Wb}$. Mekkora gerjesztés és mekkora áram szükséges?

Megoldás.

Először számítsuk ki az indukciót, mert a fluxus és a keresztmetszet adott:

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{6 \times 10^{-4}}{6 \times 10^{-4}} = 1\,\text{T}.$$

Ez reális érték, a lágyvasak jellemzően 1,0–1,8 T között üzemelnek.

A vasban a mágneses térerősség:

$$H_v = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7} \cdot 1500} \approx 530{,}5\,\text{A/m}.$$

A légrésben $\mu_r = 1$, tehát:

$$H_g = \frac{B}{\mu_0} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} \approx 795\,775\,\text{A/m}.$$

A mágneses feszültségek:

$$V_{m,v} = H_v\, l_v = 530{,}5 \cdot 0{,}6 \approx 318{,}3\,\text{A},$$

$$V_{m,g} = H_g\, l_g = 795\,775 \cdot 5 \times 10^{-4} \approx 397{,}9\,\text{A}.$$

A teljes gerjesztés a két feszültség összege:

$$\Theta = V_{m,v} + V_{m,g} = 318{,}3 + 397{,}9 = 716{,}2\,\text{A}.$$

A szükséges áram:

$$I = \frac{\Theta}{N} = \frac{716{,}2}{300} \approx 2{,}39\,\text{A}.$$

Tanulság. Bár a légrés hossza mindössze 0,5 mm, a rajta eső mágneses feszültség (397,9 A) nagyobb, mint a 60 cm hosszú vasmagé (318,3 A). A légrés tehát uralja a mágneses kört. Ezért a transzformátorok és relék vasmagjait igyekeznek hézagmentesen illeszteni; ahol mégis légrés kell (például egyenáramú előmágnesezésű fojtótekercseknél), ott a rést tudatosan, kis tűréssel alakítják ki.

Példa 3. Lorentz-erő számítása

Mágneses térben $l = 0{,}3\,\text{m}$ hosszú vezetőn $I = 10\,\text{A}$ áram folyik. Az indukció $B = 0{,}5\,\text{T}$, a vezető merőleges a térre. Mekkora erő hat a vezetőre?

Megoldás.

Mivel $\alpha = 90^\circ$, $\sin\alpha = 1$:

$$F = B\,I\,l = 0{,}5 \cdot 10 \cdot 0{,}3 = 1{,}5\,\text{N}.$$

Ez nem tűnik nagy erőnek, de egy motor forgórészében sok, sorba kapcsolt vezetőszakasz helyezkedik el mágneses térben, így az összerő már elegendő a tengely megforgatásához.

5.3.8. A mágneses kör és az induktivitás kapcsolata

A mágneses kör közvetlenül kapcsolódik a tekercs induktivitásához, amelyet a következő alfejezetben fogunk részletesen vizsgálni.

Továbbvitt eredmény. Ha egy N menetes tekercs mágneses körében Φ fluxus jön létre I áram hatására, akkor a tekercs teljes fluxusát ($\Psi = N\Phi$) felhasználva az induktivitás:

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N\Phi}{I}.$$

A Hopkinson-törvényből $\Phi = \frac{NI}{R_m}$, ezért:

$$L = \frac{N \cdot \frac{NI}{R_m}}{I} = \frac{N^2}{R_m}.$$

Ez az összefüggés az Elektromágneses indukció, önindukció és az RL-tag alfejezetben kulcsszerepet játszik: megmutatja, hogy a tekercs induktivitása a menetszám négyzetével arányos, és a mágneses kör ellenállásától – különösen a légréstől – erősen függ. Ezt használjuk majd a transzformátorok és fojtótekercsek viselkedésének megértéséhez.

5.3.9. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy villanyszerelő azt tapasztalta, hogy egy mágneskapcsoló tekercse melegszik, és a főérintkezők nem húznak be megbízhatóan, pedig a vezérlőfeszültség a névleges értéken van. A kapcsoló szétszerelésekor kiderült, hogy a mozgó armatúra és az álló vasmag közé por és finom fémreszelék került, ami megnövelte a mágneses kör légrését. A megnövekedett légrés miatt a mágneses ellenállás nagyobb lett, ezért egyenáramú tekercsnél ugyanakkora gerjesztés mellett kisebb fluxus és behúzóerő alakulna ki. Váltakozó áramú tekercsnél viszont a fluxust nagyjából a tápfeszültség szabja meg, ezért a nagyobb mágneses ellenálláshoz nagyobb gerjesztés, azaz nagyobb tekercsáram kell: a nagyobb légrés csökkenti az induktivitást ($L = N^2/R_m$), így a tekercs árama a névlegesnél jóval nagyobb lesz. Az armatúra nem zár teljesen, a kapcsoló zúg és rezeg. Ha az armatúra tartósan nem zár, a tekercs leéghet, a zúgó, rosszul záró mágneskapcsolót ezért nem szabad üzemben hagyni. A szerelő megtisztította az érintkező felületeket, ellenőrizte a légrés záródását, és a mágneskapcsoló újra megbízhatóan működött. A tanulság: a mágneses kör „légrés-érzékenysége” miatt a mágneskapcsolók, relék és kontaktorok vasmag felületeit tisztán, idegen anyagtól mentesen kell tartani, és a mechanikai ütközést, kopást rendszeresen ellenőrizni kell.

5.3.10. Tipikus hibák

Hiba. A mágneses térerősség (H) és a mágneses indukció (B) összekeverése. Sokan azt hiszik, hogy a kettő ugyanaz, pedig H a gerjesztésből származó „hajtó” mennyiség, B pedig a ténylegesen kialakuló mágneses tér. A kettőt a μ permeabilitás köti össze.

Hiba. A légrés elhanyagolása mágneses kör számításakor. Ahogy a 2. példában láttuk, már 0,5 mm légrés is nagyobb mágneses feszültséget ejthet, mint 60 cm vasmag. Aki a légrést figyelmen kívül hagyja, irreálisan kis gerjesztést kap, és a tekercs a valóságban nem hozza létre a kívánt fluxust.

Hiba. A relatív permeabilitás állandónak feltételezése telítésben. A ferromágneses anyagok μ_r értéke nem állandó, hanem a munkaponttól függ. Telítés közelében a μ_r drasztikusan lecsökken, ezért a Hopkinson-törvénnyel való lineáris számítás hibás eredményt ad. Ilyenkor a mágnesezési görbét kell használni, vagy a gyártó által megadott gerjesztési adatokat kell figyelembe venni.

Hiba. A vasveszteség (hiszterézis- és örvényáram-veszteség) figyelmen kívül hagyása váltakozó áramú vasmagoknál. Ha valaki tömör vasat használ lemezelt helyett, a nagy örvényáramok miatt a mag erősen melegszik; ha széles hurkú (kemény) anyagot választ, a hiszterézisveszteség nő. Ezért a váltakozó áramú transzformátorok és motorok vasmagjait vékony, egymástól szigetelt, lágy mágneses (keskeny hurkú) lemezekből építik.

5.3.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A gerjesztés mértékegysége az amper.

2. Igaz vagy hamis? A légrés növelése csökkenti a mágneses kör mágneses ellenállását.

3. Gyors számolás: $N = 200$ menetes tekercs árama $I = 0{,}3\,\mathrm{A}$. Mennyi a gerjesztés?

4. Mi történik a hiszterézishurok által körülölelt területtel, ha a váltakozó mágnesezés frekvenciája nő?

5. Melyik anyag alkalmas állandó mágnesnek: a keskeny vagy a széles hiszterézishurokkal rendelkező?

6. Mi a hiba ebben a számítási tervben? „A vasmagos tekercs gerjesztését úgy számolom, hogy a légrést elhanyagolom, mert nagyon vékony.”

5.3.12. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a mágneses fluxust, és add meg a mértékegységét! Mennyiben különbözik a mágneses indukciótól?

2. feladat (A). Egy légmagos tekercs menetszáma $N = 800$, hossza $l = 40\,\text{cm}$, árama $I = 0{,}4\,\text{A}$. Számítsd ki a mágneses térerősséget és a mágneses indukciót a tekercs belsejében!

3. feladat (B). Egy zárt vasmagos tekercs menetszáma $N = 250$. A vasmag közepes kerülete $l = 0{,}5\,\text{m}$, keresztmetszete $A = 4\,\text{cm}^2$, relatív permeabilitása $\mu_r = 1000$. Mekkora gerjesztés és áram szükséges $\Phi = 0{,}4\,\text{mWb}$ fluxus létrehozásához? (Nincs légrés.)

4. feladat (B). Egy vezető hossza $l = 0{,}2\,\text{m}$, árama $I = 5\,\text{A}$, a mágneses indukció $B = 0{,}8\,\text{T}$. A vezető 30°-os szöget zár be a mágneses térrel. Mekkora a vezetőre ható erő?

5. feladat (C). Az előző zárt vasmagos körbe $0{,}2\,\text{mm}$ légrést csiszolunk, miközben a fluxust változatlanul $\Phi = 0{,}4\,\text{mWb}$ értéken szeretnénk tartani. Mennyivel kell megnövelni a gerjesztést? Hasonlítsd össze a légréses kör eredő mágneses ellenállását a légrés nélküli körével! (Használd az adatokat: $N = 250$, $l = 0{,}5\,\text{m}$, $A = 4\,\text{cm}^2$, $\mu_r = 1000$.)

6. feladat (D). Egy mágneskapcsoló tekercse nem húzza be megbízhatóan a főérintkezőket, bár a tekercs feszültsége névleges. Sorolj fel legalább három lehetséges okot a mágneses kör szempontjából, és mindegyikhez add meg a javítási módot! (Gondolj a légrésre, a szennyeződésre, a mechanikai kopásra és a túlmelegedésre.)

5.3.13. Megoldások

5.3.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A gerjesztés $\Theta = NI$, mértékegysége valóban amper (gyakran ampermenetnek mondjuk).

2. **Hamis.** A légrés növelése növeli a mágneses ellenállást, mert a levegő permeabilitása sokkal kisebb, mint a vasé.

3. $\Theta = NI = 200 \cdot 0{,}3 = 60\,\text{A}$ (ampermenet).

4. A hiszterézishurok területe a ciklusonkénti energiaveszteséggel arányos. Ha a frekvencia nő, az egységnyi idő alatti ciklusok száma nő, ezért a hiszterézisveszteség teljesítménye is nő, de egy ciklus területe maga nem változik pusztán a frekvenciától (azonos csúcsindukció mellett).

5. A széles hiszterézishurokkal rendelkező anyag alkalmas állandó mágnesnek, mert nagy a remanenciája és nagy a koercitív tere, tehát jól megtartja a mágnesességét.

6. A hiba: a légrés elhanyagolása. Már nagyon vékony légrés is nagy mágneses feszültséget ejthet, ezért az elhanyagolása hibás, irreálisan kis gerjesztést adó eredményhez vezet.

5.3.13.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A).
A mágneses fluxus a mágneses indukció és a felület skaláris szorzata: $\Phi = BA\cos\alpha$. Homogén, merőleges térben $\Phi = BA$. Mértékegysége a weber (Wb). A mágneses indukció (B) a tér erősségét adja meg adott pontban (T), a fluxus pedig azt, hogy ez a tér mekkora felületen halad át (Wb). A fluxus a térfelületi integrál.

2. feladat (A).
Hossz: $l = 0{,}4\,\mathrm{m}$.

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{800 \cdot 0{,}4}{0{,}4} = 800\,\mathrm{A/m}.$$

$$B = \mu_0 H = 4\pi \times 10^{-7} \cdot 800 \approx 1{,}005 \times 10^{-3}\,\mathrm{T} \approx 1{,}0\,\mathrm{mT}.$$

3. feladat (B).
Keresztmetszet: $A = 4\,\mathrm{cm}^2 = 4 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}^2$. Célfluxus: $\Phi = 0{,}4\,\mathrm{mWb} = 4 \times 10^{-4}\,\mathrm{Wb}$.

Indukció:

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{4 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-4}} = 1\,\mathrm{T}.$$

Mágneses térerősség a vasban:

$$H = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7} \cdot 1000} \approx 795{,}8\,\mathrm{A/m}.$$

Gerjesztés:

$$\Theta = Hl = 795{,}8 \cdot 0{,}5 \approx 397{,}9\,\mathrm{A}.$$

Áram:

$$I = \frac{\Theta}{N} = \frac{397{,}9}{250} \approx 1{,}59\,\mathrm{A}.$$

4. feladat (B).
A Lorentz-erő:

$$F = BIl\sin\alpha = 0{,}8 \cdot 5 \cdot 0{,}2 \cdot \sin 30^\circ = 0{,}8 \cdot 5 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}5 = 0{,}4\,\mathrm{N}.$$

5. feladat (C).
Először a légrés nélküli mágneses ellenállás:

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{0{,}5}{4\pi \times 10^{-7} \cdot 1000 \cdot 4 \times 10^{-4}} \approx 994\,718\,\mathrm{A/Wb}.$$

A légréses kör két soros szakaszból áll: vas ($l_v = 0{,}5\,\mathrm{m}$) és légrés ($l_g = 0{,}2\,\mathrm{mm} = 2 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}$). A vas mágneses ellenállása ugyanaz, mint fent: $R_{m,v} \approx 994\,718\,\mathrm{A/Wb}$.

A légrés mágneses ellenállása:

$$R_{m,g} = \frac{l_g}{\mu_0 A} = \frac{2 \times 10^{-4}}{4\pi \times 10^{-7} \cdot 4 \times 10^{-4}} \approx 397\,887\,\text{A/Wb}.$$

A teljes mágneses ellenállás:

$$R_{m,\text{össz}} = R_{m,v} + R_{m,g} \approx 994\,718 + 397\,887 = 1\,392\,605\,\text{A/Wb}.$$

A szükséges gerjesztés a Hopkinson-törvényből:

$$\Theta = \Phi\, R_{m,\text{össz}} = 4 \times 10^{-4} \cdot 1\,392\,605 \approx 557\,\text{A}.$$

A növekmény a légrés nélküli esethez képest:

$$\Delta\Theta = 557 - 397{,}9 = 159{,}1\,\text{A}.$$

Tehát a légrés miatt a gerjesztést mintegy 40%-kal meg kell növelni, holott a légrés hossza mindössze 0,2 mm. Ez jól mutatja a légrés domináns szerepét.

6. feladat (D).
Lehetséges okok és javítások:

1. **Szennyeződés a légrésben.** Por, fémreszelék vagy korrózió kerül az armatúra és a vasmag közé, ami megnöveli a légrést. Javítás: a mágneses felületek tisztítása, megfelelő védelem. Váltakozó áramú tekercsnél a nagyobb légrés az induktivitás csökkenése miatt az áramot is megnöveli ($L = N^2/R_m$), ezért a tekercs melegszik, és a nem záró kapcsoló tekercse leéghet.

2. **Mechanikai kopás, megnövekedett légrés.** Az armatúra ütközőjének kopása miatt a záródási hézag megnő. Javítás: kopott alkatrész cseréje, hézag beállítása a gyártói adat szerint.

3. **Túlmelegedés miatti permeabilitás-csökkenés.** A vas hőmérsékletének emelkedésével a mágnesezhetőség romolhat; túlmelegedés esetén a tekercs ellenállása is nő, csökkentve az áramot. Javítás: hűtés biztosítása, a tekercs feszültségének és a környezeti hőmérsékletnek az ellenőrzése.

4. **Tekercs zárlatos menetei.** A zárlat csökkenti az effektív menetszámot, így a gerjesztés csökken. Javítás: tekercs ellenőrzése, szükség esetén csere.

5. **Alacsony vezérlőfeszültség vagy instabil táp.** Bár a feladat szerint a feszültség névleges, a bekötési pontokon fellépő feszültségesés vagy kontaktushiba is okozhat alacsony tekercsfeszültséget. Javítás: a vezérlőáramkör feszültségének mérése terhelés alatt, kötések ellenőrzése.

5.3.14. Rövid összefoglaló

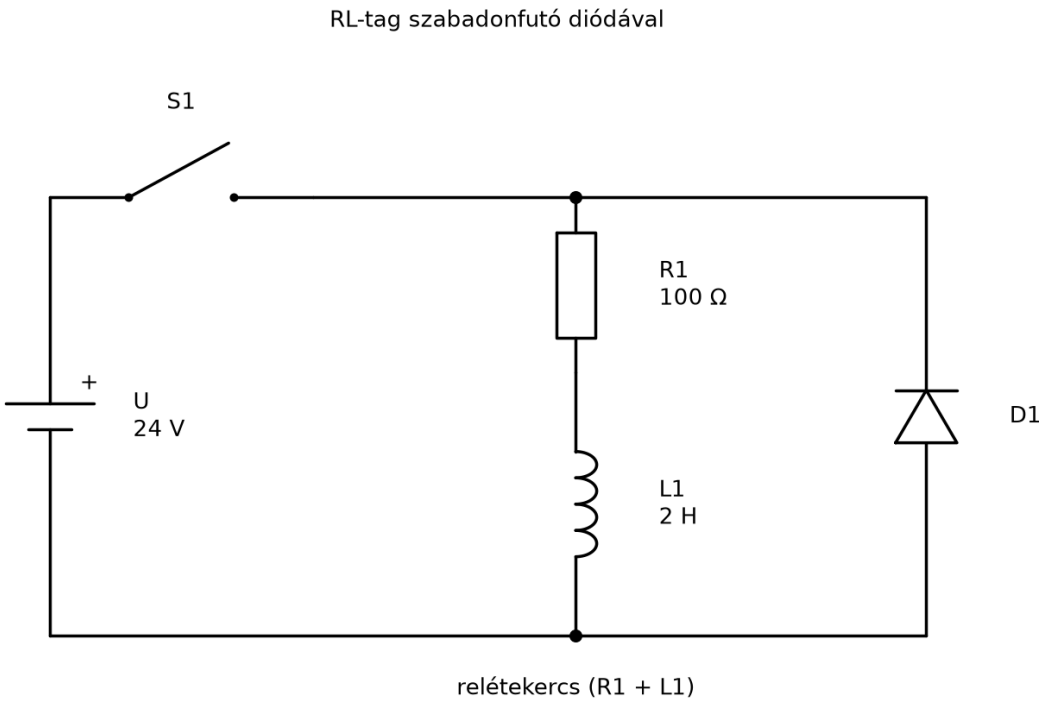
A mágneses tér alapfogalmai nélkül nem érthetők a transzformátorok, motorok és mágneskapcsolók. Az áram mágneses teret gerjeszt; a gerjesztés $\Theta = NI$, a mágneses térerősség $H = \Theta/l$. Az anyag mágnesezhetőségét a permeabilitás jellemzi: $B = \mu_0 \mu_r H$. Ferromágneses anyagokban a B–H kapcsolat nemlineáris, hiszterézist mutat; a keskeny hurkú lágy anyagok váltakozó áramú vasmagokba, a széles hurkú kemény anyagok állandó mágnesekbe valók. A mágneses kör a Hopkinson-törvénnyel írható le: $\Theta = \Phi R_m$, ahol $R_m = l/(\mu A)$. A légrés mágneses ellenállása nagy, ezért már kis légrés is jelentősen növeli a szükséges gerjesztést. A mágneses térben áramjárta vezetőre Lorentz-erő hat: $F = BIl \sin\alpha$. **Továbbvitt eredmény:** a mágneses körből származtatjuk a tekercs induktivitását: $L = \Psi/I = N^2/R_m$, amelyet az Elektromágneses indukció, önindukció és az RL-tag alfejezet használ fel. Ez az összefüggés az alapja a transzformátorok, fojtótekercsek és relétekercsek váltakozó áramú viselkedésének.

5.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

Ez az alfejezet a klasszikus elektrotechnika stabil matematikai és fizikai alapjain nyugszik. A $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{H/m}$ érték a hagyományos tankönyvi érték; az SI 2019 utáni definíciója kissé eltérhet, de a különbség a villanyszerelői gyakorlatban elhanyagolható. A mágnesezési görbe konkrét számértékei anyagtól függenek, ezért éles tervezésnél mindig a gyártói adatlap vagy mérés az irányadó. A váltakozó áramú vasmagok lemezelésére és a hiszterézisveszteségre vonatkozó követelmények a vonatkozó anyag- és gyártói specifikációkban találhatók.

5.4. Elektromágneses indukció, önindukció és az RL-tag

Egy relé tekercsének kikapcsolásakor a vezérlő tranzisztor kollektorán rövid, de igen nagy feszültségű tüske jelenhet meg. Ugyanez a jelenség okozza, hogy egy kapcsoló érintkezői ívet húznak, amikor egy tekercset megszakítunk. Ennek megértéséhez az elektromágneses indukciót, az önindukciót és az RL-tag időbeli viselkedését kell pontosan ismernünk.



5.7. ábra. RL-tag szabadonfutó diódával - R1 és L1 együtt a relétekercs modellje (R1 a tekercs saját ellenállása); a D1 dióda a teljes tekercset hidalja át, katódja a pozitív oldalon. Bekapcsolt S1 mellett D1 záróirányú; kikapcsoláskor a tekercs árama az L1–R1–D1 hurokban záródik. Elvi kapcsolás, nem méretezett.

A rajzon az R1 és az L1 együtt egy relétekercset modellez: R1 a tekercs saját (huzal)ellenállása, a D1 dióda pedig a teljes R1–L1 tekercset hidalja át. A kapcsoló zárásakor a dióda záróirányban van (katódja a pozitív oldalon), tehát nem vezet; az áram a tápegységből az S1 kapcsolón, az R1 ellenálláson és az L1 tekercsen át folyik. A kapcsoló nyitásakor a tekercs árama nem tud azonnal nullára esni; a dióda nyitóirányba kerül, és az áram az L1–R1–D1 hurokban kering tovább, amíg a tekercs energiája az R1-en (és kis részben a diódán) hővé nem alakul.

5.4.1. Faraday-törvény, mozgási és nyugalmi indukció

Definíció. A mágneses fluxus Φ egy A felületen áthaladó mágneses tér erővonalainak mértéke. Homogén térben, ha a felület normálisa α szöget zár be a mágneses indukcióval:

$$\Phi = B\,A\cos\alpha.$$

Törvény. Faraday indukciótörvénye szerint egy zárt vezetőhurokban akkor keletkezik indukált feszültség, ha a hurkon áthaladó mágneses fluxus időben változik. N menetes tekercs esetén:

$$e = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

A negatív előjel Lenz törvényét fejezi ki: **az indukált feszültség olyan irányú áramot hoz létre, amely gátolja az őt létrehozó fluxusváltozást.** Ezért a tekercs „ellenáll” az áramváltozásnak.

Definíció. Megkülönböztetünk:

- **Mozgási indukció:** a vezető mozog állandó mágneses térben. Merőleges irányok esetén $e = Blv$, általában $e = Blv\sin\alpha$, ahol l a vezető aktív hossza, v a sebessége, α a sebesség és a mágneses indukció szöge. Ezen az elven működnek az egyenáramú generátorok.
- **Nyugalmi indukció:** a vezető nyugszik, de a mágneses tér változik. Ezen az elven működnek a transzformátorok: a primer tekercs váltakozó árama változó fluxust hoz létre, amely a szekunder tekercsben feszültséget indukál.

5.4.2. Önindukció és induktivitás

Ha egy tekercs árama változik, a tekercs saját fluxusa is változik, ezért a tekercsben saját maga is indukál feszültséget. Ezt nevezzük önindukciónak.

Definíció. Az L induktivitás a tekercs azon képessége, hogy áramváltozás hatására feszültséget indukál. Az indukált feszültség:

$$e_L = -L\frac{\Delta i}{\Delta t},$$

ahol Δi az áramváltozás, Δt a változás időtartama. Az induktivitás egysége a henry: $1\,\mathrm{H} = 1\,\mathrm{V}\cdot\mathrm{s/A}$.

Másképpen: $L = N\frac{\Phi}{i}$, azaz az induktivitás a tekercs áramához tartozó fluxus és az áram hányadosa.

Definíció. Egy L induktivitású tekercsben tárolt mágneses energia:

$$W = \frac{1}{2}LI^2.$$

Ez az energia a kikapcsolási feszültséglökés forrása: a tekercs nem „termel” energiát, hanem a benne tárolt energiát adja le.

5.4.3. Kölcsönös indukció és csatolási tényező

Ha két tekercs van egymás közelében, az első tekercs változó árama fluxust hoz létre, amely áthatja a második tekercset is. A második tekercsben indukált feszültség:

$$e_2 = -M\frac{\Delta i_1}{\Delta t},$$

ahol M a kölcsönös induktivitás, egysége szintén henry.

Definíció. A csatolási tényező k azt mutatja meg, hogy az első tekercs fluxusának mekkora része éri el a második tekercset. Értéke 0 és 1 közötti:

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}.$$

Ha a két tekercs tökéletesen csatolt, $k = 1$; ha nincs közös fluxus, $k = 0$. A transzformátorokban nagy csatolási tényezőre törekednek, jellemzően $k > 0{,}95$ (ellenőrizendő: konkrét gyártói adat).

Továbbvitt eredmény. A kölcsönös indukció a transzformátorok és a forgó gépek működésének alapja. A váltakozó áramú fázorokkal való leírást a Szinuszos mennyiségek és fázorok alfejezetben vezetjük be, a transzformátor részletes tárgyalását az Egyfázisú transzformátor: működés, felépítés, üresjárás és rövidzárás alfejezetben, a forgó mágneses mezőt pedig a Szerkezet és működési elv, forgó mágneses mező alfejezetben folytatjuk. Az induktív áramkörök megszakításakor fellépő ív miatt a biztosítók és kapcsolók kialakítása is fontos, erről az Olvadóbiztosítók alfejezetben lesz szó.

5.4.4. Az RL-tag be- és kikapcsolása

Az RL-tag egy soros ellenállásból és induktivitásból áll. Bekapcsoláskor a tekercs miatt az áram nem éri el azonnal az Ohm-törvényből számított állandósult értéket, hanem exponenciálisan közelíti meg. Kikapcsoláskor ugyanez fordítva: az áram nem szűnik meg azonnal.

Levezetés. Zárt kapcsolónál a hurokegyenlet:

$$U = iR + L\frac{di}{dt}.$$

Átrendezve:

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \frac{U}{L}.$$

Megoldása az $i(0) = 0$ kezdeti feltétellel:

$$i(t) = \frac{U}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right).$$

Vezessük be az állandósult áramot $I_\infty = \frac{U}{R}$ és az időállandót $\tau = \frac{L}{R}$:

$$i(t) = I_\infty\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right).$$

A tekercs feszültsége pedig:

$$u_L(t) = L\frac{di}{dt} = U e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Kikapcsoláskor tegyük fel, hogy a tekercs árama továbbra is zárt hurokban folyhat egy R ellenálláson át (például a szabadonfutó dióda ágában, ahol $R = R_1$). Ekkor $U = 0$, a kezdeti áram I_0, és az egyenlet:

$$L\frac{di}{dt} + iR = 0,$$

amelynek megoldása:

$$i(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

A tekercs feszültsége kikapcsoláskor:

$$u_L(t) = -I_0 R e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

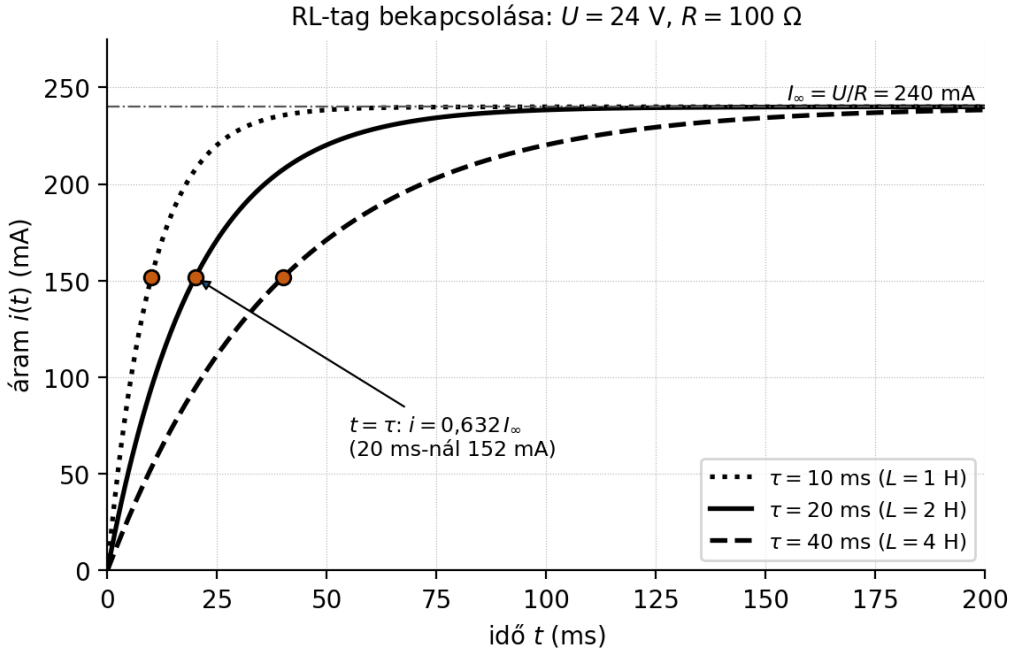
A kikapcsolás pillanatában $u_L(0) = -I_0 R$. Ha viszont nincs zárt út (a kapcsoló szakít, nincs szabadonfutó dióda), a hurok ellenállása gyakorlatilag végtelen, ezért $u_L = -I_0 R$ is rendkívül nagy lenne. A gyakorlatban az érintkezők között ív alakul ki, amely korlátozza a feszültséget, de az ív hőt termel és károsítja a kapcsolót.

Szabály. Az időállandó τ azt az időt adja meg, amely alatt a tranzitens folyamat a kezdeti értékhez képest $1 - e^{-1} \approx 0{,}632$ arányban lejátszódik. Kb. 5τ idő után a folyamat a végérték több mint 99%-át eléri, ezért a gyakorlatban 5τ után állandósultnak tekinthető.

Szabadonfutó dióda. Az RL-tag kikapcsolási feszültséglökését egy, a tekercs kapcsaival párhuzamosan, záróirányban bekötött diódával korlátozhatjuk. Kikapcsoláskor a tekercs feszültsége polaritást vált, a dióda nyitóirányba kerül, és az áram a diódán keresztül záródik. A tekercs feszültsége ekkor kb. a dióda nyitófeszültsége (0,7 V), tehát a tranzisztor vagy kapcsoló nem kap nagy feszültséglökést. Ára van: a lecsengő áram az L1–R1–D1 hurokban $\tau = L/R_1$ időállandóval (itt R_1 a tekercs saját ellenállása) folyik tovább, ezért a relé vagy mágneskapcsoló **később enged el**. Ha gyors elengedés kell, a diódával sorba Zener-diódát (vagy a tekercsre varisztort, RC-tagot) kötnek: a feszültséglökés a Zener-feszültségre korlátozódik, és az áram gyorsabban cseng le.

5.4.5. Interaktív ábra

Az interaktív ábrán az RL-tag bekapcsolási áramgörbéjét vizsgálhatjuk. Az U, R és L értékét csúszkákkal állíthatjuk, a görbe pedig mutatja az $i(t)$ áramot és az $u_L(t)$ tekercsfeszültséget. Kipróbálhatjuk, hogy nagyobb L vagy kisebb R növeli az időállandót, tehát lassabbá teszi az áram felívelését.



5.8. ábra. RL-tag bekapcsolási áramgörbéi

A statikus tartalék ábrán három különböző időállandó ($\tau = 10\,\text{ms}$, $20\,\text{ms}$ és $40\,\text{ms}$) mellett látható a bekapcsolási áram felívelése. Az ábra megerősíti: minél nagyobb az időállandó, annál lassabban éri el az áram az állandósult értéket.

5.4.6. Kidolgozott számítási példák

Példa 1 – RL-tag bekapcsolása. Adott: $U = 24\,\text{V}$, $R = 100\,\Omega$, $L = 2\,\text{H}$. Számítsuk ki az időállandót, az állandósult áramot, és az áramot a kapcsolás utáni $t = 20\,\text{ms}$ időpontban.

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{2\,\text{H}}{100\,\Omega} = 0{,}02\,\text{s} = 20\,\text{ms}.$$

$$I_\infty = \frac{U}{R} = \frac{24\,\text{V}}{100\,\Omega} = 0{,}24\,\text{A}.$$

$$i(t) = I_\infty \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = 0{,}24\,\text{A} \cdot \left(1 - e^{-\frac{20\,\text{ms}}{20\,\text{ms}}}\right) = 0{,}24\,\text{A} \cdot (1 - e^{-1}).$$

Mivel $e^{-1} \approx 0{,}368$, így $i(20\,\text{ms}) \approx 0{,}24\,\text{A} \cdot 0{,}632 \approx 0{,}152\,\text{A}$. A tekercs feszültsége ekkor $u_L = U - iR = 24\,\text{V} - 15{,}2\,\text{V} = 8{,}8\,\text{V}$. Ellenőrzés: a hurokfeszültségek összege visszaadja a tápegység feszültségét.

Példa 2 – Kikapcsolási feszültséglökés. Az előző áramkörben az áram állandósult: $I_0 = 0{,}24\,\text{A}$. A kapcsoló nincs védve szabadonfutó diódával, és az érintkezők $10\,\mu\text{s}$ alatt szakítják meg az áramot. Becsüljük meg a tekercsen indukálódó feszültséget!

$$u_L \approx L\frac{\Delta i}{\Delta t} = 2\,\text{H} \cdot \frac{0{,}24\,\text{A} - 0}{10 \cdot 10^{-6}\,\text{s}} = 48\,000\,\text{V}.$$

Ez a feszültség természetesen nem éri el ezt az értéket a valóságban, mert a kapcsoló érintkezői között ív alakul ki, és az ív lezárja az áramkört. A számítás jól mutatja, hogy az induktív terhelés megszakítása miért okoz ívet és miért veszélyes a kapcsoló érintkezőire, valamint a vezérlő félvezetőre.

Példa 3 – Kölcsönös indukció. Két tekercs induktivitása $L_1 = 0{,}1\,\text{H}$ és $L_2 = 0{,}4\,\text{H}$, csatolási tényezőjük $k = 0{,}9$. Mekkora a kölcsönös induktivitás?

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} = 0{,}9 \cdot \sqrt{0{,}1 \cdot 0{,}4} = 0{,}9 \cdot \sqrt{0{,}04} = 0{,}9 \cdot 0{,}2 = 0{,}18\,\text{H}.$$

Példa 4 – Induktivitás energiája. Mekkora energia tárolódik az $L = 2\,\text{H}$ tekercsben, ha az árama $0{,}24\,\text{A}$?

$$W = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2} \cdot 2\,\text{H} \cdot (0{,}24\,\text{A})^2 = 0{,}0576\,\text{J}.$$

Ez az energia hajtja a szikrát a kapcsoló nyitásakor; ha nem adunk neki folyamatos levezetési utat, az ívben vagy a vezérlőelemben disszipálódik.

5.4.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy PLC tranzisztoros kimenete egy 24 V-os relé tekercsét kapcsolja. A relé tekercsének adatai: $L \approx 0{,}5\,\mathrm{H}$, $R \approx 100\,\Omega$. A szerelő azt tapasztalja, hogy a PLC kimenete egy idő után zárlatos lesz, a relé vezérlése megbízhatatlan. A kapcsolási rajzot megnézve kiderül, hogy a relé tekercsével párhuzamosan nincs szabadonfutó dióda. Kikapcsoláskor a tekercsben tárolt energia nagy feszültséglökést hoz létre, amely a tranzisztoros kimenetet túlfeszültséggel terheli. A megoldás: a tekercs kapcsaival párhuzamosan, záróirányban egy 1N4007 típusú dióda beépítése (a konkrét típust a gyártói adatlap és a kapcsolási gyakorlat alapján kell ellenőrizni). A dióda a kikapcsolási feszültséget kb. 0,7 V-ra korlátozza, így a tranzisztor élettartama jelentősen nő.

Hasonló elven működik a belső égésű motorok gyújtótekercse is: a megszakító megszakítja a primer tekercs áramát, a hirtelen fluxusösszeomlás pedig a szekunder tekercsben igen nagy feszültséget indukál, amely a gyújtógyertyán szikrát hoz létre.

5.4.8. Tipikus hibák

1. **Azt hinni, hogy a tekercs kikapcsoláskor „energiát termel”.** A tekercs nem termel energiát; a korábban tárolt mágneses energiát adja le. Ha nincs levezetési út, az energia ívben vagy a félvezetőben disszipálódik.
2. **A szabadonfutó dióda fordított bekötése.** Ha a diódát nyitóirányban kötjük be a tápfeszültséghez képest, akkor az már bekapcsolt állapotban is vezet, így gyakorlatilag rövidre zárja a tekercset és tönkreteszi a kapcsolóelemet. A dióda anódja a tekercs negatívabb, katódja a pozitívabb pontjára kerül.
3. **Az időállandó figyelmen kívül hagyása.** Relé vagy mágneskapcsoló vezérlésénél az áram csak 5τ után éri el az állandósult értéket. Ha a vezérlés túl rövid impulzust ad, a relé nem húz meg, vagy bizonytalanul működik.
4. **Az indukált feszültség irányának felcserélése.** Lenz törvénye szerint az indukált feszültség az őt létrehozó változást gátolja. Ha az irányt eltévesztjük, a szabadonfutó dióda polaritását is rosszul határozzuk meg.

5.4.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: a tekercs kikapcsolásakor az indukált feszültség mindig kicsi, ha az áram kicsi.
2. Számítsd ki az időállandót, ha $L = 0{,}5\,\mathrm{H}$ és $R = 50\,\Omega$.
3. Miért záróirányú a szabadonfutó dióda az RL-körben, amikor a kapcsoló zárt?
4. Mekkora energiát tárol egy $L = 2\,\mathrm{H}$ tekercs, ha az árama 0,5 A?
5. Mi a Faraday-törvény negatív előjelének fizikai jelentése?

5.4.10. Feladatok

1. feladat (A). Egy 200 menetes tekercs fluxusa 5 ms alatt 0,8 mWb-ről 0,3 mWb-re csökken. Mekkora az indukált feszültség?

2. feladat (A). Mekkora feszültség indukálódik egy $L = 0{,}4\,\mathrm{H}$ tekercsben, ha az árama 2 A-ről 1,2 A-re csökken 0,1 s alatt?

3. feladat (B). Adott: $U = 12\,\mathrm{V}$, $R = 47\,\Omega$, $L = 100\,\mathrm{mH}$. Számítsd ki az időállandót, az állandósult áramot, és az áramot $t = \tau$ időpontban!

4. feladat (B). Egy $U = 24\,\mathrm{V}$, $R = 100\,\Omega$, $L = 2\,\mathrm{H}$ RL-körben az áram állandósult, majd a kapcsolót kinyitjuk. Nincs szabadonfutó dióda. Becsüld meg a tekercs kikapcsolási feszültségét, ha a kapcsoló 20 µs alatt szakítja meg az áramot!

5. feladat (C). Két tekercs induktivitása $L_1 = 0{,}2\,\mathrm{H}$ és $L_2 = 0{,}8\,\mathrm{H}$, csatolási tényezőjük $k = 0{,}95$. Mekkora a kölcsönös induktivitás? Ha az első tekercs árama 0,1 s alatt 3 A-ről 0 A-re csökken, mekkora feszültség indukálódik a második tekercsben?

6. feladat (D). Egy relé tekercsét ($L = 0{,}5\,\mathrm{H}$, $R = 100\,\Omega$) 12 V-os tranzisztoros fokozat kapcsolja, szabadonfutó dióda nélkül. Kikapcsoláskor a tranzisztor kollektorán 80 V-os feszültségtüske jelenik meg. Magyarázd el a jelenséget, és javasolj megoldást! Miért nem éri el a feszültséglökés a több százezer voltos elméleti értéket?

5.4.11. Megoldások

5.4.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Az indukált feszültség nem az áram nagyságától, hanem az áramváltozás sebességétől függ. Kis áram is okozhat nagy feszültséget, ha nagyon gyorsan szakad meg.
2. $\tau = L/R = 0{,}5/50 = 0{,}01\,\mathrm{s} = 10\,\mathrm{ms}$.
3. Zárt kapcsolónál a tekercs felső pontja pozitívabb, az alsó negatívabb; a dióda anódja alul, katódja felül van, így záróirányban van, és nem vezet.
4. $W = \tfrac{1}{2}LI^2 = 0{,}5 \cdot 2 \cdot (0{,}5)^2 = 0{,}25\,\mathrm{J}$.
5. A negatív előjel Lenz törvényét fejezi ki: az indukált feszültség olyan irányú áramot hoz létre, amely a fluxusváltozást gátolja.

5.4.11.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A).

Adott: $N = 200$, $\Delta\Phi = 0{,}3 - 0{,}8 = -0{,}5\,\mathrm{mWb} = -0{,}5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{Wb}$, $\Delta t = 5\,\mathrm{ms} = 0{,}005\,\mathrm{s}$.

$$e = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -200 \cdot \frac{-0{,}5 \cdot 10^{-3}}{0{,}005} = 20\,\mathrm{V}.$$

Ellenőrzés: a fluxus csökken, ezért az indukált feszültség pozitív előjelű a fenti iránykonvencióval; a nagyságrend egy kis transzformátor tekercsfeszültségének felel meg.

2. feladat (A).

Adott: $L = 0{,}4\,\mathrm{H}$, $\Delta i = 1{,}2 - 2 = -0{,}8\,\mathrm{A}$, $\Delta t = 0{,}1\,\mathrm{s}$.

$$e_L = -L\frac{\Delta i}{\Delta t} = -0{,}4 \cdot \frac{-0{,}8}{0{,}1} = 3{,}2\,\mathrm{V}.$$

3. feladat (B).

Adott: $U = 12\,\mathrm{V}$, $R = 47\,\Omega$, $L = 100\,\mathrm{mH} = 0{,}1\,\mathrm{H}$.

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0{,}1}{47} \approx 0{,}00213\,\mathrm{s} = 2{,}13\,\mathrm{ms}.$$

$$I_\infty = \frac{U}{R} = \frac{12}{47} \approx 0{,}255\,\text{A}.$$

$$i(\tau) = I_\infty(1 - e^{-1}) \approx 0{,}255 \cdot 0{,}632 \approx 0{,}161\,\text{A}.$$

Ellenőrzés: az áram az állandósult érték 63,2%-ánál jár egy időállandó után.

4. feladat (B).

Adott: $U = 24\,\text{V}$, $R = 100\,\Omega$, $L = 2\,\text{H}$. Az állandósult áram:

$$I_0 = \frac{U}{R} = \frac{24}{100} = 0{,}24\,\text{A}.$$

A kapcsoló 20 µs $= 2 \cdot 10^{-5}\,\text{s}$ alatt szakít. A becsült feszültség:

$$u_L \approx L\frac{\Delta i}{\Delta t} = 2 \cdot \frac{0{,}24}{2 \cdot 10^{-5}} = 24\,000\,\text{V}.$$

A valóságban az ív ezt korlátozza, de a kapcsoló érintkezői így is ívnek vannak kitéve.

5. feladat (C).

Adott: $L_1 = 0{,}2\,\text{H}$, $L_2 = 0{,}8\,\text{H}$, $k = 0{,}95$.

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} = 0{,}95 \cdot \sqrt{0{,}2 \cdot 0{,}8} = 0{,}95 \cdot \sqrt{0{,}16} = 0{,}95 \cdot 0{,}4 = 0{,}38\,\text{H}.$$

Az első tekercs áramváltozása: $\Delta i_1 = 0 - 3 = -3\,\text{A}$, $\Delta t = 0{,}1\,\text{s}$.

$$e_2 = -M\frac{\Delta i_1}{\Delta t} = -0{,}38 \cdot \frac{-3}{0{,}1} = 11{,}4\,\text{V}.$$

6. feladat (D).

Kikapcsoláskor a tekercsben tárolt energia nagy feszültséglökést hoz létre, mert az áram gyorsan csökken. Ha a tranzisztor nagyon gyorsan zár, az elméleti feszültség akár több százezer volt is lehetne, de a feszültség csak addig nő, amíg a tranzisztor kollektor–emitter átütési (letörési) feszültségét – itt a mért kb. 80 V-ot, amelyből 12 V a táp, kb. 68 V a tekercs feszültsége – el nem éri; ekkor a tranzisztor letör (lavinaletörés), és a szórt kapacitások is korlátozzák; a tárolt energia ilyenkor a tranzisztorban disszipálódik, ez teszi tönkre. Számítás: $I_0 = 12/100 = 0{,}12\,\text{A}$, $W = \frac{1}{2}LI_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}12^2 = 3{,}6\,\text{mJ}$; 300 kV-hoz kb. $\Delta t = LI_0/u = 0{,}5 \cdot 0{,}12/300\,000 \approx 0{,}2\,\mu\text{s}$ szakítási idő kellene. Mechanikus érintkezőnél ugyanezt az ív korlátozza. A 80 V-os kollektorfeszültségtüske is veszélyes a tranzisztorra. Megoldás: a relé tekercs kapcsaival párhuzamosan, záróirányban szabadonfutó diódát kell beépíteni. Ekkor a tekercs feszültsége kikapcsoláskor kb. 0,7 V-ra, a kollektorfeszültség kb. 12,7 V-ra korlátozódik, és a tranzisztor védett.

5.4.12. Rövid összefoglaló

A Faraday-törvény szerint a fluxusváltozás zárt hurokban feszültséget indukál: $e = -N\Delta\Phi/\Delta t$. A negatív előjel Lenz törvényét fejezi ki: az indukált hatás gátolja az őt létrehozó változást. A mozgási indukció generátorokban, a nyugalmi indukció transzformátorokban hasznosul. Az önindukció feszültsége $e_L = -L\Delta i/\Delta t$, az induktivitás energiája $W = \frac{1}{2}LI^2$. Két tekercs kölcsönös induktivitása $M = k\sqrt{L_1 L_2}$, ez az alapja a transzformátorok és a forgó gépek működésének. Az RL-tag időállandója $\tau = L/R$; bekapcsoláskor az áram $i(t) = I_\infty(1 - e^{-t/\tau})$, kikapcsoláskor $i(t) = I_0 e^{-t/\tau}$ szerint változik. Kikapcsoláskor a tekercs nagy feszültséglökést okozhat, amit záróirányban bekötött szabadonfutó diódával korlátozunk. Ez a védelem nélkülözhetetlen tranzisztoros vezérléseknél és reléknél.

5.4.13. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet fizikai alapjai stabil elektrotechnikai ismeretek. Konkrét szabvány- vagy gyártói adatot nem idéztem; a szabadonfutó dióda kiválasztásánál mindig az adott relé és kapcsolóelem gyártói adatlapját kell figyelembe venni.

6 Váltakozó áram

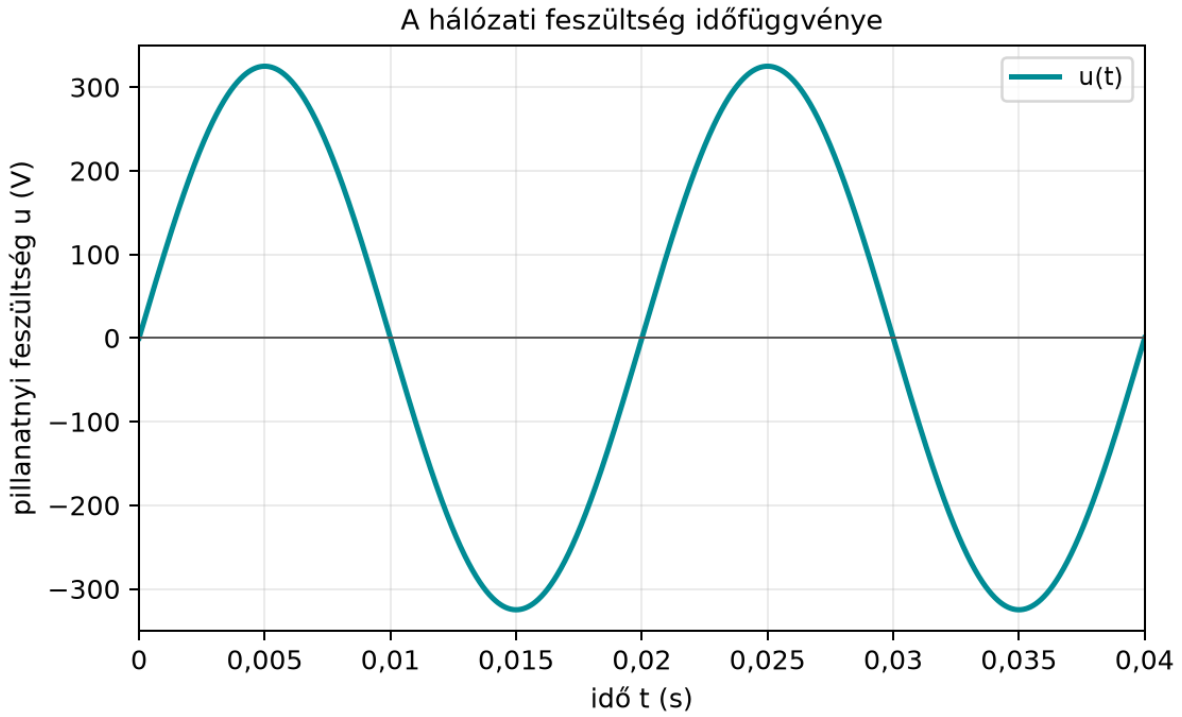
6.1. Szinuszos mennyiségek és fázorok

6.1.1. Motiváció

Amikor a villanyszerelő a multimétert a dugaszoló aljzatra csatlakoztatja, a kijelzőn – jó esetben – körülbelül 230 V-ot lát. Ez azonban nem a hálózati feszültség legnagyobb pillanatnyi értéke: ha ugyanezt a feszültséget megfelelő mérőeszközzel oszcilloszkópon vizsgáljuk, a képernyőn időben változó, szinuszos görbe rajzolódik ki, amelynek csúcsa körülbelül 325 V. (Hálózati feszültséget csak differenciálszondával vagy szigetelt bemenetű, megfelelő CAT-besorolású műszerrel szabad oszcilloszkópon vizsgálni; a földelt szonda földcsipeszét soha ne kösd fázisra, és a műszer védőföldelését soha ne bontsd – lásd Oszcilloszkóp és jelalakok.) A 230 V az effektív érték, amely a hálózati feszültség egyik legfontosabb jellemzője. Ez az alfejezet megmutatja, hogyan kapcsolódik az effektív érték a csúcsértékhez, és hogyan tudunk szinuszos mennyiségeket fázorokként összeadni – ez a későbbi váltakozó áramú fejezetek alapja.

6.1.2. Szemléletes kép: forgó tekercs és az időfüggvény

Az alábbi ábra a hálózati feszültség időbeli alakját mutatja. A vízszintes tengelyen az idő (másodperc), a függőlegesen a pillanatnyi feszültség (volt). A görbe szinuszosan váltakozik: pozitív és negatív csúcsa egyaránt körülbelül 325 V, és a minta másodpercenként 50-szer ismétlődik.



6.1. ábra. A hálózati feszültség időfüggvénye - u(t) = 325 · sin(2π · 50 · t) V, azaz 230 V effektív, 50 Hz-es hálózati feszültség. A csúcsérték 325 V, a periódusidő 20 ms.

Ábraértelmezés. A görbe a $u(t) = 325\sin(2\pi \cdot 50 \cdot t)$ feszültséget ábrázolja. A szinuszfüggvény értéke –1 és +1 között változik, ezért a pillanatérték –325 V és +325 V között ingadozik. A periódusidő $T = 20$ ms, mert 50 teljes periódus fér el egy másodpercben.

A váltakozó feszültség előállítását legegyszerűbben egy mágneses térben egyenletesen forgó tekercs szemlélteti. Amikor a tekercs síkja párhuzamos a mágneses tér erővonalaival, az oldalvezetők merőlegesen metszik az erővonalakat, a fluxus változása a legnagyobb, ezért ekkor jelenik meg a feszültség csúcsértéke. Amikor a tekercs síkja merőleges az erővonalakra, a fluxus maximális, de pillanatnyilag nem változik: a feszültség nulla (semleges helyzet). A forgás során a tekercsben indukált feszültség a pillanatnyi szög szinuszával arányos. Ha a tekercs ω szögsebességgel forog, a szög időben egyenletesen nő: $\alpha = \omega t$. A villamos szög a mechanikai szög p-szerese, ahol p a póluspárok száma – ezzel a gépeknél találkozunk majd. A hálózati 50 Hz-es váltakozó áramot a hazai erőművek forgógépei állítják elő; a frekvencia az erőművi gépek fordulatszámának és pólusszámának kapcsolatából adódik.

6.1.3. Definíciók és alaptörvények

Definíció. *Szinuszos váltakozó feszültség* az, amelynek pillanatnyi értéke a

$$u(t) = \hat{U}\sin(\omega t + \varphi_u)$$

időfüggvénnyel írható le.

Ebben a kifejezésben: - $u(t)$ a pillanatnyi feszültség (volt, V); - $\hat{U}$ a csúcsérték vagy amplitúdó (V), a legnagyobb pillanatnyi érték; - ω a körfrekvencia (1/s vagy rad/s); - t az idő (s); - φ_u a kezdőfázis (rad vagy fok), amely a szinusz argumentumának $t = 0$ pillanatbeli értékét adja.

Definíció. *Periódusidő* (T) az a legrövidebb idő, amely után a jel pontosan ismétlődik: $u(t+T) = u(t)$. Mértékegysége másodperc (s).

Definíció. *Frekvencia* (f) az egy másodperc alatt lejátszódó teljes periódusok száma:

$$f = \frac{1}{T}.$$

Mértékegysége hertz (Hz), ahol $1\,\mathrm{Hz} = 1/\mathrm{s}$.

Definíció. *Körfrekvencia* (ω) a fázisszög másodpercenkénti megváltozása:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}.$$

Mértékegysége rad/s, de gyakran 1/s-ként is használjuk, mert a radián dimenziómentes szögmérték.

Definíció. *Csúcsérték* (amplitúdó, $\hat{U}$ vagy $\hat{I}$) a váltakozó mennyiség legnagyobb pillanatnyi értéke. Szinuszos jelnél a pozitív és a negatív csúcs abszolút értéke megegyezik.

Definíció. *Effektív érték* (U, I) azzal az egyenárammal (feszültséggel) egyenlő, amely ugyanazon az ellenálláson, ugyanannyi idő alatt ugyanakkora hőmennyiséget fejleszt, mint a váltakozó mennyiség. Szinuszos váltakozó mennyiségre:

$$U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}} \approx 0{,}707\,\hat{U}, \qquad I = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}} \approx 0{,}707\,\hat{I}.$$

Definíció. *Abszolút középérték* (egyenirányított középérték, U_{av}) a jel abszolút értékének átlaga egy teljes periódusra. Szinuszos jelre:

$$U_{av} = \frac{2}{\pi}\hat{U} \approx 0{,}637\,\hat{U}.$$

Az egyszerű matematikai középérték egy teljes periódusra nulla, mert a szinusz pozitív és negatív félhullámai kioltják egymást. A váltakozó áramú méréseknél és a teljesítményszámításoknál az effektív érték használatos.

6.1.4. Miért éppen $\hat{U}/\sqrt{2}$ az effektív érték?

Az effektív érték fogalmát a hőhatásból vezetjük le. Egy R ellenálláson az egyenáramú teljesítmény $P_{DC} = I^2R$. A váltakozó áram pillanatnyi teljesítménye $p(t) = i^2(t)R$. Az átlagos teljesítmény:

$$\overline{p} = \frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)R\,dt = R\left(\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\,dt\right).$$

A zárójelben lévő mennyiség az áram négyzetének átlaga. Az effektív áram ennek négyzetgyöke:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\,dt}.$$

Ezért nevezik az effektív értéket RMS-értéknek is (root mean square, négyzetes közép). Ha az áram szinuszos:

$$i(t) = \hat{I}\sin(\omega t),$$

akkor a $\sin^2(\omega t)$ függvény átlaga egy teljes periódusra $\frac{1}{2}$. Ebből:

$$I^2 = \frac{1}{T}\int_0^T \hat{I}^2 \sin^2(\omega t)\,dt = \hat{I}^2 \cdot \frac{1}{2},$$

tehát

$$I = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}.$$

Ugyanez a feszültségre: $U = \hat{U}/\sqrt{2}$.

Továbbvitt eredmény. Az effektív érték és a fázorábrázolás fogalmát minden további váltakozó áramú fejezet használja, elsősorban a(z) Ellenállás, induktivitás és kapacitás váltakozó áramú körben alfejezettől kezdve az impedancia-, teljesítmény- és hibavédelmi számításokig.

6.1.5. A fázis és a fáziseltérés

Definíció. *Fázis* (fázisszög) a szinuszfüggvény argumentuma: $\alpha(t) = \omega t + \varphi$. A φ kezdőfázis a $t = 0$ pillanathoz tartozó szög, amely a fázor kezdeti helyzetét jellemzi.

Ha két azonos frekvenciájú szinuszos mennyiséget vizsgálunk, például egy feszültséget és egy áramot:

$$u(t) = \hat{U}\sin(\omega t + \varphi_u), \qquad i(t) = \hat{I}\sin(\omega t + \varphi_i),$$

akkor a fáziseltérésük:

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i.$$

Ha $\varphi > 0$, a feszültség megelőzi az áramot (induktív jellegű kör), ha $\varphi < 0$, a feszültség késik az áramhoz képest (kapacitív jellegű). A φ szöget fokban vagy radiánban adjuk meg; a gyakorlati számításoknál gyakran fokban dolgozunk, mert a mérési jegyzőkönyvek és a műszerek is fokban jelzik.

6.1.6. Fázorábrázolás

Definíció. *Fázor* egy forgó vektor, amelynek hossza a szinuszos mennyiség csúcsértékével (vagy effektív értékével) arányos, és az x-tengelyhez képest bezárt szöge a fázisszög. A fázor ω szögsebességgel forog az óramutató járásával ellentétesen. A pillanatnyi érték a fázor y-tengelyre vett vetületéből adódik.

A fázorábrákon a vektorokat általában a $t = 0$ pillanatban rajzoljuk le. A vektor hossza a csúcsérték vagy az effektív érték; a könyvben – a 6.1 bevezető példáit kivéve – a fázor hossza az effektív érték, mert a mérőműszerek és a teljesítményképletek is effektív értékkel dolgoznak; ha csúcsértékű fázort rajzolunk, azt jelöljük ($\hat{U}$). A fázorok ábrázolásánál mindig odaírjuk, melyik skálát használjuk.

A fázorok legfontosabb tulajdonsága, hogy az azonos frekvenciájú szinuszos mennyiségek összege a fázorok vektori összegeként számítható. Két fázor összegzéséhez a vektorokat komponensekre bontjuk, vagy a koszinusztételt alkalmazzuk:

Ha a két feszültség csúcsértéke $\hat{U}_1$ és $\hat{U}_2$, fázisszögük φ_1 és φ_2, akkor az eredő fázor komponensei:

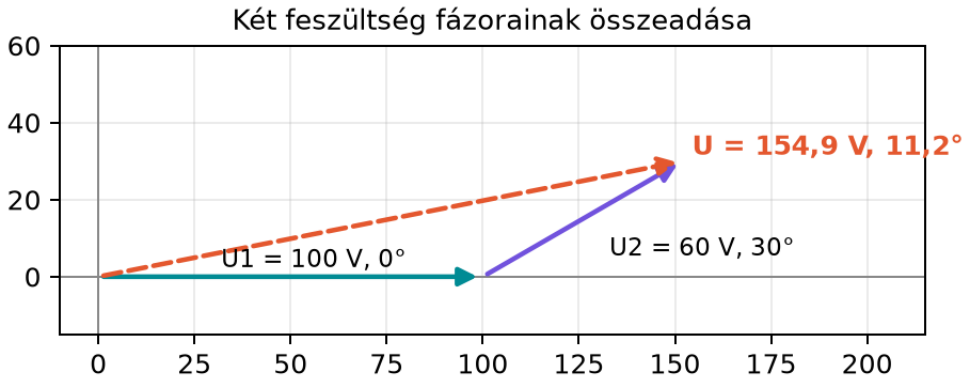
$$\hat{U}_x = \hat{U}_1 \cos\varphi_1 + \hat{U}_2 \cos\varphi_2,$$

$$\hat{U}_y = \hat{U}_1 \sin\varphi_1 + \hat{U}_2 \sin\varphi_2.$$

Az eredő amplitúdó és fázisszög:

$$\hat{U} = \sqrt{\hat{U}_x^2 + \hat{U}_y^2}, \qquad \varphi = \arctan\frac{\hat{U}_y}{\hat{U}_x}.$$

Ez az összefüggés a vektorgeometriából következik, és a fázorokkal való munkának az alapja.



6.2. ábra. Két feszültség fázorainak összeadása - Az U1 fázor hossza 100 V (0°), az U2 fázor hossza 60 V (30°). Az eredő U fázor (szaggatott) hossza 154,9 V, szöge 11,2°. A rajz a fázorok arányait és a vektori összeadást szemlélteti.

Ábraértelmezés. Az első fázor (U1) vízszintesen mutat, hossza 100 egység. A második fázor (U2) az U1 végpontjából indul, és 30°-kal felfelé hajlik, hossza 60 egység. Az eredő fázor (U, szaggatott) az origóból a második fázor végpontjába mutat. Az ábra jól mutatja, hogy a két fázor összege nem egyszerűen a hosszak összege: $100 + 60 = 160$ lenne, de a vektori összeg csak körülbelül 155, mert a két vektor nem pontosan egy irányba mutat.

6.1.7. Kidolgozott példa: hálózati feszültség átszámítása

Példa 1. (alap, számítás) A magyarországi kisfeszültségű hálózat fázisfeszültsége 230 V effektív, frekvenciája 50 Hz. Számítsd ki a csúcsértéket, a periódusidőt, a körfrekvenciát és az abszolút középértéket.

Megoldás.

- Adott: $U = 230$ V, $f = 50$ Hz.
- Keresett: $\hat{U}$, T, ω, U_{av}.
- Csúcsérték: $\hat{U} = \sqrt{2}\,U = 1{,}414 \cdot 230 \approx 325$ V.
- Periódusidő: $T = 1/f = 1/50 = 0{,}02$ s $= 20$ ms.
- Körfrekvencia: $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 \approx 314$ 1/s.
- Abszolút középérték: $U_{av} = (2/\pi)\hat{U} = 0{,}637 \cdot 325 \approx 207$ V.

Ellenőrzés. A csúcsérték nagyobb az effektívnél, ami szinusznál mindig teljesül: $\hat{U}/U = \sqrt{2} \approx 1{,}414$. A periódusidő 20 ms, ami a gyakorlatban ismert: a 230 V-os hálózati feszültség periódusideje 20 ms, így 50 teljes periódus van egy másodpercben.

Példa 2. (fázorösszeadás, kidolgozott munkapélda) Két szinuszos feszültségjel:

$$u_1(t) = 100\sin(\omega t)\ \text{V}, \qquad u_2(t) = 60\sin(\omega t + 30^\circ)\ \text{V}.$$

Határozd meg az összegük időfüggvényét fázorokkal.

Megoldás.

1. A fázorok hossza: $\hat{U}_1 = 100$ V, $\hat{U}_2 = 60$ V; szögük: $\varphi_1 = 0^\circ$, $\varphi_2 = 30^\circ$.
2. Az első fázor komponensei: $U_{1x} = 100\cos 0^\circ = 100$ V, $U_{1y} = 100\sin 0^\circ = 0$ V.
3. A második fázor komponensei: $U_{2x} = 60\cos 30^\circ = 60 \cdot 0{,}866 = 51{,}96$ V, $U_{2y} = 60\sin 30^\circ = 60 \cdot 0{,}5 = 30$ V.
4. Az eredő komponensek: $U_x = 100 + 51{,}96 = 151{,}96$ V, $U_y = 0 + 30 = 30$ V.
5. Az eredő amplitúdó: $\hat{U} = \sqrt{151{,}96^2 + 30^2} = \sqrt{23091{,}84 + 900} \approx 154{,}9$ V.
6. A fázisszög: $\varphi = \arctan(30/151{,}96) \approx \arctan(0{,}197) \approx 11{,}2^\circ$.
7. Az összeg időfüggvénye:

$$u(t) \approx 154{,}9\sin(\omega t + 11{,}2^\circ)\ \text{V}.$$

Ellenőrzés koszinusztétellel. Két vektor összegének hossza:

$$\hat{U} = \sqrt{\hat{U}_1^2 + \hat{U}_2^2 + 2\hat{U}_1\hat{U}_2\cos\Delta\varphi} = \sqrt{100^2 + 60^2 + 2 \cdot 100 \cdot 60 \cdot \cos 30^\circ}.$$

A $\cos 30^\circ = 0{,}866$, így a gyök alatti kifejezés:

$$10000 + 3600 + 12000 \cdot 0{,}866 = 13600 + 10392 = 23992,$$

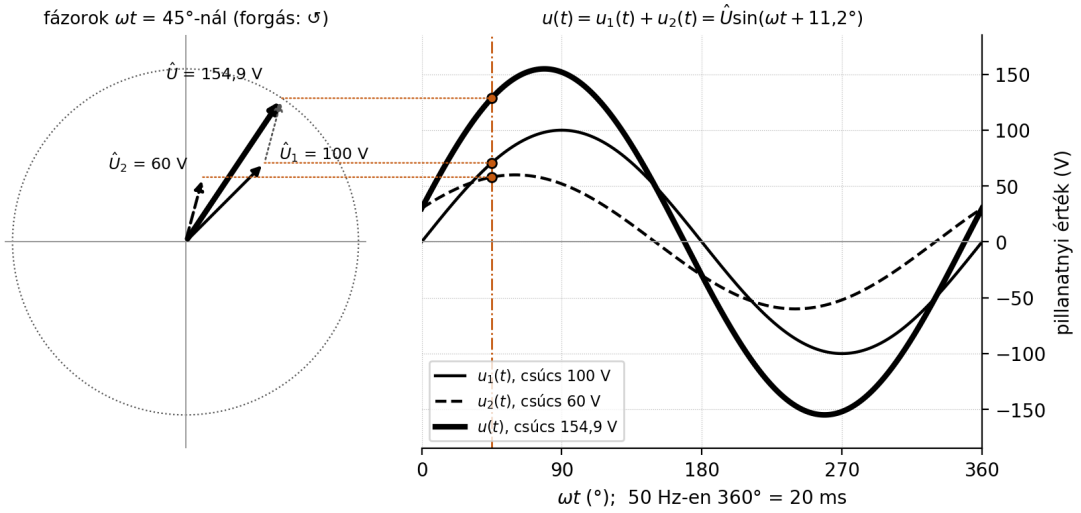
amelynek négyzetgyöke 154,9 V – egyezik a komponens-módszerrel kapott értékkel.

6.1.8. A hálózati feszültség jellemzői és a mérés

Szabály. A magyarországi kisfeszültségű hálózat fázisfeszültségét $U_0 = 230$ V-nak, vonali feszültségét $U_v = 400$ V-nak nevezzük. Az értékek mindig effektív értéket jelentenek, ha mást nem mondunk. A csúcsérték csak akkor szerepel, ha kifejezetten jelöljük.

A multiméterek feszültségmérésnél váltakozó feszültségállásban általában a szinuszos jel effektív értékét mutatják. A valódi effektív érték mérő műszerek (true RMS) a nem szinuszos jeleknél is helyes értéket adnak; az egyszerűbb műszerek csak szinuszos jelre kalibráltak. Az oszcilloszkópon a csúcsértéket olvassuk le.

Interaktív ábra. Az alábbi fázorösszeadó a forgó fázorok és a szinuszos időfüggvények kapcsolatát mutatja a 2. példa adataival ($\hat{U}_1 = 100$ V, 0°; $\hat{U}_2 = 60$ V, 30° → $\hat{U} = 154{,}9$ V, 11,2°). A bal oldalon a fázorok a választott ωt pillanatban állnak, a jobb oldalon a három görbe látszik; a vízszintes vetítővonalak a fázorcsúcsok függőleges vetületét (a pillanatértéket) viszik át a görbékre. A HTML-kiadásban a csúcsértékek és a fázisszögek csúszkával állíthatók, a fázorok lejátszással foroghatnak. Próbáld ki, mi történik, ha a két jel fázisban van ($\varphi_2 = \varphi_1$): ekkor az összeg csúcsa a két amplitúdó összege. Ha 90°-os fáziseltérést állítasz be, az összeg csúcsa a Pitagorasz-tétellel számítható; 180°-nál a két csúcsérték különbsége marad.



6.3. ábra. Két forgó fázor és összegük, mellettük a szinuszos időfüggvények ($\omega t = 45°$ pillanat)

6.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy lakásfelújítás során a villanyszerelő a konnektor feszültségét méri. A multiméter 228 V-ot mutat, ami a hálózati feszültség effektív értéke a tűréshatáron belül. Azonban a hűtőszekrény elektronikájának tápegysége a bemeneti feszültséget egyenirányítja, és a szűrőkondenzátor a csúcsértékre, körülbelül $\sqrt{2} \cdot 228 \approx 322$ V-ra töltődik fel. Ha a szerelő ezt nem tudja, tévesen alulméretezheti a tápegység szűrőkondenzátorát, ami idő előtti meghibásodáshoz vezet. Ugyanezért a szigetelésvizsgálatnál és a túlfeszültség-védelem kiválasztásánál is a csúcsértéket kell figyelembe venni.

Egy másik gyakori eset: a munkatárs megkérdezi, miért nem 230 V-ot ír az oszcilloszkóp (a hálózati feszültségű oszcilloszkópos mérés biztonsági feltételeit lásd Oszcilloszkóp és jelalakok). A belépő tanuló számára meglepő lehet, hogy a szinusz csúcsa 325 V, de a hálózati mérésnél mégis 230 V-ot mondunk. A válasz az effektív érték: a villamos energia számításához az egyenáramú

hőhatással egyenértékű 230 V a mérvadó, ezért a hálózati berendezések névleges feszültsége ezt jelenti.

6.1.10. Tipikus hibák

Hiba 1: Csúcsérték és effektív érték összekeverése. Ha valaki a 230 V-ot csúcsértéknek gondolja, akkor a tényleges csúcsértéket alulbecsüli. Ez szigetelésméretezésnél, kondenzátorok kiválasztásánál és a hibavédelmi (régi szóval érintésvédelmi) vizsgálatoknál veszélyes lehet.

Hiba 2: Skalárként összeadni a fáziseltéréses szinuszokat. Két fáziseltéréses feszültség csúcsértékét egyszerűen összeadni hibás eredményt ad. A helyes módszer a fázorok vektori összege. Például a fenti példában $100 + 60 = 160$ V, de a valóságos eredő csúcsérték csak 154,9 V.

Hiba 3: A körfrekvencia és a frekvencia felcserélése. A $\omega = 2\pi f$ átszámítás elhagyása gyakori. Ha valaki $\omega = 314$ rad/s-ot 314 Hz-nek gondolja, a periódusidőt tévesen számolja. A helyes periódusidő $T = 1/f = 1/50 = 20$ ms, nem 1/314.

Hiba 4: Különböző frekvenciájú jelek fázorainak összeadása. Fázorokat csak azonos frekvenciájú mennyiségekre szabad összegezni. Különböző frekvenciáknál az összeg nem szinuszos, és a fázorábra nem alkalmazható (ezt a felharmonikusoknál tanuljuk részletesebben).

6.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A hálózati 230 V a feszültség csúcsértéke.
2. Számítsd át: 12 V effektív, 1 kHz-es szinuszos feszültség csúcsértéke mennyi?
3. Mennyi a periódusidő, ha a frekvencia 100 Hz?
4. Két fázor hossza 5 egység és 5 egység, a köztük lévő szög 90°. Mekkora az eredő fázor hossza?
5. Mi a hibás az alábbi kijelentésben? „A fázor hossza a pillanatnyi érték, amely időben nem változik.”
6. Rajzold le (fejben) két ellentétes fázisú fázor összegét: $u_1 = 10\sin(\omega t)$ és $u_2 = 10\sin(\omega t + 180^\circ)$. Mekkora az eredő amplitúdó?

Válaszok a Megoldások rész elején találhatók.

6.1.12. Feladatok

1. feladat (A) Egy szinuszos váltakozó feszültség effektív értéke 24 V, frekvenciája 50 Hz. Írd fel az időfüggvényét, feltéve, hogy kezdőfázisa nulla.

2. feladat (A) Számítsd ki a 16 A effektív, 50 Hz-es áram csúcsértékét, periódusidejét és körfrekvenciáját.

3. feladat (B) Két áram: $i_1 = 3\sin(\omega t)$ A és $i_2 = 4\sin(\omega t + 90^\circ)$ A. Add meg az eredő áram amplitúdóját és fázisszögét fázorokkal. Rajzold le a fázorábrát.

4. feladat (B) Egy feszültség időfüggvénye:

$$u(t) = 10\sin(100\pi t + 45^\circ)\ \text{V}.$$

Add meg a csúcsértéket, effektív értéket, frekvenciát, periódusidőt és kezdőfázist.

5. feladat (C) Két fázisfeszültség (a háromfázisú rendszer két fázisa):

$$u_1 = 325\sin(\omega t)\ \text{V}, \qquad u_2 = 325\sin(\omega t - 120^\circ)\ \text{V}$$

(230 V effektív fázisfeszültség, csúcsérték: $230\,\text{V}\cdot\sqrt{2}\approx 325\,\text{V}$).

Számítsd ki az eredő fázor amplitúdóját és fázisszögét. Mit mond ez a két fázis különbségéről?

6. feladat (D, gyakorlati hibakeresés) A műhelyben egy ellenálláson a multiméter 14,0 V effektív értéket mér, az oszcilloszkóp pedig a jel csúcsértékét 19,8 V-nak mutatja (törpefeszültségű, 50 V AC alatti jel). Ellenőrizd számolással, hogy a két műszer ugyanazt a szinuszos jelet méri-e. Ha nem, adj magyarázatot.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

6.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A 230 V effektív érték; a csúcsérték 325 V.
2. $\hat{U} = \sqrt{2}\cdot 12 \approx 17{,}0$ V.
3. $T = 1/f = 1/100 = 0{,}01$ s $= 10$ ms.
4. $\sqrt{5^2+5^2} = \sqrt{50} \approx 7{,}07$ egység.
5. A fázor hossza nem a pillanatnyi érték, hanem a csúcsérték (vagy effektív érték). A pillanatnyi érték a fázor y-vetülete, amely időben változik.
6. A két fázor ellentétes irányú, összegük nulla: $\hat{U} = 0$.

1. feladat (A) megoldása

Adott: $U = 24$ V, $f = 50$ Hz, $\varphi = 0$. Keresett az időfüggvény.

Először a csúcsérték: $\hat{U} = \sqrt{2}\,U = 1{,}414\cdot 24 \approx 33{,}9$ V. A körfrekvencia: $\omega = 2\pi f = 2\pi\cdot 50 = 314$ rad/s. Az időfüggvény:

$$u(t) = 33{,}9\sin(314\,t)\ \text{V}.$$

2. feladat (A) megoldása

Adott: $I = 16$ A, $f = 50$ Hz.

- Csúcsérték: $\hat{I} = \sqrt{2}\cdot 16 \approx 22{,}6$ A.
- Periódusidő: $T = 1/50 = 0{,}02$ s $= 20$ ms.
- Körfrekvencia: $\omega = 2\pi\cdot 50 \approx 314$ rad/s.

3. feladat (B) megoldása

Adott: $\hat{I}_1 = 3$ A, $\varphi_1 = 0^\circ$; $\hat{I}_2 = 4$ A, $\varphi_2 = 90^\circ$.

A fázorok: - $\vec{I}_1$ komponensei: $I_{1x} = 3\cos 0^\circ = 3$, $I_{1y} = 3\sin 0^\circ = 0$. - $\vec{I}_2$ komponensei: $I_{2x} = 4\cos 90^\circ = 4\cdot 0 = 0$, $I_{2y} = 4\sin 90^\circ = 4\cdot 1 = 4$. - Eredő: $I_x = 3$, $I_y = 4$. - Amplitúdó: $\hat{I} = \sqrt{3^2+4^2} = \sqrt{9+16} = 5$ A. - Szög: $\varphi = \arctan(4/3) \approx 53{,}1^\circ$.

Fázorábra: az első fázor vízszintesen jobbra mutat, a második felfelé; az eredő a 3-4-5 derékszögű háromszög átfogója. Az áram időfüggvénye: $i(t) = 5\sin(\omega t + 53{,}1^\circ)$ A.

4. feladat (B) megoldása

Az időfüggvény: $u(t) = 10\sin(100\pi t + 45^\circ)$ V.

- Csúcsérték: $\hat{U} = 10$ V.
- Effektív érték: $U = 10/\sqrt{2} \approx 7{,}07$ V.
- Körfrekvencia: $\omega = 100\pi \approx 314$ rad/s.
- Frekvencia: $f = \omega/(2\pi) = 100\pi/(2\pi) = 50$ Hz.
- Periódusidő: $T = 1/50 = 0{,}02$ s $= 20$ ms.
- Kezdőfázis: $\varphi_0 = 45^\circ$.

5. feladat (C) megoldása

Adott: $\hat{U}_1 = 325\,\text{V}$, $\varphi_1 = 0^\circ$; $\hat{U}_2 = 325\,\text{V}$, $\varphi_2 = -120^\circ$ (vagy 240°).

Komponensek: - $U_{1x} = 325\cos 0^\circ = 325\,\text{V}$, $U_{1y} = 0\,\text{V}$. - $U_{2x} = 325\cos(-120^\circ) = 325 \cdot (-0{,}5) = -162{,}5\,\text{V}$. - $U_{2y} = 325\sin(-120^\circ) = 325 \cdot (-0{,}866) \approx -281{,}5\,\text{V}$.

Eredő: - $U_x = 325 - 162{,}5 = 162{,}5\,\text{V}$. - $U_y = 0 - 281{,}5 = -281{,}5\,\text{V}$. - Amplitúdó: $\hat{U} = \sqrt{162{,}5^2 + 281{,}5^2} \approx \sqrt{26406 + 79242} = \sqrt{105648} \approx 325\,\text{V}$, effektív értéke $325/\sqrt{2} \approx 230\,\text{V}$. - Szög: $\varphi = \arctan(-281{,}5/162{,}5) \approx \arctan(-1{,}732) \approx -60^\circ$.

Értelmezés. A két fázis fáziseltérése 120°, ezért a fázorok nem oltják ki egymást teljesen. Az eredő amplitúdó ugyanakkora, mint az egyes fázisoké (325 V), a fázisszög -60°. Szimmetrikus rendszerben a három fázisfeszültség összege nulla, ezért $u_1 + u_2 = -u_3$: az összeg éppen a harmadik fázis ellentettje. A vonali feszültség a két fázisfeszültség **különbsége**: $|U_1 - U_2| = \sqrt{3} \cdot 325 \approx 563\,\text{V}$ csúcs, azaz $400\,\text{V}$ effektív; ezt az A háromfázisú rendszer és a hálózati jellemzők alfejezet tárgyalja.

6. feladat (D) megoldása

Adott: multiméter effektív értéke $U = 14{,}0\,\text{V}$, oszcilloszkóp csúcsértéke $\hat{U}_{osc} = 19{,}8\,\text{V}$.

Ellenőrzés: Ha a jel szinuszos, akkor a csúcsérték és az effektív érték kapcsolata $\hat{U} = \sqrt{2}\,U$. A multiméter effektív értékéből számított csúcsérték: $\hat{U} = 1{,}414 \cdot 14{,}0\,\text{V} \approx 19{,}8\,\text{V}$. Az oszcilloszkóp által mutatott 19,8 V csúcsérték megegyezik ezzel, tehát a két műszer ugyanazt a szinuszos jelet méri. Ha a jel nem lenne szinuszos (pl. erősen torz), akkor a két mérés eltérhetne, és valódi effektív (true RMS) műszerre lenne szükség.

6.1.14. Rövid összefoglaló

A szinuszos váltakozó feszültség $u(t) = \hat{U}\sin(\omega t + \varphi_u)$ alakú. A periódusidő T, a frekvencia $f = 1/T$, a körfrekvencia $\omega = 2\pi f$. A csúcsérték $\hat{U}$, az effektív érték $U = \hat{U}/\sqrt{2}$; a hálózati feszültség 230 V effektív, csúcsa 325 V, frekvenciája 50 Hz, periódusideje 20 ms. Az effektív érték az egyenáramú hőhatással egyenértékű, ezért a gyakorlati számításokban ezt használjuk. A fáziseltérés a feszültség és áram (vagy két feszültség) kezdőfázisainak különbsége. Az azonos frekvenciájú szinuszos mennyiségeket fázorokként vektori egységként összegezzük: a fázor hossza a csúcsérték vagy (a könyv további részében) az effektív érték, az x-tengellyel bezárt szöge a fázisszög. Az összeg komponensenként számolható: $U_x = \sum U_i \cos\varphi_i$, $U_y = \sum U_i \sin\varphi_i$, majd $\hat{U} = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$, $\varphi = \arctan(U_y/U_x)$. Ezt az effektív érték és fázor fogalmat minden későbbi váltakozó áramú fejezet, így a(z) Ellenállás, induktivitás és kapacitás váltakozó áramú körben is használja.

6.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

Ebben az alfejezetben a matematikai összefüggések (sin, cos, RMS, fázorösszeg) stabil tudás; konkrét szabványra, adatlapra nem hivatkoztunk. A hálózati feszültség értékét (230/400 V, 50 Hz) a könyv későbbi fejezetei is használják; az aktuális szabványkiadást az adott fejezetben ellenőrizni kell.

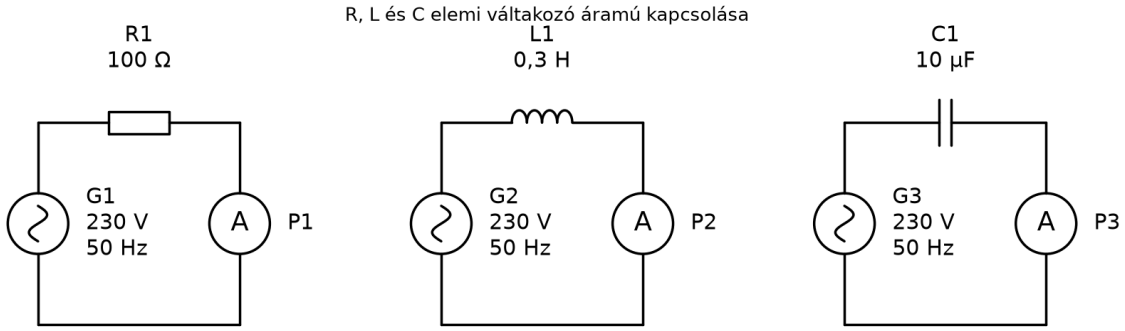
6.2. Ellenállás, induktivitás és kapacitás váltakozó áramú körben

6.2.1. Motiváció

A karbantartó műhelyben azt látod, hogy egy mágneskapcsoló tekercsét egyenfeszültségről mérve a kéziszered szerint `470 Ω` ellenállású. Az oktató egy próbapanelen, védett kivitelben sorba köt vele egy izzót, és `230 V` váltakozó feszültségre kapcsolja; te csak megfigyeled. (Ezt a kísérletet te a gyakorlati útmutató szerint `24 V`-on végezd el.) Az izzó alig világít, a mágneskapcsoló pedig gyengén zümmög. Az Ohm-törvény alapján ez meglepő: `470 Ω`-on `230 V` hatására közel `0,5 A` áramnak kellene folynia, ami bőven elég lenne az izzóhoz. Miért viselkedik mégis másként a tekercs? Az a helyzet, hogy a tekercs nemcsak ohmos ellenállással, hanem **váltakozó áramú ellenállással** is rendelkezik, ami `50 Hz`-en sokkal nagyobb lehet, mint az egyenáramú ellenállás. Ezt a jelenséget kell pontosan megismerned ahhoz, hogy a váltakozó áramú áramköröket – világítási vezérléseket, motorfűtéseket, tápellátásokat – megértsd és méretezni tudd.

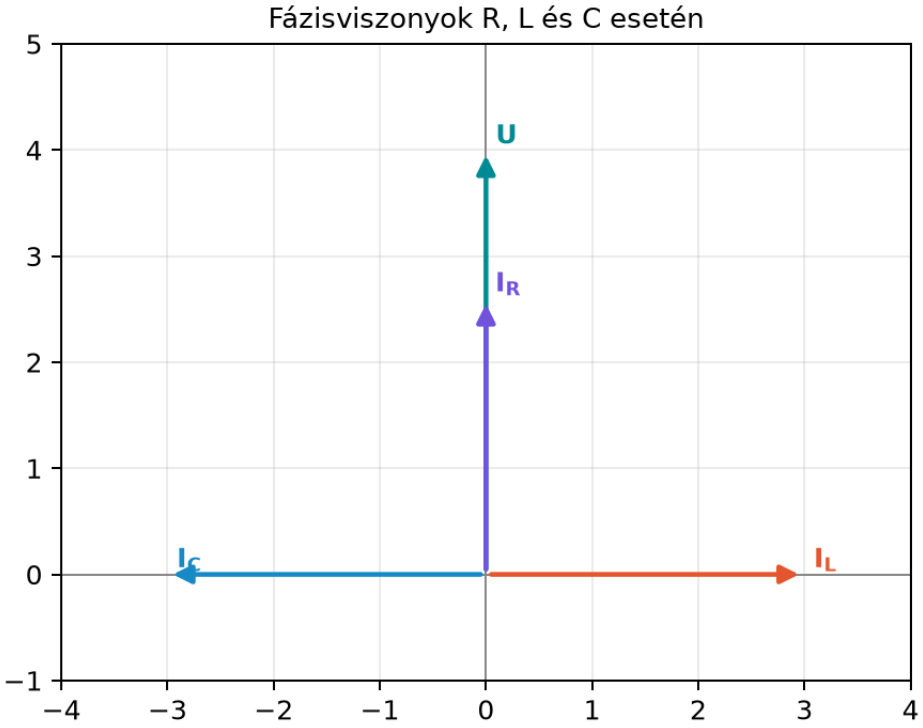
6.2.2. Szemléletes kép: három kapcsolás

Az első kapcsolásban egy ellenállás, a másodikban egy tekercs, a harmadikban egy kondenzátor kap feszültséget ugyanarról a váltakozó áramú forrásról. A fázisviszonyok összehasonlításához egy-egy kis körben megmérjük az áramot és a feszültséget.



6.4. ábra. R, L és C elemi váltakozó áramú kapcsolása - Három különálló, zárt kör azonos forrásfeszültséggel (230 V, 50 Hz): G1–R1–P1, G2–L1–P2, G3–C1–P3. Mindhárom elem ugyanakkora effektív feszültséget kap; a P1–P3 árammérő az áramot méri, amelynek nagysága és fázishelyzete az elem típusától függ.

A három áramkör abban tér el egymástól, hogy az áram **mikor** éri el a maximumát a feszültséghez képest. A jelenséget a legjobban fázorábrával lehet követni:



6.5. ábra. Fázisviszonyok R, L és C esetén - A feszültség (U) függőleges referencia-irányú; minden fázor az origóból indul. I_R fázisban van U-val, I_L 90°-ot késik (jobbra), I_C 90°-ot siet (balra); a fázorok az óramutatóval ellentétesen forognak. A hosszak csak a fázishelyzetet mutatják, nem méretarányosak.

Fent a feszültség vektora felfelé mutat. Az ellenállás árama **fázisban** van a feszültséggel, ezért ugyanabba az irányba mutat. Mivel a fázorok az óramutatóval ellentétesen forognak, a késő mennyiség az óramutató járásának irányában marad le. Az induktivitás árama 90°-ot **késik**, ezért a feszültséghez képest jobbra (vízszintesen) mutat. A kapacitás árama 90°-ot **siet**, ezért balra mutat. Mindhárom áramfázor az origóból indul, és az I_L, I_C merőleges U-ra.

6.2.3. Ellenállás váltakozó áramú körben: fázisban

Ha az ellenállásra szinuszos feszültséget kapcsolunk, az Ohm-törvény minden pillanatban érvényes:

$$u_R(t) = R \cdot i_R(t).$$

Definíció. Az ohmos (hatásos) ellenállás olyan fogyasztó, amelyben a feszültség és az áram pillanatértéke minden időpillanatban egyenesen arányos, ezért a két mennyiség **fázisban** van egymással, a fázisszög $\varphi = 0°$. Az ohmos ellenálláson a váltakozó áramú teljesítmény hővé alakul.

Összefüggés. Az effektív értékekre is érvényes:

$$I = \frac{U}{R}, \qquad U = I \cdot R, \qquad R = \frac{U}{I}.$$

A reaktancia itt nulla, a feszültség és az áram vektora azonos irányba mutat. A gyakorlatban a fűtőszál, az izzószál, a termosztát beépített ellenállása, valamint a vezeték saját ohmos ellenállása ilyen jellegű. A tekercs és a kondenzátor ideális esetben nem ohmos fogyasztó, ezért viselkedésük eltér ettől.

Számítás. Egy hősugárzó fűtőszála `26,0 Ω`-os. Hálózati feszültségen, `230 V`-on számítsuk ki az áramot.

Adott: $U = 230\,\mathrm{V}, R = 26{,}0\,\Omega$
Keresett: I
Képlet: $I = \frac{U}{R}$
Behelyettesítve: $I = \frac{230\,\mathrm{V}}{26{,}0\,\Omega} = 8{,}85\,\mathrm{A}$
Ellenőrzés: $P = U \cdot I = 230\,\mathrm{V} \cdot 8{,}85\,\mathrm{A} \approx 2{,}04\,\mathrm{kW}$, ami egy hősugárzó jellemző teljesítménye. ∎

6.2.4. Induktív reaktancia: $X_L = \omega L$

A tekercsben az áram folyásakor mágneses tér épül fel. Ha az áram változik, a mágneses fluxus is változik, és a tekercsben **önindukciós feszültség** ébred, amely a változás ellen hat (Lenz-törvény). Váltakozó áramnál az áram folyamatosan változik, ezért a tekercs folyamatosan „ellenáll” a változásnak. Ez az ellenállás nem hőt termel, hanem mágneses térben tárolt energiát cserél a hálózattal.

Definíció. Az **induktív reaktancia** (X_L) a tekercs váltakozó áramú, frekvenciafüggő ellenállása, amelynek egysége az ohm:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L.$$

Ahol L az induktivitás (henry, H), f a frekvencia (Hz), $\omega = 2\pi f$ a körfrekvencia (rad/s).

Összefüggés. Az effektív értékekre:

$$U = X_L \cdot I, \qquad I = \frac{U}{X_L}.$$

A fáziseltérés **induktív** jellegű: az áram **90°-ot késik** a feszültséghez képest ($\varphi = 90^\circ$). A fizikai ok az, hogy a tekercs árama csak akkor tud növekedni, ha a feszültség már megelőzte. Először megjelenik a feszültség, és csak utána épül fel az áram. A hétköznapi szerelői emlékeztető: **C I L**: **C**-nél az **I** (áram) **előre** siet, **L**-nél az **I** (áram) **hátra** marad.

Gyakorlati megfigyelés. Ha a mágneskapcsoló tekercsére `230 V` váltakozó feszültséget kapcsolunk, a tekercs impedanciája jóval nagyobb, mint az egyenáramú ellenállása. Ez az oka, hogy az előző izzós kísérletben az izzó alig világított. Az izzó elé kötött tekercs sorba kapcsolt X_L ellenállásként viselkedik, korlátozza az áramot.

Számítás. Egy szemléltető, nagy induktivitású mágneskapcsoló-tekercs induktivitása `20 H`. Számítsuk ki az X_L-t `50 Hz`-en és az áramfelvételt, ha a tekercs ideálisnak tekinthető és `230 V`-ra kapcsoljuk.

Adott: $L = 20\,\mathrm{H}, f = 50\,\mathrm{Hz}, U = 230\,\mathrm{V}$
Keresett: X_L, I
Képlet: $X_L = 2\pi f L$
Behelyettesítve:

$$X_L = 2\pi \cdot 50\,\mathrm{Hz} \cdot 20\,\mathrm{H} = 6283\,\Omega \approx 6{,}28\,\mathrm{k}\Omega.$$

Az áram:

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{230\,\mathrm{V}}{6283\,\Omega} = 36{,}6\,\mathrm{mA}.$$

Ez $S = 230\,\mathrm{V} \cdot 36{,}6\,\mathrm{mA} \approx 8{,}4\,\mathrm{VA}$, a kis és közepes váltakozó áramú mágneskapcsolók tartási teljesítményének nagyságrendje; a behúzási áram ennek többszöröse, és a tekercs impedanciája nyitott és behúzott armatúránál erősen eltér (légrés). **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)** ∎

6.2.5. Kapacitív reaktancia: $X_C = \frac{1}{\omega C}$

A kondenzátor két, egymástól szigetelővel elválasztott vezető lemez. Egyenáramú körben a feltöltődés után nem folyik át rajta áram. Váltakozó feszültségen viszont folyamatosan hol az egyik, hol a másik irányba töltődik, és a töltőáram a csatlakozó vezetékekben folyik. A kondenzátor tehát váltakozó áramban **vezet**, de a vezetés mértéke a töltés-váltakozás sebességétől, vagyis a frekvenciától függ.

Definíció. A **kapacitív reaktancia** (X_C) a kondenzátor váltakozó áramú, frekvenciafüggő ellenállása, amelynek egysége az ohm:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}.$$

Ahol C a kapacitás (farad, F), f a frekvencia (Hz).

Összefüggés. Az effektív értékekre:

$$U = X_C \cdot I, \qquad I = \frac{U}{X_C}.$$

A fáziseltérés **kapacitív** jellegű: az áram **90°-ot siet** a feszültséghez képest ($\varphi = -90^\circ$). Ennek oka, hogy előbb megindul a töltőáram, és csak ahogy a lemezek töltése felépül, növekszik a feszültség. Ezért a kondenzátornál az áram „előre szalad”.

Számítás. Egy fénycsővilágítási körben `4,7 µF`-os fázisjavító kondenzátort `230 V`-os, `50 Hz`-es hálózatra kapcsolnak. Számítsuk ki a kapacitív reaktanciát és a felvett áramot.

Adott: $C = 4{,}7\,\mu\mathrm{F} = 4{,}7 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}$, $f = 50\,\mathrm{Hz}$, $U = 230\,\mathrm{V}$
Keresett: X_C, I
Képlet: $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$
Behelyettesítve:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 50\,\mathrm{Hz} \cdot 4{,}7 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}} \approx 677\,\Omega.$$

Az áram:

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{230\,\mathrm{V}}{677\,\Omega} \approx 0{,}34\,\mathrm{A}.$$

Figyelem. A kondenzátor valóságos veszteségekkel is rendelkezik, és a hálózatról leválasztva életveszélyes töltést tárolhat. A kisméretű kondenzátort is kisütés (kisütő ellenállás, lekapcsolás) után szabad csak megfogni. ∎

6.2.6. Frekvenciafüggés: miért más 50 Hz-en és 1 kHz-en?

Az X_L és X_C képlete jól mutatja a frekvenciafüggést. A tekercsnél minél nagyobb a frekvencia, annál gyorsabban változik az áram, annál nagyobb az önindukciós feszültség, tehát annál nagyobb a reaktancia. A kondenzátornál minél nagyobb a frekvencia, annál gyorsabban váltakozik a töltés, annál nagyobb a töltőáram, tehát annál **kisebb** a reaktancia.

Összefüggés. Az X_L egyenesen arányos, az X_C fordítottan arányos a frekvenciával.

A gyakorlatban ez az oka annak, hogy a tekercs és a kondenzátor másként viselkedik a különböző felharmonikusokon. Egy kapcsolóüzemű tápegység bemeneti szűrőjében a nagyfrekvenciás zavarokat induktivitásokkal fojtják le, míg a nagyfrekvenciás jeleket kondenzátorokkal vezetik el a föld felé. Ugyanaz az elem `50 Hz`-en egészen más.

Számítás. Hasonlítsuk össze egy `0,3 H`-s tekercs és egy `10 µF`-os kondenzátor reaktanciáját `50 Hz`-en és `1 kHz`-en.

A tekercsnél $L = 0{,}3\,\mathrm{H}$:

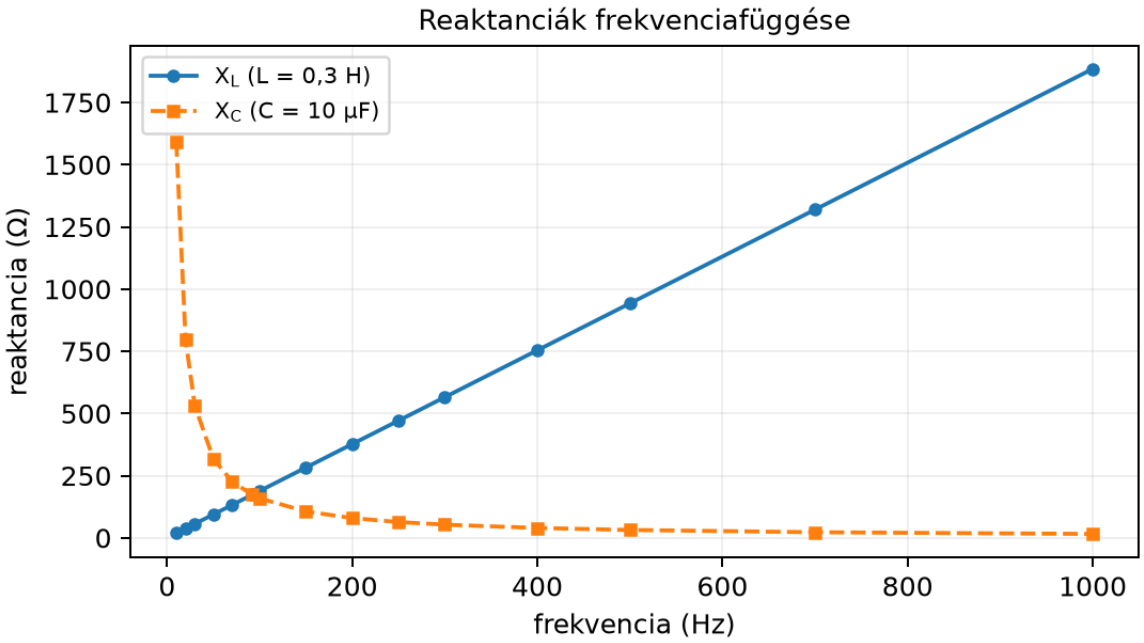
$$X_{L,50} = 2\pi \cdot 50 \cdot 0{,}3 \approx 94{,}2\,\Omega,$$
$$X_{L,1000} = 2\pi \cdot 1000 \cdot 0{,}3 \approx 1885\,\Omega \approx 1{,}89\,\mathrm{k\Omega}.$$

A kondenzátornál $C = 10\,\mu\mathrm{F} = 10 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}$:

$$X_{C,50} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} \approx 318\,\Omega,$$
$$X_{C,1000} = \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} \approx 15{,}9\,\Omega.$$

Látható, hogy a tekercs nagyfrekvencián szinte elzárja az utat, a kondenzátor pedig nagyfrekvencián szinte zárlatot jelent. ∎

Az alábbi ábra ugyanezt az összefüggést szemlélteti a frekvencia függvényében.



6.6. ábra. Reaktanciák frekvenciafüggése - A megadott képletekből (X_L = 2πfL, X_C = 1/(2πfC)) számolt értékek; a két görbe metszéspontja ≈ 91,9 Hz, X_L = X_C ≈ 173 Ω.

Az X_L görbe a frekvenciával egyenesen arányosan nő, az X_C görbe fordítottan arányosan csökken. A két görbe kb. `92 Hz`-en metszi egymást ($X_L = X_C \approx 173\,\Omega$); ez a soros LC-kör rezonanciafrekvenciája, lásd Impedancia, soros és párhuzamos RLC, rezonancia. Ennél kisebb frekvencián a kondenzátor, nagyobbon a tekercs reaktanciája nagyobb; `50 Hz`-en $X_L = 94{,}2\,\Omega$, $X_C = 318\,\Omega$.

6.2.7. A három elem összehasonlítása

A táblázatba foglalt összefoglalás a szerelői munka során gyakran előforduló jelenségeket segít gyorsan felismerni.

Elem	Reaktancia	Fázisszög	Áram a feszültséghez képest	Egyenáramon
R	0	0°	fázisban	Ohm-törvény
L	$X_L = \omega L$	+90°	késik	rövidzár (ideális tekercsben)
C	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	−90°	siet	szakadás (ideális kondenzátor)

A táblázatban az L fázisszöge azért pozitív, mert a feszültség előzi meg az áramot. A C fázisszöge azért negatív, mert ott az áram előzi meg a feszültséget. A három elem együttes viselkedésével, az eredő **impedanciával** a következő alfejezetben foglalkozunk.

6.2.8. Továbbvitt eredmény

A három elem reaktanciáját és fázisviszonyát a következő alfejezet, az Impedancia, soros és párhuzamos RLC, rezonancia fogja összeépíteni. Ott az ellenállás, a tekercs és a kondenzátor soros és párhuzamos kapcsolásait vizsgáljuk, és kiszámítjuk az eredő váltakozó áramú ellenállást.

Továbbvitt eredmény. Egy R ellenálláson a feszültség és az áram fázisban van. Egy L induktivitáson az áram 90°-ot késik, $X_L = 2\pi f L$. Egy C kapacitáson az áram 90°-ot siet, $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$. Az X_L és X_C frekvenciafüggő, ezért a váltakozó áramú áramkörök viselkedése nem számolható egyszerű egyenáramú ellenállásokkal.

6.2.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy régi, induktív előtéttel (fojtótekerccsel) szerelt fénycső nem világított. A szerelő kicserélte a fénycsövet és a gyújtót, de a lámpa továbbra sem működött. A kismegszakító nem oldott le, tehát zárlat nem volt. A multiméterrel megmérte a fojtótekercs egyenáramú ellenállását: `84 Ω`-ot mutatott, ami elsőre jónak tűnt. A hibakeresés közben azonban kiderült, hogy a fojtótekercs menetzárlatos: egy része átütött, és bár az ohmos ellenállás alig változott, az induktivitása drasztikusan lecsökkent. Váltakozó feszültségen a reaktanciája alacsony lett, a fénycső nem kapott megfelelő előtétet. A tanulság: a tekercs váltakozó áramú viselkedését nem az egyenáramú ellenállás, hanem az L és az X_L határozza meg. A hibás tekercset induktivitásmérővel vagy csereprobával lehet megbízhatóan ellenőrizni.

6.2.10. Gyakorlati útmutató

Cél. Tanműhelyben, törpefeszültségű (jellemzően `24 V`-os tanulói) környezetben mutasd meg, hogy a tekercs és a kondenzátor váltakozó áramon korlátozza az áramot, és hogy ez a hatás egyenáramon nem érvényesül.

Eszközök és anyagok. Törpefeszültségű váltakozó áramú forrás (pl. `24 V`, `50 Hz`), egyenáramú tápegység, `24 V`-os jelzőlámpa, néhány `10–50 Ω`, `1 W` ellenállás, egy legalább `0,5 H`-s tekercs, egy `10–47 µF`-os, legalább `63 V` AC névleges feszültségű fólia- (MKP) vagy bipoláris (motorindító) kondenzátor, multiméter. Polarizált elektrolitkondenzátor váltakozó áramú próbára nem használható.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi, törpefeszültségű környezetre vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A kondenzátor törpefeszültségen is tárolhat energiát, ezért a forrásról való lekapcsolás után süsd ki ellenálláson keresztül.

Lépések: 1. Kapcsold le a forrást, tartsd be a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát. 2. Állítsd össze az áramkört: feszültségforrás + jelzőlámpa + tekercs, sorba kötve. Először **egyenáramú** tápegységről tápláld. Figyeld meg, hogy a lámpa erősen világít-e. 3. Kapcsold le, végezz feszültségmentesítést, majd ugyanazt az áramkört kösd a **váltakozó** feszültségű forrásra. Figyeld meg, hogy a lámpa gyengébben világít-e, vagy esetleg alig észrevehetően. 4. Ismét lekapcsolás után cseréld ki a tekercset a kondenzátorra, és végezd el mind az egyen-, mind a váltakozó áramú próbát. 5. Multiméterrel mérd meg a forrás feszültségét, a lámpa kapocsfeszültségét és az áramkörben folyó áramot. Számold ki az egyes elemeken mért reaktanciát.

Ellenőrzés. A váltakozó áramú mérésnél a tekercs sorba kötve csökkenti a lámpa fényerejét, mert X_L jelentkezik. Egyenáramnál a lámpa fényesebb. A kondenzátoros áramkörben egyenáramnál a lámpa nem világít (a kondenzátor feltöltődött), váltakozó áramnál viszont világít, mert a kondenzátor átengedi a váltakozó áramot.

Tipikus hibák. Tilos polarizált elektrolitkondenzátort váltakozó feszültségre kötni: felmelegszik, kiszáradhat és szétrobbanhat; védőszemüveg kötelező. Az átkötést csak feszültségmentes állapotban végezd; mérni a bekapcsolt, törpefeszültségű körön, megfelelő mérési állásban és a mérővezetékek megfelelő mérési kategóriájával szabad. A lámpa várható árama a választott kondenzátorral: 24 V-on, 22 μF-nál $X_C \approx 145\,\Omega$, $I \leq 0{,}17\,\mathrm{A}$.

6.2.11. Tipikus hibák

1. **Az X_L és X_C fázisirányának felcserélése.** Sokan úgy emlékeznek, hogy „a tekercs siet”, mert az egyfázisú motorok indításánál az indítókondenzátort a segédtekerccsel sorba kötik. A helyes: **C I L** – a kondenzátornál az áram siet, a tekercsnél késik.
2. **Az ohmos és a reaktáns ellenállás egyszerű összeadása.** Ha egy tekercs `10 Ω` ohmos és `20 Ω` induktív reaktanciával rendelkezik, a váltakozó áramú eredő **nem** `30 Ω`, hanem az impedancia a $\sqrt{10^2 + 20^2} \approx 22{,}4\,\Omega$. Ezt a hibát az Impedancia, soros és párhuzamos RLC, rezonancia alfejezetben kerülhetjük el.
3. **Kondenzátor váltakozó áramú zárlatnak tekintése.** A nagyfrekvencián a kondenzátor kis reaktanciája közel zárlat lehet, de `50 Hz`-en egy `4,7 µF`-os kondenzátor még több száz ohmos. A kapacitás értékét mindig számold át faradba, mielőtt behelyettesíted az X_C képletbe.

6.2.12. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy az ideális tekercs feszültsége és árama között 90°-os fáziseltérés van?
2. Számítsd ki egy `0,1 H`-s tekercs reaktanciáját `50 Hz`-en és `500 Hz`-en.
3. Melyik elem reaktanciája csökken a frekvencia növekedésével?
4. Mi a hiba ebben a kapcsolásban? Egy `230 V`-os hálózatra közvetlenül, sorosan kapcsolnak egy `10 µF`-os kondenzátort és egy `1,0 H`-s fojtótekercset, hogy megemeljék a feszültséget. Számold ki a rezonanciafrekvenciát, és indokold, miért veszélyes.

6.2.13. Megoldások – Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** Az ideális tekercsben a feszültség 90°-ot siet az áramhoz képest, tehát az áram 90°-ot késik.
2. $X_{L,50} = 2\pi \cdot 50 \cdot 0{,}1 = 31{,}4\,\Omega$; $X_{L,500} = 2\pi \cdot 500 \cdot 0{,}1 = 314\,\Omega$.
3. A kondenzátoré: $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$.
4. **Rezonanciaveszély.** A rezonanciafrekvencia $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC}) = 1/(2\pi\sqrt{1{,}0\,\mathrm{H} \cdot 10\,\mu\mathrm{F}}) \approx 50{,}3\,\mathrm{Hz}$, vagyis a hálózati frekvencia közelében van; az L és C soros kapcsolása `50 Hz`-en rezonanciába kerülhet, ami a két elemen a hálózati feszültség többszörösét is létrehozhatja. Ezért ilyen kapcsolást csak kifejezetten erre méretezve, védőelemekkel szabad építeni.

6.2.14. Feladatok

6.2.14.1. 1. feladat (A)

Egy tisztán induktív tekercsre `24 V`, `50 Hz` váltakozó feszültséget kapcsolunk. Az áram `0,3 A`. Határozza meg a tekercs reaktanciáját és induktivitását.

6.2.14.2. 2. feladat (A)

Egy kondenzátor `10 µF` kapacitású. Számítsa ki a kapacitív reaktanciáját `50 Hz`-en és `1 kHz`-en.

6.2.14.3. 3. feladat (B)

Egy tekercs `0,5 H` induktivitású és `12 Ω` ohmos ellenállású. `230 V`, `50 Hz` hálózatra kapcsolva mekkora lesz az áram, ha a tekercs impedanciáját $\sqrt{R^2 + X_L^2}$ képlettel számítjuk? (Ez a következő alfejezetben tanult impedancia alkalmazása.)

6.2.14.4. 4. feladat (B)

Egy váltakozó áramú körben sorba van kötve egy `20 Ω`-os ellenállás és egy `0,02 H`-s ideális tekercs. Rajzolja be a fázorábrát, és határozza meg a fázisszöget, ha az áramot vesszük referencia-irányba. (Csak a fázorok elrendezését kell ábrázolni, a pontos impedanciaszámítást az Impedancia, soros és párhuzamos RLC, rezonancia alfejezetben végezzük el.)

6.2.14.5. 5. feladat (C)

Egy frekvenciaváltó kimenetén a feszültség alapfrekvenciája `50 Hz`, de a nagy kapcsolási frekvenciájú jelben `10 kHz`-es összetevő is van. A szűrő L induktivitása sorosan a frekvenciaváltó kimenete és a terhelés között, a C kondenzátora a kimeneten párhuzamosan (keresztirányban) van; a terhelés hatását hagyd figyelmen kívül. Egy $L = 1\,\text{mH}$-s szűrőinduktivitás és egy $C = 10\,\mu\text{F}$-os szűrőkondenzátor esetén hasonlítsd össze, mennyivel más a két elem reaktanciája `50 Hz`-en és `10 kHz`-en. Miért jó ez a szűrő számára?

6.2.14.6. 6. feladat (D – gyakorlati hibakeresés)

Egy világítási áramkörben a kompakt fénycsövek gyakran tönkremennek. A szerelő azt gyanítja, hogy a hálózatban nagyfrekvenciás zavarok vannak. A legegyszerűbb mérési módszerrel, multiméterrel mit tud ellenőrizni, és hogyan igazolhatja a hiba valódi okát? Mire kell ügyelnie a fénycső tápegységének megbontása előtt?

6.2.15. Megoldások

6.2.15.1. 1. feladat

Adott: $U = 24\,\text{V}, I = 0{,}3\,\text{A}, f = 50\,\text{Hz}$
Keresett: X_L, L
Képlet: $X_L = \frac{U}{I}$ és $L = \frac{X_L}{2\pi f}$
Behelyettesítve: $X_L = \frac{24\,\text{V}}{0{,}3\,\text{A}} = 80\,\Omega$
$L = \frac{80\,\Omega}{2\pi \cdot 50\,\text{Hz}} = \frac{80}{314} \approx 0{,}255\,\text{H}$
Ellenőrzés: $0{,}255\,\text{H}$ tipikus fojtótekercs érték. ∎

6.2.15.2. 2. feladat

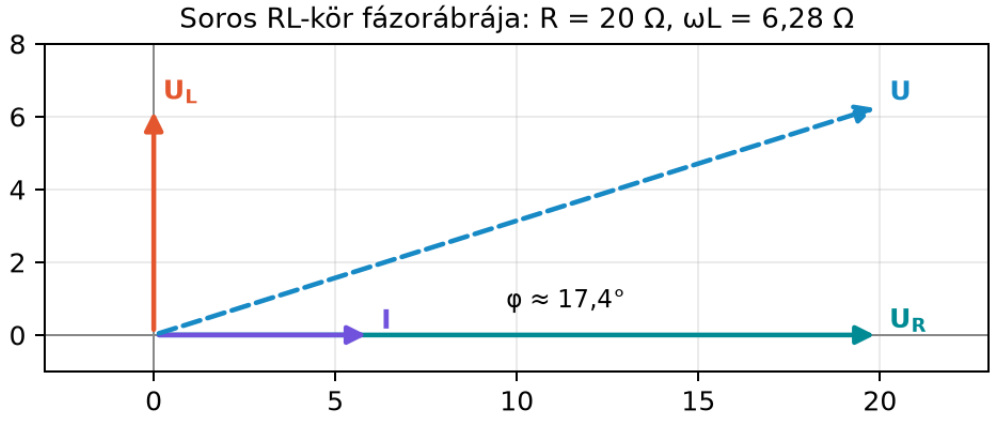
Adott: $C = 10\,\mu\text{F} = 10 \cdot 10^{-6}\,\text{F}$, $f_1 = 50\,\text{Hz}$, $f_2 = 1000\,\text{Hz}$
Keresett: $X_{C,50}, X_{C,1000}$
Képlet: $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$
Behelyettesítve: $X_{C,50} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} \approx 318\,\Omega$
$X_{C,1000} = \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} \approx 15{,}9\,\Omega$
Ellenőrzés: nagyobb frekvencián kisebb reaktancia, ami megfelel az elméletnek. ∎

6.2.15.3. 3. feladat

Adott: $L = 0{,}5\,\text{H}, R = 12\,\Omega, U = 230\,\text{V}, f = 50\,\text{Hz}$
Keresett: I
Képlet: $X_L = 2\pi f L$ és $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$
Behelyettesítve: $X_L = 2\pi \cdot 50 \cdot 0{,}5 = 157\,\Omega$
$Z = \sqrt{12^2 + 157^2} = \sqrt{144 + 24649} = \sqrt{24793} \approx 157{,}5\,\Omega$
$I = \frac{U}{Z} = \frac{230\,\text{V}}{157{,}5\,\Omega} \approx 1{,}46\,\text{A}$
Ellenőrzés: a tekercs reaktanciája sokkal nagyobb, mint az ohmos ellenállása, ezért az impedanciát döntően az X_L határozza meg. Ha az ohmos ellenállást elhanyagoltuk volna, $I = \frac{230}{157} \approx 1{,}46\,\text{A}$ lett volna, a különbség elhanyagolható. ∎

6.2.15.4. 4. feladat

Az áram referencia-irányba (vízszintesen jobbra) mutat. Az ellenálláson eső feszültség fázisban van az árammal, tehát ugyanabba az irányba mutat. A tekercsen eső feszültség 90°-ot **siet** az áramhoz képest, tehát függőlegesen **felfelé** mutat. Az eredő feszültség az ellenállás és a tekercs feszültségének vektorösszege.



6.7. ábra. Soros RL-kör fázorábrája: R = 20 Ω, ωL = 6,28 Ω - Az áram vízszintes referencia (rövid nyíl, I). U_R ∥ I, U_L erre merőlegesen felfelé; arányuk U_R : U_L = R : X_L = 20 : 6,28, ezért **φ ≈ 17,4°**. Az eredő U (szaggatott) a két fázor paralelogramma-szabály szerinti összege.

Az ábrán a feszültség és az áram közötti φ fázisszög az U és az I vektorok által bezárt szög. Az U_R és U_L vektorokból $\varphi = \arctan \frac{U_L}{U_R} = \arctan \frac{X_L}{R}$. Adatokkal: $X_L = 2\pi \cdot 50\,\text{Hz} \cdot 0{,}02\,\text{H} \approx 6{,}28\,\Omega$, $\varphi = \arctan \frac{6{,}28}{20} \approx 17{,}4°$; az áram 17,4°-kal késik a feszültséghez képest. ∎

6.2.15.5. 5. feladat

Adott: $L = 1\,\text{mH} = 10^{-3}\,\text{H}, C = 10\,\mu\text{F} = 10 \cdot 10^{-6}\,\text{F}, f_1 = 50\,\text{Hz}, f_2 = 10000\,\text{Hz}$
Keresett: X_L és X_C mindkét frekvencián, a rezonanciafrekvencia és az osztó átvitele
Terheletlen LC-osztó: $H = \dfrac{X_C}{X_C - X_L}$ (a reaktanciák előjelével) $= \dfrac{1}{1-\omega^2 LC}$.
Képlet: $X_L = 2\pi f L, X_C = \frac{1}{2\pi f C}, f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, H = \frac{1}{1-\omega^2 LC}$
Behelyettesítve $f_1 = 50\,\text{Hz}$-en: $X_L = 2\pi \cdot 50 \cdot 10^{-3} \approx 0{,}314\,\Omega$ (elhanyagolható)
$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} \approx 318\,\Omega$; az osztó átvitele $H \approx 1{,}001$, az alapharmonikus akadálytalanul átmegy.

Behelyettesítve $f_2 = 10\,\text{kHz}$-en: $X_L = 2\pi \cdot 10000 \cdot 10^{-3} \approx 62{,}8\,\Omega$
$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 10000 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} \approx 1{,}59\,\Omega$

Rezonanciafrekvencia: $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-3} \cdot 10^{-5}}} \approx 1{,}59\,\text{kHz}$. A 10 kHz-es összetevőre $H = \frac{1}{1-\omega^2 LC} = \frac{1}{1-39{,}5} \approx -0{,}026$, azaz $|H| < 1$: kb. 38-szoros csillapítás.

Következtetés. A soros induktivitás a nagyfrekvenciás összetevőt fojtja ($X_L \gg X_C$ 10 kHz-en), a keresztirányú kondenzátor pedig a maradékot levezeti. A szűrő akkor hatékony, ha a rezonanciafrekvenciája ($f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$) jóval az alapfrekvencia felett, de jóval a zavaró frekvencia alatt van. (Figyelem: $L = 10\,\mu\text{H}$ és $C = 10\,\mu\text{F}$ esetén $f_0 \approx 15{,}9\,\text{kHz}$ lenne, és a 10 kHz még a rezonancia alatt van, ott a szűrő nem csillapít, hanem kb. 1,65-szörösre erősít.) ∎

6.2.15.6. 6. feladat

Hibakeresési vázlat. A hálózati zavarok gyakran a nemlineáris fogyasztóktól (például kapcsolóüzemű tápegységek) származnak. Multiméterrel csak a feszültség effektív értéke és (ha a műszer tudja) a frekvencia mérhető: ez a szinuszostól eltérő, nagyfrekvenciás zavart nem mutatja ki, legfeljebb az effektív érték eltérését a vártól. A nagyfrekvenciás zavar valódi okát oszcilloszkóppal vagy hálózatminőség-elemzővel kell igazolni (lásd Oszcilloszkóp és jelalakok). A beépített elektronikát (a kompakt fénycső tápegységét) nem javítjuk, hanem a fénycsövet cseréljük. **Biztonság:** a kompakt fénycső tápegységének szűrőkondenzátora a hálózati csúcsfeszültségre (kb. 325 V) töltődik, ezért megbontás előtt az öt szabály szerint feszültségmentesíteni (lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése kétpólusú vizsgálóval, szükség szerint földelés és rövidre zárás, szomszédos részek lefedése) és a kondenzátort ellenálláson át ki kell sütni. Feszültség alatt a készüléket megbontani tilos.

6.2.16. Rövid összefoglaló

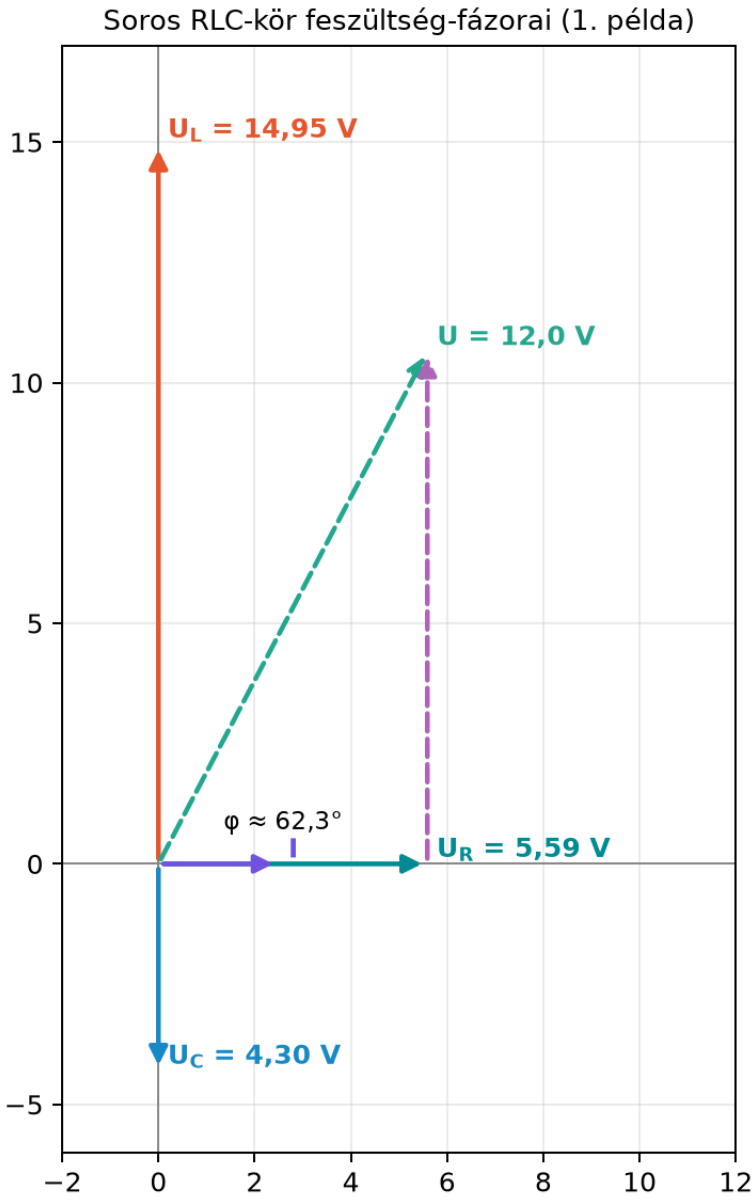
Az ideális ellenállás váltakozó áramú körben ohmos viselkedést mutat, a feszültség és az áram fázisban van egymással, $I = \frac{U}{R}$. A tekercsben az önindukció miatt az áram 90°-ot késik a feszültséghez képest, és a reaktanciája $X_L = \omega L = 2\pi f L$. A kondenzátorban az áram 90°-ot siet a feszültséghez képest, és a reaktanciája $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$. Az X_L a frekvenciával egyenesen arányos, az X_C fordítottan arányos. A gyakorlati szerelésben ezért a tekercs nagyfrekvencián fojt, a kondenzátor nagyfrekvencián átenged. A továbbvitt eredmények: a reaktancia és a fáziseltérés fogalmát a soros és párhuzamos RLC-körök, az impedancia és a rezonancia tárgyalásánál használjuk fel az Impedancia, soros és párhuzamos RLC, rezonancia alfejezetben. Az ottani számítások alapját ezek az X_L és X_C képletek, valamint a 90°-os fázistolások alkotják.

6.3. Impedancia, soros és párhuzamos RLC, rezonancia

6.3.1. Impedancia és admittancia: miért egyszerre használjuk az ellenállást, a tekercset és a kondenzátort?

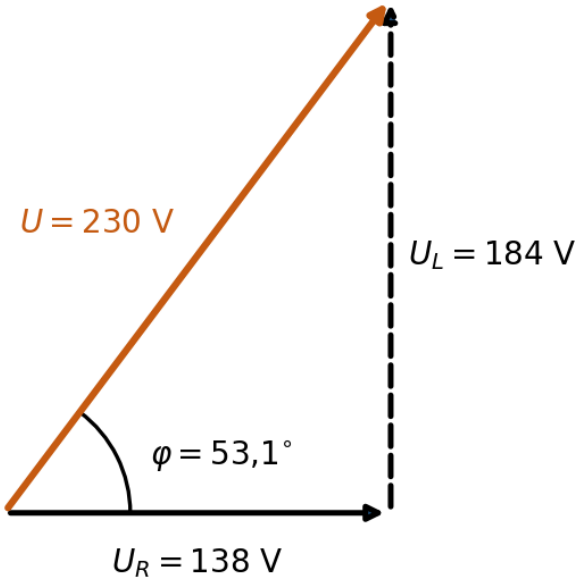
A szerelői munkában ritkán találkozunk „tiszta” ellenállással vagy „tiszta” tekercscsel. Egy fénycső-előtét, egy aszinkronmotor tekercselése, egy kapcsolóüzemű tápegység bemeneti szűrője vagy egy hosszú kábel egyszerre tartalmaz ohmos veszteséget, induktivitást és kapacitást (a kábelnél az ellenállás és az induktivitás a soros ágban, a kapacitás az erek között, keresztirányban van). Ha egy ilyen áramkörben csak az ellenállásokat vennénk figyelembe, a mért áram és feszültség jelentősen eltérne a számítottól, ráadásul egyes alkatrészeken a hálózati feszültségnél jóval nagyobb feszültség is megjelenhet. Ezért vezetjük be az impedanciát, amely e három hatást közös keretben írja le.

Egy soros RLC-körben – például egy fojtótekercs ($R + L$) és egy vele sorba kötött kondenzátor, mint a fénycső-előtétnél vagy egy hangolt szűrőágban – a feszültségek fázorai nem egyszerűen összeadódnak, hanem vektorosan. Szemléltetésül nézzük az impedancia-háromszöget:



6.8. ábra. Soros RLC-kör feszültség-fázorai (1. példa) - Az áram a vízszintes referencia. U_R = 5,59 V vízszintes, U_L = 14,95 V felfelé, U_C = 4,30 V lefelé mutat (mind az origóból); az eredő U (szaggatott) függőleges összetevője U_L − U_C = 10,65 V, nagysága 12,0 V, φ ≈ 62,3°. Az impedancia-háromszög ugyanez az ábra 1/I léptékben: vízszintes R, függőleges X = X_L − X_C, átfogó Z.

Az ábrán vízszintesen az ellenállás feszültsége (U_R), függőlegesen felfelé a tekercsé (U_L), lefelé a kondenzátoré (U_C) áll; a két függőleges fázor különbsége és U_R adja az eredő U-t. Ha minden oldalt elosztunk az I árammal, az impedancia-háromszöget kapjuk: vízszintes R, függőleges $X = X_L - X_C$, átfogó Z.



6.9. ábra. Soros RL-kör fázorábrája (R = 30 Ω, X_L = 40 Ω, U = 230 V): U_R = 138 V, U_L = 184 V, φ = 53,1°; a HTML-kiadásban R, L és U csúszkával állítható

Az interaktív fázorábrán egy soros RL-kör ($X_C = 0$) ellenállását, induktivitását és tápfeszültségét lehet állítani; a statikus kép az $R = 30\,\Omega$, $X_L = 40\,\Omega$ esetet mutatja ($Z = 50\,\Omega$, $I = 4{,}6\,\mathrm{A}$, $\varphi = 53{,}1^\circ$).

A fázorábrán az R ellenálláson eső feszültség az árammal fázisban van, a tekercs feszültsége 90°-kal siet, a kondenzátoré 90°-kal késik. Az eredő feszültség a három fázor összege, amelynek nagysága:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}.$$

6.3.2. Definíciók és a soros RLC-kör impedanciája

Definíció. Az **impedancia** (váltakozó áramú látszólagos ellenállás) a feszültség és az áram effektív értékének hányadosa:

$$Z = \frac{U}{I},$$

mértékegysége az ohm (Ω). Az impedancia két részből áll: az ohmos (hatásos) ellenállásból R és a reaktanciából X. Komplex jelöléssel:

$$Z = R + jX,$$

ahol j a képzetes egység. A reaktancia a tekercs és a kondenzátor eredő váltakozó áramú ellenállása:

$$X = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C},$$

ahol $\omega = 2\pi f$ a körfrekvencia, L az induktivitás, C a kapacitás. A soros RLC-kör impedanciájának nagysága:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

Definíció. Az **admittancia** az impedancia reciproka, jele Y, mértékegysége a siemens (S):

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{I}{U}.$$

Az admittancia is felbontható valós és képzetes részre: a **konduktancia** $G = 1/R$ (hatásos vezetés) és a **szuszceptancia** B (meddő vezetés) összegére. Komplex jelöléssel:

$$Y = G + jB.$$

A szuszceptancia a tekercs és a kondenzátor meddő vezetéseiből adódik, előjelhelyesen: $B_L = 1/(\omega L)$ és $B_C = \omega C$, így $B = B_C - B_L$.

Fázisszög. Az impedancia fázisszöge megadja, hogy az áram mennyivel siet vagy késik a feszültséghez képest. Soros RLC-körre:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right).$$

Ha $X_L > X_C$, a kör induktív jellegű, az áram késik a feszültséghez képest ($\varphi > 0$). Ha $X_C > X_L$, a kör kapacitív jellegű, az áram siet ($\varphi < 0$). Ha $X_L = X_C$, a fázisszög nulla, az áramkör rezonanciában van.

Szabály. Az impedanciákat soros kapcsolásban nem lehet egyszerűen skalárként összeadni; a reaktanciák előjelhelyesen adódnak össze, és a nagyságot a Pitagorasz-tétel adja. Az admittanciákat párhuzamos kapcsolásban hasonlóan kezeljük: a konduktanciák és a szuszceptanciák előjelhelyesen összegződnek.

6.3.3. Levezetés: a soros RLC-kör impedanciája

Deriváció. Induljunk ki abból, hogy a soros körben minden elemen ugyanaz az áram folyik. Az ohmos ellenálláson $U_R = IR$, a tekercsen $U_L = IX_L$, a kondenzátoron $U_C = IX_C$ feszültség esik, de ezek fázisa eltér. A feszültség-fázorok összegének nagysága:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}.$$

Helyettesítsük be az egyes feszültségeket:

$$U = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

Mivel $Z = U/I$, így:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

A fázisszög abból adódik, hogy a feszültség-háromszögben a vízszintes oldal U_R, a függőleges oldal $U_L - U_C$, így:

$$\tan\varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{X_L - X_C}{R}.$$

Ez a levezetés mutatja, miért fontos a reaktanciák előjelhelyes kivonása: ha például egy tekercs és egy kondenzátor részben kioltja egymás hatását, az eredő impedancia kisebb lehet, mint az egyes reaktanciák külön-külön, sőt rezonanciánál éppen az ohmos ellenállás marad csak. ∎

6.3.4. Párhuzamos RLC-kör és admittancia

Párhuzamos kapcsolásnál minden ágon ugyanaz a feszültség, az ágáramok fázorai adódnak össze. Az ágáramok az áram-fázorábrán:

- az ellenállás árama $I_R = U/R$, fázisban a feszültséggel;
- a tekercs árama $I_L = U/(\omega L) = UB_L$, 90°-kal késik;
- a kondenzátor árama $I_C = U\omega C = UB_C$, 90°-kal siet.

Az eredő áramerősség nagysága:

$$I = U\sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}.$$

Az admittancia nagysága tehát:

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2},$$

és a fázisszög:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{B_L - B_C}{G}\right).$$

A fázisszöget itt is a soros körrel azonos módon értelmezzük (a feszültség és az áram fázisszöge, induktív jellegnél pozitív). Párhuzamos körnél az áram fázisszöge: ha $B_L > B_C$, az áram késik (induktív jelleg), ha $B_C > B_L$, az áram siet (kapacitív jelleg). Rezonanciánál $B_L = B_C$, az admittancia minimális, és az áram a lehető legkisebb.

6.3.5. Rezonancia: soros és párhuzamos eset

Definíció. Rezonanciáról beszélünk, amikor a tekercs és a kondenzátor reaktanciája egyenlő nagyságú, azaz $X_L = X_C$, illetve $B_L = B_C$. A rezonanciafrekvencia:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Következmény. Soros RLC-körben rezonanciánál az impedancia a lehető legkisebb, $Z = R$, ezért az áram maximális. A tekercsen és a kondenzátoron azonban a feszültség – jó minőségű tekercs esetén – a tápfeszültség sokszorosa is lehet: $U_L = U_C = X_L \cdot I$. Ezt **feszültségrezonanciának** nevezzük, és ezért kell a szűrőkörök tervezésekor nagyon vigyázni: a rezonanciafrekvencia közelében az alkatrészeken túlfeszültség léphet fel.

Párhuzamos RLC-körben rezonanciánál az admittancia minimális, az impedancia maximális, ezért a főágban folyó áram a lehető legkisebb. Az ágakban ugyanakkor nagy áramok folyhatnak, egymást kioltó fázisban; ezt **áramrezonanciának** nevezzük. A fázisjavító kondenzátorok és a hálózati induktivitások párhuzamos rezonanciája valós veszélyt jelent, mert a hálózati harmonikus frekvenciákon a kondenzátorágban túláram alakulhat ki.

6.3.6. Számítási példák

1. példa (A) – soros RLC-kör. Adott: $R = 47\,\Omega$, $L = 100\,\text{mH} = 0{,}1\,\text{H}$, $C = 22\,\mu\text{F} = 22 \cdot 10^{-6}\,\text{F}$, a tápfeszültség $U = 12\,\text{V}$, frekvencia $f = 200\,\text{Hz}$. Keresett: az áram, az egyes feszültségek és a fázisszög.

Megoldás. Először a körfrekvencia:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 200 = 1256{,}6\,\frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

A reaktanciák:

$$X_L = \omega L = 1256{,}6 \cdot 0{,}1 = 125{,}66\,\Omega,$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{1256{,}6 \cdot 22 \cdot 10^{-6}} = 36{,}17\,\Omega.$$

Az eredő reaktancia:

$$X = X_L - X_C = 125{,}66 - 36{,}17 = 89{,}49\,\Omega.$$

Az impedancia:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{47^2 + 89{,}49^2} = \sqrt{2209 + 8008} = 101{,}1\,\Omega.$$

Az áram:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{12}{101{,}1} = 0{,}119\,\text{A} = 119\,\text{mA}.$$

A fázisszög:

$$\varphi = \arctan \frac{X}{R} = \arctan \frac{89{,}49}{47} = 62{,}3^\circ.$$

Mivel $X > 0$, a kör induktív, az áram késik. A feszültségek:

$$U_R = IR = 0{,}119 \cdot 47 = 5{,}59\,\mathrm{V},$$

$$U_L = IX_L = 0{,}119 \cdot 125{,}66 = 14{,}95\,\mathrm{V},$$

$$U_C = IX_C = 0{,}119 \cdot 36{,}17 = 4{,}30\,\mathrm{V}.$$

Ellenőrzés: a fázorfeszültség nagysága $\sqrt{5{,}59^2 + (14{,}95 - 4{,}30)^2} = 12{,}0\,\mathrm{V}$, ami visszaadja a tápfeszültséget. ∎

2. példa (B) – párhuzamos RLC-kör. Adott: $U = 230\,\mathrm{V}$, $f = 50\,\mathrm{Hz}$, $R = 500\,\Omega$, $L = 50\,\mathrm{mH} = 0{,}05\,\mathrm{H}$, $C = 100\,\mu\mathrm{F} = 100 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}$. Keresett: az eredő áram, az admittancia és a fázisszög.

Megoldás. A körfrekvencia $\omega = 2\pi \cdot 50 = 314{,}16\,\frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}$. A konduktancia:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{500} = 0{,}002\,\mathrm{S}.$$

A szuszceptanciák:

$$B_L = \frac{1}{\omega L} = \frac{1}{314{,}16 \cdot 0{,}05} = 0{,}06366\,\mathrm{S},$$

$$B_C = \omega C = 314{,}16 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 0{,}03142\,\mathrm{S}.$$

Az eredő szuszceptancia:

$$B = B_C - B_L = 0{,}03142 - 0{,}06366 = -0{,}03224\,\mathrm{S}.$$

Az admittancia nagysága:

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} = \sqrt{0{,}002^2 + (-0{,}03224)^2} = 0{,}0323\,\mathrm{S}.$$

Az eredő áram:

$$I = UY = 230 \cdot 0{,}0323 = 7{,}43\,\mathrm{A}.$$

A fázisszög:

$$\varphi = \arctan \frac{B_L - B_C}{G} = \arctan \frac{0{,}03224}{0{,}002} = +86{,}5^\circ.$$

A pozitív szög azt jelzi, hogy az áram késik a feszültséghez képest, azaz a kör induktív jellegű (ugyanaz az előjelkonvenció, mint a soros körnél). ∎

3. példa (C) – rezonanciafrekvencia. Adott: $L = 10\,\text{mH} = 0{,}01\,\text{H}$, $C = 100\,\mu\text{F} = 100{\cdot}10^{-6}\,\text{F}$. Keresett: a rezonanciafrekvencia.

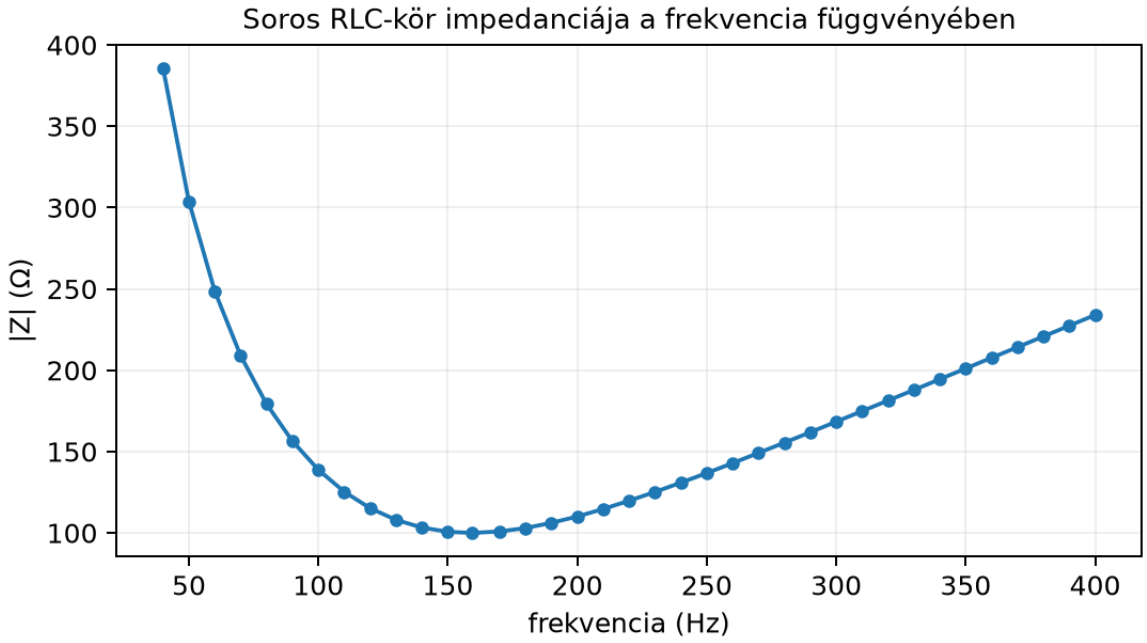
Megoldás.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0{,}01 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-6}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 0{,}001} = 159{,}2\,\text{Hz}.$$

Ez azt jelenti, hogy ezen a frekvencián a soros kör impedanciája minimális, a párhuzamos köré pedig maximális. ∎

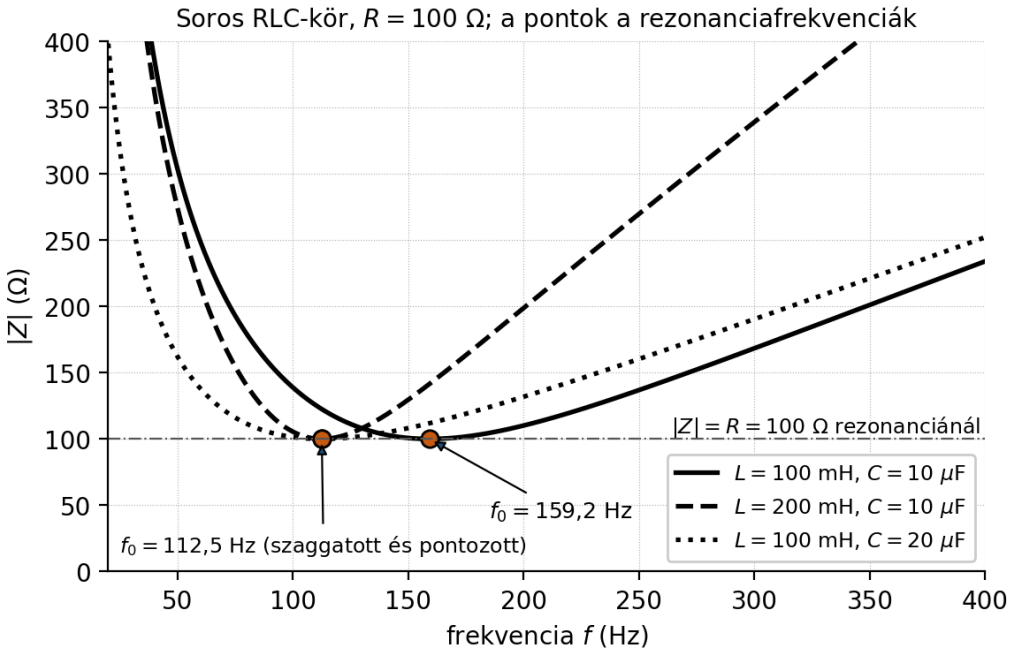
6.3.7. Impedanciagörbe és az interaktív ábra

A rezonancia jelenségét akkor értjük meg igazán, ha látjuk, hogyan változik az impedancia a frekvencia függvényében. Az alábbi ábra ezt mutatja soros RLC-körre:



6.10. ábra. Soros RLC-kör impedanciája a frekvencia függvényében - Képlettel számolt pontok, $|Z| = \sqrt{(R^2 + (2\pi fL - 1/(2\pi fC))^2)}$, 10 Hz-es lépésekben: R = 100 Ω, L = 100 mH, C = 10 µF. A rezonanciafrekvencia 159,2 Hz, ott |Z| = R = 100 Ω; 50 Hz-en 303,8 Ω, 300 Hz-en 168,4 Ω.

Az ábrán jól látszik, hogy a rezonanciafrekvenciánál az impedancia éppen az ohmos ellenállással egyenlő (100 Ω), attól távolodva pedig nő. A gyakorlatban a szűrők tervezésekor ezt a görbét használjuk: a rezonanciafrekvencia fölött vagy alatt az áramkör másként viselkedik.



6.11. ábra. A soros RLC-kör impedanciagörbéje állítható L és C értékekkel

Interaktív ábra leírása. Az interaktív ábrán az L és C értékek csúszkákkal változtathatók. A grafikon az impedancia nagyságát rajzolja ki a frekvencia függvényében, és jelöli a rezonanciafrekvenciát. Próbáld ki, hogy ha növeled L vagy C értékét, a rezonanciafrekvencia csökken, ha csökkented, akkor nő. Figyeld meg azt is, hogy rezonanciánál az impedancia mindig R nagyságú.

6.3.8. Gyakorlati jelentősége az épületvillamosságban és az ipari szerelésben

Szabvány. A villamos berendezések zavarszűrő áramköreinek és meddőkompenzáló egységeinek méretezésekor a gyártói adatlapok és a vonatkozó termékszabványok az irányadók. A hálózati feszültségminőségre és a harmonikusokra vonatkozó követelmények közül a közcélú hálózat feszültségjellemzőit az MSZ EN 50160, a készülékek felharmonikus-kibocsátását az MSZ EN IEC 61000-3 sorozat tárgyalja **(ellenőrizendő: aktuális kiadás és jelzet)**. A szerelő számára a legfontosabb, hogy soha ne kössön fázisjavító kondenzátort vagy nagy induktivitású fojtót ellenőrizetlen hálózati környezetbe, mert a hálózati induktivitással rezonancia léphet fel.

A mérő- és vizsgálati eljárásokban az impedancia fogalmára épül a **hurokimpedancia** mérése is. Ennek során a hibahurokban lévő vezetők, transzformátor és érintkezők eredő impedanciáját határozzuk meg, és abból számítjuk a várható zárlati áramot. A részletekkel a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezet foglalkozik, az impedancia és a teljesítmény összekapcsolását pedig a Teljesítmények és teljesítménytényező alfejezetben használjuk fel.

Továbbvitt eredmény. A soros RLC-kör impedanciája $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$, és a fázisszög $\varphi = \arctan\left((X_L - X_C)/R\right)$. A párhuzamos kör admittanciája $Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$. Ezt a számítási módszert használjuk a hurokimpedancia kiértékelésekor és a teljesítménytényező javításakor. A rezonanciafrekvencia $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ megmutatja, hol omlik össze vagy ugrik meg az impedancia, amit szűrők és kompenzáló egységek méretezésekor mindig figyelembe kell venni.

6.3.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy ipari üzemben a meddőkompenzáló berendezés kondenzátorfokozatait a hálózat 50 Hz-es frekvenciájára méretezték. A hálózaton azonban nagy teljesítményű frekvenciaváltók is üzemeltek, amelyek erős harmonikus áramokat termeltek. A kondenzátorok kapacitása és a betápláló transzformátor, valamint a kábelek induktivitása egy olyan párhuzamos rezgőkört alkotott, amelynek rezonanciafrekvenciája éppen a 7. harmonikus (350 Hz) közelébe esett. A rezonancia miatt a kondenzátorágban a névleges áram többszöröse folyt, a kondenzátorok túlmelegedtek, és a védelmük leoldott. A szerelő hálózatminőség-elemzővel megmérte a feszültség és a kondenzátorági áram felharmonikus-tartalmát (THD, 7. harmonikus), majd a megoldás az volt, hogy a kondenzátorral sorba hangolófojtót építettek be, amely a rezonanciafrekvenciát a káros harmonikus alá vitte. Ez az eset jól mutatja, hogy az impedancia és a rezonancia nemcsak elméleti kérdés: a rosszul kiválasztott kompenzáló egység valós károkat okozhat.

6.3.10. Gyakorlati útmutató: soros RLC-kör mérése tanműhelyben

Cél: állíts össze soros RLC-kört, mérd meg az impedanciáját, és határozd meg a rezonanciafrekvenciát.

Eszközök és anyagok: függvénygenerátor (szinuszos kimenet), digitális multiméter (TRMS), oszcilloszkóp, két mérőzsinór, egy $R = 100\,\Omega$-os ellenállás, egy $L = 100\,\text{mH}$-os (légréses vagy vasmag nélküli, kis ohmos ellenállású) tekercs, egy $C = 10\,\mu\text{F}$-os fólia- (MKP) vagy bipoláris (nem polarizált) motorkondenzátor; polarizált elektrolitkondenzátor nem használható, próbapanel, jegyzőkönyv. Ezekkel $f_0 \approx 159\,\text{Hz}$, $X_L(f_0) = 100\,\Omega$, $Q = X_L/R = 1$; a várt áram 5 V-on: 50 Hz-en kb. 16,5 mA, 100 Hz-en kb. 36 mA, f_0-nál 50 mA. A generátor belső ellenállása (pl. 50 Ω) soros ellenállásként viselkedik, és laposítja a görbét; ezért a kapcsokon mért feszültséget tartsd 5 V-on.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi, törpefeszültségű környezetre vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A függvénygenerátor kimeneti feszültsége legfeljebb 12 V effektív, a kimenetet ne zárd rövidre.

Lépések:

1. Kapcsold ki a függvénygenerátort, és állítsd a kimeneti feszültséget 5 V effektív értékre, frekvenciát 100 Hz-re.
2. Kösd sorba az ellenállást, a tekercset és a kondenzátort a próbapanelen, a generátor kimenetére.
3. Ellenőrizd a kapcsolást: a generátort lecsatlakoztatva mérd meg ohmmérővel az R és az L sorosan kötött szakaszát (néhány tíz–száz Ω), a kondenzátort pedig külön kapacitásmérővel. A teljes soros RLC-kör egyenáramon szakadást mutat, ez helyes, mert a kondenzátor egyenáramon nem vezet.
4. Kapcsold be a generátort, és mérd meg a generátor kimeneti feszültségét és a körben folyó áramot (a multimétert sorba kötve, vagy áramváltós lakatfogóval).
5. Számold ki az impedanciát $Z = U/I$ képlettel. Írd be a jegyzőkönyvbe.
6. Mérd meg külön a tekercs és a kondenzátor feszültségét, valamint az ellenállás feszültségét. Ellenőrizd, hogy a fázorfeszültség-összeg $U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$ közelítőleg visszaadja a generátorfeszültséget.
7. Változtasd a frekvenciát 50 Hz-től 500 Hz-ig, és minden mérési ponton jegyezd fel az áramot. A rezonanciafrekvenciánál az áram maximális lesz – ezt a pontot azonosítsd.
8. Kapcsold ki a generátort, és ellenőrizd a mérési összeállítást: semmi ne melegedjen, a kondenzátor ne legyen duzzadt.

Ellenőrzési pontok: A rezonanciafrekvencián a mért impedancia közelítőleg R nagyságú. A fázorösszegzés hibája ne haladja meg a műszer pontosságából adódó néhány százalékot.

Tipikus hibák a mérés során: a tekercset és a kondenzátort párhuzamosan kötöd; a multimétert feszültség-állásban hagyod és áramot próbálsz mérni; a generátor kimenetét túl nagyra állítod, és a jel levágódik. Mindegyik hibát azonnal javítsd, mielőtt továbblépnél.

Dokumentálás: rögzítsd a műszer típusát, a beállításokat, a mért értékeket és a számított impedanciát. A jegyzőkönyv legyen olyan, hogy később bárki megismételhesse a mérést.

6.3.11. Tipikus hibák

1. **A reaktanciák abszolút értékének összeadása.** Hiba: $X = X_L + X_C$ használata a soros körben. A helyes képlet $X = X_L - X_C$, mert a tekercs és a kondenzátor feszültsége ellentétes fázisú. Ha valaki összeadja, az impedancia nagyobb lesz, mint a valóság, és az áramot alulbecsüli.
2. **A fázisszög előjelének eltévesztése.** Induktív körben az áram késik, ezért φ pozitív; kapacitív körben az áram siet, φ negatív. A hurokimpedancia-mérésnél a hiba a védelmi számítások téves irányát okozhatja.
3. **A mértékegység-átváltás elhanyagolása.** Az L értékét mH-ban, a C értékét µF-ban adják meg, de a képletben henry és farad kell. A $10\,\text{mH}$ nem $10\,\text{H}$, hanem $0{,}01\,\text{H}$; a $100\,\mu\text{F}$ pedig $100 \cdot 10^{-6}\,\text{F}$.
4. **A rezonancia veszélyének alábecsülése.** Soros rezonanciánál a tekercsen és kondenzátoron a tápfeszültség többszöröse is felléphet. A szerelő ne feltételezze, hogy a hálózati feszültségű alkatrészeken mindig legfeljebb 230 V jelenik meg; a megfelelő szigetelést és a gyártói előírásokat be kell tartani.

6.3.12. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy soros RLC-körben rezonancián az impedancia maximális? Indokold!
2. Számítsd ki a rezonanciafrekvenciát, ha $L = 20\,\text{mH}$ és $C = 50\,\mu\text{F}$.
3. Egy soros körben $R = 10\,\Omega$, $X_L = 30\,\Omega$, $X_C = 10\,\Omega$. Mekkora az impedancia és a fázisszög?
4. Párhuzamos körben $G = 0{,}01\,\text{S}$, $B_L = 0{,}08\,\text{S}$, $B_C = 0{,}03\,\text{S}$. Az áram siet vagy késik a feszültséghez képest?
5. Mi a különbség a soros és a párhuzamos rezonancia között az impedancia szempontjából?
6. Miért veszélyes a kondenzátorok hálózati rezonanciája az ipari hálózatban?

6.3.13. Megoldások – Önellenőrzés

1. **Hamis.** Soros RLC-körben rezonancián az impedancia minimális, éppen $Z = R$, ezért az áram maximális.
2. $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{0{,}02 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}} = 159{,}2\,\text{Hz}$.
3. $X = X_L - X_C = 20\,\Omega$, $Z = \sqrt{10^2 + 20^2} = 22{,}36\,\Omega$, $\varphi = \arctan(20/10) = 63{,}4^\circ$, induktív jelleg.
4. $B_L - B_C = 0{,}08 - 0{,}03 = 0{,}05\,\text{S} > 0$, tehát az áram késik, a kör induktív jellegű ($\varphi = \arctan(0{,}05/0{,}01) = +78{,}7^\circ$).
5. Soros rezonanciánál az impedancia minimális, az áram maximális; párhuzamosnál az impedancia maximális, a főág árama minimális.

6. A kondenzátor és a hálózati induktivitás párhuzamos rezgőkört alkothat, amely harmonikus frekvencián áramrezonanciát okoz, túlárammal és túlmelegedéssel.

6.3.14. Feladatok

1. feladat (A). Soros körben $R = 33\,\Omega$, $L = 47\,\text{mH}$, $C = 10\,\mu\text{F}$, $f = 400\,\text{Hz}$. Számítsd ki az impedanciát és a fázisszöget.

2. feladat (A). Add meg az admittancia képletét párhuzamos RLC-körre, és sorold fel az egységeit.

3. feladat (B). Egy soros RLC-körre $U = 24\,\text{V}$, $f = 1\,\text{kHz}$, $R = 22\,\Omega$, $L = 5\,\text{mH}$, $C = 2\,\mu\text{F}$. Mekkora az áram, és mekkora feszültség esik a tekercsen?

4. feladat (B). Párhuzamos körben $U = 230\,\text{V}$, $f = 50\,\text{Hz}$, $R = 1000\,\Omega$, $L = 100\,\text{mH}$, $C = 20\,\mu\text{F}$. Számítsd ki az eredő áramot és az admittanciát.

5. feladat (C). Igazold, hogy a soros RLC-kör rezonanciafrekvenciáján a tekercs feszültsége $U_L = Q \cdot U$, ahol $Q = X_L/R$ a jósági tényező. Milyen feltétel mellett lesz ez a feszültség nagyobb a tápfeszültségnél?

6. feladat (D). A gyakorlati útmutató mérésében a generátorfeszültség 5 V, a mért áram 36 mA 100 Hz-en, és a rezonanciafrekvencián a mért áram 50 mA. Határozd meg a kör ellenállását, és ellenőrizd, hogy a rezonanciánál a mért impedancia közelítőleg R nagyságú-e.

6.3.15. Megoldások – Feladatok

1. feladat. $\omega = 2\pi \cdot 400 = 2513{,}3\,\frac{\text{rad}}{\text{s}}$. $X_L = \omega L = 2513{,}3 \cdot 0{,}047 = 118{,}1\,\Omega$. $X_C = 1/(\omega C) = 1/(2513{,}3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}) = 39{,}79\,\Omega$. $X = 118{,}1 - 39{,}79 = 78{,}31\,\Omega$. $Z = \sqrt{33^2 + 78{,}31^2} = 85{,}0\,\Omega$. $\varphi = \arctan(78{,}31/33) = 67{,}2^\circ$, induktív.

2. feladat. $Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$, ahol $G = 1/R$, $B_L = 1/(\omega L)$, $B_C = \omega C$, mértékegysége siemens (S).

3. feladat. $\omega = 2\pi \cdot 1000 = 6283{,}2\,\frac{\text{rad}}{\text{s}}$. $X_L = 6283{,}2 \cdot 0{,}005 = 31{,}42\,\Omega$. $X_C = 1/(6283{,}2 \cdot 2 \cdot 10^{-6}) = 79{,}58\,\Omega$. $X = 31{,}42 - 79{,}58 = -48{,}16\,\Omega$. $Z = \sqrt{22^2 + (-48{,}16)^2} = 52{,}95\,\Omega$. $I = 24/52{,}95 = 0{,}453\,\text{A} = 453\,\text{mA}$. $U_L = IX_L = 0{,}453 \cdot 31{,}42 = 14{,}23\,\text{V}$.

4. feladat. $\omega = 314{,}16\,\frac{\text{rad}}{\text{s}}$. $G = 1/1000 = 0{,}001\,\text{S}$. $B_L = 1/(314{,}16 \cdot 0{,}1) = 0{,}03183\,\text{S}$. $B_C = 314{,}16 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 0{,}00628\,\text{S}$. $B = 0{,}00628 - 0{,}03183 = -0{,}02555\,\text{S}$. $Y = \sqrt{0{,}001^2 + (-0{,}02555)^2} = 0{,}02557\,\text{S}$. $I = UY = 230 \cdot 0{,}02557 = 5{,}88\,\text{A}$.

5. feladat. Rezonancián $X_L = X_C$, így $Z = R$, és $I = U/R$. Ekkor $U_L = IX_L = U\frac{X_L}{R} = Q \cdot U$. A tekercsfeszültség akkor nagyobb a tápfeszültségnél, ha $Q > 1$, azaz $X_L > R$. Jó minőségű tekercsnél a jósági tényező tíz vagy száz is lehet, ezért a rezonancia közeli túlfeszültség valós veszély.

6. feladat. 100 Hz-en a mért impedancia $Z = U/I = 5/0{,}036 \approx 139\,\Omega$ (a számított érték: $\sqrt{100^2 + (62{,}8 - 159{,}2)^2} \approx 139\,\Omega$). A rezonanciánál a mért áram maximális, tehát $I_{max} = 50\,\text{mA}$, ekkor $Z = R$, így $R = 5/0{,}05 = 100\,\Omega$. A rezonanciánál a mért impedancia éppen R nagyságú, ami összhangban van az elmélettel.

6.3.16. Rövid összefoglaló

Az impedancia a váltakozó áramú körben a feszültség és az áram effektív értékének hányadosa, mértékegysége ohm. Soros RLC-körben $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$, ahol $X_L = \omega L$ és $X_C = 1/(\omega C)$. Az impedancia fázisszöge $\varphi = \arctan\left((X_L - X_C)/R\right)$; pozitív érték induktív, negatív kapacitív jelleget jelent. Párhuzamos RLC-körben az admittancia $Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$ siemensben, ahol $G = 1/R$, $B_L = 1/(\omega L)$, $B_C = \omega C$. Rezonancián $X_L = X_C$, illetve $B_L = B_C$, a rezonanciafrekvencia $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$. Soros rezonanciánál az impedancia minimális, és a tekercsen/kondenzátoron nagy túlfeszültség léphet fel; párhuzamos rezonanciánál a főág árama minimális, de az ágakban túláram alakulhat ki. A hálózati harmonikusok és a fázisjavító kondenzátorok rezonanciája valós szerelői kockázat. Ezt a számítási módszert használjuk a hurokimpedancia kiértékelésénél és a teljesítménytényező javításánál, amit a Teljesítmények és teljesítménytényező alfejezetben részletezünk.

6.3.17. Források és ellenőrzési hiányok

A levezetések és a példák az elektrotechnika klasszikus, stabil összefüggésein alapulnak, ezért külön forrásmegjelölés nem szükséges. A szabványhivatkozásoknál az aktuális EMC- és feszültségminőségi szabványok pontos jelzete ellenőrzendő; a hurokimpedancia-mérés szabványi hátterét a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezet tárgyalja.

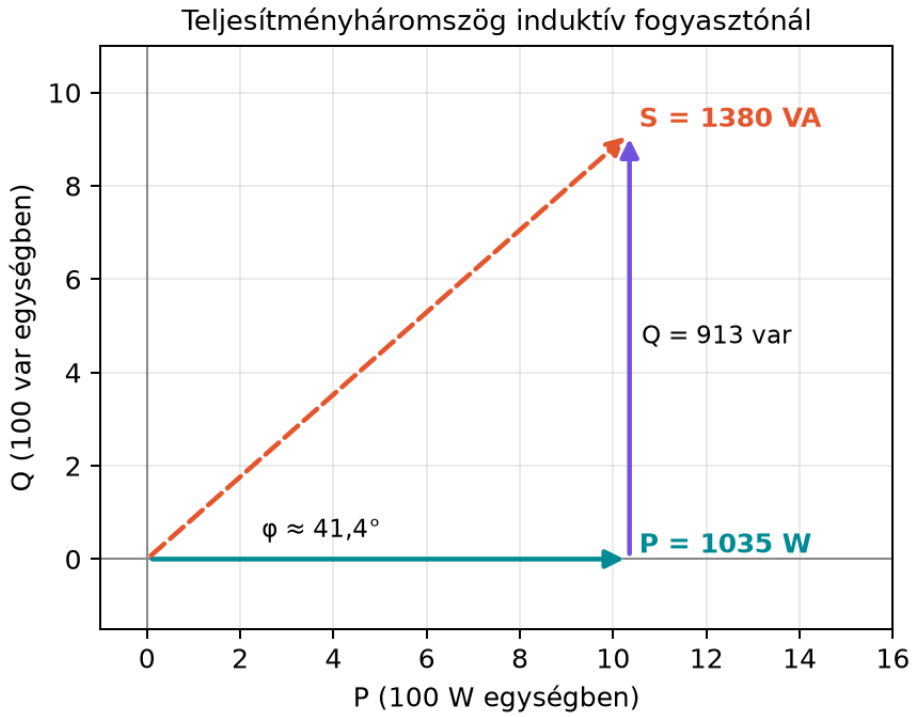
6.4. Teljesítmények és teljesítménytényező

6.4.1. Miért kell ezt tudnod a műhelyben?

Egy egyfázisú kompresszormotor adattábláján a hálózatból felvett hatásos teljesítményként „2,1 kW” szerepel, a lakatfogóval mért áram viszont nagyobb, mint amit a teljesítményből és a feszültségből számolnál. Ha a hálózatból felvett áramot egyszerűen $I = P/U$ képlettel becsülöd, alulméretezheted a vezetéket vagy a kismegszakítót. A jelenséget a váltakozó áramú teljesítmény három összetevője magyarázza: a hatásos, a meddő és a látszólagos teljesítmény. Ugyanezért kell értened a teljesítménytényezőt ($\cos\varphi$) és a fázisjavítás elvét is, mert a rossz $\cos\varphi$ nagyobb áramot, nagyobb melegedést és nagyobb feszültségesést okoz.

6.4.2. Szemléletes kép: a teljesítményháromszög

Induktív fogyasztónál – például motornál, transzformátornál, régi típusú fénycsőnél – a hatásos, meddő és látszólagos teljesítmény derékszögű háromszöget alkot.



6.12. ábra. Teljesítményháromszög induktív fogyasztónál - Méretarányos rajz az 1. példa adataival (tengelyek: 100 W, 100 var, 100 VA egységben): P = 1035 W, Q = 913 var, S = 1380 VA; a P és S közötti szög $\varphi = \arccos 0{,}75 \approx 41{,}4°$.

A vízszintes P a hasznos munkává alakuló hatásos teljesítmény, a függőleges Q a mágneses tér fenntartásához szükséges meddő teljesítmény, az átfogó S pedig az a látszólagos teljesítmény, amelyet a hálózatból ténylegesen fel kell venni ahhoz, hogy a fogyasztó működjön. A P és S közötti szög a φ fázisszög.

6.4.3. Hatásos, meddő és látszólagos teljesítmény

Definíció.
- **Hatásos teljesítmény** (P, mértékegysége watt, W): a villamos energiából időegység alatt hasznos munkává vagy hővé alakuló átlagos teljesítmény.
- **Meddő teljesítmény** (Q, mértékegysége var, azaz volt-amper reaktív): a tekercsek mágneses terét, illetve a kondenzátorok elektromos terét feltöltő-lemerítő energia lengésének csúcsteljesítménye. Hasznos munkát átlagosan nem végez.
- **Látszólagos teljesítmény** (S, mértékegysége VA, volt-amper): a feszültség és az áram effektív értékének szorzata. Ez határozza meg a vezetékben folyó áramot, ezért a méretezésnél ezt kell alapul venni.
- **Teljesítménytényező** ($\cos\varphi$): a hatásos és látszólagos teljesítmény hányadosa.

Egyfázisú, szinuszos hálózaton:

$$P = U\,I\,\cos\varphi,$$

$$Q = U\,I\,\sin\varphi,$$

$$S = U\,I.$$

Ebből következik a teljesítményháromszög alapegyenlete:

$$S^2 = P^2 + Q^2.$$

Megjegyzés. A teljesítménytényező nem azonos a hatásfokkal. A hatásfok a hasznosított és a felvett energia aránya, míg $\cos\varphi$ azt mutatja, hogy a felvett látszólagos teljesítményből mennyi a hatásos. Egy motor adattábláján megadott P ráadásul általában a leadott mechanikai teljesítmény, ezért a villamos hatásos teljesítményt még a hatásfokkal is korrigálni kell.

6.4.4. Honnan jön a $P = U\,I\,\cos\varphi$?

Levezetés. Legyen a feszültség és az áram szinuszos, azonos körfrekvenciájú, az áram φ szöggel késik a feszültséghez képest:

$$u(t) = \sqrt{2}\,U\,\sin(\omega t),$$

$$i(t) = \sqrt{2}\,I\,\sin(\omega t - \varphi).$$

A pillanatnyi teljesítmény a feszültség és az áram pillanatértékének szorzata:

$$p(t) = u(t)\,i(t) = 2\,U\,I\,\sin(\omega t)\,\sin(\omega t - \varphi).$$

A trigonometriai azonosság alapján:

$$2\,\sin A\,\sin B = \cos(A - B) - \cos(A + B).$$

Itt $A = \omega t$ és $B = \omega t - \varphi$, ezért $A - B = \varphi$ és $A + B = 2\omega t - \varphi$. Így:

$$p(t) = U\,I\,\cos\varphi - U\,I\,\cos(2\omega t - \varphi).$$

Az első tag időben állandó, ez a hatásos teljesítmény. A második tag kétszeres frekvenciával leng, egy teljes periódusra vett átlaga nulla, így a hatásos teljesítmény:

$$P = U\,I\,\cos\varphi.$$

A lengő rész csúcsértékéhez tartozó meddő teljesítményt a $\sin\varphi$ tényezővel definiáljuk:

$$Q = U\,I\,\sin\varphi.$$

Ebből a $P^2 + Q^2 = (UI)^2(\cos^2\varphi + \sin^2\varphi) = (UI)^2 = S^2$ összefüggés közvetlenül adódik. ∎

6.4.5. Számítási példa: egyfázisú motor teljesítményei

1. példa.
Egy egyfázisú motort 230 V hálózatra kötünk. A lakatfogóval mért áram 6 A, a teljesítménytényező $\cos\varphi = 0{,}75$, és az áram induktív jelleggel késik. Számítsuk ki S-et, P-t, Q-t és a fázisszöget!

Megoldás.
Adott: $U = 230\,\mathrm{V}$, $I = 6\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi = 0{,}75$.
Keresett: S, P, Q, φ.

$$S = U\,I = 230\,\mathrm{V} \cdot 6\,\mathrm{A} = 1380\,\mathrm{VA},$$

$$P = U\,I\,\cos\varphi = 1380\,\mathrm{VA} \cdot 0{,}75 = 1035\,\mathrm{W}.$$

A meddő tényező:

$$\sin\varphi = \sqrt{1-\cos^2\varphi} = \sqrt{1-0{,}75^2} = 0{,}6614.$$

$$Q = U\,I\,\sin\varphi = 230\,\mathrm{V} \cdot 6\,\mathrm{A} \cdot 0{,}6614 \approx 913\,\mathrm{var}.$$

A fázisszög:

$$\varphi = \arccos 0{,}75 \approx 41{,}4^\circ.$$

Ellenőrzés.
$P^2 + Q^2 = 1035^2 + 913^2 \approx 1\,071\,225 + 833\,569 = 1\,904\,794$, míg $S^2 = 1380^2 = 1\,904\,400$. A kis eltérés a kerekítésekből adódik, így az eredmény elfogadható.

6.4.6. A kis $\cos\varphi$ következménye és a fázisjavítás elve

Szabály. Ugyanakkora hatásos teljesítmény felvételéhez rosszabb $\cos\varphi$ esetén nagyobb áram folyik, mert

$$I = \frac{P}{U\cos\varphi}.$$

A nagyobb áram nagyobb melegedést és nagyobb feszültségesést okoz, ezért a vezetéket és a védelmi készüléket a látszólagos teljesítményből adódó áramra kell méretezni.

Fázisjavítás elve. Az induktív fogyasztó meddő teljesítményt vesz fel a hálózatból. Ha vele párhuzamosan kapacitív fogyasztót – fázisjavító kondenzátort – kapcsolunk, a kondenzátor meddő teljesítményt termel, így a hálózatból felvett meddő teljesítmény csökken. A hatásos teljesítmény közel változatlan marad, mert a kondenzátor vesztesége kicsi. A szükséges kondenzátor-meddőteljesítmény:

$$Q_C = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)\,,$$

ahol φ_1 az eredeti, φ_2 a javítás utáni fázisszög. Egyfázisú hálózaton a kondenzátor meddő teljesítménye:

$$Q_C = U^2\,\omega\,C = 2\pi f U^2\,C.$$

Ebből a szükséges kapacitás:

$$C = \frac{Q_C}{2\pi f U^2}.$$

2. példa.
Az előző, 1035 W hatásos teljesítményű, $\cos\varphi_1 = 0{,}75$ teljesítménytényezőjű fogyasztót $\cos\varphi_2 = 0{,}95$-re akarjuk javítani 230 V, 50 Hz hálózaton. Mekkora kondenzátorra van szükség?

Megoldás.
Először a szögfüggvényeket határozzuk meg:

$$\tan\varphi_1 = \frac{\sin(\arccos 0{,}75)}{0{,}75} \approx 0{,}8819,$$

$$\tan\varphi_2 = \frac{\sin(\arccos 0{,}95)}{0{,}95} \approx 0{,}3287.$$

A szükséges meddőteljesítmény:

$$Q_C = 1035\,\mathrm{W}\cdot(0{,}8819 - 0{,}3287) = 572{,}6\,\mathrm{var}.$$

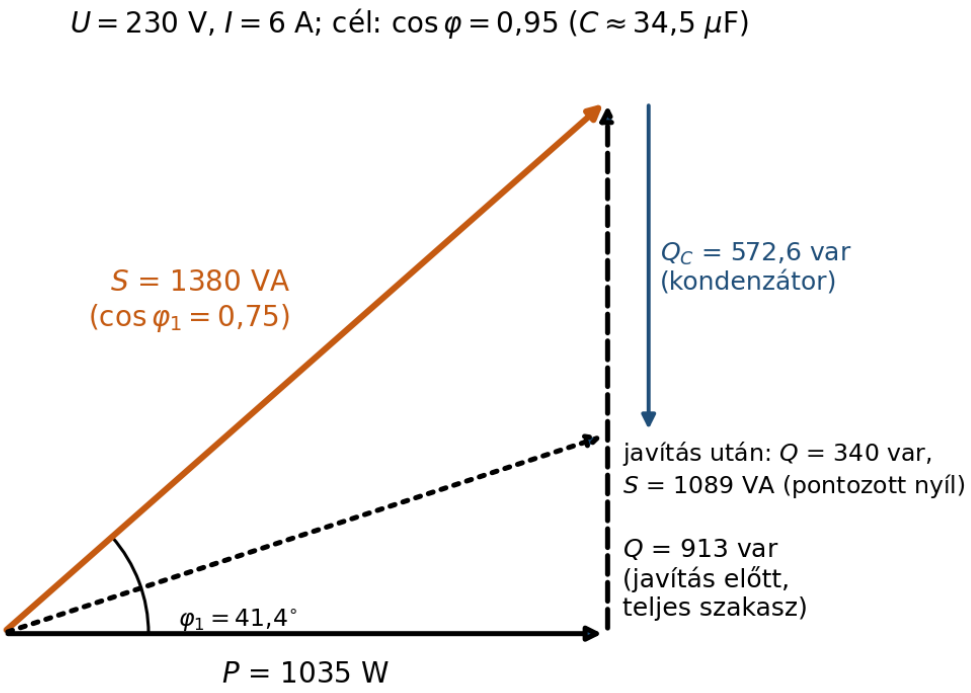
A kapacitás:

$$C = \frac{572{,}6\,\mathrm{var}}{2\pi\cdot 50\,\mathrm{Hz}\cdot(230\,\mathrm{V})^2} = \frac{572{,}6}{16\,619\,000} \approx 34{,}5\,\mu\mathrm{F}.$$

Ellenőrzés.
Ha $C = 34{,}5\,\mu$F-ot beépítünk, akkor $Q_C = (230)^2\cdot 314{,}16\cdot 34{,}5\cdot 10^{-6} \approx 572{,}6$ var, tehát a számítás konzisztens.

6.4.7. Interaktív ábra

Interaktív ábra. Az alábbi interaktív kalkulátorban beállíthatod a hálózati feszültséget, az áramot és a $\cos\varphi$-t. Az ábra kiszámolja a P, Q, S értékeket, megrajzolja a teljesítményháromszöget, és megmutatja, mekkora Q_C és C kell egy megadott cél-$\cos\varphi$ eléréséhez. A statikus tartalék ábrán ugyanez látható: a vízszintes tengelyen a P, a függőleges tengelyen a Q, az átfogón az S szerepel, és a nyíl mutatja, hogy a Q_C hogyan csökkenti a fogyasztó által felvett meddő teljesítményt.



6.13. ábra. Teljesítményháromszög és fázisjavító kalkulátor

6.4.8. Valós életbeli alkalmazás: kompresszor és a leoldó kismegszakító

Egy kisüzemi műhelyben az egyfázisú kompresszormotor adattáblája szerint a hálózatból felvett hatásos teljesítménye 2,1 kW (nem a tengelyen leadott teljesítmény: azt a hatásfokkal kellene visszaszámolni, lásd a Hiba 3. pontot), $\cos\varphi = 0{,}65$ (ellenőrizendő: adattábla). A szerelő azt tapasztalja, hogy a 16 A-es kismegszakító időnként leold, pedig a gép „csak két kilowattos”. A feszültség 228 V, a mért áram 14,1 A. A számítás:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{2100\,\mathrm{W}}{0{,}65} \approx 3231\,\mathrm{VA},$$

$$I = \frac{S}{U} = \frac{3231\,\mathrm{VA}}{228\,\mathrm{V}} \approx 14{,}2\,\mathrm{A}.$$

A tartós áram közel van a kismegszakító névleges áramához, de még alatta marad: a 16 A-es kismegszakító szokásos nem-kioldási árama $1{,}13 \cdot I_n \approx 18\,\mathrm{A}$ (a szokásos kioldási áram $1{,}45 \cdot I_n = 23{,}2\,\mathrm{A}$; ellenőrizendő: MSZ EN 60898-1, és a Kismegszakítók és kioldási jelleggörbék (B, C, D) alfejezet jelleggörbéi). Névleges környezeti hőmérsékleten a 14,2 A tartós áram tehát önmagában nem okoz hőkioldást, ezért a leoldás okát tovább kell keresni: az indítási áramlökés (mágneses kioldás: jelleggörbe, lágyindítás), a kompresszor terhelési csúcsai, a zsúfolt elosztóban egymást melegítő készülékek (magas környezeti hőmérséklet), laza kötés melegedése, vagy maga a motor (beszorult indítókapcsoló, hibás futókondenzátor) vesz fel nagyobb áramot. A fázisjavítás ezek egyikét sem szünteti meg, és a motor kapcsaira kötve önállóan nem ajánlott hibaelhárítás. A kondenzátoros számítás ezért itt csak számpélda arra, hogy mennyivel csökken a vezeték árama és melegedése: a szerelő egy 30 μF-os fázisjavító kondenzátort vesz fontolóra. A kondenzátor meddő teljesítménye:

$$Q_C = 2\pi \cdot 50\,\mathrm{Hz} \cdot (228\,\mathrm{V})^2 \cdot 30 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F} \approx 490\,\mathrm{var}.$$

Az eredeti meddő teljesítmény:

$$Q_1 = 2100\,\mathrm{W} \cdot \tan(\arccos 0{,}65) \approx 2455\,\mathrm{var}.$$

A javított meddő teljesítmény:

$$Q_2 = 2455 - 490 = 1965\,\mathrm{var}.$$

Az új látszólagos teljesítmény és áram:

$$S_2 = \sqrt{2100^2 + 1965^2} \approx 2876\,\mathrm{VA},$$

$$I_2 = \frac{2876\,\mathrm{VA}}{228\,\mathrm{V}} \approx 12{,}6\,\mathrm{A}.$$

A tartós áram így csökken, ezért kisebb a vezeték terhelése és melegedése, de a leoldás okát ez nem szünteti meg; az indítási áramlökést sem csökkenti érdemben. **Figyelem.** A fázisjavító kondenzátort motorüzemi célra kell kiválasztani, és gondoskodni kell a kisütéséről, mert kikapcsolás után veszélyes feszültség maradhat rajta. A pontos értéket a gyártói adatlap és a hatályos előírások szerint kell ellenőrizni.

6.4.9. Tipikus hibák

Hiba 1. A látszólagos teljesítményt algebrai összegként számolják: $S = P + Q$. Ez hibás, mert a háromszögben a Pitagorasz-tétel érvényes: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$. A mértékegységek is eltérőek: W, var és VA.

Hiba 2. A fázisjavító kondenzátort a $\cos\varphi$ értékek különbségéből méretezik: $Q_C = P(\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2)$. Helyesen a tangensek különbségével kell számolni, mert a meddő teljesítmény a $Q = P\tan\varphi$ összefüggésből adódik.

Hiba 3. A motor adattábláján szereplő kW-ot közvetlenül villamos hatásos teljesítményként használják. A motor leadott mechanikai teljesítménye van megadva, a villamos felvett hatásos teljesítmény ennél nagyobb, mert a hatásfok miatt $P_{\mathrm{vill}} = P_{\mathrm{lead}}/\eta$.

Hiba 4. A lakatfogóval mért áramból egyszerűen $P = U\,I$ képlettel számolnak, és elfelejtik a $\cos\varphi$-t. Így látszólagos teljesítményt kapnak, nem hatásosat.

6.4.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Ha egy fogyasztóra $U = 230\,\mathrm{V}$, $I = 4\,\mathrm{A}$ és $\cos\varphi = 0{,}9$, akkor a hatásos teljesítmény 828 W.

2. Számítsd ki a fenti adatokból S-t és Q-t!

3. Mi a hiba ebben az összefüggésben: $S = P + Q$?

4. Miért nem egyenlő a motor adattábláján szereplő kW a villamos hatásos teljesítménnyel?

5. Miért csökken a hálózati áram a fázisjavítás után, ha a hatásos teljesítmény változatlan?

6. Rajzold le a teljesítményháromszöget, és jelöld be, hol van az induktív meddő teljesítmény!

6.4.11. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld röviden a hatásos, meddő és látszólagos teljesítményt, valamint a teljesítménytényezőt!

2. feladat (A). Egy 230 V hálózatra kapcsolt fűtőbetét ellenállása $50\,\Omega$. Számítsd ki I, P, Q, S és $\cos\varphi$ értékét!

3. feladat (B). Egy egyfázisú motor 230 V feszültségről 8 A áramot vesz fel, a wattmérővel mért hatásos teljesítmény 1380 W. Számítsd ki S, $\cos\varphi$, $\sin\varphi$ és Q értékét!

4. feladat (B). Az előző motort fázisjavítással $\cos\varphi = 0{,}95$-re akarjuk hozni. Mekkora Q_C és mekkora C szükséges 230 V, 50 Hz hálózaton?

5. feladat (C). Egy műhelyben 230 V feszültségről egy fogyasztó 3,0 kW hatásos teljesítményt vesz fel, $\cos\varphi = 0{,}6$ teljesítménytényezővel. A betápláló kismegszakító névleges árama 20 A. Elfér-e a fogyasztó a védelmen? Ha nem, mekkora Q_C és C kell ahhoz, hogy a javított teljesítménytényező $\cos\varphi = 0{,}95$ legyen, és az áram 16 A alá csökkenjen?

6. feladat (D). Egy mérés során a következő értékeket rögzítik: $U = 230\,\mathrm{V}$, $I = 5{,}5\,\mathrm{A}$, $P = 950\,\mathrm{W}$. Számítsd ki S-t, $\cos\varphi$-t és Q-t! Ellenőrizd, hogy reális-e a kapott $\cos\varphi$, és nevezd meg, milyen műszerekkel lehet a mérést elvégezni!

6.4.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. $P = U\,I\cos\varphi = 230 \cdot 4 \cdot 0{,}9 = 828\,\mathrm{W}$.

2. $S = 230 \cdot 4 = 920\,\mathrm{VA}$; $\sin\varphi = \sqrt{1 - 0{,}9^2} \approx 0{,}4359$; $Q = 230 \cdot 4 \cdot 0{,}4359 \approx 401\,\mathrm{var}$.

3. A látszólagos teljesítmény nem algebrai, hanem Pitagorasz-tétel szerinti összeg: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$.

4. Az adattáblán a motor leadott mechanikai teljesítménye szerepel, a villamos felvett hatásos teljesítmény ennél nagyobb, mert a veszteségeket is fedezni kell.

5. A fázisjavítás csökkenti a hálózatból felvett meddő teljesítményt, így S és vele az áram is csökken, miközben P változatlan.

6. A háromszögben a vízszintes P, az átfogó S, az induktív Q pedig a függőleges pozitív irányba mutat; kapacitív Q esetén lefelé mutatna.

Feladatok – megoldások

1. feladat.
A hatásos teljesítmény a hasznos munkává alakuló átlagos teljesítmény, jele P, mértékegysége W. A meddő teljesítmény a reaktív elemek energialengésének csúcsteljesítménye, jele Q, mértékegysége var. A látszólagos teljesítmény a feszültség és az áram effektív értékének szorzata, jele S, mértékegysége VA. A teljesítménytényező a hatásos és látszólagos teljesítmény hányadosa: $\cos\varphi = P/S$.

2. feladat.
Adott: $U = 230\,\mathrm{V}$, $R = 50\,\Omega$.
Az áram:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230}{50} = 4{,}6\,\mathrm{A}.$$

Fűtőbetétnél $\cos\varphi = 1$, ezért:

$$P = U\,I = 230 \cdot 4{,}6 = 1058\,\mathrm{W},$$

$$S = P = 1058\,\mathrm{VA},$$

$$Q = 0\,\mathrm{var}.$$

Ellenőrzés. $P = U^2/R = 230^2/50 = 1058\,\mathrm{W}$, tehát az eredmény helyes.

3. feladat.
Adott: $U = 230\,\mathrm{V}$, $I = 8\,\mathrm{A}$, $P = 1380\,\mathrm{W}$.
Keresett: S, $\cos\varphi$, $\sin\varphi$, Q.

$$S = U\,I = 230 \cdot 8 = 1840\,\mathrm{VA}.$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{1380}{1840} = 0{,}75.$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi} = \sqrt{1 - 0{,}75^2} = 0{,}6614.$$

$$Q = U\,I\,\sin\varphi = 1840 \cdot 0{,}6614 \approx 1217\,\mathrm{var}.$$

Ellenőrzés. $S^2 = 3\,385\,600$, és $P^2 + Q^2 \approx 1\,904\,400 + 1\,481\,100 = 3\,385\,500$, ami kerekítési pontossággal egyezik.

4. feladat.
Adott: $P = 1380\,\mathrm{W}$, $\cos\varphi_1 = 0{,}75$, $\cos\varphi_2 = 0{,}95$.
Először a tangenseket számoljuk:

$$\tan\varphi_1 = \frac{0{,}6614}{0{,}75} = 0{,}8819,$$

$$\tan\varphi_2 = \frac{0{,}3122}{0{,}95} = 0{,}3287.$$

A szükséges meddőteljesítmény:

$$Q_C = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) = 1380 \cdot (0{,}8819 - 0{,}3287) \approx 763\,\mathrm{var}.$$

A kondenzátor kapacitása:

$$C = \frac{Q_C}{2\pi f U^2} = \frac{763}{2\pi \cdot 50 \cdot 230^2} \approx 45{,}9\,\mu\mathrm{F}.$$

5. feladat.
Adott: $U = 230\,\mathrm{V}$, $P = 3000\,\mathrm{W}$, $\cos\varphi_1 = 0{,}6$, $\cos\varphi_2 = 0{,}95$.
Az eredeti áram:

$$I_1 = \frac{P}{U\cos\varphi_1} = \frac{3000}{230 \cdot 0{,}6} \approx 21{,}7\,\mathrm{A}.$$

Ez meghaladja a 20 A-es kismegszakító névleges áramát, tehát a fogyasztó nem fér el.
A tangensek:

$$\tan\varphi_1 = \tan(\arccos 0{,}6) \approx 1{,}3333,$$

$$\tan\varphi_2 = \tan(\arccos 0{,}95) \approx 0{,}3287.$$

$$Q_C = 3000 \cdot (1{,}3333 - 0{,}3287) \approx 3014\,\mathrm{var}.$$

$$C = \frac{3014}{2\pi \cdot 50 \cdot 230^2} \approx 181\,\mu\mathrm{F}.$$

A javított áram:

$$I_2 = \frac{3000}{230 \cdot 0{,}95} \approx 13{,}7\,\mathrm{A},$$

tehát a 16 A alatti cél teljesül.

6. feladat.
Adott: $U = 230\,\mathrm{V}$, $I = 5{,}5\,\mathrm{A}$, $P = 950\,\mathrm{W}$.

$$S = 230 \cdot 5{,}5 = 1265\,\text{VA}.$$

$$\cos\varphi = \frac{950}{1265} \approx 0{,}751.$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1265^2 - 950^2} \approx 835\,\text{var}.$$

A $\cos\varphi = 0{,}75$ reális érték egy induktív fogyasztónál, például motornál. A méréshez voltmérő, lakatfogó vagy beépített ampermérő és wattmérő szükséges. A wattmérő a hatásos teljesítményt méri, a feszültség- és árammérőből a látszólagos teljesítményt számoljuk.

6.4.13. Rövid összefoglaló

Egyfázisú, szinuszos hálózaton a hatásos teljesítmény $P = UI\cos\varphi$, a meddő teljesítmény $Q = UI\sin\varphi$, a látszólagos teljesítmény pedig $S = UI$. A három mennyiség derékszögű háromszöget alkot: $S^2 = P^2 + Q^2$. A teljesítménytényező $\cos\varphi = P/S$ azt mutatja, hogy a felvett látszólagos teljesítményből mekkora hányad alakul hasznos teljesítménnyé. Rossz $\cos\varphi$ esetén ugyanakkora P-hez nagyobb áram tartozik, ezért a vezetéken nagyobb a melegedés és a feszültségesés. A fázisjavítás induktív fogyasztónál párhuzamosan kapcsolt kondenzátorral történik, amelynek szükséges meddőteljesítménye $Q_C = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$, a kapacitás pedig $C = Q_C/(2\pi f U^2)$. **Továbbvitt eredmény.** A P, Q, S és $\cos\varphi$ összefüggéseit használjuk az A háromfázisú rendszer és a hálózati jellemzők, a Háromfázisú teljesítmény, aszimmetria és a nullavezető, a Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők, a Fénytechnikai alapok és fényforrások és az Egyfázisú transzformátor: működés, felépítés, üresjárás és rövidzárás alfejezetekben.

7 Háromfázisú rendszer

7.1. A háromfázisú rendszer és a hálózati jellemzők

7.1.1. Miért van három fázis a mérőhelyen?

Amikor egy lakáselosztóban vagy kismegszakítós dobozban megmérjük a feszültségeket, a fázisvezetők és a nulla között 230 V-ot, két fázisvezető között pedig 400 V-ot kapunk. Ugyanabból a hálózatból tehát kétféle feszültségszint is rendelkezésre áll. Ez a háromfázisú rendszer alapja, és a villanyszerelő napi munkájában újra és újra előkerül: a lakossági fogyasztóknak gyakran egy fázist adnak, de a nagyobb fogyasztók, motorok, műhelygépek, napelemes rendszerek, átfolyós vízmelegítők már három fázist igényelhetnek.

Biztonsági korlát. A hálózati feszültségen végzett mérést és munkát csak jogosult, arra képesített személy végezheti. A tanuló ilyen munkát önállóan nem gyakorolhat; a példákat tanműhelyben vagy oktató felügyeletével kell elvégezni.

7.1.2. A háromfázisú generátor: három tekercs, 120°-os eltolás

Motiváló kép. Képzeljünk el egy hajtóművel forgatott generátort. Az állórészben három tekercs van, amelyek egymáshoz képest 120°-kal el vannak forgatva. Amikor a forgórész mágneses tere elhalad a tekercsek előtt, mindegyikben szinuszos feszültséget indukál, de a három feszültség időben nem egyszerre éri el a maximumát, hanem a teljes periódus egyharmadával eltolva.

A három tekercs tehát három, egymástól 120°-kal eltolt szinuszos feszültséget állít elő. Ha az egyik pillanatnyi feszültséget így írjuk fel:

$$u_1(t) = \hat{U}\sin(\omega t),$$

akkor a másik kettő:

$$u_2(t) = \hat{U}\sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), \qquad u_3(t) = \hat{U}\sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right).$$

Itt $\hat{U}$ a csúcsérték, $\omega = 2\pi f$, és $f = 50\,\mathrm{Hz}$ a hálózati frekvencia.

Miért 120°? A teljes kör 360°. Három feszültséget úgy tudunk egyenletesen elosztani az időben, hogy minden következő a másikhoz képest $360°/3 = 120°$-ot késik (vagy siet). Így a három fázis szimmetrikus rendszert alkot.

A három fázist a gyakorlatban **L1, L2, L3** jelöli. A fázissorrend az L1 → L2 → L3 sorrend, ami a későbbiekben meghatározza a forgó mező irányát is.

7.1.3. Fázisfeszültség és vonali feszültség

Definíció. Fázisfeszültség az a feszültség, amely egy fázisvezető és a csillagpont (a nulla, N) között mérhető. Jele U_f, értéke a magyarországi kisfeszültségű hálózaton $U_f = 230\,\mathrm{V}$.

Definíció. Vonali feszültség az a feszültség, amely két fázisvezető között mérhető. Jele U_v, értéke a magyarországi kisfeszültségű hálózaton $U_v = 400\,\mathrm{V}$.

A két feszültség nem független, hanem a 120°-os fáziseltolás miatt egymáshoz kötött:

$$U_v = \sqrt{3}\,U_f.$$

Mivel $\sqrt{3} \approx 1{,}732$, és $230\,\mathrm{V} \cdot 1{,}732 \approx 398{,}4\,\mathrm{V}$, a gyakorlatban ezt 400 V-ra kerekítjük.

Származtatás. A vonali feszültség két fázisfeszültség **vektori különbsége**, például $U_{12} = U_1 - U_2$. A 120°-os szög miatt a vektorok nem egyszerűen összeadódnak, hanem a különbség nagysága:

$$|U_1 - U_2| = \sqrt{U_f^2 + U_f^2 - 2U_f U_f \cos 120^\circ}.$$

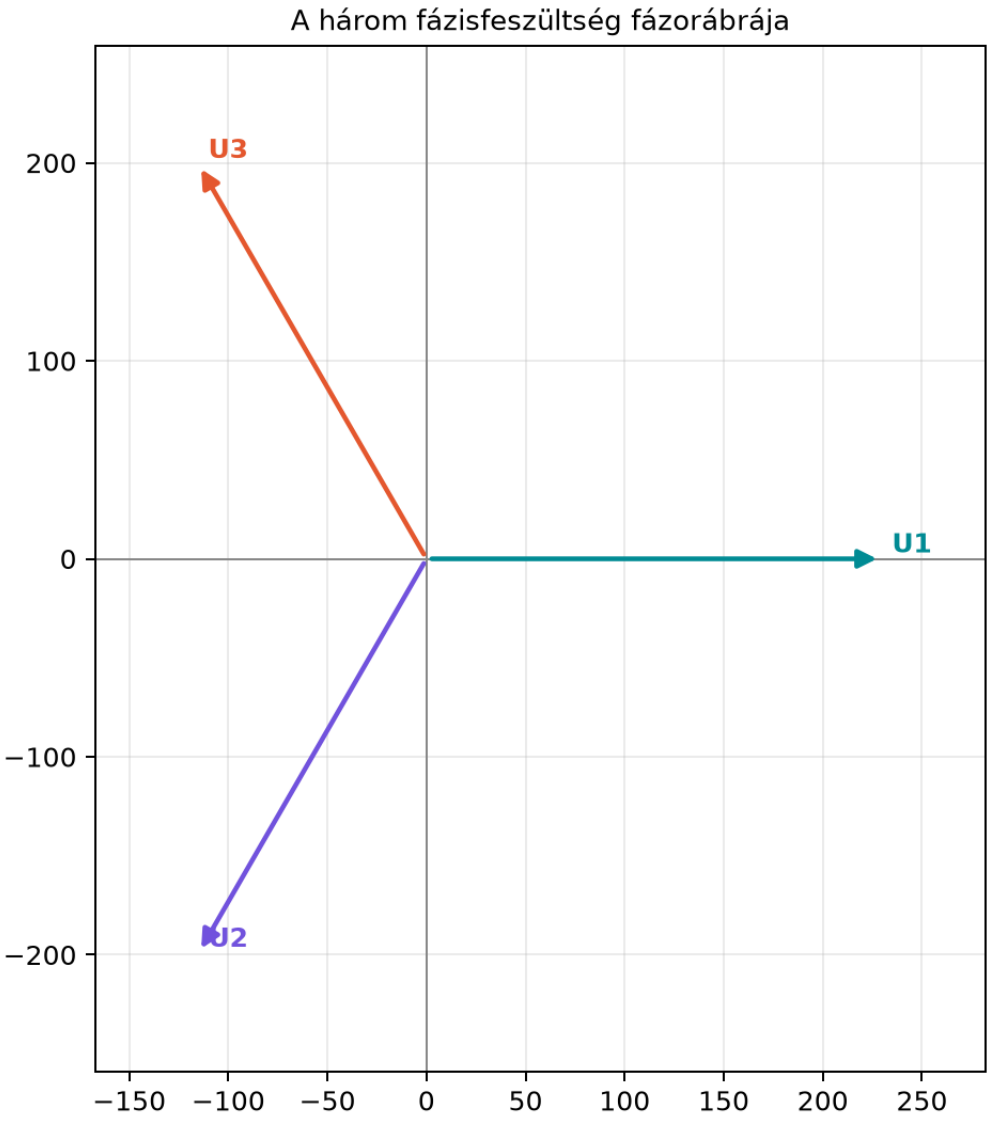
Mivel $\cos 120^\circ = -0{,}5$:

$$|U_1 - U_2| = \sqrt{2U_f^2 - 2U_f^2 \cdot (-0{,}5)} = \sqrt{3U_f^2} = \sqrt{3}\,U_f.$$

Ezért lesz a 230 V-os fázisfeszültségből 400 V-os vonali feszültség, nem pedig 460 V. ∎

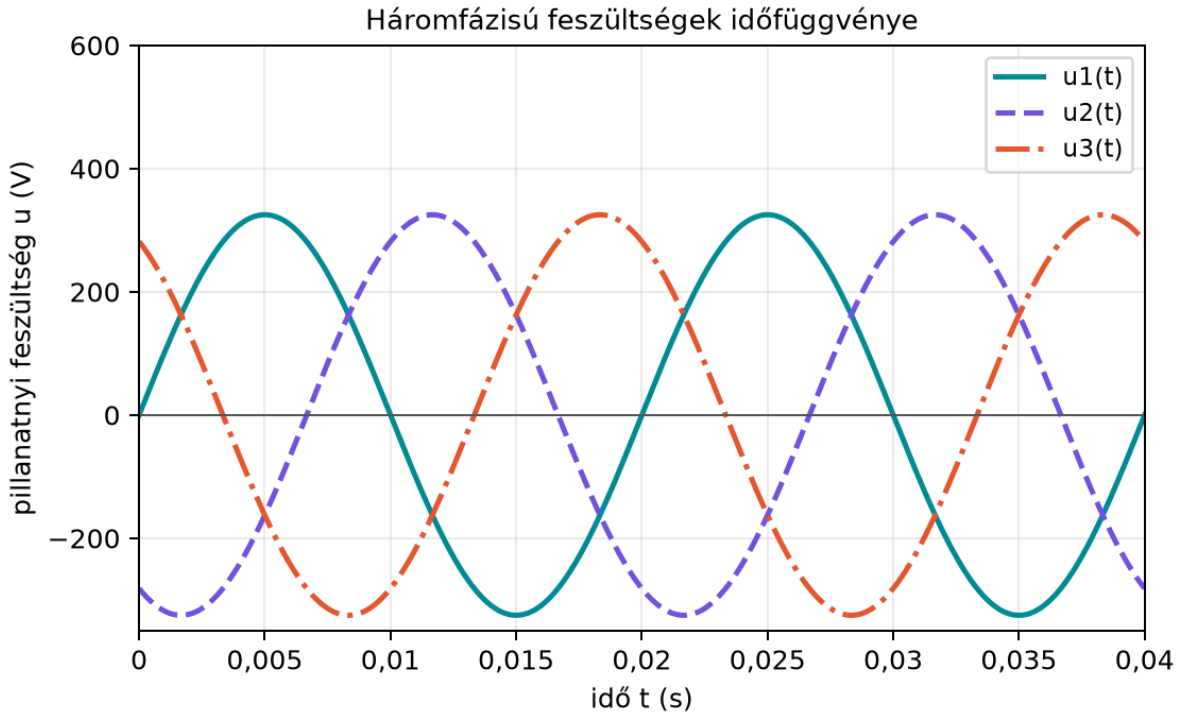
7.1.4. Fázorábra és időfüggvény

A három fázisfeszültség fázorai 120°-onként követik egymást. Az alábbi fázorábra az U_1, U_2, U_3 fázisfeszültségeket mutatja:



7.1. ábra. A három fázisfeszültség fázorábrája - Szemléltető ábra: a három fázisfeszültség 120°-os eltolással; U2 a −120°-os, U3 a +120°-os helyen ($u2 = \hat{U} \cdot \sin(\omega t - 120°)$, $u3 = \hat{U} \cdot \sin(\omega t + 120°)$). A vektorok hossza a 230 V effektív értéket jelképezi. Az óramutatóval ellentétes forgásnál a fázorok L1 → L2 → L3 sorrendben haladnak el a vízszintes tengely mellett.

A fázorok együtt forognak ω szögsebességgel, az időbeni lefutást szinuszgörbék adják:



7.2. ábra. Háromfázisú feszültségek időfüggvénye - Szemléltető, számított értékek: 230 V effektív feszültségű hálózat csúcsértéke 325 V, 50 Hz, 120°-os eltolással.

Az ábrán látszik, hogy a csúcsok időben egyenletesen, egymás után jelentkeznek. A 230 V **effektív érték**, a csúcsérték a szinuszos jelalak miatt $\hat{U} = U_f \cdot \sqrt{2} \approx 230 \cdot 1{,}414 \approx 325\,\text{V}$.

7.1.5. A magyarországi kisfeszültségű hálózat jellemzői

Szabvány. A kisfeszültségű elosztóhálózatok feszültségjellemzőit európai szabvány rögzíti. A névleges feszültség **230/400 V, 50 Hz, háromfázisú**. A csatlakozási ponton a feszültség normál üzemben a névleges érték ±10%-án belül marad (ellenőrizendő: aktuális feszültségjellemző szabvány, pl. MSZ EN 50160, és a hazai elosztói előírás). A frekvencia eltérése normál üzemben általában ±1% (49,5–50,5 Hz), de ez is ellenőrizendő.

Mit jelent ez a számokban?

Mennyiség	Névleges érték	Megjegyzés
Fázisfeszültség, U_f	230 V	fázisvezető és nulla között
Vonali feszültség, U_v	400 V	két fázisvezető között
Frekvencia, f	50 Hz	
Fázisszám	3	+ N, PE
Fáziseltolás	120°	szimmetrikus rendszer
Feszültségtűrés	±10%	ellenőrizendő: aktuális szabvány/elosztói előírás

A tűréshatár azt jelenti, hogy a fázisfeszültség a gyakorlatban 207 V és 253 V között, a vonali feszültség 360 V és 440 V között lehet, és ez még normál üzemnek számít. A szerelőnek ezt azért kell tudnia, mert a túlfeszültség-védelmi eszközök, tápegységek, motorok adattáblái 230/400 V-ra

vonatkoznak, de a teljes ±10%-os sávban tartósan is megbízhatóan kell működniük (ellenőrizendő: MSZ EN 50160 – a szabvány a ±10%-os sávot a 10 perces átlagértékek 95%-ára írja elő, a gyártói adatlap, valamint az elosztói előírás).

Hálózati rendszer. A magyarországi kisfeszültségű hálózat az elosztóhálózat egy részében TN-C-S rendszerű, ami azt jelenti, hogy a csatlakozási pont előtt a nulla és a védővezető funkciója közös PEN vezetőben van, majd a fogyasztói oldalon szétválasztják N-re és PE-re. A hálózati rendszereket részletesen a Hálózati rendszerek: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT alfejezet tárgyalja.

7.1.6. Vezetők jelölése és színei

A háromfázisú hálózatban a vezetőket pontosan azonosítani kell, mert a fázisok felcserélése hibás forgóirányt, aszimmetriát vagy veszélyes helyzetet okozhat.

Szabály. A kisfeszültségű szerelésekben a szabványos színjelölés a következő:

- **L1**: barna
- **L2**: fekete
- **L3**: szürke
- **N (nulla)**: világoskék
- **PE (védővezető)**: zöld-sárga

Az L1, L2, L3 jelölés rögzíti a fázissorrendet. Az N a semleges vezető (neutral conductor) jele; a hazai szóhasználatban „nulla”. A semleges vezető üzemi áramot visz: egyfázisú körben ugyanakkorát, mint a fázisvezető, háromfázisú körben a fázisáramok fázoros összegét – csak szimmetrikus terhelésnél nulla. A védővezető PE (Protective Earth) zöld-sárga színe kizárólag védelmi célra használható.

Megjegyzés. A korábbi hazai gyakorlatban a fázisvezetők jelölése R, S, T volt, és a színek is eltérhettek. Régi terveken, kapcsolószekrényekben még találkozhatunk ezzel, de az új szereléseknél az L1–L2–L3, barna–fekete–szürke jelölés a szabványos (ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás).

PEN vezető. A TN-C szakaszon a nulla és a védővezető közös, **PEN** jelölésű. A PEN vezető szigetelése zöld-sárga, és a végein világoskék jelölést kap, hogy a rendeltetése egyértelmű legyen. A PEN vezetőt a fogyasztói oldalon szétválasztják, és onnantól N és PE külön halad.

7.1.7. Miért háromfázisú a hálózat?

A háromfázisú rendszernek több olyan előnye van, amely miatt az egész villamosenergia-átvitel és -elosztás erre épül.

1. Átviteli előny. Ugyanannyi villamos teljesítményt három fázison kisebb összkeresztmetszetű vezetővel lehet átvinni, mintha ugyanazt a teljesítményt egyfázisúként, vagy három független egyfázisú áramkörként továbbítanánk. A háromfázisú rendszer pillanatnyi teljesítménye állandó, nem lüktet, így a hajtások és a hálózat mechanikai terhelése is egyenletesebb.

2. Forgó mágneses mező. A három, időben 120°-kal eltolt áram a térben is 120°-kal eltolt tekercsekben forgó mágneses mezőt hoz létre. Ez az alapja az aszinkron motoroknak, amelyek a legegyszerűbb, legrobusztusabb villamos forgógépek. A forgó mezőt a Fázissorrend, forgó mező és feszültségesés a vezetékben alfejezet, a motorokat pedig az Aszinkron (indukciós) gépek fejezet tárgyalja.

3. Két feszültségszint. A 230/400 V-os rendszer egyszerre kínál fázisfeszültséget és vonali feszültséget. A világítás és a dugaszoló aljzatok 230 V-ról, a nagy motorok és fűtések 400 V-ról üzemeltethetők.

4. Jobb kihasználtság. A három fázis közötti terheléselosztás csökkenti a nullavezető terhelését, és a feszültségesés is kisebb, mint ugyanolyan teljesítmény egyfázisú szállításakor.

7.1.8. Egyszerű számítások a 230/400 V-os hálózaton

1. példa. Mekkora a vonali feszültség, ha a fázisfeszültség 230 V?

Adott: $U_f = 230\,\mathrm{V}$.

Keresett: U_v.

Képlet: $U_v = \sqrt{3}\,U_f$.

Behelyettesítés: $U_v = 1{,}732 \cdot 230\,\mathrm{V} = 398{,}4\,\mathrm{V}$.

Eredmény: $U_v \approx 400\,\mathrm{V}$.

Ellenőrzés: A hálózati névleges értékkel egyezik, a szokásos kerekítéssel 400 V.

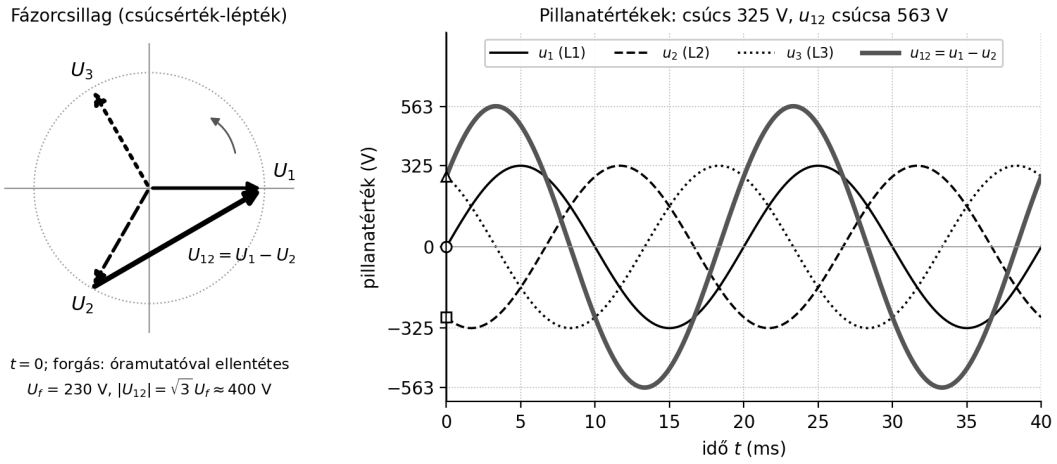
2. példa. Egy műhelyben a mérés során az L1–N feszültség 228 V, az L2–N feszültség 235 V, az L1–L2 feszültség 398 V. A tűréshatár ±10%. Megfelelnek-e ezek az értékek?

Megoldás. A névleges fázisfeszültség 230 V, a tűréshatár ±10%, azaz 230 ± 23 V, tehát 207–253 V. Az L1–N 228 V ezen belül van, az L2–N 235 V is. A vonali feszültség névleges 400 V, ±10% = 360–440 V, az L1–L2 398 V is megfelel. **Eredmény:** megfelelnek.

3. példa. A három fázisfeszültség fázorai 120°-kal eltoltak. Rajzoljuk fel, és mutassuk meg, hogy az $U_{12} = U_1 - U_2$ vektor hossza 400 V.

Megoldás. Az U_1 fázort 230 V hosszú, 0°-os vektornak vesszük. Az U_2 fázort 230 V hosszú, −120°-os vektornak. A különbség $U_1 - U_2$ vektora a fázorábrából adódik. A koordináták: $U_1 = (230; 0)$, $U_2 = (-115; -199{,}2)$. A különbség: $U_{12} = (230 - (-115); 0 - (-199{,}2)) = (345; 199{,}2)$. A hossza: $\sqrt{345^2 + 199{,}2^2} \approx \sqrt{119025 + 39681} = \sqrt{158706} \approx 398{,}4\,\mathrm{V} \approx 400\,\mathrm{V}$. Ezzel igazoltuk a $\sqrt{3}$-os arányt.

7.1.9. Interaktív ábra: fázorok és időfüggvények



7.3. ábra. Háromfázisú fázorcsillag és a fázisfeszültségek időfüggvénye $t = 0$-ban: U_1 0°-on, U_2 $-120°$-on, U_3 $+120°$-on; a vastag vektor és görbe az $U_{12} = U_1 - U_2$ vonali feszültség (csúcsérték 563 V)

Interaktív ábra. A HTML-kiadásban elérhető interaktív ábra lehetővé teszi a három fázisfeszültség időfüggvényének és fázorainak együttes megjelenítését. Csúsztatható az idő, így látható, hogyan forognak a fázorok, és hogyan alakulnak a pillanatnyi feszültségek. Kiválasztható két fázis, és megjeleníthető a köztük lévő vonali feszültség, amely mindig $\sqrt{3}$-szorosa a fázisfeszültségnek. A statikus ábra a $t = 0$ pillanatot mutatja: $u_1 = 0$, $u_2 \approx -282\,\mathrm{V}$, $u_3 \approx +282\,\mathrm{V}$, a fázorcsúcsok függőleges vetülete adja a pillanatértékeket; a vonali feszültség effektív értéke $\sqrt{3} \cdot 230 \approx 398\,\mathrm{V}$.

Mit lehet kipróbálni: állítsd az időt $t = 0$ és $t = 0{,}02\,\mathrm{s}$ között, és figyeld meg, hogy amikor az u_1 feszültség a csúcson van, a másik kettő éppen a negatív félciklusban, a csúcsérték felének megfelelő értéken van. A vonali feszültség $u_{12} = u_1 - u_2$ görbéje is szinuszos, effektív értéke 400 V, csúcsértéke $\sqrt{3} \cdot 325\,\mathrm{V} \approx 563\,\mathrm{V}$, és 30°-kal siet u_1-hez képest (230 V-os effektív fázisfeszültségek mellett).

7.1.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasházi elosztóban a szerelő azt a feladatot kapja, hogy ellenőrizze a közös mérőhely feszültségviszonyait, mert a lakók panaszkodnak, hogy egyes lakásokban néha gyengén világítanak a lámpák. A szerelő a mérőhelyen a műszerével megméri az L1, L2, L3 és N közötti feszültségeket:

- L1–N: 226 V
- L2–N: 231 V
- L3–N: 229 V
- L1–L2: 397 V
- L2–L3: 398 V
- L1–L3: 397 V

A mért értékek mind a ±10%-os tűréshatáron belül vannak, tehát a közös mérőhelyen nincs hálózati feszültségprobléma. A panaszkodó lakásokban a további mérések mutatják meg, hogy a feszültségesés a lakásokig tartó, rosszul méretezett vagy elöregedett vezetékszakaszokból adódik. Ez a példa is mutatja, miért kell a szerelőnek pontosan ismernie a hálózati névleges értékeket és

a megengedett eltéréseket: csak így tudja eldönteni, hol keresse a hibát. (A mérést csak jogosult személy végezheti.)

7.1.11. Tipikus hibák

1. Azt hinni, hogy a vonali feszültség 460 V. Sokan úgy gondolkodnak, hogy ha a fázisfeszültség 230 V, akkor két fázis között $230 + 230 = 460$ V a feszültség. Ez azért hibás, mert a fázisok nincsenek egy fázisban: a 120°-os eltolás miatt a különbség nagysága $\sqrt{3} \cdot 230 \approx 400\,\mathrm{V}$. A helyes művelet a vektori különbség, nem az algebrai összeg.

2. A fázissorrend felcserélése. Ha az L1, L2, L3 vezetőket nem a megfelelő sorrendben kötik be, a forgó mező iránya megfordul. Ez a motoroknál azt jelenti, hogy a motor az elvárt iránnyal ellentétesen forog, ami a hajtott gép (szivattyú, szalag, ventilátor) károsodásához vezethet. A bekötés előtt mindig ellenőrizni kell a fázissorrendet.

3. A nulla és a védővezető szerepének összetévesztése. A nulla (N) üzemi áramot vezet, a védővezető (PE) csak hiba esetén vezet áramot, és a védelmi funkciót látja el. Ha a nullát zöld-sárga vezetővel, vagy a védővezetőt kékkel kötjük be, a rendszer hibavédelme sérül, és életveszélyes állapot jöhet létre.

4. Az L2 és L3 színek felcserélése. A barna, fekete, szürke színjelölés önmagában csak a fázisvezetőket azonosítja, de az L2 és L3 pontos sorrendje a színekből nem mindig derül ki, ha a színek kifakultak vagy rosszul lettek felszerelve. A fázissorrendet műszerrel kell ellenőrizni, és a vezetékvégeket feliratozni.

7.1.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A vonali feszültség a fázisfeszültség kétszerese. Indokold!

2. Milyen színű a magyarországi szabványos kisfeszültségű hálózatban az L2 fázisvezető?

3. Mennyi a 230 V effektív értékű hálózati feszültség csúcsértéke?

4. Mi a különbség az N és a PE vezető között?

5. Rajzold fel vázlatosan a három fázisfeszültség fázorábráját, és jelöld be a 120°-os szögeket!

6. Egy mérés során L1–N = 218 V, L2–N = 222 V, L1–L2 = 378 V. Megfelelnek-e ezek a $\pm 10\%$-os tűréshatárnak?

7.1.13. Megoldások – Önellenőrzés

1. Hamis. A fázisok 120°-kal eltoltak, ezért a vonali feszültség $\sqrt{3}$-szorosa a fázisfeszültségnek: $\sqrt{3} \cdot 230 \approx 400\,\mathrm{V}$, nem $2 \cdot 230 = 460\,\mathrm{V}$.

2. Fekete.

3. $\hat{U} = 230 \cdot \sqrt{2} \approx 325\,\mathrm{V}$.

4. Az N (nulla) vezető az üzemi áram visszavezetője, a PE (védővezető) csak hiba esetén vezet áramot, és az egyenpotenciálra hozás része. Az N világoskék, a PE zöld-sárga.

5. A fázorábra három vektorból áll, egymástól 120°-ra, pl. 0°, 120°, 240° (vagy −120°). A vektorok hossza 230 V.

6. Fázisfeszültség tűrés: 207–253 V, a 218 V és 222 V megfelel. Vonali tűrés: 360–440 V, a 378 V is megfelel.

7.1.14. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a fázisfeszültséget és a vonali feszültséget! Milyen értékek tartoznak hozzájuk a magyarországi kisfeszültségű hálózaton?

2. feladat (A). Számítsd ki a vonali feszültséget, ha a fázisfeszültség 240 V!

3. feladat (B). Rajzold fel a három fázis időfüggvényét vázlatosan, $0 \le t \le 0{,}04\,\mathrm{s}$ intervallumra. Jelöld be, hol vannak a csúcsértékek, és add meg a csúcsérték nagyságát 230 V effektív feszültség esetén!

4. feladat (B). Egy ipari csatlakozóban a következő feszültségeket mérik: L1–N = 232 V, L2–N = 228 V, L3–N = 235 V, L1–L2 = 402 V, L2–L3 = 396 V, L1–L3 = 407 V. Ellenőrizze, hogy az értékek a ±10%-os tűréshatáron belül vannak-e!

5. feladat (C). Miért nem 460 V a vonali feszültség? Vezesd le a $\sqrt{3}$-os összefüggést a fázorok segítségével!

6. feladat (D). Egy új háromfázisú betáplálásnál a szerelő az L1, L2, L3 és N vezetőket köti be. A színek: barna, fekete, szürke, világoskék. Hogyan azonosítaná, hogy a tényleges fázissorrend megfelel-e az L1–L2–L3 sorrendnek, ha nincs fázissorrendmérője? Milyen egyszerű módszert ismer? (A válaszban ne végezzen hálózati munkát; csak a módszert írja le, a gyakorlatot tanműhelyben vagy jogosult oktató felügyeletével lehet elvégezni.)

7.1.15. Megoldások a feladatokhoz

1. feladat megoldása. A fázisfeszültség a fázisvezető és a nulla (N) közötti feszültség, értéke 230 V. A vonali feszültség két fázisvezető közötti feszültség, értéke 400 V. A kapcsolat: $U_v = \sqrt{3}\,U_f$.

2. feladat megoldása. $U_v = \sqrt{3} \cdot 240\,\mathrm{V} = 415{,}7\,\mathrm{V}$. Kerekítve 416 V. Ez éppen a tűréshatáron belül van (400 V ±10% = 360–440 V).

3. feladat megoldása. A három szinuszgörbe 120°-kal eltolt. A csúcsérték $\hat{U} = 230 \cdot \sqrt{2} \approx 325\,\mathrm{V}$. A csúcsok időben $t_1 = 0{,}005\,\mathrm{s}$ (az első negyedperiódus vége), $t_2 = 0{,}005 + 0{,}02/3 \approx 0{,}0117\,\mathrm{s}$, $t_3 = 0{,}005 + 2 \cdot 0{,}02/3 \approx 0{,}0183\,\mathrm{s}$. (A pontos értékek a függvényből adódnak; a vázlatnál a három görbe egymáshoz képesti eltolása a lényeg.)

4. feladat megoldása. Fázisfeszültségek: 232, 228, 235 V. Tűrés: 207–253 V, mindegyik megfelel. Vonali feszültségek: 402, 396, 407 V. Tűrés: 360–440 V, mindegyik megfelel. A hálózat értékei tehát a megengedett tartományban vannak.

5. feladat megoldása. A vonali feszültség nem algebrai összeg, hanem vektori különbség. Az U_1 és U_2 fázorok 120°-ot zárnak be. A különbségük hossza a koszinusztétellel:

$$|U_1 - U_2| = \sqrt{U^2 + U^2 - 2U^2\cos 120^\circ} = \sqrt{2U^2 + U^2} = \sqrt{3U^2} = \sqrt{3}U.$$

Ha $U = 230\,\mathrm{V}$, akkor $\sqrt{3} \cdot 230 \approx 400\,\mathrm{V}$.

6. feladat megoldása. A szerelő a bekötés előtt a vezetők végeit feliratozza, és a tényleges fázissorrendet fázissorrendmérővel ellenőrzi. Ha nincs ilyen műszere, akkor egy egyszerű módszer: a három fázisra egy kis háromfázisú aszinkron motort kapcsolva a forgásirányból lehet

következtetni a fázissorrendre, ha ismert, hogy a motor a helyes sorrend esetén milyen irányba forog. Ezt a vizsgálatot tanműhelyben, oktató felügyeletével lehet elvégezni. A gyakorlatban a fázissorrendmérő használata a szokásos.

7.1.16. Rövid összefoglaló

A villamosenergia-hálózat háromfázisú, mert így gazdaságos az átvitel, állandó a pillanatnyi teljesítmény, és forgó mágneses mező hozható létre. A háromfázisú generátor három, egymáshoz képest 120°-kal eltolt tekercsben három fázisfeszültséget állít elő. A fázisfeszültség (fázis–nulla) a magyarországi kisfeszültségű hálózaton 230 V, a vonali feszültség (fázis–fázis) 400 V, mert $U_v = \sqrt{3}\,U_f$. A hálózati frekvencia 50 Hz, a feszültség tűréshatára normál üzemben ±10% (ellenőrizendő). A fázisvezetőket L1, L2, L3 jelöli, színük barna, fekete, szürke; a nulla N világoskék, a védővezető PE zöld-sárga. **Továbbvitt eredmény.** A 230/400 V-os hálózati jellemzőket és a fázisszámot használjuk a Csillag és delta kapcsolás alfejezetben a tekercsek kapcsolásához, valamint a Hálózati rendszerek: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT alfejezetben a hibavédelmi rendszerek tárgyalásához. A fázissorrend a forgó mező irányát határozza meg a motoroknál, ezért a vezetők pontos bekötése és feliratozása alapvető.

7.1.17. Források és ellenőrzési hiányok

A jelen alfejezetben nincs webes kutatási eredmény. A klasszikus elektrotechnikai összefüggések (√3-as kapcsolat, effektív érték) stabil tudásnak tekinthetők. A szabványos vezetőszínek, a feszültségtűrés és a hálózati jellemzők aktuális értékét a kiadás előtt ellenőrizni kell a hatályos MSZ EN / MSZ HD szabványokban és a hazai elosztói előírásban.

7.2. Csillag és delta kapcsolás

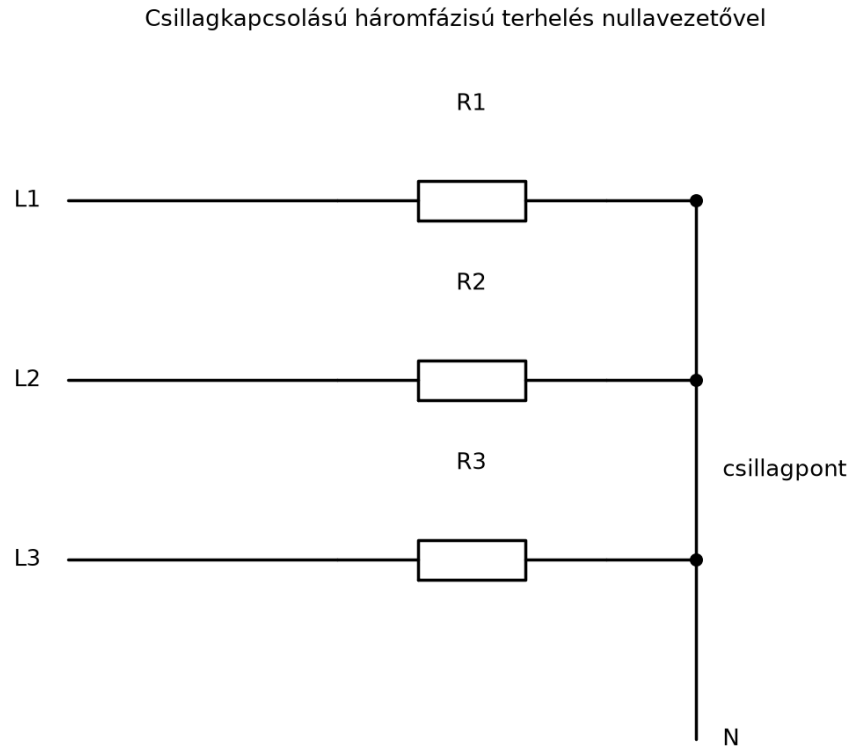
Egy háromfázisú motor kapocsdoboza előtt állsz: hat kapocs, néhány réz kapocshíd, és a munkatárs azt mondja: „Ezt most csillagba kell kötni, mert 230 V-os tekercsekkel csak így mehet a 400 V-os hálózatra.” Ha elrontod a bekötést, a motor nem indul, túlterhelésvédő leold, vagy rosszabb esetben leég a tekercs. Ebben az alfejezetben megtanulod, hogyan kapcsolódnak a háromfázisú fogyasztók (és generátorok) tekercsei csillagba vagy deltába, mi a különbség a vonali és fázismennyiségek között, és miért éppen $\sqrt{3}$ a váltószám.

7.2.1. Szemléletes kép

Képzelj el egy háromfázisú hálózatot: három fázisvezető (L1, L2, L3) és adott esetben egy nullavezető (N). A fogyasztóban – például egy motorban, fűtőbetétben vagy generátorban – három tekercs vagy ellenállás van. Ezeket a tekercseket két alapvető módon lehet összekötni:

- **Csillagban (Y):** mind a három tekercs egyik vége egy közös ponthoz, a csillagponthoz kapcsolódik; a másik három vége a három fázisvezetőre megy.
- **Deltában (Δ):** a tekercsek soros hurkot alkotnak: az első vége a második kezdetére, a második vége a harmadik kezdetére, a harmadik vége az első kezdetére. A három kapcsolódási pont a három fázisvezetőre csatlakozik.

Nézzük meg először a csillagkapcsolást egy kapcsolási rajzon, ahol R_1, R_2, R_3 három azonos terhelő ellenállás:



7.4. ábra. Csillagkapcsolású háromfázisú terhelés nullavezetővel - A három ellenállás egyik vége közös csillagpontra csatlakozik, ahonnan a nullavezető indul. A másik végek az L1, L2, L3 fázisvezetőkre csatlakoznak.

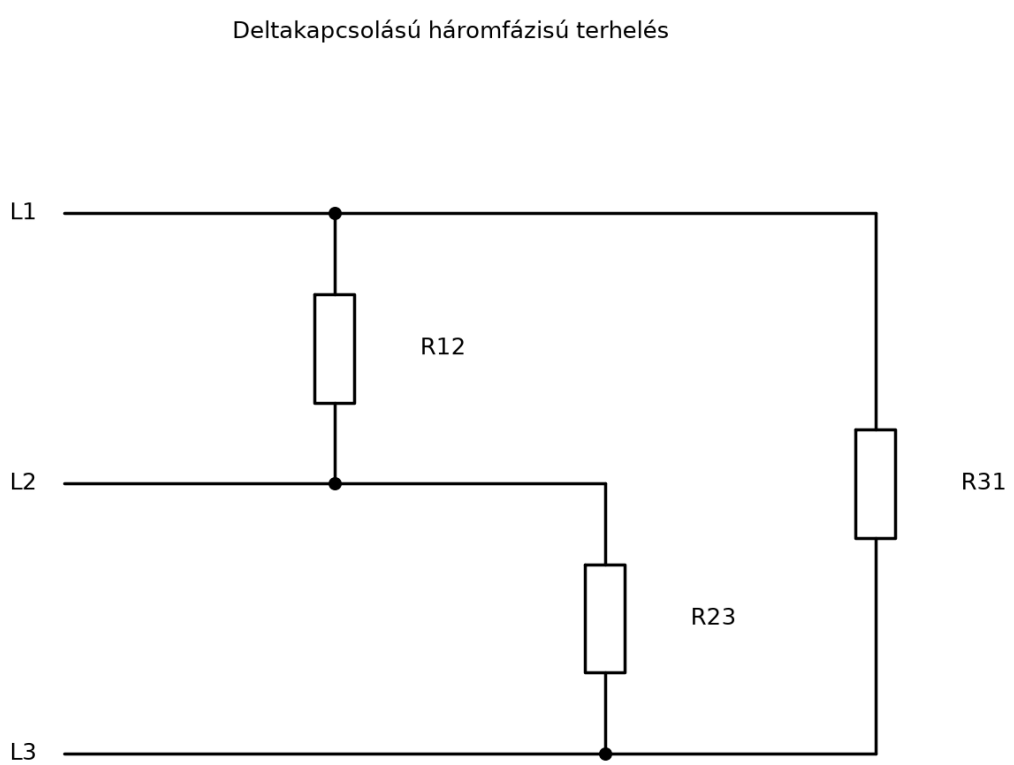
Ezen a rajzon R_1, R_2, R_3 fázisonkénti terhelések, a csillagpont a jobb oldali közös pont, ahonnan N nullavezető indul. Az N üzemi áramot vezető vezető (aszimmetrikus terhelésnél a fázisáramok fázoros összegét viszi); nem védővezető, ezért PE-ként sosem használható, és a PE-vel csak a hálózati rendszer által előírt helyen (PEN-szétválasztás) köthető össze, függetlenül attól, hogy a hálózat N pontja a forrásnál földelt.

7.2.2. Definíciók és alapmennyiségek

Definíció. Csillagkapcsolás (Y): a háromfázisú fogyasztó vagy forrás három fázistekercsének (impedanciájának) egyik végét összekötik egy közös pontba, a csillagpontba. A másik három véget a három fázisvezetőre (L1, L2, L3) kapcsolják. A csillagpont lehet kivezetve: ez a nullavezető.

Definíció. Deltakapcsolás (Δ): a három fázistekercs (impedancia) soros hurkot alkot, azaz mindegyik tekercs vége a következő tekercs kezdetére kapcsolódik. A három csatlakozási pont a három fázisvezetőre megy. Deltában nincs nullavezető, nincs csillagpont.

A kapcsolási rajzokon a delta kapcsolást gyakran háromszögként rajzolják; a fenti csillagképhez hasonlóan, de a három ellenállás összekötése zárt hurkot alkot:



7.5. ábra. Deltakapcsolású háromfázisú terhelés - R12 az L1 és L2, R23 az L2 és L3, R31 az L3 és L1 fázisvezető közé kapcsolódik; a három ellenállás zárt hurkot alkot (L1 → R12 → L2 → R23 → L3 → R31 → L1). Nincs nullavezető, és két fázisvezető között nincs közvetlen összeköttetés.

A rajz a háromszöget „kiterítve” mutatja: a három vízszintes vonal az L1, L2, L3 fázisvezető, R12, R23, R31 a három fázistekercs (terhelés). Mindegyik ellenállás két különböző fázisvezető közé kapcsolódik, ezért mindegyikre a vonali feszültség jut; ha végigkövetjük az L1 → R12 → L2 → R23 → L3 → R31 → L1 utat, a zárt delta hurkot kapjuk.

Definíció. Vonali mennyiség: a fázisvezetők közötti feszültség U_v és a fázisvezetőben folyó áram I_v. A hálózati névleges vonali feszültség Magyarországon $U_v = 400\,\mathrm{V}$.

Definíció. Fázismennyiség: egy-egy fázistekercsen (impedancián) eső feszültség U_f és az azon átfolyó áram I_f. A hálózati névleges fázisfeszültség $U_f = 230\,\mathrm{V}$.

7.2.3. Levezetés: feszültség csillagkapcsolásban

Törvény. Csillagkapcsolásban a vonali feszültség $\sqrt{3}$-szorosa a fázisfeszültségnek:

$$U_v = \sqrt{3}\,U_f,$$

a vonali és fázisáram pedig egyenlő:

$$I_v = I_f.$$

Levezetés. A vonali feszültség két fázisfeszültség különbsége. Például az L1 és L2 közötti feszültség fázorokkal:

$$\vec{U}_{12} = \vec{U}_{1N} - \vec{U}_{2N}.$$

A két fázisfeszültség azonos nagyságú, egymáshoz képest 120°-kal eltolt fázor. A különbség nagysága a koszinusztétellel:

$$U_v = \sqrt{U_f^2 + U_f^2 - 2\,U_f U_f \cos 120^\circ} = \sqrt{2\,U_f^2 - 2\,U_f^2 \cdot (-0{,}5)} = \sqrt{3\,U_f^2} = \sqrt{3}\,U_f.$$

Mivel csillagban minden fázistekercs közvetlenül a fázisvezetőre csatlakozik, a fázisáram megegyezik a vonali árammal:

$$I_v = I_f.$$

∎

Példa. Ha a hálózati fázisfeszültség 230 V, akkor a vonali feszültség:

$$U_v = \sqrt{3} \cdot 230\,\mathrm{V} \approx 1{,}732 \cdot 230\,\mathrm{V} \approx 398{,}4\,\mathrm{V},$$

amit a gyakorlatban 400 V-nak mondunk.

7.2.4. Levezetés: áram deltakapcsolásban

Törvény. Deltakapcsolásban a vonali áram $\sqrt{3}$-szorosa a fázisáramnak:

$$I_v = \sqrt{3}\,I_f,$$

a vonali és fázisfeszültség pedig egyenlő:

$$U_v = U_f.$$

Levezetés. Deltában minden fázistekercs közvetlenül két fázisvezető közé van kötve, ezért a tekercsre jutó feszültség a vonali feszültség:

$$U_f = U_v.$$

A fázisvezetőben folyó áram két fázistekercs áramának különbsége. Például az L1 vezetőben folyó áram:

$$\vec{I}_{L1} = \vec{I}_{12} - \vec{I}_{31}.$$

A fázistekercsek áramai azonos nagyságúak és 120°-kal eltoltak, ezért a különbség nagysága:

$$I_v = \sqrt{I_f^2 + I_f^2 - 2\,I_f I_f \cos 120^\circ} = \sqrt{3}\,I_f.$$

∎

7.2.5. Motor kapocsdoboz jelölése

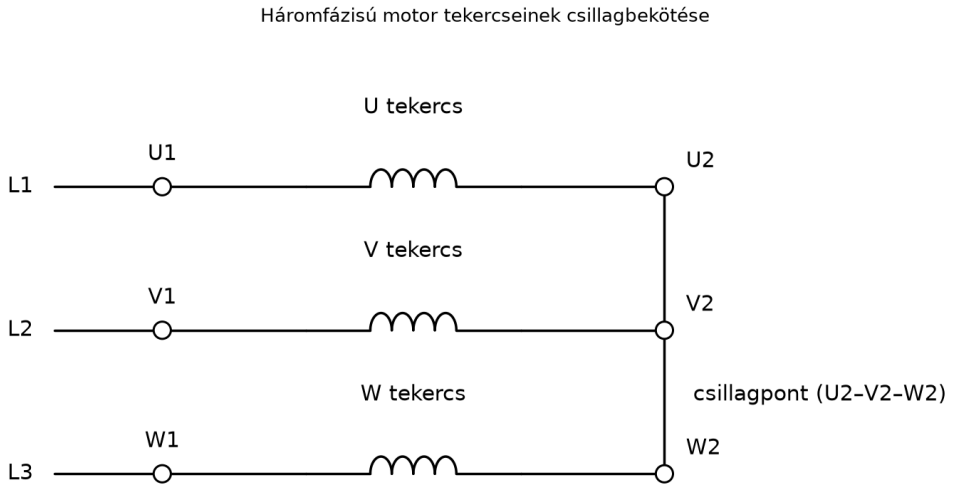
Egy háromfázisú aszinkron motor tekercsvégeit a kapocsdobozban szabványos betűkkel jelölik. A fontos kapcsok:

- U_1, V_1, W_1: a három fázistekercs kezdetei;
- U_2, V_2, W_2: a három fázistekercs végei.

A kapocsdobozban a tekercsek kapcsait általában két sorban helyezik el; a gyártó réz kapocshidakat biztosít. A bekötés két módja:

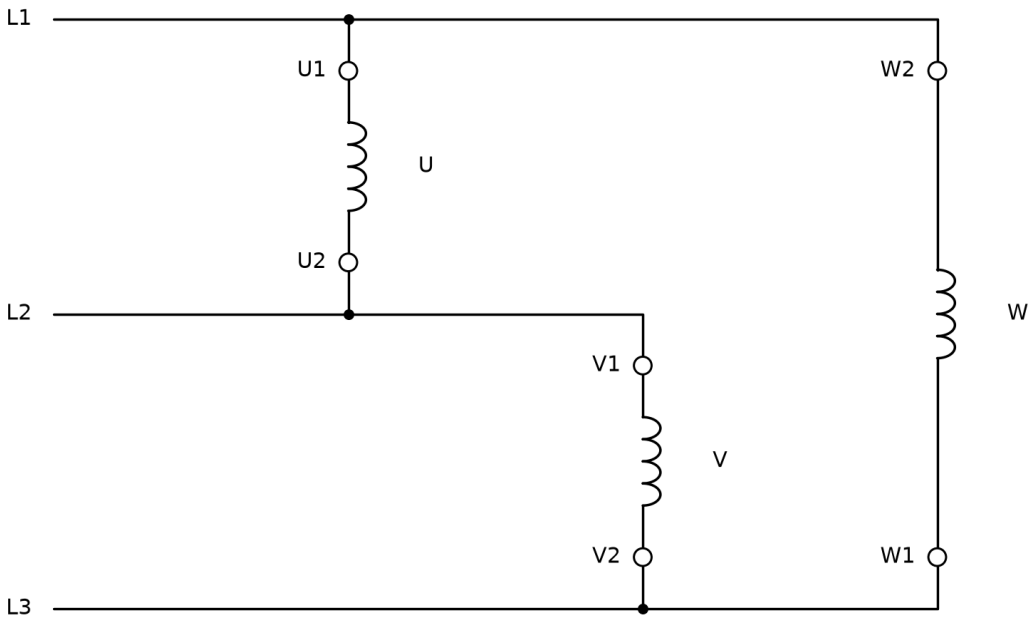
- **Csillag (Y):** az U_2, V_2, W_2 kapcsokat összekötik egymással, és erre a csillagpontra nem kapcsolnak hálózati feszültséget. A hálózat fázisvezetői a U_1, V_1, W_1 kapcsokra csatlakoznak.
- **Delta (Δ):** az U_1–W_2, V_1–U_2, W_1–V_2 kapcsokat kötik össze páronként, így a három tekercs zárt hurkot alkot. A hálózat fázisvezetői szintén a U_1, V_1, W_1 kapcsokra csatlakoznak (ezek a közös pontok). A kapocstáblán a tekercsvégek eltolva (W_2, U_2, V_2 az U_1, V_1, W_1 alatt) helyezkednek el, így a delta három függőleges híddal köthető (a sorok fizikai helye gyártónként eltérhet; a párosítás a lényeg).

Az alábbi kapcsolási rajz a csillag bekötést mutatja:



7.6. ábra. Háromfázisú motor tekercseinek csillagbekötése - Az U2, V2, W2 kapcsokat a kapocshidak csillagponttá kötik össze; a hálózat L1, L2, L3 fázisvezetője az U1, V1, W1 kapcsokra csatlakozik. A csillagpontra nem kötünk fázisvezetőt.

A delta bekötés rajza:



7.7. ábra. Háromfázisú motor tekercseinek deltabekötése (kiterítve) - Delta a könyv egységes kapocstábla-hídjaival: U1–W2, V1–U2, W1–V2. Az L1 vezetőre az U1 és a W2, az L2-re a V1 és az U2, az L3-ra a W1 és a V2 kapocs csatlakozik; a három tekercs zárt hurkot alkot (U1 → U2 = V1 → V2 = W1 → W2 = U1).

A rajz a deltát „kiterítve” mutatja (mint a fenti deltakapcsolású terhelésnél): mindegyik tekercs két fázisvezető közé kerül, az U1–W2, V1–U2, W1–V2 kötéseket a vízszintes fázisvezetők valósítják meg. A valós kapocsdobozban ugyanezt a három függőleges kapocshíd végzi, a kapcsolási rajz a logikai összekötést mutatja.

7.2.6. Csillag–delta egyenértékűség és a teljesítményarány 1:3

Törvény. Azonos vonali feszültségű hálózaton és azonos fázistekercs-impedancia mellett a delta kapcsolású terhelés háromszor akkora hatásos teljesítményt vesz fel, mint ugyanaz a terhelés csillagkapcsolásban.

Levezetés. Tiszta ellenállású terhelésnél a háromfázisú hatásos teljesítmény bármelyik kapcsolásban:

$$P = 3 \cdot \frac{U_f^2}{R},$$

ahol R egy-egy fázistekercs ellenállása.

- Csillagban a fázisfeszültség $U_f^{(Y)} = \frac{U_v}{\sqrt{3}}$, így:

$$P_Y = 3 \cdot \frac{\left(\frac{U_v}{\sqrt{3}}\right)^2}{R} = \frac{U_v^2}{R}.$$

- Deltában a fázisfeszültség $U_f^{(\Delta)} = U_v$, így:

$$P_\Delta = 3 \cdot \frac{U_v^2}{R}.$$

A kettő hányadosa:

$$\frac{P_\Delta}{P_Y} = \frac{3\,U_v^2/R}{U_v^2/R} = 3.$$

Tehát $P_\Delta = 3\,P_Y$. Ugyanez az arány érvényes a teljesítményre, ha a fázistekercsek impedanciája egyenlő, feltéve, hogy a tekercsek elviselik a nagyobb feszültséget. Ez az alapja a csillag–delta indításnak: a motort először csillagban kapcsolják a hálózatra, így a tekercsfeszültség kisebb, az indítási áram és nyomaték kisebb, majd miután felgyorsult, átkapcsolják deltába, ahol a motor a teljes hálózati feszültséget kapja. Ezt a módszert a Csillag–delta indítás vezérlése és Indítás: közvetlen, csillag–delta, lágyindító, csúszógyűrűs alfejezet tárgyalja részletesen.

7.2.7. Kidolgozott példák

Példa 1 (csillag). Három darab egyenként $100\,\Omega$-os ellenállást csillagkapcsolásba kötünk, és $U_v = 400\,\mathrm{V}$ vonali feszültségű háromfázisú hálózatra kapcsoljuk. Számítsuk ki a fázisfeszültséget, a fázisáramot, a vonali áramot és a hatásos teljesítményt.

Megoldás. Csillagban:

$$U_f = \frac{U_v}{\sqrt{3}} = \frac{400\,\mathrm{V}}{1{,}732} \approx 230{,}9\,\mathrm{V}.$$

A fázisáram:

$$I_f = \frac{U_f}{R} = \frac{230{,}9\,\mathrm{V}}{100\,\Omega} \approx 2{,}31\,\mathrm{A}.$$

Csillagban a vonali áram egyenlő a fázisárammal:

$$I_v = I_f \approx 2{,}31\,\mathrm{A}.$$

A hatásos teljesítmény:

$$P_Y = 3 \cdot \frac{U_f^2}{R} = 3 \cdot \frac{(230{,}9\,\mathrm{V})^2}{100\,\Omega} \approx 3 \cdot 533\,\mathrm{W} \approx 1600\,\mathrm{W} = 1{,}6\,\mathrm{kW}.$$

Ellenőrzés: $P_Y = \sqrt{3}\,U_v I_v \cos\varphi$, de itt ellenállásnál $\cos\varphi = 1$, tehát

$$P_Y = \sqrt{3} \cdot 400\,\mathrm{V} \cdot 2{,}31\,\mathrm{A} \approx 1600\,\mathrm{W}.$$

A két eredmény egyezik.

Példa 2 (delta). Ugyanezt a három $100\,\Omega$-os ellenállást deltakapcsolásba kötjük, szintén $400\,\mathrm{V}$ vonali feszültségre. Számítsuk ki a fázisfeszültséget, fázisáramot, vonali áramot és a teljesítményt.

Megoldás. Deltában:

$$U_f = U_v = 400\,\mathrm{V}.$$

A fázisáram:

$$I_f = \frac{U_f}{R} = \frac{400\,\mathrm{V}}{100\,\Omega} = 4\,\mathrm{A}.$$

A vonali áram:

$$I_v = \sqrt{3}\, I_f \approx 1{,}732 \cdot 4\,\mathrm{A} \approx 6{,}93\,\mathrm{A}.$$

A hatásos teljesítmény:

$$P_\Delta = 3 \cdot \frac{U_f^2}{R} = 3 \cdot \frac{(400\,\mathrm{V})^2}{100\,\Omega} = 3 \cdot 1600\,\mathrm{W} = 4800\,\mathrm{W} = 4{,}8\,\mathrm{kW}.$$

Ellenőrzés: $P_\Delta = \sqrt{3} \cdot 400\,\mathrm{V} \cdot 6{,}93\,\mathrm{A} \approx 4800\,\mathrm{W}$. A teljesítményarány:

$$\frac{P_\Delta}{P_Y} = \frac{4800\,\mathrm{W}}{1600\,\mathrm{W}} = 3,$$

ami megerősíti a levezetett 1:3 arányt.

Példa 3 (motor, gyakorlati becslés). Egy háromfázisú aszinkron motor adattábláján a következő adatok szerepelnek: $U_v = 400\,\mathrm{V}$, $P = 1{,}5\,\mathrm{kW}$, $\cos\varphi = 0{,}8$. A motor tekercsei deltában vannak kötve. Becsüljük meg a névleges vonali áramot, majd a fázistekercs áramát.

Megoldás. A háromfázisú hatásos teljesítmény képlete:

$$P = \sqrt{3}\, U_v I_v \cos\varphi,$$

ebből a vonali áram:

$$I_v = \frac{P}{\sqrt{3}\, U_v \cos\varphi} = \frac{1500\,\mathrm{W}}{1{,}732 \cdot 400\,\mathrm{V} \cdot 0{,}8} \approx \frac{1500}{554{,}2}\,\mathrm{A} \approx 2{,}71\,\mathrm{A}.$$

Deltában a fázisáram:

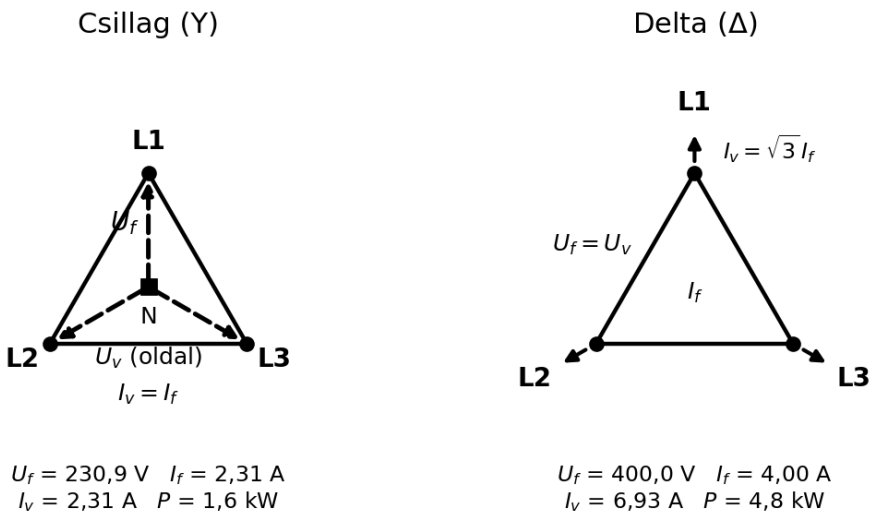
$$I_f = \frac{I_v}{\sqrt{3}} \approx \frac{2{,}71\,\mathrm{A}}{1{,}732} \approx 1{,}56\,\mathrm{A}.$$

Megjegyzés. Ez a számítás csak becslés, mert a motor hatásfokát is figyelembe kell venni: a tengelyteljesítményhez a felvett villamos teljesítmény nagyobb, így a valós vonali áram valamivel

magasabb. A pontos értékhez a motor adattábláján megadott áramot kell használni. A hatásfokkal kiegészített képletet a Háromfázisú teljesítmény, aszimmetria és a nullavezető alfejezetben vezetjük be.

Szabvány. A motorok kapocsjelölésére az MSZ EN 60034-8 (villamos gépek kapocsjelölései) vonatkozik; az itt megadott U_1, V_1, W_1, U_2, V_2, W_2 jelölés az európai gyakorlat. A régi magyar jelölésben U, V, W és X, Y, Z szerepelt. A kapcsolási rajzokon a háromfázisú fogyasztók és források jelölésére az MSZ EN 60617 / IEC 60617 rajzjeleket használjuk. (Ellenőrizendő: az aktuális szabványkiadás jelölései.)

7.2.8. Interaktív ábra



7.8. ábra. Csillag–delta kapcsolás kalkulátor

Az interaktív kalkulátorban három beállítható érték van: a vonali feszültség U_v (például 400 V), a fázistekercs ellenállása R (például 100 Ω), és a kapcsolás típusa (csillag vagy delta). A program kiszámolja a fázisfeszültséget, fázisáramot, vonali áramot és a háromfázisú hatásos teljesítményt. Próbáld ki: 400 V és 100 Ω mellett csillagban 230,9 V, 2,31 A, 1,6 kW; deltában 400 V, 4 A, 6,93 A, 4,8 kW adódik. A teljesítmény deltában pontosan háromszorosa a csillagnak.

7.2.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy kisipari műhelyben egy háromfázisú, 400 V-os hálózatra kötött 3 kW-os motort szereltek be. A szerelő a kapocshidakat a kapocsdobozban deltakötésbe rakta fel, de a motor adattábláján a tekercsek 230 V feszültségűek voltak, ezért 400 V-os hálózaton csillagkötésbe kellett volna kötni. A motor túlmelegedett, a hőkioldó leoldott. A hibát a fázisáramok mérése és a kapocshidak ellenőrzése után javították: átrakták a hidakat csillagba, így minden tekercsre 230 V jutott, a motor névleges áramfelvétele visszaállt a normál értékre.

Biztonsági korlát. Ez a feladat hálózati feszültségű munkavégzést feltételez, amit csak jogosult személy végezhet. A tanuló ilyen munkát önállóan nem gyakorolhat; tanműhelyi, törpefeszültségű

környezetben, oktató felügyeletével szabad gyakorolni. A motor kapocsdobozának átkötése előtt mindig feszültségmentesíteni kell, és az öt biztonsági szabályt be kell tartani.

7.2.10. Tipikus hibák

1. **Csillagpont bekötése valamelyik fázisra.** Ha a csillagkapcsolású motor csillagpontját tévedésből az egyik fázisvezetőre kötik, az U tekercs feszültség nélkül marad (mindkét vége L1-en van), a V és a W tekercs pedig a teljes 400 V-os vonali feszültséget kapja a névleges 230 V helyett: túláram, erős zúgás, gyors túlmelegedés, a védelem leold vagy a tekercs leég. Rövidzárlat nem keletkezik. A helyes bekötés: a csillagpont csak összekötött, és nem kap hálózati feszültséget.
2. **Deltánál az egyik kapocshíd elhagyása.** Ha a delta hurok nem záródik, az egyik fázistekercs nem kap feszültséget, a motor egyfázisúként próbál elindulni, rendellenesen zúg, és a túlterhelésvédő leold. Mindig ellenőrizni kell, hogy mindhárom párosítás megvan-e: U_1–W_2, V_1–U_2, W_1–V_2.
3. **Nullavezető bekötése deltakapcsolású terheléshez.** Deltában nincs csillagpont, ezért nullavezetőt nem csatlakoztathatunk. Ha valaki a kapocsdobozban a nulla sínről a tekercskezdetekre köt, az kisfeszültségű zárlathoz vezet.
4. **A $\sqrt{3}$-as váltószám helytelen használata.** Gyakori hiba, hogy csillagban a fázisfeszültséget a vonali feszültség $\sqrt{3}$-szorosának számolják, vagy deltában a vonali áramot a fázisárammal egyenlőnek veszik. A szabály: csillagban $U_v = \sqrt{3}\,U_f$, $I_v = I_f$; deltában $U_v = U_f$, $I_v = \sqrt{3}\,I_f$.

7.2.11. Önellenőrzés

1. **Igaz/hamis indoklással:** Csillagkapcsolásban a vonali áram $\sqrt{3}$-szorosa a fázisáramnak.
2. Mennyi a fázisfeszültség, ha a vonali feszültség 400 V és a fogyasztó csillagban van?
3. Egy deltakapcsolású terhelés fázisárama 5 A. Mekkora a vonali áram?
4. Mi a motor kapocsdobozában a delta bekötés kapocspárosítása?
5. Mekkora a teljesítményarány ugyanazon ellenállások delta és csillag kapcsolása között azonos vonali feszültségen?
6. Mi a hiba ezen a bekötésen: a motor kapocsdobozában az U_2, V_2, W_2 kapcsokat összekötötték, és a hálózat $L1$ fázisát is rákötötték az U_2 kapocsra?

7.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Határozd meg a hiányzó értékeket: $U_v = 400\,\text{V}$ csillagkapcsolásnál $U_f = ?$; $I_f = 3\,\text{A}$ deltakapcsolásnál $I_v = ?$.

2. feladat (A). Rajzold le egyszerű kapcsolási vázlaton, hogyan kötnéd be a három tekercset csillagba, és jelöld a kapcsokat: U_1, V_1, W_1, U_2, V_2, W_2. Melyik kapcsokra megy a hálózat?

3. feladat (B). Három darab $80\,\Omega$-os ellenállás van. Csillagkötésben 400 V vonali feszültségre kapcsolva számítsd ki: a fázisfeszültséget, a fázisáramot, a vonali áramot és a hatásos teljesítményt.

4. feladat (B). Ugyanazt a három $80\,\Omega$-os ellenállást deltakötésben 400 V-ra kapcsoljuk. Számítsd ki ugyanezeket a mennyiségeket, és mutasd meg, hogy a teljesítmény háromszorosa a csillagkötésű értéknek.

5. feladat (C). Egy háromfázisú motor adattáblája szerint $U_v = 400\,\mathrm{V}$, $P = 2{,}2\,\mathrm{kW}$, $\cos\varphi = 0{,}85$. A motor deltában van kötve. Számítsd ki a névleges vonali áramot, majd a fázisáramot (a hatásfoktól most tekintsünk el). Ellenőrizd a nagyságrendet.

6. feladat (D). A műhelyben egy kapocsdobozban a következőt találod: az U_1–W_2, V_1–U_2, W_1–V_2 kapcsok össze vannak kötve, de az U_1 kapocsra nem csatlakozik fázisvezető, mert a szerelő elfelejtette. Mi történik a motorral indításkor, és hogyan javítanád ki?

7.2.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Csillagban $I_v = I_f$; a $\sqrt{3}$-as váltószám a feszültségre vonatkozik: $U_v = \sqrt{3}\,U_f$.
2. $U_f = U_v/\sqrt{3} \approx 230\,\mathrm{V}$.
3. $I_v = \sqrt{3}\,I_f \approx 8{,}66\,\mathrm{A}$.
4. U_1–W_2, V_1–U_2, W_1–V_2.
5. A teljesítményarány delta/csillag = 3.
6. A csillagpontra rákötött $L1$ fázisvezető mellett az U tekercs feszültség nélkül marad, a V és W tekercs pedig 400 V-ot kap a névleges 230 V helyett (túláram, leégés; rövidzár nincs); a csillagpontot nem szabad fázisvezetőre kötni, csak összekötött kapocs lehet.

1. feladat (A) megoldása.
Csillagban $U_f = U_v/\sqrt{3} \approx 230\,\mathrm{V}$. Deltában $I_v = \sqrt{3}\,I_f \approx 5{,}2\,\mathrm{A}$.

2. feladat (A) megoldása.
A tekercsek U_1–U_2, V_1–V_2, W_1–W_2 jelölésűek. Csillagban U_2, V_2, W_2 kapcsokat összekötjük csillagponttá; a hálózat $L1$ az U_1 kapocsra, $L2$ a V_1, $L3$ a W_1 kapocsra csatlakozik. A csillagpontra nem kötünk hálózati feszültséget, hacsak nullavezetőt nem használunk (motoroknál általában nincs).

3. feladat (B) megoldása.
Csillag: $U_f = 400/\sqrt{3} \approx 230{,}9\,\mathrm{V}$. $I_f = U_f/R = 230{,}9/80 \approx 2{,}89\,\mathrm{A}$. $I_v = I_f \approx 2{,}89\,\mathrm{A}$. $P = 3 \cdot U_f I_f = 3 \cdot 230{,}9 \cdot 2{,}89 \approx 2000\,\mathrm{W}$.

4. feladat (B) megoldása.
Delta: $U_f = 400\,\mathrm{V}$, $I_f = 400/80 = 5\,\mathrm{A}$, $I_v = \sqrt{3} \cdot 5 \approx 8{,}66\,\mathrm{A}$, $P = 3 \cdot 400 \cdot 5 = 6000\,\mathrm{W}$. A csillag teljesítmény 2000 W, tehát $6000/2000 = 3$, valóban háromszoros.

5. feladat (C) megoldása.
$I_v = P/(\sqrt{3}\,U_v \cos\varphi) = 2200/(1{,}732 \cdot 400 \cdot 0{,}85) \approx 2200/589 \approx 3{,}74\,\mathrm{A}$. Deltában $I_f = I_v/\sqrt{3} \approx 2{,}16\,\mathrm{A}$. Ez reális egy 2,2 kW motornál; a gyári katalógus ennél valamivel nagyobbat adhat a hatásfok miatt.

6. feladat (D) megoldása.
Az U_1 kapocsra nem csatlakozik fázisvezető, ezért a delta hurok nem kap táplálást az egyik csomópontján. A motor gyakorlatilag egyfázisú táplálást kap a másik két kapcson keresztül, nem indul el, búg, és a tekercsek túlmelegedhetnek. A javítás: kapcsold le a hálózatot, biztosítsd a feszültségmentességet, ellenőrizd feszültségmérővel, majd kösd be az $L1$ fázist az U_1 kapocsra a kapocshíddal együtt, és ellenőrizd a másik két fázis bekötését is. A bekötés után mérj vonali feszültséget a kapcsokon, és végezz próbaindítást.

7.2.14. Rövid összefoglaló

A háromfázisú fogyasztók és generátorok tekercseit két alapvető módon kapcsolhatjuk: csillagba (Y) vagy deltába (Δ). Csillagkapcsolásban a három tekercs egyik vége közös csillagpontba kerül, ahonnan nullavezető is kivezethető; itt $U_v = \sqrt{3}\,U_f$ és $I_v = I_f$. Deltakapcsolásban a tekercsek zárt háromszöget alkotnak, nincs csillagpont; itt $U_v = U_f$ és $I_v = \sqrt{3}\,I_f$. A motor kapocsdobozában a tekercskezdetek U_1, V_1, W_1, a tekercsvégek U_2, V_2, W_2; csillagnál az U_2, V_2, W_2 kapcsokat összekötik, deltánál pedig U_1–W_2, V_1–U_2, W_1–V_2 párosításban hidalják át a kapcsokat. Azonos vonali feszültség és azonos fázistekercs-impedancia esetén a delta kapcsolású terhelés háromszor akkora teljesítményt vesz fel, mint a csillag; ezért csillag–delta indításnál a motor először csillagban kisebb árammal és nyomatékkal indul, majd deltába átkapcsolva éri el a névleges üzemét. **Továbbvitt eredmény.** A csillag/delta összefüggéseket használjuk a Háromfázisú teljesítmény, aszimmetria és a nullavezető, a Motorok és transzformátorok rajzjelei, kapocstáblák és a Háromfázisú transzformátor és kapcsolási csoportok alfejezetekben.

7.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

A levezetések és a matematikai összefüggések stabil fizikai ismeretek. A kapocsjelölések és a rajzjelek az MSZ EN 60034-8 és MSZ EN 60617 szabványokon alapulnak, de az aktuális kiadást ellenőrizni kell. A feszültségszintek (230/400 V) a magyarországi hálózati gyakorlat szerint érvényesek; a szabványhivatkozás pontos számát nem adjuk meg, mert a kiadás változhat.

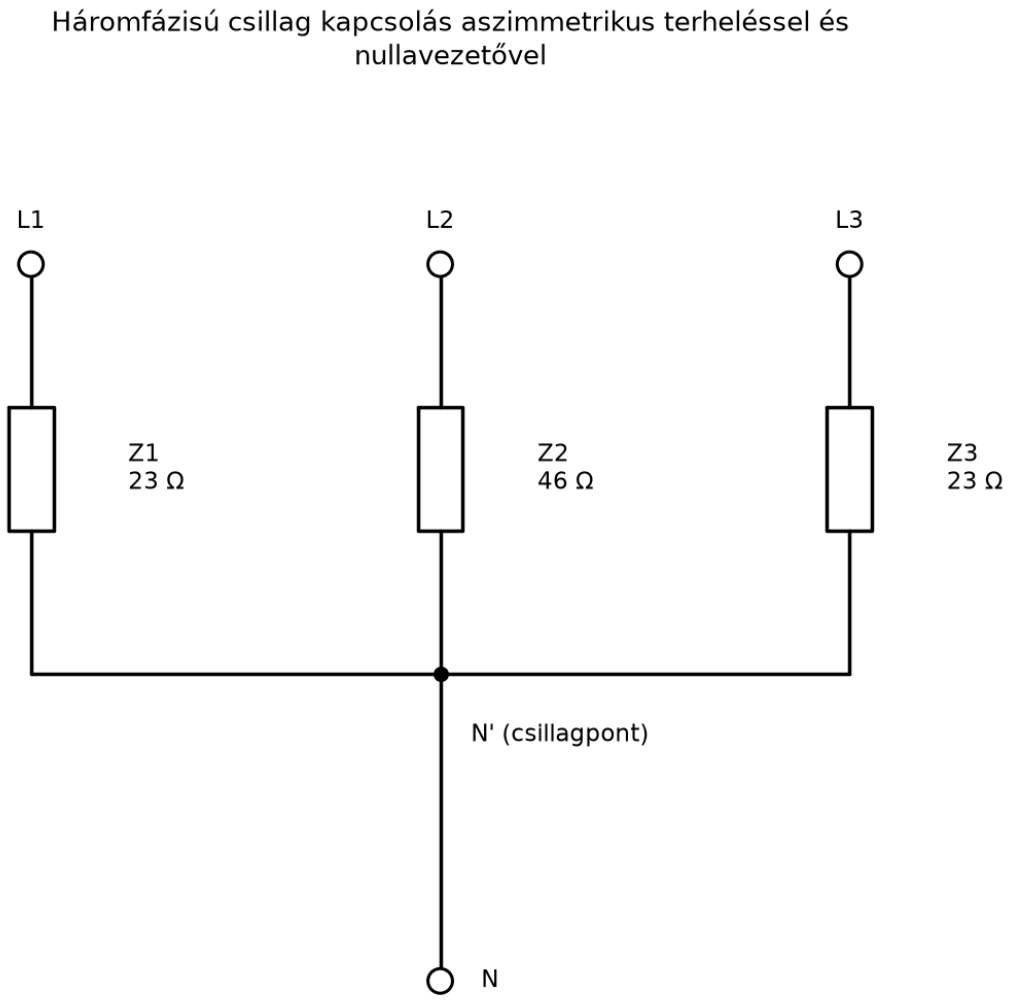
7.3. Háromfázisú teljesítmény, aszimmetria és a nullavezető

7.3.1. Motiváció

Egy lakásfelújítás során a villanyszerelőnek el kell döntenie, hogy az egyfázisú fogyasztókat – világítási köröket, aljzatköröket, klímát, mosógépet – hogyan ossza el a három fázis között. Ha mindent egy fázisra köt, az a fázis túlterhelődik, a nullavezetőben áram folyik, és a feszültség eloszlása egyenetlen lesz. Ha pedig a nullavezető valahol megszakad, a fogyasztókon túlfeszültség vagy alacsony feszültség jelenhet meg, ami tönkreteheti az érzékeny készülékeket. Ezért ebben az alfejezetben a háromfázisú teljesítmény kiszámítását, az aszimmetrikus terhelés hatását és a nullavezető szerepét tanuljuk meg.

7.3.2. Szemléletes kép

Az alábbi kapcsolási rajz három fázist és egy nullavezetőt mutat, amelyre három különböző impedanciájú egyfázisú fogyasztó van kötve csillagkapcsolásban. A fogyasztók impedanciája eltérő, ezért a fázisáramok nem egyenlők, és a nullavezetőben áram folyik.



7.9. ábra. Háromfázisú csillag kapcsolás aszimmetrikus terheléssel és nullavezetővel - L1, L2, L3 fázisok; Z1, Z2, Z3 ohmos egyfázisú fogyasztók (230 V-on 10 A, 5 A, 10 A – ez a Kidolgozott példa 2 terhelése); N' a fogyasztói csillagpont, N a nullavezető. A fogyasztók eltérők, ezért a nullavezetőben áram folyik (I_N = 5 A).

A rajzon L_1, L_2, L_3 a három fázisvezetőt jelöli; $Z_1 = 23\ \Omega$, $Z_2 = 46\ \Omega$, $Z_3 = 23\ \Omega$ a csillagpontba kötött egyfázisú (ohmos) fogyasztókat, amelyek 230 V-on 10 A, 5 A és 10 A áramot vesznek fel; N a nullavezetőt. A csillagpontot (N') a nullavezetőre kötjük. Ha a fogyasztók azonosak, a csillagpont árama nulla; ha különböznek, a nullavezetőben áram folyik.

7.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Szimmetrikus háromfázisú terhelésről akkor beszélünk, ha mindhárom fázisban az impedancia nagysága és fázisszöge azonos. Ekkor a fázisáramok azonos nagyságúak, és egymáshoz képest 120°-kal eltoltak.

Definíció. Aszimmetrikus terhelésnél legalább az egyik fázis impedanciája eltér a többitől, így a fázisáramok nem egyenlők, és a nullavezetőben áram folyik.

Összefüggés. Háromfázisú hatásos teljesítmény szimmetrikus terhelésnél:

$$P = \sqrt{3}\, U_v\, I_v\, \cos\varphi,$$

ahol: - U_v a vonali feszültség effektív értéke ($U_v = 400$ V), - I_v a vonali áram effektív értéke, - $\cos\varphi$ a fogyasztó teljesítménytényezője.

Összefüggés. Háromfázisú látszólagos és meddő teljesítmény:

$$S = \sqrt{3}\, U_v\, I_v, \qquad Q = \sqrt{3}\, U_v\, I_v\, \sin\varphi.$$

A teljesítményekre ugyanaz a derékszögű háromszög érvényes, mint egyfázisban:

$$S^2 = P^2 + Q^2.$$

Definíció. A **nullavezető árama** a három fázisáram vektoros (fázor) összege:

$$\vec{I_N} = \vec{I_{L1}} + \vec{I_{L2}} + \vec{I_{L3}}.$$

Szimmetrikus terhelésnél ez pontosan nulla, mert a három azonos nagyságú, egymástól 120°-kal eltolt fázor összege zérus.

7.3.4. Levezetés: a háromfázisú teljesítmény képlete

A háromfázisú rendszer valójában három egyfázisú áramkörből áll. Mindegyik fázisban a hatásos teljesítmény:

$$P_{\text{fázis}} = U_f\, I_f\, \cos\varphi.$$

Csillagkapcsolásban a fázisfeszültség $U_f = \frac{U_v}{\sqrt{3}}$, a fázisáram pedig megegyezik a vonali árammal: $I_f = I_v$. Ezért a három fázis együttes teljesítménye:

$$P = 3\, U_f\, I_f\, \cos\varphi = 3 \cdot \frac{U_v}{\sqrt{3}}\, I_v\, \cos\varphi = \sqrt{3}\, U_v\, I_v\, \cos\varphi.$$

Deltakapcsolásban a fázisfeszültség megegyezik a vonalival ($U_f = U_v$), a fázisáram pedig $I_f = \frac{I_v}{\sqrt{3}}$. Behelyettesítve:

$$P = 3\, U_f\, I_f\, \cos\varphi = 3 \cdot U_v \cdot \frac{I_v}{\sqrt{3}}\, \cos\varphi = \sqrt{3}\, U_v\, I_v\, \cos\varphi.$$

Látható, hogy **csillag és delta kapcsolás esetén ugyanazt a képletet** kapjuk a vonali mennyiségekkel. Ez az oka annak, hogy a háromfázisú teljesítményt szimmetrikus terhelésnél $\sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v \cdot \cos\varphi$ alakban számoljuk.

Összefüggés. Aszimmetrikus terhelésnél a $\sqrt{3}\, U_v I_v \cos\varphi$ képlet nem érvényes; a teljesítményt fázisonként kell összegezni:

$$P = U_{f1} I_1 \cos\varphi_1 + U_{f2} I_2 \cos\varphi_2 + U_{f3} I_3 \cos\varphi_3.$$

Például tisztán ohmos terhelésnél, 230 V fázisfeszültségnél és 10 A, 5 A, 10 A fázisáramnál: $P = 230\,\mathrm{V} \cdot (10 + 5 + 10)\,\mathrm{A} = 5{,}75\,\mathrm{kW}$.

Összefüggés. A motor adattábláján a tengelyen **leadott** teljesítmény áll: $P_{le} = \sqrt{3}\, U_v I_v \cos\varphi \cdot \eta$, tehát $I_v = P_{le}/(\sqrt{3}\, U_v \cos\varphi \cdot \eta)$.

7.3.5. Kidolgozott példa 1: háromfázisú motorteljesítmény

Egy háromfázisú aszinkronmotor adattábláján a következők szerepelnek: $U_v = 400$ V, $I_v = 12$ A, $\cos\varphi = 0{,}85$. Számítsuk ki a hatásos, látszólagos és meddő teljesítményt!

Megoldás.

A látszólagos teljesítmény:

$$S = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 12 = 1{,}732 \cdot 4800 = 8314\ \mathrm{VA} \approx 8{,}31\ \mathrm{kVA}.$$

A hatásos teljesítmény:

$$P = S\cos\varphi = 8314 \cdot 0{,}85 = 7067\ \mathrm{W} \approx 7{,}07\ \mathrm{kW}.$$

A $\sin\varphi$ értéke:

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi} = \sqrt{1 - 0{,}85^2} = \sqrt{0{,}2775} = 0{,}527.$$

A meddőteljesítmény:

$$Q = S\sin\varphi = 8314 \cdot 0{,}527 = 4382\ \mathrm{var} \approx 4{,}38\ \mathrm{kvar}.$$

Ellenőrzés. A teljesítmény-háromszög szerint $S^2 = P^2 + Q^2$. Bal oldal: $8314^2 \approx 69{,}1 \cdot 10^6$, jobb oldal: $7067^2 + 4382^2 \approx 49{,}94 \cdot 10^6 + 19{,}20 \cdot 10^6 = 69{,}14 \cdot 10^6$. A kerekítési hibán belül egyezik.

Megjegyzés. A 7,07 kW a hálózatból felvett villamos hatásos teljesítmény, nem az adattáblán szereplő leadott teljesítmény. $\eta = 0{,}87$ esetén a tengelyen leadott teljesítmény $P_{le} = 7{,}07\,\mathrm{kW} \cdot 0{,}87 \approx 6{,}15\,\mathrm{kW}$ (ellenőrizendő: adattábla).

7.3.6. Kidolgozott példa 2: a nullavezető árama aszimmetrikus terhelésnél

Egy elosztóban – a Szemléletes kép kapcsolásán ($Z_1 = 23\ \Omega$, $Z_2 = 46\ \Omega$, $Z_3 = 23\ \Omega$, 230 V fázisfeszültség) – a fázisáramokat lakatfogóval megmérjük. Az értékek: $I_{L1} = 10$ A (fázisszög 0°), $I_{L2} = 5$ A (fázisszög $-120°$), $I_{L3} = 10$ A (fázisszög $+120°$). A fogyasztók tisztán ohmosak, tehát az áramok fázisban vannak a fázisfeszültségekkel. Számítsuk ki a nullavezető áramát!

Megoldás.

A nullavezető árama a fázisáramok fázorösszege:

$$\vec{I_N} = \vec{I_{L1}} + \vec{I_{L2}} + \vec{I_{L3}}.$$

Írjuk fel komplex alakban, a 0°-os irányt az L_1 feszültségéhez rögzítve:

$$I_{L1} = 10 + j0,$$

$$I_{L2} = 5\,(\cos(-120°) + j\sin(-120°)) = 5\,(-0{,}5 - j0{,}866) = -2{,}5 - j4{,}33,$$

$$I_{L3} = 10\,(\cos(120°) + j\sin(120°)) = 10\,(-0{,}5 + j0{,}866) = -5 + j8{,}66.$$

Összegzés:

$$I_N = (10 - 2{,}5 - 5) + j(-4{,}33 + 8{,}66) = 2{,}5 + j4{,}33.$$

Az abszolút érték:

$$|I_N| = \sqrt{2{,}5^2 + 4{,}33^2} = \sqrt{6{,}25 + 18{,}75} = \sqrt{25} = 5\ \text{A}.$$

A nullavezetőben tehát **5 A** folyik, annak ellenére, hogy a legnagyobb fázisáram 10 A. Ez az aszimmetria következménye.

7.3.7. Nullavezető-szakadás következményei

A nullavezető szerepe az, hogy a csillagpontot a fogyasztói oldalon is a hálózat csillagpontjával azonos potenciálon tartsa. Ha a nullavezető megszakad, a fogyasztói csillagpont potenciálja **eltolódik**: nem marad a három fázisfeszültség közös nulla pontjában, hanem a fogyasztók impedanciáinak arányában elmozdul.

Számítási példa. Tegyük fel, hogy az L_1 fázisra $R_1 = 100\ \Omega$, az L_2 fázisra $R_2 = 900\ \Omega$ ellenállású fogyasztó van kötve, az L_3 fázis terheletlen. Normál működésben mindkét ellenállásra a fázisfeszültség $U_f = 230$ V jut.

Ha a nullavezető megszakad, a két ellenállás **sorosan** kapcsolódik L_1 és L_2 közé, így a vonali feszültség $U_v = 400$ V oszlik meg rajtuk. Az áram:

$$I = \frac{400}{100 + 900} = 0{,}4\ \text{A}.$$

A feszültségek:

$$U_{R1} = 0{,}4 \cdot 100 = 40 \text{ V}, \qquad U_{R2} = 0{,}4 \cdot 900 = 360 \text{ V}.$$

A 900 Ω-os fogyasztó normál esetben 230 V-ot kapna, most viszont 360 V-ot, ami **túlfeszültség**, és tönkreteheti a készüléket. A kisebb ellenállású fogyasztó pedig csak 40 V-ot kap, tehát alacsony feszültség miatt nem működik.

Figyelem. A valóságban a fogyasztók nem mindig tiszta ellenállások, és más fogyasztók is párhuzamosan kapcsolódnak, de a jelenség ugyanaz: a nullavezető szakadása aszimmetrikus terhelésnél **veszélyes feszültség-eltolódást** okoz.

7.3.8. Harmonikusok hatása a nullavezetőre

A modern fogyasztók (kapcsolóüzemű tápegységek, LED-lámpák, frekvenciaváltók) nem szinuszosan veszik fel az áramot, ezért a fázisáramok **felharmonikusokat** tartalmaznak. A 3. harmonikus és annak páratlan többszörösei (3., 9., 15. stb.) a három fázisban **azonos fázisúak**, így a nullavezetőben nem kioltják, hanem **összeadják** egymást. Ezért a nullavezetőben a harmadik harmonikus áram akár a fázisáramoknál is nagyobb lehet.

Ez a jelenség indokolja, hogy bizonyos esetekben a nullavezetőt **vastagabbra méretezik**, vagy minden fázishoz külön nullavezetőt alkalmaznak. A harmonikusok részletes vizsgálata meghaladja ennek az alfejezetnek a kereteit, de a jelenséget a gyakorlatban figyelembe kell venni.

7.3.9. Szabványi vonatkozások

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések létesítésére vonatkozó MSZ HD 60364 sorozat előírja, hogy a nullavezető áramkörét a fázisvezetőkkel azonos módon kell védeni a túláram ellen, kivéve, ha a nullavezető keresztmetszete legalább akkora, mint a fázisvezetőké, és a nullavezetőben nem folyhat a fázisáramoknál nagyobb áram. A nullavezetőben **tilos** olyan egypólusú kapcsolót vagy biztosítékot beépíteni, amely a nullavezetőt önmagában megszakíthatja, mert ez nullavezető-szakadást okozhat. Ha a nullavezetőt kapcsolni kell, a kapcsolónak minden pólust egyszerre kell lekapcsolnia. **(ellenőrizendő: a pontos szabványszakaszok az aktuális kiadás alapján.)**

Továbbvitt eredmény. A nullavezető áramának és a nullavezető-szakadás következményeinek ismeretét használjuk a Fázissorrend, forgó mező és feszültségesés a vezetékben alfejezetben a fázissorrend ellenőrzéséhez, a Teljesítmény- és energiamérés, fogyasztásmérők alfejezetben a háromfázisú fogyasztásmérésnél, az Áram-védőkapcsoló (FI) és kiegészítő védelem alfejezetben a nullavezető hibáinak védelmi vonatkozásaiban, és az Ipari elosztóhálózatok jellemzői és topológiája alfejezetben a terheléselosztás tervezésénél.

7.3.10. Valós életbeli alkalmazás: nullavezető-szakadás hibakeresése

Tünet. Egy lakásban a LED-lámpák időnként villognak, a hűtőgép kompresszora nem indul el, és a konnektorokban mért feszültség sem a szokásos 230 V. A lakó azt tapasztalja, hogy egyes készülékek túlmelegednek.

Hipotézis. A tünetek alapján felmerül a nullavezető megszakadásának vagy rossz csatlakozásának gyanúja.

Mérés. A szerelő multiméterrel megméri a fázis-nulla feszültségeket a lakáselosztóban:

- L_1–N: 320 V,
- L_2–N: 140 V,
- L_3–N: 265 V.

Mindhárom fázis–nulla feszültség eltér a 230 V-tól (a három érték egy szimmetrikus 400 V-os rendszer eltolódott csillagpontjához tartozhat), a vonali feszültségek viszont 400 V körül maradnak: ez a nullavezető-szakadás jellegzetes képe. Érdemes a vonali feszültségeket is megmérni (kizárja a betáplálási hibát). Ez a mérési kép jellemző arra, hogy a nullavezető **nem** a hálózat csillagpontján van, hanem eltolódott. A szerelő ellenőrzi a nullavezető folytonosságát a mérőhely és a lakáselosztó között. A mérés szakadást mutat.

Ok. A régi csatlakozóban a nulla sorkapocs meglazult, a melegedés hatására oxidálódott, majd a vezető teljesen megszakadt. A nullavezető szakadása miatt a fázisfeszültségek eltolódtak, és az egyik fázison túlfeszültség, a másikon alacsony feszültség lépett fel.

Javítás. A nullavezetőt újra kell kötni, a sorkapcsot ki kell cserélni, és minden csatlakozót nyomatékra kell húzni. Ezen kívül a fogyasztókat célszerű egyenletesebben elosztani a három fázis között, hogy a jövőbeni aszimmetria kisebb legyen.

Megelőzés. Rendszeres időközönként ellenőrizni kell a csatlakozók meghúzását, és kerülni kell a nullavezetőre kötött egypólusú kapcsolókat vagy biztosítékokat.

Biztonsági korlát. A fenti hibakeresés során a feszültség alatti mérést csak jogosult személy végezheti, megfelelő mérési kategóriájú műszerrel. Tanuló ezt a gyakorlatot tanműhelyben, oktató felügyeletével végezheti.

7.3.11. Tipikus hibák

1. **Nullavezetőbe biztosítékot vagy egypólusú kapcsolót szerelnek.** Ha az kiolvad vagy lekapcsol, a nullavezető megszakad, és túlfeszültség jelenhet meg a fogyasztókon. Helyesen a nullavezetőt csak minden pólussal együtt lehet kapcsolni, vagy egyáltalán nem.
2. **Minden egyfázisú fogyasztót egy fázisra kötnek.** Ez aszimmetrikus terhelést és nullavezető áramot okoz, a fázis túlterhelődik, a feszültségesés megnő. A fogyasztókat közel egyenletesen kell elosztani a három fázis között.
3. **A nullavezetőt indokolatlanul csökkentik.** Egyfázisú körben és kis keresztmetszeteknél a nullavezető a fázisvezetővel azonos. Többfázisú körben nagyobb keresztmetszetnél (réznél kb. $16\,\mathrm{mm}^2$ felett) a szabvány feltételekkel megengedi a csökkentést, de csak ha a nullavezető várható árama – a harmonikusokat is beleértve – nem nagyobb a terhelhetőségénél, és a nullavezető túláramvédelme biztosított. Nemlineáris (LED, tápegység, frekvenciaváltó) terhelésnél ez a feltétel jellemzően nem teljesül, ezért ott a nullavezető nem csökkenthető, szükség esetén növelni kell (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52, a nullavezető méretezésére vonatkozó szakasz és a keresztmetszet-határok, aktuális kiadás).
4. **A csillagpontot (N) a fogyasztói oldalon összekötik a védővezetővel (PE).** TN-C-S rendszerben a szétválasztás után tilos az N és PE összekötése, mert az áram a védővezetőn folyhat, és érintési feszültséget okozhat.

7.3.12. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** Szimmetrikus háromfázisú terhelésnél a nullavezetőben nem folyik áram.

2. **Számítás.** Mekkora a hatásos teljesítmény, ha $U_v = 400$ V, $I_v = 20$ A, $\cos\varphi = 0{,}9$?

3. **Miért tilos biztosítékot tenni a nullavezetőbe?**

4. **Milyen felharmonikusok adódnak össze a nullavezetőben?**

5. **Egy aszimmetrikus csillag kapcsolásban a nullavezető szakadása után az egyik fázis feszültsége 40 V-ra csökken. Milyen feszültség jelenik meg a másik fázison, ha a harmadik fázis terheletlen, és mindkét fogyasztó tisztán ohmos?**

Válaszok a Megoldások rész elején.

7.3.13. Feladatok

1. feladat (A) Definiáld a szimmetrikus háromfázisú terhelést!

2. feladat (A) Számítsd ki a látszólagos teljesítményt, ha $U_v = 400$ V és $I_v = 15$ A!

3. feladat (B) Egy háromfázisú motor adatai: $U_v = 400$ V, $I_v = 8$ A, $\cos\varphi = 0{,}8$. Számítsd ki a hatásos, meddő és látszólagos teljesítményt!

4. feladat (B) Egy mérés során a fázisáramok: $I_{L1} = 12$ A (0°), $I_{L2} = 12$ A (-120°), $I_{L3} = 6$ A ($+120^\circ$). Számítsd ki a nullavezető áramát!

5. feladat (C) Nullavezető-szakadás esetén az L_1 fázisra $R_1 = 50\ \Omega$, az L_2 fázisra $R_2 = 150\ \Omega$ van kötve, az L_3 fázis terheletlen. Mekkora feszültség jelenik meg az egyes ellenállásokon?

6. feladat (D) Gyakorlati hibakeresés. Egy lakáselosztóban a következő feszültségeket méred: L_1–N: 260 V, L_2–N: 200 V, L_3–N: 230 V. Mi lehet a hiba? Mit ellenőriznél először?

 ### Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A három azonos nagyságú, egymástól 120°-kal eltolt fázor összege nulla.

2. $P = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 20 \cdot 0{,}9 = 1{,}732 \cdot 400 \cdot 20 \cdot 0{,}9 = 12470$ W $\approx 12{,}5$ kW.

3. Mert ha a biztosíték kiolvad, a nullavezető megszakad, ami aszimmetrikus terhelésnél túlfeszültséget okozhat a fogyasztókon.

4. A 3. harmonikus és annak páratlan többszörösei (3., 9., 15. stb.).

5. Ohmos fogyasztóknál a két feszültség fázisban van, ezért összegük a 400 V-os vonali feszültség; a másik fázis feszültsége $400 - 40 = 360$ V.

1. feladat (A)
Szimmetrikus háromfázisú terhelésnél mindhárom fázisban az impedancia nagysága és fázisszöge azonos, ezért a fázisáramok azonos nagyságúak és egymástól 120°-kal eltoltak.

2. feladat (A)
$S = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 15 = 1{,}732 \cdot 6000 = 10392$ VA $\approx 10{,}4$ kVA.

3. feladat (B)
$S = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 8 = 1{,}732 \cdot 3200 = 5542$ VA $\approx 5{,}54$ kVA.
$P = S\cos\varphi = 5542 \cdot 0{,}8 = 4434$ W $\approx 4{,}43$ kW.
$\sin\varphi = \sqrt{1 - 0{,}8^2} = 0{,}6$, így $Q = 5542 \cdot 0{,}6 = 3325$ var $\approx 3{,}33$ kvar.

4. feladat (B)
Komplexben:
$I_{L1} = 12$,
$I_{L2} = 12\,(\cos(-120^\circ) + j\sin(-120^\circ)) = 12(-0{,}5 - j0{,}866) = -6 - j10{,}39$,
$I_{L3} = 6\,(\cos(120^\circ) + j\sin(120^\circ)) = 6(-0{,}5 + j0{,}866) = -3 + j5{,}196$.
Összeg: $12 - 6 - 3 + j(-10{,}39 + 5{,}196) = 3 - j5{,}196$.
Abszolút érték: $|I_N| = \sqrt{3^2 + 5{,}196^2} = \sqrt{9 + 27} = \sqrt{36} = 6$ A.
A nullavezetőben 6 A folyik.

5. feladat (C)
A két ellenállás sorba kapcsolódik L_1 és L_2 közé, a vonali feszültség 400 V. Az áram: $I = \frac{400}{50+150} = 2$ A.
$U_{R1} = 2 \cdot 50 = 100$ V, $U_{R2} = 2 \cdot 150 = 300$ V.
A 150 Ω-os fogyasztó normál esetben 230 V-ot kapna, most 300 V-ot kap, ami túlfeszültség.

6. feladat (D)
A mért feszültségek arra utalnak, hogy a nullavezető megszakadt vagy nagy átmeneti ellenállású csatlakozása van. A szerelő először a nullavezető folytonosságát ellenőrizné a mérőhely és az elosztó között, valamint a nulla sorkapcsok meghúzását. A hiba jellemzően a nulla csatlakozó meglazulása vagy oxidációja.

7.3.14. Rövid összefoglaló

A háromfázisú rendszerben a hatásos teljesítményt $P = \sqrt{3}\,U_v\,I_v\cos\varphi$, a látszólagosat $S = \sqrt{3}\,U_v\,I_v$, a meddőt $Q = \sqrt{3}\,U_v\,I_v\sin\varphi$ képlettel számítjuk. A képlet csillag- és deltakapcsolásra is érvényes, mert a vonali mennyiségekkel fejezzük ki. Szimmetrikus terhelésnél a nullavezető árama nulla, aszimmetrikusnál a három fázisáram fázorösszege. A nullavezető megszakadása aszimmetrikus terhelésnél a csillagpont eltolódását okozza, ami túlfeszültséget vagy alacsony feszültséget hoz létre a fogyasztókon. A 3. harmonikus és páratlan többszörösei a nullavezetőben összeadódnak, ezért harmonikus terhelésnél a nullavezetőt nem szabad alulméretezni (a csökkentett nullavezető csak a szabvány feltételei szerint megengedett; ellenőrizendő). A nullavezetőbe tilos egypólusú kapcsolót vagy biztosítékot beépíteni. A nullavezető-szakadás ismeretét a fázissorrend, a fogyasztásmérés, az áram-védőkapcsoló és az ipari elosztóhálózatok tárgyalásánál is alkalmazzuk.

7.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a villamos teljesítmény és a háromfázisú rendszerek alapvető fizikai összefüggéseire épül, amelyek stabil tudásnak tekinthetők. A szabványi hivatkozások (MSZ HD 60364 sorozat) a kiadás előtt ellenőrizendők; konkrét szakaszszámot nem adtam meg. A numerikus példák tanulási célt szolgálnak, nem tervezési előírások.

7.4. Fázissorrend, forgó mező és feszültségesés a vezetékben

7.4.1. Motiváció

Amikor egy háromfázisú motort először kapcsolunk a hálózatra, két dolgot mindig tudnunk kell:
– jó irányba fog-e forogni,
– és elég nagy feszültség jut-e a motor kapcsaira akkor is, amikor a vezeték terhelt.
A forgásirány a fázissorrendtől függ, a kapocsfeszültség pedig a vezetéken eső feszültségtől. Ezt a két témát kötjük most össze.

Képzeljünk el egy szivattyút. Ha a motor rossz irányba forog, a szivattyú nem szállít, sőt egyes típusok tömítése megsérülhet. Ha pedig a vezeték túl hosszú vagy túl vékony, a motor kisebb feszültséget kap, nagyobb áramot vesz fel, és a kioldása vagy a melegedése miatt leáll. A fázissorrend és a feszültségesés tehát nem „elméleti szépség”, hanem beüzemelési és méretezési alapkérdés.

7.4.2. A fázissorrend és a forgó mező

7.4.2.1. A három feszültség időbeli sorrendje

A háromfázisú hálózat három fázisfeszültsége azonos nagyságú, de egymáshoz képest időben el van tolva. A feszültségek pillanatértékei:

$$u_{L1}(t) = U_{\max} \sin(\omega t)$$

$$u_{L2}(t) = U_{\max} \sin\left(\omega t - 120^\circ\right)$$

$$u_{L3}(t) = U_{\max} \sin\left(\omega t - 240^\circ\right)$$

Itt $U_{\max} = \sqrt{2}\, U_f$, $U_f = 230\,\mathrm{V}$, $f = 50\,\mathrm{Hz}$, $\omega = 2\pi f$.

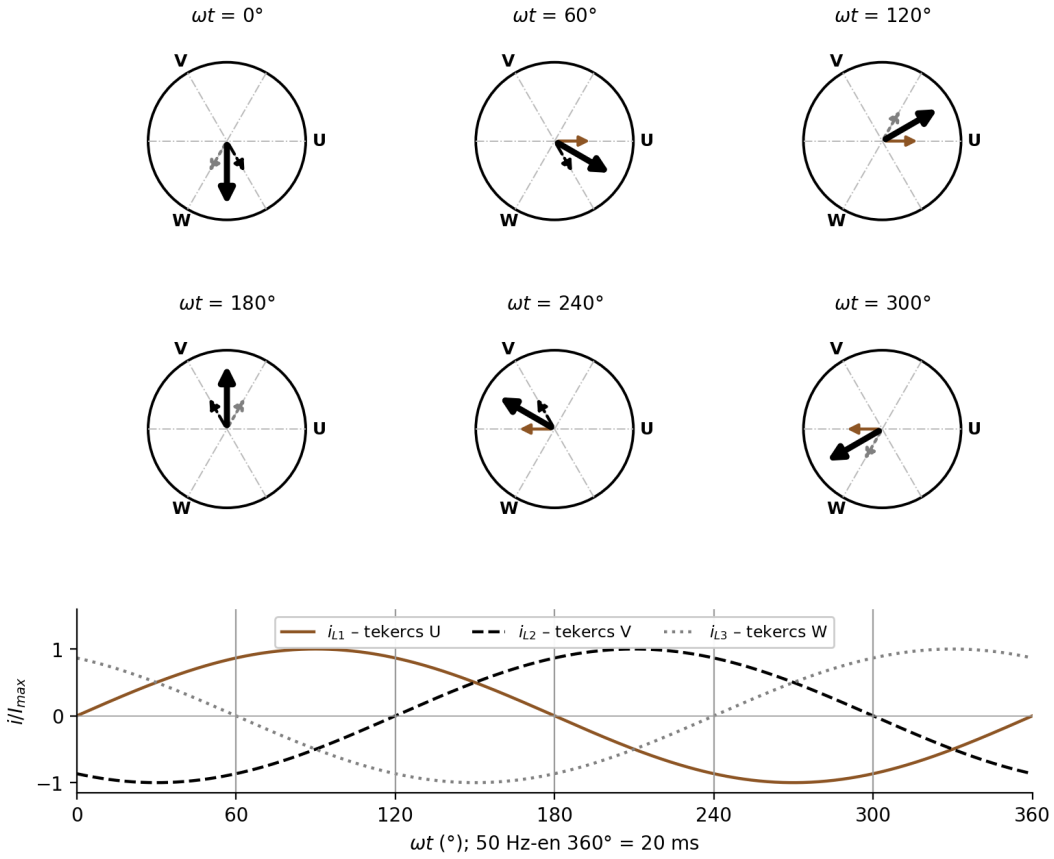
Definíció. Fázissorrend a három fázisfeszültség időbeli csúcsainak sorrendje. Az $L1$–$L2$–$L3$ sorrendet **pozitív fázissorrendnek** nevezzük; az $L1$–$L3$–$L2$ sorrend a **negatív (fordított) fázissorrend**.

A gyakorlatban a sorrendet úgy is elképzelhetjük: ha az időtengelyen balról jobbra haladunk, az első pozitív csúcsot $L1$, a következőt $L2$, a harmadikat $L3$ adja. Ez az 50 Hz-es rendszerben 20 ms periódusidőn belül egyharmad időközönként következik be.

7.4.2.2. A forgó mező keletkezése

Egy kétpólusú, háromfázisú motor tekercsei a térben 120°-kal vannak eltolva. Ha rajtuk az időben szintén 120°-kal eltolt áramok folynak, az eredő mágneses mező nagysága állandó, iránya pedig forog.

Ez a jelenség a háromfázisú rendszer egyik legfontosabb építőköve: ezért tud a háromfázisú aszinkron motor külső segédberendezés nélkül elindulni. A motor működését a Szerkezet és működési elv, forgó mágneses mező alfejezet építi tovább.

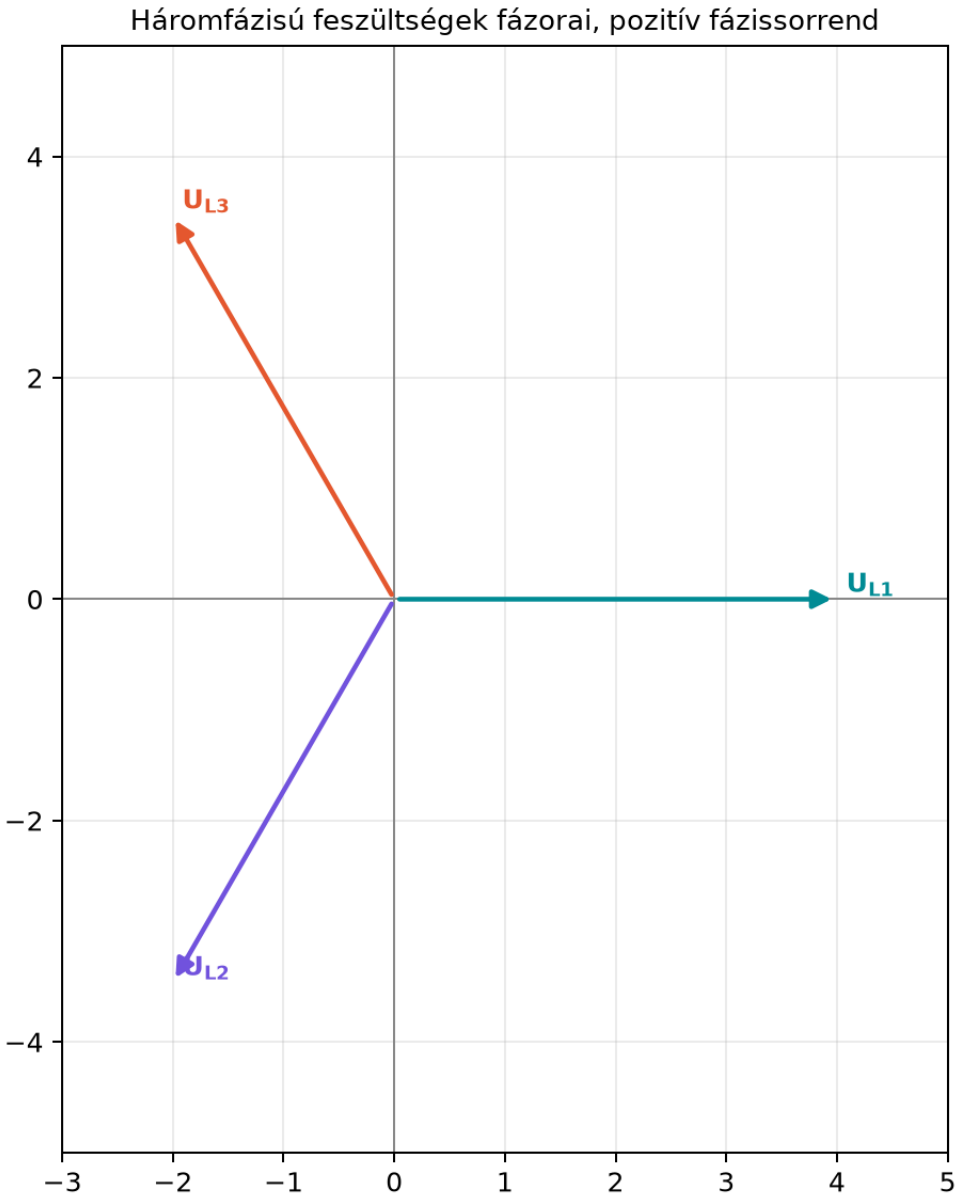


Vékony nyilak: a tekercsek mezője ($\propto i_k$); vastag nyíl: eredő, mindig 1,5·B_{max}, 60°-onként 60°-ot fordul (óramutatóval ellentétesen).

7.10. ábra. A forgó mágneses mező keletkezése: a három, térben 120°-ra elhelyezett tekercs (U, V, W) mezője és eredőjük hat időpillanatban (ωt = 0°, 60°, …, 300°), alatta a három fázisáram időfüggvénye

Az ábra hat pillanatképén a vékony nyilak az egyes tekercsek mezőjét mutatják (hosszuk arányos a tekercs pillanatnyi áramával, negatív áramnál a nyíl a tengely ellentétes irányába mutat), a vastag nyíl az eredőt. Az eredő hossza minden pillanatban 1,5 B_{max}, és 60°-os időlépésenként 60°-ot fordul az óramutatóval ellentétes irányban: ez a forgó mező.

A térbeli és időbeli 120°-os eltolást a fázorábra mutatja:



7.11. ábra. Háromfázisú feszültségek fázorai, pozitív fázissorrend - Az U_L1, U_L2 és U_L3 fázorok azonos nagyságúak; U_L2 a −120°-os, U_L3 a +120°-os (= −240°-os) helyen áll, egyezésben az u_L2, u_L3 időfüggvénnyel. Az óramutatóval ellentétes forgásnál a fázorok L1 → L2 → L3 sorrendben haladnak el a vízszintes tengely mellett (pozitív sorrend).

Az ábrán a fázorok a pozitív fázissorrend szerint követik egymást: az óramutatóval ellentétesen forgó fázorcsillagban az $L1$ után az $L2$ ($-120°$), majd az $L3$ ($-240° = +120°$) halad el a vízszintes tengely mellett. Ha az egyik fázor hossza például $U_f = 230\,\mathrm{V}$, akkor a hálózati vonali feszültség a fázorok különbségéből adódik: $U_v = \sqrt{3}\,U_f \approx 400\,\mathrm{V}$.

7.4.2.3. Forgásirány és két fázis felcserélése

Szabály. A háromfázisú forgó mező forgásiránya a fázissorrendtől függ. Ha a motor kapcsaira $L1$–$L2$–$L3$ sorrendben érkeznek a fázisok, a motor általában a típustáblán megjelölt irányba

forog. Ha bármely **két fázist felcserélünk**, a forgó mező forgásiránya megfordul, így a motor is ellenkező irányba forog.

Miért működik ez? Ha $L2$ és $L3$ helyet cserél, a fázorok sorrendje az óramutató járásával megegyező irányból ellentétessé válik, vagy fordítva. A forgó mező iránya ezért mindig a fázisok bekötési sorrendjét tükrözi.

Továbbvitt eredmény. A forgó mező és a fázissorrend kapcsolatát használjuk a motor forgásirányának megállapításában, a fázissorrend-mutató értelmezésében, valamint a vezetékméretezés feszültségesés-számításában (Feszültségesés és a vezeték méretezése) és az aszinkron gép működési elvében (Szerkezet és működési elv, forgó mágneses mező).

7.4.2.4. Fázissorrend-mutató

A fázissorrend-mutató egy olyan kisméretű készülék, amely a három fázis bekötése után jelzi a forgó mező irányát. Három mérővezetékkel csatlakozik az $L1, L2, L3$ pontokhoz, de nem kell tudnunk előre, hogy melyik fázis valójában melyik; a műszer jelzi, hogy a bekötött sorrend jobbra vagy balra forogna.

Biztonsági korlát. A fázissorrend-mutató használata hálózati feszültség alatti mérést igényel. Ezt csak jogosult, arra felhatalmazott személy végezheti, a hatályos előírások szerint. Tanuló önállóan ne mérjen 230/400 V-os hálózaton.

A mérés előtt ellenőrizni kell, hogy a műszer mérési kategóriája (CAT) megfelelő-e a mérési ponthoz, és a mérőzsinórok sértetlenek. A mérőcsúcsokat először a fázisokra kell csatlakoztatni, csak ezután szabad a műszert bekapcsolni; a jelzett forgásirányt fel kell jegyezni.

Interaktív ábra. A forgó mező fenti ábrájának HTML-változata a három fázisáram időfüggvényét és a forgó mezőt együtt mutatja. A barna (folytonos), fekete (szaggatott) és szürke (pontvonalas) görbe az $L1, L2, L3$ áramát, a vastag nyíl az eredő mezőt jelzi; a szöghelyzet csúszkával vagy lejátszással léptethető. Az „L2–L3 csere” beállítással két fázis felcserélhető: a forgásirány azonnal megfordul. A frekvencia és a póluspárok száma alapján a lap kiírja a szinkron fordulatszámot ($n_s = 60 \cdot f/p$). A statikus ábra a pozitív sorrend hat pillanatképét mutatja.

7.4.3. A háromfázisú vezeték feszültségesése

7.4.3.1. Mire számítunk?

A vezetéken minden terhelésnél feszültség esik. Ez azért fontos, mert a fogyasztó kapcsain a tápfeszültség így kisebb lesz, mint a hálózat üresjárati feszültsége. Az aszinkron motor nyomatéka (különösen az indító- és billenőnyomaték) nagyjából a kapocsfeszültség négyzetével arányos, ezért már 5–10 % feszültségcsökkenés is érezhető: a motor nehezebben indul, és azonos terhelésnél nagyobb áramot vesz fel, jobban melegszik.

Háromfázisú, szimmetrikus terhelésnél a vezeték egy fázisára eső feszültségesést számoljuk, majd átszámítjuk vonali szintre. A vezetéknek két összetevője van:

$$R = r\,l, \qquad X = x\,l$$

ahol r és x a vezeték hosszegységre eső ellenállása és reaktanciája (Ω/km), l a vezeték hossza (km), R és X pedig a teljes vezeték ellenállása és reaktanciája (Ω).

Összefüggés. Háromfázisú szimmetrikus terhelés feszültségesése:

$$\Delta U = \sqrt{3}\, I\,(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$$

ahol I a vonali áram, $\cos\varphi$ a fogyasztó teljesítménytényezője, R és X pedig egy fázis vezetékének eredő ellenállása és reaktanciája. Az eredmény ΔU feszültségesés voltban, a vonali feszültséghez viszonyítva.

A százalékos feszültségesés:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_v} \cdot 100\,\%$$

ahol $U_v = 400\,\mathrm{V}$, a hálózat névleges vonali feszültsége.

Ha a vezeték reaktanciája elhanyagolható – például kis keresztmetszetű kábelnél vagy rövid szakaszon – a képlet egyszerűbb:

$$\Delta U \approx \sqrt{3}\, I R \cos\varphi$$

Mivel $R = \frac{l}{\kappa A}$, ahol l a vezetékhossz méterben, κ a vezető fajlagos vezetőképessége ($\mathrm{m}/(\Omega\,\mathrm{mm}^2)$), A a keresztmetszet (mm^2), a feszültségesés:

$$\Delta U \approx \frac{\sqrt{3}\, I\, l\, \cos\varphi}{\kappa\, A}$$

A réz κ értéke szobahőmérsékleten megközelítőleg $56\,\mathrm{m}/(\Omega\,\mathrm{mm}^2)$, az alumíniumé kb. $35\,\mathrm{m}/(\Omega\,\mathrm{mm}^2)$ (ellenőrizendő: üzemi hőmérsékleten a pontos érték a kábel adatlapjából származik).

7.4.3.2. Kidolgozott példa 1 – rövid kábel, csak ellenállással

Adott: háromfázisú, $I = 16\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi = 0{,}9$, $l = 25\,\mathrm{m}$, rézkábel, $A = 2{,}5\,\mathrm{mm}^2$, $\kappa = 56\,\mathrm{m}/(\Omega\,\mathrm{mm}^2)$.
Keresett: a feszültségesés ΔU és a százalékos érték ε.

Képlet:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}\, I\, l\, \cos\varphi}{\kappa A}$$

Behelyettesítés:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 16\,\mathrm{A} \cdot 25\,\mathrm{m} \cdot 0{,}9}{56\,\mathrm{m}/(\Omega\,\mathrm{mm}^2) \cdot 2{,}5\,\mathrm{mm}^2}$$

A nevező: $56 \cdot 2{,}5 = 140$, a számláló: $\sqrt{3} \cdot 16 \cdot 25 \cdot 0{,}9 \approx 1{,}732 \cdot 16 \cdot 22{,}5 \approx 623{,}5$.

$$\Delta U \approx \frac{623{,}5}{140}\,\mathrm{V} \approx 4{,}45\,\mathrm{V}$$

Százalékban:

$$\varepsilon = \frac{4{,}45\,\mathrm{V}}{400\,\mathrm{V}} \cdot 100\,\% \approx 1{,}11\,\%$$

Ellenőrzés: a 25 m-es, 2,5 mm²-es kábelen 16 A terhelésnél a feszültségesés kicsi, kb. 1 %, ami egy fogyasztói áramkörre megfelelő. A nagyságrend reális.

7.4.3.3. Kidolgozott példa 2 – hosszabb kábel, reaktanciával

Hosszabb kábelnél vagy nagyobb keresztmetszetnél a reaktanciát sem szabad elhanyagolni.

Adott: háromfázisú, $I = 100\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi = 0{,}8$, tehát $\sin\varphi = 0{,}6$, $l = 250\,\mathrm{m} = 0{,}25\,\mathrm{km}$, kábel hosszegységre eső ellenállása $r = 0{,}4\,\Omega/\mathrm{km}$, reaktanciája $x = 0{,}08\,\Omega/\mathrm{km}$ (ellenőrizendő: a kábel gyártói adatlapja szerint).
Keresett: a feszültségesés ΔU és ε.

Képlet:

$$\Delta U = \sqrt{3}\, I\,(r\,l\,\cos\varphi + x\,l\,\sin\varphi)$$

Behelyettesítés:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 100\,\mathrm{A} \cdot (0{,}4\,\Omega/\mathrm{km} \cdot 0{,}25\,\mathrm{km} \cdot 0{,}8 + 0{,}08\,\Omega/\mathrm{km} \cdot 0{,}25\,\mathrm{km} \cdot 0{,}6)$$

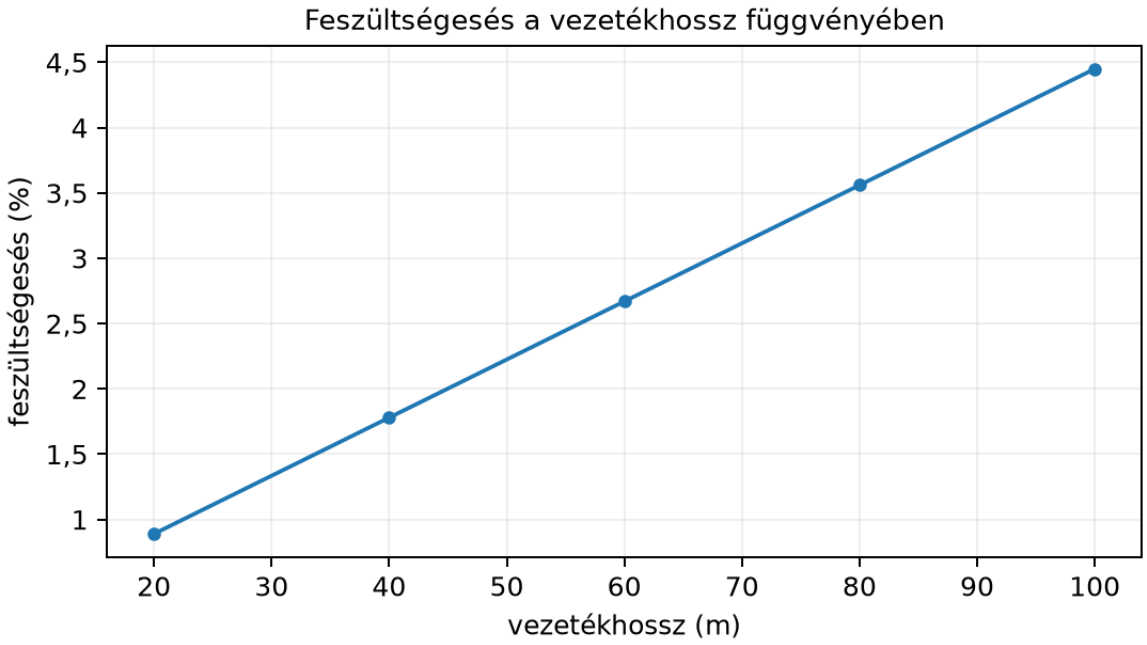
$$\Delta U = 1{,}732 \cdot 100\,\mathrm{A} \cdot (0{,}08\,\Omega + 0{,}012\,\Omega)$$

$$\Delta U = 1{,}732 \cdot 100\,\mathrm{A} \cdot 0{,}092\,\Omega \approx 15{,}9\,\mathrm{V}$$

Százalékban:

$$\varepsilon = \frac{15{,}9\,\mathrm{V}}{400\,\mathrm{V}} \cdot 100\,\% \approx 3{,}98\,\%$$

Ellenőrzés: A 100 A-es, 250 m hosszú kábelen a feszültségesés megközelíti a 4 %-ot. Ez világítási áramkörben már túl nagy lehet, motoros fogyasztónál pedig a kapocsfeszültség csökkenését jelzi. A számításból az is látszik, hogy a vezeték ellenállása $R = 0{,}1\,\Omega$, reaktanciája $X = 0{,}02\,\Omega$; a feszültségesésben az $R\cos\varphi = 0{,}08\,\Omega$ mellett az $X\sin\varphi = 0{,}012\,\Omega$ tag kb. 13%-ot ad, tehát a reaktancia nem elhanyagolható.



7.12. ábra. Feszültségesés a vezetékhossz függvényében - Szemléltető, számított értékek: I = 16 A, cosφ = 0,9, rézkábel 2,5 mm^2, reaktancia elhanyagolva; Uv = 400 V.

A diagram jól mutatja, hogy azonos áram és keresztmetszet mellett a feszültségesés a hossz növelésével arányosan nő. Ezért hosszú kábelnél nem elég „vastagabb kábelt választani”, hanem ki kell számolni a feszültségesést is.

7.4.4. Szabványi követelmény

Szabvány. A kisfeszültségű berendezések méretezésénél a feszültségesésre a szabvány ajánlott határértékeket ad. Általában világítási áramköröknél 3 %, egyéb fogyasztói áramköröknél 5 % a szokásos tervezési határ (ellenőrizendő: az aktuális MSZ HD 60364-5-52 szerinti nemzeti előírás). A pontos értékek a berendezés jellegétől és a hálózati engedélyes feltételeitől is függnek.

A gyakorlatban a feszültségesés számítása nem csak a vezeték hosszán múlik. A teljes hurokban a transzformátortól a fogyasztó kapcsaiig több vezetékszakasz is sorba kapcsolódik, ezért a tervezéskor a csatlakozási ponttól számított leghosszabb áramkört vizsgáljuk.

7.4.5. Valós életbeli alkalmazás

Szivattyúmotor rossz forgásiránya. Egy mezőgazdasági telepen háromfázisú szivattyúmotort szereltek be. A motor beindult, de a szivattyú nem szállított vizet. A szerelő először a szivattyúra gyanakodott, pedig a motor forgásiránya volt fordított. Fázissorrend-mutatóval ellenőrizték a betáplálást, és megállapították, hogy az elosztóban két fázis fel volt cserélve. Két fázis megcserélése után a szivattyú azonnal megfelelően működött. A tanulság: háromfázisú motor

beüzemelésekor mindig ellenőrizni kell a forgásirányt, és ha a gép forgásiránya hibás, elég két fázist felcserélni.

Hosszú kábel okozta feszültségcsökkenés. Egy udvari világítási oszlophoz 4 mm²-es kábelt húztak, de a fényforrások tompán világítottak. A számítás megmutatta, hogy a 150 m hosszú kábelen a feszültségesés meghaladta a 6 %-ot, mert a terhelést és a hossz közös hatásával nem számoltak. (Ha emellett a megszakító is melegedett, az külön okra, például laza kötésre utal, nem a feszültségesésre.) A javítás a keresztmetszet növelése volt; ezzel a feszültségesés 3 % alá csökkent. Az eset arra figyelmeztet, hogy a hossz növelésekor nem elég a terhelhetőséget nézni, a feszültségesést is ellenőrizni kell.

7.4.6. Tipikus hibák

1. hiba – „Elég a vezeték terhelhetőségét megnézni.”
A szerelő azt hiszi, ha a kábel áramterhelhetősége elég, a feszültségesés is biztosan megfelel. Ez téves: hosszú áramkörnél a feszültségesés gyakran hamarabb túllépi a határt, mint a terhelhetőség. **Helyes gyakorlat:** mind a terhelhetőséget, mind a feszültségesést számítani kell.

2. hiba – Az egy- és háromfázisú képlet összekeverése.
Egyfázisú körben az áram a fázis- és a nullavezetőn is átfolyik, ezért $\Delta U = 2\,I\,l\cos\varphi/(\kappa A)$ (a hurok hossza $2l$), a viszonyítási alap 230 V. Háromfázisú szimmetrikus terhelésnél a nullavezetőben nem folyik áram: $\Delta U = \sqrt{3}\,I\,l\cos\varphi/(\kappa A)$, a viszonyítási alap 400 V. Aki a háromfázisú képletet egyfázisú körre alkalmazza (vagy fordítva), rossz eredményt kap. **Helyes gyakorlat:** először döntsd el a kör típusát, és ahhoz válaszd a képletet.

3. hiba – Két fázis felcserélését elfelejtik, vagy nem jelölik be.
A motort rossz irányba kötik, majd megcserélnek két fázist, de nem készítenek új jelölést. Később a hibakeresésnél a kábelerek jele és a tényleges bekötés eltér. **Helyes gyakorlat:** a fáziscserét dokumentálni kell, és a kapcsokon/feliratokon is jelölni, hogy a bekötés szándékosan tér el a kábel eredeti jelölésétől.

4. hiba – A fázissorrend-mutatót éles hálózaton, védőeszköz nélkül használják.
A hálózati feszültség közvetlen mérése áramütéses veszélyt jelent. **Helyes gyakorlat:** csak jogosult végezheti, megfelelő CAT besorolású műszerrel, sérülésmentes zsinórokkal.

7.4.7. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A pozitív fázissorrend mindig azt jelenti, hogy az $L1$ fázis feszültsége a legnagyobb.
2. Melyik két fázist kell felcserélni ahhoz, hogy a háromfázisú motor forgásiránya megforduljon?
3. Egy háromfázisú, 25 m hosszú, 2,5 mm²-es rézkábelen 16 A folyik, $\cos\varphi = 0{,}9$. Mekkora a feszültségesés közelítőleg?
4. Miért nő a feszültségesés, ha a terhelés teljesítménytényezője csökken – azonos hatásos teljesítmény mellett?
5. Mi a fázissorrend-mutató szerepe, és miért kell előtte vizsgálni a műszer CAT besorolását?
6. Melyik képlet adja a háromfázisú feszültségesést, ha a reaktancia elhanyagolható?

A válaszok a szakasz végén, a **Feladatok** után találhatók.

7.4.8. Feladatok

1. feladat (A)
Rajzolja le a három fázisfeszültség fázorait, és írja fel az időfüggvényeket $U_f = 230\,\mathrm{V}$, $f = 50\,\mathrm{Hz}$ mellett, pozitív fázissorrendben.

2. feladat (A)
Egy háromfázisú motor forgásiránya rossz. Melyik két fázis cseréjét javasolja? Magyarázza el, miért elegendő két fázist cserélni, és mi történik a forgó mezővel.

3. feladat (B)
Egy háromfázisú kábelt $I = 32\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi = 0{,}85$, $l = 60\,\mathrm{m}$, $A = 4\,\mathrm{mm}^2$, réz, $\kappa = 56\,\mathrm{m}/(\Omega\,\mathrm{mm}^2)$ adatokkal terhelünk. A reaktanciát hanyagoljuk el. Számítsa ki a feszültségesést voltban és százalékban.

4. feladat (B)
Egy hosszú, 200 m-es, 50 mm²-es rézkábelen $I = 50\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi = 0{,}8$. A kábel hosszegységre eső ellenállása $r = 0{,}36\,\Omega/\mathrm{km}$ ($\approx 1/(\kappa A)$), reaktanciája $x = 0{,}08\,\Omega/\mathrm{km}$. Számítsa ki a feszültségesést. Hasonlítsa össze azzal az esettel, amikor a reaktanciát elhanyagoljuk.

5. feladat (C)
Egy szivattyúmotor 80 m-re van az elosztótól. A motor névleges árama 22 A, indítási árama a névleges hatszorosa, indításkor $\cos\boldsymbol{\varphi} \approx 0{,}5$ (induktív), a kábel 2,5 mm²-es réz. Indításkor a feszültségesés meghaladhatja-e a 10 %-ot? Számoljon az egyszerű, ellenállásos képlettel, és értelmezze az eredményt. Ezután javasoljon megoldást a feszültségesés csökkentésére.

6. feladat (D)
Egy háromfázisú, feszültség alatt álló elosztóban fázissorrend-mutatóval azt mérik, hogy a forgó mező $L1$–$L3$–$L2$ irányú. A mérést jogosult személy végzi. A szivattyúmotor a jelenlegi bekötésben rossz irányba forog. Melyik két fázist cseréli meg, és hogyan ellenőrzi a cserét? A munkát természetesen feszültségmentesítés után végezze.

7.4.9. Megoldások

7.4.9.1. Önellenőrzés – válaszok

1. válasz. Hamis. A fázissorrend a fázisok időbeli sorrendjét jelenti, nem azt, hogy melyik feszültsége nagyobb. A három feszültség pillanatértéke folyamatosan változik; a csúcsok sorrendje a lényeg.

2. válasz. Bármely két fázist, pl. $L2$-t és $L3$-at, fel kell cserélni. Ekkor a fázorok sorrendje megfordul, és a forgó mező iránya is megfordul.

3. válasz. $\Delta U = \frac{\sqrt{3}\cdot 16\cdot 25\cdot 0{,}9}{56\cdot 2{,}5} \approx 4{,}45\,\mathrm{V}$, azaz kb. 1,11 %.

4. válasz. Azonos hatásos teljesítményhez kisebb teljesítménytényező mellett nagyobb áram kell: $I = P/(\sqrt{3}\,U\cos\varphi)$. Ezért ΔU nő. Azonos **áram** mellett viszont kis keresztmetszetnél a feszültségesés kisebb lesz ($\Delta U \propto R\cos\varphi$); nagy keresztmetszetű, induktív reaktanciájú kábelnél az $X\sin\varphi$ tag miatt nőhet.

5. válasz. A fázissorrend-mutató a három fázis bekötése után jelzi a forgó mező irányát. A CAT besorolás azt mutatja, mekkora hálózati túlfeszültségnek állhat ellen a műszer mérés közben. Alacsony CAT besorolású műszer elosztóban életveszélyes lehet.

6. válasz. $\Delta U \approx \frac{\sqrt{3}\, I\, l \cos\varphi}{\kappa A}$.

7.4.9.2. Feladatok megoldása

1. feladat megoldása.
Az időfüggvények:

$$u_{L1}(t) = \sqrt{2} \cdot 230\,\mathrm{V} \sin(2\pi \cdot 50\,\mathrm{Hz} \cdot t)$$

$$u_{L2}(t) = \sqrt{2} \cdot 230\,\mathrm{V} \sin\left(2\pi \cdot 50\,\mathrm{Hz} \cdot t - 120^\circ\right)$$

$$u_{L3}(t) = \sqrt{2} \cdot 230\,\mathrm{V} \sin\left(2\pi \cdot 50\,\mathrm{Hz} \cdot t - 240^\circ\right)$$

A fázorábra a fenti fázorábrának felel meg: az $L1$ fázor vízszintes, az $L2$ 120°-kal az óramutató járásával megegyezően (-120°), az $L3$ 240°-kal ($-240^\circ = +120^\circ$) elforgatva, azonos hosszúságú. Az időfüggvényekben a csúcsok sorrendje: $L1$, majd $L2$, majd $L3$.

2. feladat megoldása.
Két fázist, például $L2$ és $L3$ felcserélünk. Ekkor a fázorok sorrendje $L1$–$L3$–$L2$ lesz, ami a forgó mező forgásirányát megfordítja. Több fázist nem kell cserélni, mert a fázissorrend megfordításához elég két fázis helyet cseréljen. A motor forgásiránya a fázissorrendtől függ, ezért ugyanaz a motor ellenkező irányba forog.

3. feladat megoldása.
Adott: $I = 32\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi = 0{,}85$, $l = 60\,\mathrm{m}$, $A = 4\,\mathrm{mm}^2$, $\kappa = 56\,\mathrm{m}/(\Omega\,\mathrm{mm}^2)$.
Képlet:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}\, I\, l \cos\varphi}{\kappa A}$$

Behelyettesítés:

$$\Delta U = \frac{1{,}732 \cdot 32\,\mathrm{A} \cdot 60\,\mathrm{m} \cdot 0{,}85}{56 \cdot 4}$$

A nevező: 224, a számláló: $1{,}732 \cdot 32 \cdot 51 \approx 1{,}732 \cdot 1632 \approx 2827$.

$$\Delta U \approx \frac{2827}{224}\,\mathrm{V} \approx 12{,}6\,\mathrm{V}$$

Százalékban:

$$\varepsilon = \frac{12{,}6\,\mathrm{V}}{400\,\mathrm{V}} \cdot 100\,\% \approx 3{,}16\,\%$$

Ez a 3–5 %-os sávban van, motoros fogyasztónál általában elfogadható, de világításnál már határeset.

4. feladat megoldása.
Adott: $I = 50\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi = 0{,}8$, $l = 200\,\mathrm{m} = 0{,}2\,\mathrm{km}$, $r = 0{,}36\,\Omega/\mathrm{km}$, $x = 0{,}08\,\Omega/\mathrm{km}$, $\sin\varphi = 0{,}6$.
Képlet:

$$\Delta U = \sqrt{3}\, I\,(r\,l\cos\varphi + x\,l\sin\varphi)$$

Behelyettesítés:

$$\Delta U = 1{,}732 \cdot 50\,\mathrm{A} \cdot (0{,}36 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}8 + 0{,}08 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}6)\ \Omega$$

$$\Delta U = 1{,}732 \cdot 50 \cdot (0{,}0576 + 0{,}0096)\ \mathrm{V}$$

$$\Delta U = 1{,}732 \cdot 50 \cdot 0{,}0672 \approx 5{,}82\,\mathrm{V}$$

Ha a reaktanciát elhanyagoljuk:

$$\Delta U \approx 1{,}732 \cdot 50 \cdot 0{,}0576 \approx 4{,}99\,\mathrm{V}$$

A különbség kb. 0,83 V (a 5,82 V a 400 V kb. 1,5 %-a). Ekkora keresztmetszetnél a reaktancia már mérhető hatású; kis keresztmetszetnél (pl. $6\,\mathrm{mm}^2$, $r \approx 3\,\Omega/\mathrm{km}$) az ellenállás uralkodik, és a reaktancia hatása elhanyagolható. A 50 A terhelhetőségét külön kell ellenőrizni (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 táblázat).

5. feladat megoldása.
Adott: $l = 80\,\mathrm{m}$, $I_n = 22\,\mathrm{A}$, $I_{\mathrm{ind}} = 6 \cdot 22 = 132\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi = 0{,}5$, $A = 2{,}5\,\mathrm{mm}^2$, $\kappa = 56\,\mathrm{m}/(\Omega\,\mathrm{mm}^2)$.
Az egyszerű képlet az indítási árammal:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}\, I_{\mathrm{ind}}\, l \cos\varphi}{\kappa A} = \frac{1{,}732 \cdot 132 \cdot 80 \cdot 0{,}5}{56 \cdot 2{,}5} \approx \frac{9145}{140}\,\mathrm{V} \approx 65{,}3\,\mathrm{V}$$

Százalékban:

$$\varepsilon = \frac{65{,}3}{400} \cdot 100\,\% \approx 16{,}3\,\%$$

Ez **meghaladja** a 10 %-ot. Lehetséges beavatkozások: nagyobb keresztmetszet ($10\,\mathrm{mm}^2$-rel $\approx 16{,}3\,\mathrm{V}$, 4,1 %), lágyindító vagy csillag–delta indítás (az indítási áram kb. harmadára csökken: $2{,}5\,\mathrm{mm}^2$-en $\approx 5{,}4\,\%$), a motor közelebbi csatlakoztatása. Ezen felül az üzemi feszültségesést is ellenőrizni kell ($22\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi \approx 0{,}85$ esetén $\approx 18{,}5\,\mathrm{V}$, 4,6 %), és a 22 A a $2{,}5\,\mathrm{mm}^2$-es kábel terhelhetőségi szempontból határeset (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52).

6. feladat megoldása.
A mért $L1$–$L3$–$L2$ sorrend negatív. Ha a motor jelenleg rossz irányba forog, akkor a mért negatív sorrendet kell pozitívra cserélni. Ehhez ismét két fázist cserélünk, például $L3$-at és $L2$-t. A munkát feszültségmentesítés után végezzük: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, ha szükséges, szomszédos részek lefedése. A csere után a motor beindul, és a forgásirányt ellenőrizzük – vagy fázissorrend-mutatóval, vagy a motor forgásirányának szemrevételezésével.

7.4.10. Rövid összefoglaló

A háromfázisú hálózat feszültségei azonos nagyságú, egymáshoz képest 120°-kal eltolt fázorok. A pozitív fázissorrend $L1$–$L2$–$L3$, a negatív $L1$–$L3$–$L2$. A forgó mágneses mező a térben 120°-kal eltolt tekercseken az időben 120°-kal eltolt áramok hatására jön létre; iránya a fázissorrendet követi. Két fázis felcserélése megfordítja a forgó mezőt, tehát a motor forgásirányát.

Háromfázisú szimmetrikus terhelés vezetéken fellépő feszültségesése:

$$\Delta U = \sqrt{3}\, I \left(R \cos\varphi + X \sin\varphi \right)$$

ha R és X a fázisvezető ellenállása és reaktanciája, I a vonali áram. A reaktancia elhanyagolásakor:

$$\Delta U \approx \frac{\sqrt{3}\, I\, l \cos\varphi}{\kappa A}$$

A százalékos feszültségesést $\Delta U / 400\,\mathrm{V} \cdot 100\,\%$ adja. A gyakorlatban a feszültségesést a terhelhetőség mellett mindig ellenőrizni kell, mert hosszú kábelnél a feszültségesés gyakran hamarabb túllép a megengedett értéken, mint a kábel terhelhetősége. A fázissorrend-mutató használata hálózati feszültség alatt csak jogosult személynek engedélyezett, megfelelő CAT besorolású műszerrel.

Továbbvitt eredmény. A forgó mező fogalma és a fázissorrend szerepe a motorok bekötésénél és a feszültségesés méretezésénél is alapvető. Ezt a tudást használjuk a Feszültségesés és a vezeték méretezése és a Szerkezet és működési elv, forgó mágneses mező alfejezetben.

7.4.11. Források és ellenőrzési hiányok

Nincs felhasznált, olvasott forrás. A feszültségesés határértékei és a kábel hosszegységre eső ellenállás-/reaktanciaértékei tájékoztató jellegűek; a tényleges méretezéshez a hatályos szabványt és a gyártói adatlapot kell ellenőrizni.

8 Mérőműszerek és mérések

8.1. Mérés alapjai, mérési hibák és műszerosztályok

8.1.1. Miért kell pontosan mérni és számolni a hibával?

Tegyük fel, hogy hibakeresés közben megmérsz egy tápfeszültséget, és a műszer **11,8 V**-ot mutat. Azt feltételezed, hogy a 12 V-os áramkör rendben van, pedig valójában a műszer pontossága miatt a valódi érték akár **12,4 V** vagy **11,2 V** is lehet. Ha nem érted, mennyire bízhatsz a műszeredben, téves irányba indulsz el, alkatrészt cserélsz, vagy épp figyelmen kívül hagysz egy életveszélyes hibát. A mérési hiba ismerete nem statisztikai szőrszálhasogatás, hanem a hibakeresés és a hibavédelmi (régi szóval érintésvédelmi) mérések alapja.

Az alfejezet célja, hogy a mérési eredmény mellé mindig oda tudd tenni a kérdést: *„Mekkora a hibahatár, és milyen belső ellenállással mértek?”* Ezt a szemléletet viszed tovább a Multiméter, lakatfogó és mérési kategóriák és az Oszcilloszkóp és jelalakok alfejezetekbe.

8.1.2. A mérés fogalma és a mérési hibák fajtái

Definíció. A **mérés** egy fizikai mennyiség (feszültség, áram, ellenállás stb.) összehasonlítása egy ismert etalonnal vagy egy hitelesített műszerrel. A mérés célja a **valódi érték** (X_v) minél jobb megközelítése, amelyet azonban sosem ismerhetünk meg tökéletesen.

Definíció. A mérés során fellépő **abszolút hiba** (ε) a mért érték (X_m) és a valódi érték (X_v) különbsége:

$$\varepsilon = X_\mathrm{m} - X_\mathrm{v}$$

Definíció. A **relatív hiba** (h) a hibának a valódi (vagy a mért) értékhez viszonyított aránya, százalékban:

$$h = \frac{\varepsilon}{X_\mathrm{v}} \cdot 100\,\% \approx \frac{\varepsilon}{X_\mathrm{m}} \cdot 100\,\%$$

A relatív hiba sokkal informatívabb a szerelő számára: teljesen más, ha 1 V hibával 1000 V-ot, vagy ha 10 V-ot mérünk.

Definíció. A **mért érték bizonytalansága** a mérési hiba lehetséges intervalluma. Például ha az abszolút hibahatár $\pm 1{,}5\,\mathrm{V}$, akkor a keresett valódi érték $X_\mathrm{v} = X_\mathrm{m} \pm 1{,}5\,\mathrm{V}$ tartományban van.

8.1.2.1. A hibák fő forrásai

1. Szisztematikus (rendszeres) hibák. A mérőeszköz rossz kalibrációjából, elöregedett elemeiből, vagy a mérési elrendezés állandó hibájából adódnak. Egy rosszul nullázott, régi analóg műszer mindig ugyanabba az irányba téved. A szisztematikus hiba a mérés megismétlésével **nem** oldható fel.

2. Véletlen hibák. A hálózati zaj, a hőmérséklet-ingadozás, a műszer digitális utolsó számjegyének ugrálása véletlen jellegű. Több mérés átlagolásával csökkenthető a hatásuk.

3. Leolvasási (durva) hibák. Az emberi leolvasás során keletkeznek. Analóg műszernél a mutatót nem merőlegesen nézve parallaxishiba lép fel; digitálisnál rossz méréshatárból számolunk, vagy a tizedespontot tévesztjük el.

Példa (leolvasási hiba). Egy analóg voltmérő skálája $0 \dots 300\,\mathrm{V}$-ig van kalibrálva, de te a rossz skálát, a $0 \dots 100$-as osztást nézed. A műszer így $80\,\mathrm{V}$-ot mutat, holott a valódi érték $240\,\mathrm{V}$.

Hiba. A rossz skála leolvasása nem csak pontatlan, hanem életveszélyes döntéshez is vezethet, például ha egy áramkör feszültségmentességét ellenőrzöd, és valójában feszültség alatt van.

8.1.3. Pontossági osztály és méréshatár

Definíció. A **pontossági osztály** (accuracy class) a műszer legnagyobb megengedett **relatív hibája a méréshatár (végkitérő) százalékában kifejezve.** Ez a gyártó által garantált hibakorlát. Az osztályt általában szám jelzi, például **1,5** (ami 1,5 %-ot jelent), **0,5**, **2,5** stb. Ez az analóg (mutatós) műszerek jellemzője, a skálalapra írják. A digitális műszerek adatlapja a hibát általában $\pm$(a leolvasott érték $x\,\%$-a $+\,n$ digit) alakban adja meg: ennek első tagja a mért értékre vetül, a második a kijelző felbontására (részletesen: Multiméter, lakatfogó és mérési kategóriák).

Definíció. A **méréshatár** ($X_{\text{vég}}$) a műszer által megjeleníthető legnagyobb érték (például $200\,\mathrm{mA}$, $600\,\mathrm{V}$). Analóg műszernél a pontossági osztályból adódó hibát **mindig a méréshatárhoz és nem a mért értékhez képest** kell számolni.

Összefüggés. Ha a műszer pontossági osztálya $k\,\%$, a méréshatára $X_{\text{vég}}$, akkor a legnagyobb megengedett **abszolút hiba**:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{k}{100} \cdot X_{\text{vég}}$$

Figyelem. A relatív hiba a méréshatár alsó tartományában megnő, mert az abszolút hibát a mért értékkel osztjuk. Ezért az analóg műszert úgy kell méréshatárt választani, hogy a mutató a skála felső kétharmadában legyen. Digitális műszernél hasonló a helyzet, bár ott a kijelző felbontása is beleszól.

8.1.4. Kidolgozott számítási példa: pontossági osztályból adódó hiba

Számítás. Egy analóg feszültségmérő pontossági osztálya **1,5**, méréshatára **300 V**. A leolvasott érték **200 V**.

1. *Adott:* $k = 1{,}5$, $X_{\text{vég}} = 300\,\mathrm{V}$, $X_{\mathrm{m}} = 200\,\mathrm{V}$.
2. *Keresett:* A maximális abszolút hiba ($\varepsilon_{\max}$) és a relatív hiba (h).
3. *Képlet:* $\varepsilon_{\max} = \frac{k}{100} X_{\text{vég}}$, $h = \frac{\varepsilon_{\max}}{X_{\mathrm{m}}} \cdot 100\,\%$.

4. *Behelyettesítés:*
$$\varepsilon_{\max} = \frac{1{,}5}{100} \cdot 300\,\mathrm{V} = 4{,}5\,\mathrm{V}$$
$$h = \frac{4{,}5\,\mathrm{V}}{200\,\mathrm{V}} \cdot 100\,\% = 2{,}25\,\%$$
5. *Eredmény:* A mért érték 200 V, a hibahatár $\pm 4{,}5$ V, így a valódi érték $195{,}5\,\mathrm{V} \le U \le 204{,}5\,\mathrm{V}$.
6. *Ellenőrzés:* A relatív hiba 2,25 %, ami nagyobb, mint a 1,5 %-os osztály, mert a mutató nem a végkitérő közelében van.

Számítás. Mérjünk most **50 V**-ot ugyanezzel a műszerrel a **300 V**-os és a **100 V**-os méréshatáron.

- 300 V-os határon: $\varepsilon_{\max} = 4{,}5\,\mathrm{V}$, $h = \frac{4{,}5}{50} \cdot 100 = 9\,\%$. Ez nagyon rossz!
- 100 V-os határon: $\varepsilon_{\max} = \frac{1{,}5}{100} \cdot 100\,\mathrm{V} = 1{,}5\,\mathrm{V}$, $h = \frac{1{,}5}{50} \cdot 100 = 3\,\%$. Sokkal jobb.

Továbbvitt eredmény. A pontossági osztályból számolt hibahatárt használjuk minden mérési jegyzőkönyvben. A Multiméter, lakatfogó és mérési kategóriák alfejezetben ezt a számítást alkalmazzuk a digitális multiméter specifikációjának értelmezésére, az Oszcilloszkóp és jelalakok részben pedig a jelalak-mérés bizonytalanságának becslésére.

8.1.5. A műszer belső ellenállása és terhelő hatása

A mérőműszer nem „ingyen” mér: áramot vesz fel az áramkörből, és ezzel **megváltoztatja a mért mennyiséget**. Ezt hívjuk a mérőműszer **terhelő hatásának**.

Definíció. A **belső ellenállás** (R_{be}) a mérőműszer bemeneti ellenállása. Feszültségmérőnél ez a műszeren átfolyó áramot határozza meg, árammérőnél pedig a hálózatba sorosan beiktatott ellenállást jelenti.

Szabály. A jó feszültségmérő belső ellenállása a mért kör ellenállásához képest **minél nagyobb** legyen, hogy elhanyagolható áramot vegyen fel. A jó árammérő belső ellenállása **minél kisebb** legyen, hogy ne vigyen be számottevő feszültségesést.

Megjegyzés. A régi analóg, mutatós műszerek belső ellenállása gyakran csak $1\,\mathrm{k\Omega/V}$…$20\,\mathrm{k\Omega/V}$ (például 300 V-os határon 300 kΩ). A modern digitális multimétereké általában $10\,\mathrm{M\Omega}$ a feszültségmérésnél.

8.1.6. Kidolgozott számítási példa: terhelő hatás

Számítás. Egy feszültségosztó két 100 kΩ-os ellenállásból áll ($R_1 = R_2 = 100\,\mathrm{k\Omega}$), és $U = 20\,\mathrm{V}$ tápfeszültséget kap. A cél az R_2 ellenálláson eső feszültség (U_2) megmérése.

- Valódi érték (műszer nélkül):
$$U_2 = U\frac{R_2}{R_1 + R_2} = 20\,\mathrm{V} \cdot \frac{100\,\mathrm{k\Omega}}{100\,\mathrm{k\Omega} + 100\,\mathrm{k\Omega}} = 10\,\mathrm{V}$$
- Most feltételezzük, hogy egy régi, $R_{\mathrm{be}} = 100\,\mathrm{k\Omega}$ belső ellenállású műszerrel mérünk. A műszer párhuzamosan kapcsolódik R_2-vel, így az eredő ellenállás:
$$R_{\mathrm{eredő}} = \frac{R_2 \cdot R_{\mathrm{be}}}{R_2 + R_{\mathrm{be}}} = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100}\,\mathrm{k\Omega} = 50\,\mathrm{k\Omega}$$

- A mért feszültség:

$$U_{\mathrm{m}} = 20\,\mathrm{V} \cdot \frac{50\,\mathrm{k\Omega}}{100\,\mathrm{k\Omega} + 50\,\mathrm{k\Omega}} = 20\,\mathrm{V} \cdot \frac{50}{150} = 6{,}67\,\mathrm{V}$$

- A hiba: $\varepsilon = 6{,}67\,\mathrm{V} - 10\,\mathrm{V} = -3{,}33\,\mathrm{V}$, relatív hibája $h = -33{,}3\,\%$. Ez katasztrofálisan rossz.

Ugyanez a mérés modern, $R_{\mathrm{be}} = 10\,\mathrm{M\Omega} = 10\,000\,\mathrm{k\Omega}$ belső ellenállású műszerrel:

$$R_{\mathrm{eredő}} = \frac{100 \cdot 10\,000}{100 + 10\,000}\,\mathrm{k\Omega} \approx 99{,}01\,\mathrm{k\Omega}$$

$$U_{\mathrm{m}} = 20\,\mathrm{V} \cdot \frac{99{,}01}{100 + 99{,}01} \approx 9{,}95\,\mathrm{V}$$

A relatív hiba már csak $-0{,}5\,\%$ körül van, ami az elektronikai hibakeresésnél általában elfogadható.

Továbbvitt eredmény. A terhelő hatás figyelembevétele a Multiméter, lakatfogó és mérési kategóriák részben elengedhetetlen lesz, amikor nagy belső ellenállású (például CMOS-os) áramkörök feszültségét mérjük, és amikor a feszültségmentesség ellenőrzését végezzük.

8.1.7. Mérési módszerek rövid áttekintése

1. Eltérítéses (közvetlen) módszer. A műszer mutatója vagy kijelzője közvetlenül a mérendő mennyiségre van kalibrálva. Jellemzői: gyors, kényelmes, de a műszer hibája és terhelő hatása benne van az eredményben. A multiméter és a lakatfogó ilyen.

2. Kiegyenlítéses (null) módszer. A mérendő feszültséget egy ismert, nagy pontosságú forrás feszültségével hasonlítjuk össze, amíg a kettő különbsége nulla nem lesz. Az egyensúlyban a műszer nem vesz fel áramot, ezért **nincs terhelő hatása**, és az eredmény csak az etalon/hiteles eszköz pontosságától függ. Példa: ellenállásmérés Wheatstone-híd használatával.

8.1.8. Mérési jegyzőkönyv és értékes jegyek

A jegyzőkönyv a mérés „dokumentációja”. Hibakereséskor segít következtetni a jelenség okára, felülvizsgálatkor pedig jogilag is bizonyítja a mérés megtörténtét.

Alapvető jegyzőkönyvminta:

- **A mérés dátuma, helyszíne, célja** (pl. hurokimpedancia-ellenőrzés).
- **A mérőműszer adatai:** típus, gyártási szám, pontossági osztály, kalibráció érvényessége.
- **A használt méréshatár** és a mérési kategória.
- **A mért értékek** (többszöri leolvasás átlaga, ha szükséges).
- **A hibahatár számítása** a pontossági osztályból és a méréshatárból.
- **Dátum, aláírás.**

Szabály. A jegyzőkönyvben a mérési eredményt mindig a műszer által ténylegesen kijelzett pontossággal, de nem több **értékes jeggyel** add meg. Ha a digitális műszer kijelzője `230,0 V`-ot mutat, az négy értékes jegy; te ne írd mellé, hogy „körülbelül 229,9875 V”. Ha analóg skálán csak 10 V-os felbontással lehet leolvasni, akkor az utolsó jegy becsült.

Tipikus hibák és a helyes gyakorlat:

1. **Helytelen méréshatárból való számítás.** A műszer a $k\,\%$-ot a **méréshatárra** vetíti, nem a mért értékre. Ha 10 V-ot mérünk 1000 V-os méréshatáron, a hiba aránytalanul nagy lesz.
2. **A terhelő hatás elhanyagolása.** Különösen árammérőnél: a soros árammérő belső ellenállása lecsökkenti az áramkörben folyó áramot, így hibás eredményt ad. Feszültségmérőnél a régi, kis belső ellenállású (kΩ/V) analóg műszerek terhelik le az áramkört.
3. **Indokolatlanul sok tizedesjegy.** A jegyzőkönyvbe írt „12,537886 V” akkor hamis, ha a műszer csak 12,5 V-ot tud megjeleníteni. A pontosságot nem a tizedesjegyek száma jelenti.
4. **Parallaxis hiba.** Analóg műszernél a mutatót mindig merőlegesen, a tükörsávot használva kell leolvasni.
5. **A műszer ellenőrzésének elmulasztása.** Mérés előtt a műszert mindig ellenőrizni kell (pl. ismert feszültségre kapcsolva), hogy ne egy kimerült elemmel kezdjük a mérést.

8.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy szerelő egy lakáselosztóban azt tapasztalta, hogy a FI-relé (áram-védőkapcsoló) időnként lekapcsol. A hibakeresés során megmérte a szigetelési ellenállást. A szigetelésmérés a leválasztott kábelezésen rendben volt, a hiba csak üzemben, nedvességnél jelentkezett. Ezért a szerelő a fázis- és a nullavezetőt **együtt** átfogva, szivárgóáram-mérésre alkalmas (mA felbontású) lakatfogóval megmérte a különbségi áramot: 8–12 mA szivárgást talált (ellenőrizendő: a műszer adatlapi pontossága). Egy 30 mA-es áram-védőkapcsoló 15 mA ($0{,}5 \cdot I_{\Delta n}$) alatt még nem old ki, 30 mA-nél ki kell oldania (ellenőrizendő: MSZ EN 61008-1 / 61009-1); a 8–12 mA nedvességnél tovább nő, és összeadódik a kör többi készülékének szivárgásával, így együtt már elérheti a kioldási tartományt. Ezért egy áram-védőkapcsoló mögött a tartós szivárgások összege lehetőleg ne haladja meg kb. $0{,}3 \cdot I_{\Delta n}$-t (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-53). A fogyasztókat egyenként leválasztva kiderült, hogy a mosógép fűtőbetétjének szigetelési hibája (fűtőszál–burkolat, a védővezető felé) okozta a szivárgást; ez földzárlat, nem zárlat. A tanulság: kis áramot csak arra alkalmas műszerrel és méréshatáron szabad mérni, a hibahatár számításával (lásd Áram-védőkapcsoló (FI) és kiegészítő védelem). A csak a nullavezetőre tett lakatfogó az üzemi áramot méri, a szivárgásról nem mond semmit.

8.1.10. Gyakorlati útmutató: méréshatár kiválasztása és a hiba becslése

Cél. Megtanulni egy analóg vagy digitális multiméter helyes kezelését a pontossági osztály és a méréshatár figyelembevételével.

Eszközök és anyagok: analóg mutatós voltmérő (pl. 1,5 osztály, 300 V végkitérő), digitális multiméter, egy 9 V-os elem, egy 10 kΩ-os ellenállás, a mérésről jegyzőkönyv.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezz mérést.

Az öt biztonsági szabály (hálózati berendezésen végzett munka előtt): 1. **Leválasztás** – minden pólus lekapcsolása. 2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás** – lakat, tábla. 3. **A feszültségmentesség megállapítása** a munkavégzés helyén, minden pólus között, kétpólusú feszültségvizsgálóval; a vizsgálót előtte és utána ismert feszültségforráson ellenőrizd. 4. **Földelés és rövidre zárás**, ahol előírt, vagy visszatáplálás, indukált feszültség veszélye áll fenn. 5. **Szomszédos feszültség alatt maradó részek lefedése**, elkerítése.

A mostani gyakorlat törpefeszültségű elemen (9 V) történik, ezért az öt szabály itt nem alkalmazandó (nincs mit feszültségmentesíteni); csak a műszer ellenőrzését és a helyes funkció- és

méréshatár-választást gyakoroljuk. Hálózati berendezésen mindig az öt szabály szerint járj el, jogosult személy felügyeletével.

Lépések:

1. **Kapcsold be a műszert** (ha digitális), és válaszd ki a mennyiségnek megfelelő funkciót (V-DC vagy V-AC).
2. **Válaszd a legnagyobb méréshatárt**, ha nem ismered a mérendő feszültséget.
3. **Érintsd a mérőzsinórokat** a mérendő ponthoz.
4. **Olvasd le a kijelzőt** (analógnál ügyelj a skálára és a mutató tükörképére).
5. **Ha a mutató a skála alsó harmadában van**, válts egy kisebb méréshatárra (pl. 300 V helyett 100 V-ra), hogy a pontossági osztályból adódó relatív hiba csökkenjen.
6. **Jegyezd fel** a mért értéket, a méréshatárt, a műszer típust és a becsült hibát.

Ellenőrzési pontok: a mért értéknek reálisnak kell lennie. Ha például egy 9 V-os elemen 1,2 V-ot mérsz, akkor valószínűleg túl nagy méréshatárt használsz, vagy a mérőzsinór szakadt.

8.1.11. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A relatív hiba független a mért értéktől.
2. **Számítás.** Egy 2,5-ös pontossági osztályú, 200 V méréshatárú műszerrel 70 V-ot mérsz. Mennyi a maximális abszolút hiba?
3. **Számítás.** Mi a relatív hiba a fenti példában?
4. **Miért rossz** régi analóg műszerrel nagy ellenállású áramkör feszültségét mérni?
5. **Melyik méréshatárt választod** 45 V méréséhez, ha 100 V, 50 V és 20 V méréshatárok állnak rendelkezésre? Miért?

8.1.12. Feladatok

1. feladat (A) Határozd meg az abszolút és a relatív hiba fogalmát.

2. feladat (A) Egy 1,5 osztályú voltmérő méréshatára 150 V, a leolvasott érték 90 V. Számítsd ki a maximális abszolút hibát és a relatív hibát.

3. feladat (B) Egy feszültségosztóban $R_1 = 10\,\mathrm{k\Omega}$ és $R_2 = 10\,\mathrm{k\Omega}$, a tápfeszültség $U = 12\,\mathrm{V}$. A méréshez egy régi, $R_{\mathrm{be}} = 1\,\mathrm{k\Omega/V}$ érzékenységű, 10 V méréshatárú analóg műszert használunk. a) Mekkora a műszer belső ellenállása ezen a méréshatáron? b) Mekkora a valódi feszültség az R_2-n? c) Mekkora a terhelt feszültség (mért érték)? d) Mekkora a relatív hiba?

4. feladat (B) Egy mérési feladatnál 30 V-ot várunk. Rendelkezésre áll egy 0,5 osztályú műszer 100 V-os, 50 V-os és 20 V-os méréshatárokkal. Melyik méréshatárt válaszd, és mekkora a hozzátartozó maximális abszolút hiba és relatív hiba?

5. feladat (C) Egy hibakeresés során egy digitális multiméter kijelzőjén `12,34 V` olvasható. A méréshatár 50 V, a műszer alap pontossága a mért értékre vetítve 0,5 %, a felbontásból adódó hibája pedig 3 digit. A jegyzőkönyvbe a tanuló `12,341729 V`-ot ír. a) Írd fel a hibahatárt a gyártói specifikáció alapján. b) Mi a baj a jegyzőkönyv bejegyzésével?

6. feladat (D) Gyakorlati feladat: egy 9 V-os elem feszültségét méred egy digitális és egy analóg műszerrel. A digitális multiméter `9,40 V`-ot mutat, az analóg műszer csak `8,7 V`-ot. Magyarázhatja-e a különbséget a műszer terhelő hatása? Számold ki a felvett áramot és a belső ellenálláson eső feszültséget (az elem belső ellenállása kb. $2\,\Omega$, az analóg műszer 10 V-os határán $10\,\mathrm{k\Omega}$), és vesd össze az analóg műszer hibahatárával (2,5-es osztály). Melyik műszernek hiszel inkább?

8.1.13. Megoldások

8.1.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A relatív hiba a méréshatártól és a mért értéktől függ. A műszer pontossági osztálya a méréshatár százaléka, ezt osztjuk a mért értékkel.
2. $\varepsilon_{\max} = 2{,}5\,\% \cdot 200\,\mathrm{V} = 5\,\mathrm{V}$.
3. $h = 5\,\mathrm{V}/70\,\mathrm{V} = 7{,}1\,\%$.
4. Mert a műszer belső ellenállása a mért kör ellenállásához képest kicsi, így leterheli az áramkört, és a mérési eredmény hamis, kisebb feszültséget mutat.
5. Az **50 V-os méréshatárt**, mert a 45 V közel van a végkitérőhöz. A 100 V-os határon a mutató a skála felénél lenne, a relatív hiba kétszeresére nő; a 20 V-os határ túlcsapódna.

8.1.13.2. Feladatok – megoldások

1. feladat (A) Az abszolút hiba a mért érték és a valódi érték különbsége: $\varepsilon = X_\mathrm{m} - X_\mathrm{v}$. A relatív hiba ez a különbség a valódi (vagy mért) értékhez viszonyítva, százalékban: $h = \varepsilon / X_\mathrm{v} \cdot 100\,\%$.

2. feladat (A) Adott: $k = 1{,}5$, $X_\mathrm{vég} = 150\,\mathrm{V}$, $X_\mathrm{m} = 90\,\mathrm{V}$. Abszolút hiba: $\varepsilon_{\max} = 1{,}5/100 \cdot 150 = 2{,}25\,\mathrm{V}$. Relatív hiba: $h = 2{,}25/90 \cdot 100 = 2{,}5\,\%$. A valódi érték $90 \pm 2{,}25\,\mathrm{V}$.

3. feladat (B) a) $R_\mathrm{be} = 1\,\mathrm{k\Omega/V} \cdot 10\,\mathrm{V} = 10\,\mathrm{k\Omega}$. b) $U_2 = 12\,\mathrm{V} \cdot \frac{10}{10+10} = 6\,\mathrm{V}$. c) A terhelt eredő: $R_\mathrm{eredő} = \frac{10 \cdot 10}{10+10} = 5\,\mathrm{k\Omega}$. Mért feszültség: $U_\mathrm{m} = 12\,\mathrm{V} \cdot \frac{5}{10+5} = 4\,\mathrm{V}$. d) Relatív hiba: $(4-6)/6 \cdot 100 = -33{,}3\,\%$.

4. feladat (B) A 100 V-os méréshatár hibája: $0{,}5\,\% \cdot 100 = 0{,}5\,\mathrm{V}$, relatív: $0{,}5/30 = 1{,}67\,\%$. Az 50 V-os méréshatár hibája: $0{,}5\,\% \cdot 50 = 0{,}25\,\mathrm{V}$, relatív: $0{,}25/30 = 0{,}83\,\%$. A 20 V-os tartomány túlcsapódik. Az 50 V-os tartományt választjuk, mert ezen a határon a legkisebb a relatív hiba (a $30/50 = 60\,\%$-os kitérés a skála felső kétharmadában van).

5. feladat (C) a) A specifikáció első tagja (a mért értékre vetítve): $0{,}5\,\% \cdot 12{,}34\,\mathrm{V} = 0{,}0617\,\mathrm{V} \approx 0{,}062\,\mathrm{V}$. A digit hibája: 3 digit a kijelzőn a legkisebb helyiértéken (0,01 V) így $3 \times 0{,}01 = 0{,}03\,\mathrm{V}$. Összesített (pesszimista) hibahatár: $\pm(0{,}062 + 0{,}03) = \pm 0{,}092\,\mathrm{V}$. Tehát a valódi érték körülbelül \$12{,}25 \$ és 12,43 V között van. b) A helytelen bejegyzés: a műszer felbontása 0,01 V, tehát a `12,341729 V` kiírás nem megengedhető, mert olyan pontosságot sugall, amit a műszer nem tud. Helyesen `12,34 V` vagy `12,34 V ± 0,09 V`.

6. feladat (D) Terhelő hatás: az analóg műszer 10 V-os határán $R_b = 10\,\mathrm{k\Omega}$, a felvett áram $I = 9{,}4/(10\,000 + 2) \approx 0{,}94\,\mathrm{mA}$, a belső ellenálláson eső feszültség $0{,}94\,\mathrm{mA} \cdot 2\,\Omega \approx 2\,\mathrm{mV}$. Elemnél a belső ellenállás (néhány ohm) a műszer ellenállásához képest elhanyagolható, ezért a terhelő hatás **nem** magyarázza a 0,7 V-os eltérést (ehhez kb. $800\,\Omega$ belső ellenállás kellene: $9{,}4 \cdot R/(10\,\mathrm{k\Omega} + R) = 0{,}7\,\mathrm{V}$). Az analóg műszer hibahatára 2,5-es osztálynál, 10 V-os határon $\pm 0{,}25\,\mathrm{V}$; a 0,7 V ennél is nagyobb, tehát az analóg műszer rossz méréshatáron/skáláján olvastál le, nincs nullázva, vagy hibás: ellenőrizd ismert feszültségen (a terhelő hatás nagy belső ellenállású forrásnál, például a kidolgozott példa $2 \times 100\,\mathrm{k\Omega}$-os osztójánál számít). A digitális műszernek hiszünk inkább, mert pontossága és belső ellenállása (10 MΩ) is kedvezőbb; kiürült elemnél a terhelt feszültség lehet a használat közbeni valós érték.

8.1.14. Rövid összefoglaló

A mérés sohasem tökéletes; a mérési hiba a műszer és a mérési módszer velejárója. Az **abszolút hiba** ($\varepsilon = X_\mathrm{m} - X_\mathrm{v}$) és a **relatív hiba** ($h = \varepsilon / X_\mathrm{v} \cdot 100\,\%$) összekapcsolják a hibát a mérési eredménnyel. A műszer **pontossági osztálya** a méréshatár százalékában adja meg a legnagyobb megengedett hibát, ezért a méréshatárt mindig úgy kell megválasztani, hogy a mutató a skála felső kétharmadában legyen. A **műszer belső ellenállása** meghatározza a **terhelő hatást**: a feszültségmérőnek nagy, az árammérőnek kis belső ellenállással kell rendelkeznie. Ezen alapelvek nélkül lehetetlen a hibakeresés és a mérési jegyzőkönyv helyes értelmezése. Az itt tanultakat a Multiméter, lakatfogó és mérési kategóriák és az Oszcilloszkóp és jelalakok alfejezetekben használjuk fel a gyakorlati mérések során.

A mérési jegyzőkönyvben a mért értéket a műszer által garantált pontossággal, a méréshatár és a pontossági osztály feltüntetésével kell rögzíteni, kerülve a hamis, túlzott tizedesjegyeket. A hibás méréshatár-választás, a terhelő hatás elhanyagolása és a parallaxishiba tipikus hibaforrások, amelyek a villanyszerelő munkájában téves diagnózishoz és veszélyes döntésekhez vezethetnek.

8.2. Multiméter, lakatfogó és mérési kategóriák

8.2.1. Motiváció: miért kell a multiméter és a lakatfogó?

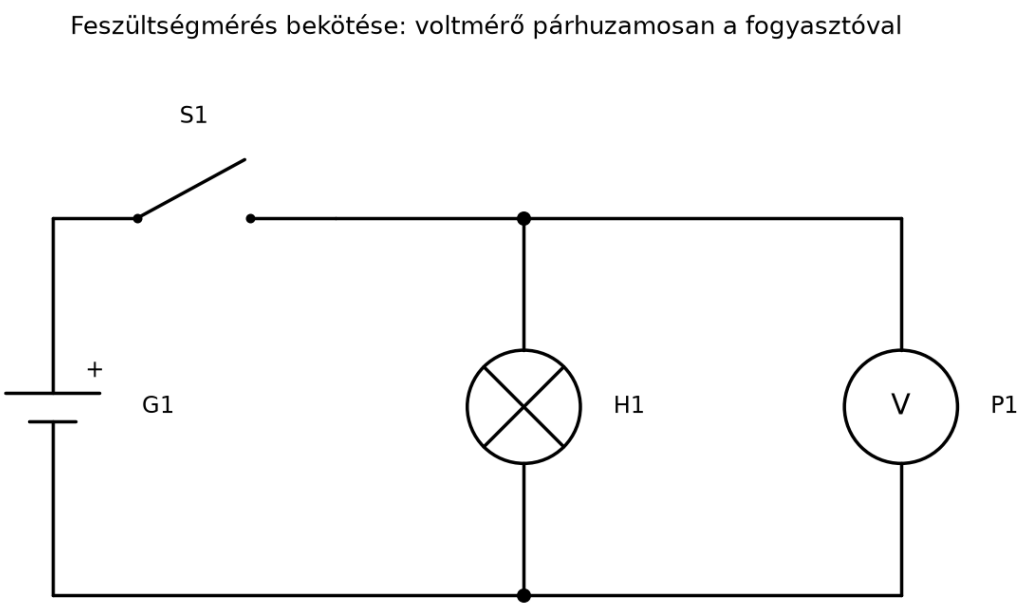
A villanyszerelő munkahelyi hétköznapjaiban a kapcsolási rajz és a számítás csak annyit ér, amennyit a valóságban méréssel ellenőrizni tudunk. Egy lakáselosztóban az a kérdés, hogy valóban megjelent-e a fázis a kismegszakító után; egy motor bekötésekor az, hogy a csillagpont valóban a csillagpont-e, és a tekercs nem szakadt-e meg. A hibakeresés során a leggyakoribb kérdések: „van-e feszültség?”, „folyik-e áram?”, „szakadt-e a vezeték?”. Ezekre a választ a digitális multiméter és a lakatfogó adja. Ha rosszul választunk méréshatárt, rossz csatlakozót használunk, vagy a mérési kategóriának nem megfelelő műszerrel dolgozunk, nemcsak téves mérési eredményt kapunk, hanem közvetlen áramütés- és ívveszélyt is okozunk.

8.2.2. Szemléletes kép: három mérőhelyzet, három bekötés

Képzeljünk el három gyakori helyzetet:

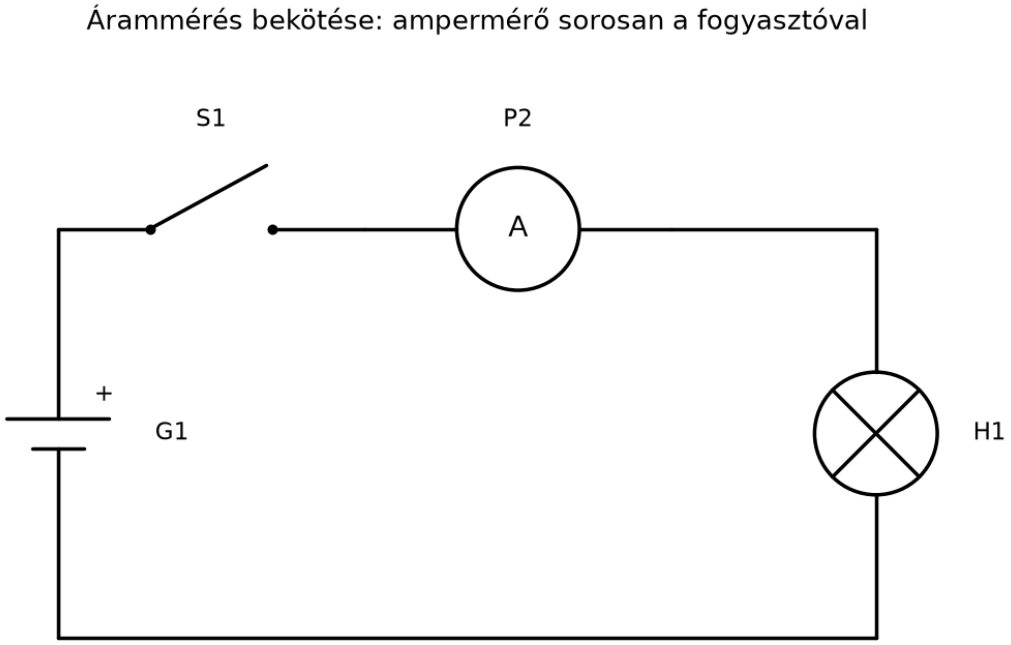
1. Egy tanműhelyi törpefeszültségű áramkörben azt vizsgáljuk, mekkora feszültség esik egy izzón. A voltmérőt az izzó két kivezetésére kötjük, tehát **párhuzamosan**.
2. Ugyanebben az áramkörben azt kérdezzük, mekkora áram folyik az izzón keresztül. Az áramkört meg kell szakítanunk, és az ampermérőt a szakadásba, tehát **sorosan** kell beiktatnunk.
3. Egy kapcsolószekrényben azt szeretnénk tudni, hogy egy motor valóban felvesz-e áramot, anélkül hogy a vezetéket megbontanánk. Ekkor a lakatfogót egyszerűen az egyik fázisvezető köré zárjuk.

Ez a három alaphelyzet határozza meg a mérőműszerek használatának minden fontos szabályát:



8.1. ábra. Feszültségmérés bekötése: voltmérő párhuzamosan a fogyasztóval - Tanműhelyi törpefeszültségű kapcsolás: G1 egyenfeszültségű forrás (felül a + kapocs), S1 kapcsoló, H1 izzó, P1 digitális voltmérő. A voltmérő a lámpa két kapcsára, vele párhuzamosan csatlakozik (pontok a csatlakozásoknál); soha nem iktatjuk sorba az áramkörbe.

A rajzon jól látszik, hogy a feszültségmérő nem szakítja meg az áramutat: a fogyasztón továbbra is ugyanaz az áram folyhat, miközben a műszer a két csatlakozási pont közötti potenciálkülönbséget mutatja. Az árammérésnél éppen fordított a helyzet: a műszer a megszakított vezeték két vége közé kerül.



8.2. ábra. Árammérés bekötése: ampermérő sorosan a fogyasztóval - Ugyanaz a törpefeszültségű kör: az áramkört megszakítjuk, és a P2 ampermérőt (A) a szakadásba, a kapcsoló és a lámpa közé iktatjuk; így a lámpa teljes árama átfolyik rajta. Lakatfogóval a vezeték megbontása nélkül, a vezető köré zárt fogóval mérünk (külön rajz nélkül).

A második rajzon az ampermérő a kapcsoló és a lámpa közötti vezeték helyére került: a kör áramának minden töltése átmegy rajta, ezért kis belső ellenállású műszer kell.

8.2.3. A digitális multiméter üzemmódjai

Definíció. A digitális multiméter (DMM) olyan többfunkciós mérőműszer, amely feszültséget, áramot, ellenállást, folytonosságot, és gyakran diódát, kapacitást, frekvenciát vagy hőmérsékletet is képes mérni. A mért értéket számjegyes kijelzőn, automatikus vagy kézi méréshatár-választással jeleníti meg.

A multiméterek alapvetően két csatlakozóaljzattal rendelkeznek, de az áramméréshez gyakran külön aljzat tartozik. A leggyakoribb feliratok:

- `COM` – közös (föld) csatlakozó, ide kerül a fekete mérőzsinór.
- `VΩ` vagy `VΩmA` – feszültség-, ellenállás-, dióda- és kisáramú mérés; ide kerül a piros mérőzsinór.
- `A` vagy `10A` – nagyobb áramú mérés; csak árammérésnél használjuk.

A mérési üzemmódot forgókapcsolóval vagy nyomógombbal választjuk. A műszer mindig a kiválasztott állásnak megfelelő **belső kapcsolást** építi fel.

8.2.3.1. Feszültségmérés párhuzamosan

Szabály. A feszültségmérőt mindig a mérendő két pont **közé**, tehát a fogyasztóval vagy áramköri résszel **párhuzamosan** kell csatlakoztatni. A műszer belső ellenállása feszültségmérésnél nagyon nagy, jellemzően 10 MΩ (ellenőrizendő: a konkrét műszer adatlapja), így alig terheli az áramkört.

Számítás. Egy 12 V-os áramkörben két sorba kapcsolt, egyenként 100 kΩ ellenállásból álló feszültségosztó középpontját mérjük:

Adott: $U_t = 12\,\mathrm{V}$, $R_1 = R_2 = 100\,\mathrm{k\Omega}$, voltmérő belső ellenállása $R_v = 10\,\mathrm{M\Omega}$.

Ideális esetben a felezőpont feszültsége:

$$U_{\text{ideális}} = U_t \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12\,\mathrm{V} \cdot \frac{100\,\mathrm{k\Omega}}{100\,\mathrm{k\Omega} + 100\,\mathrm{k\Omega}} = 6\,\mathrm{V}.$$

A valós műszer az alsó ellenállással párhuzamosan kapcsolódik, ezért az eredő:

$$R_{2v} = \frac{R_2 \cdot R_v}{R_2 + R_v} \approx 99{,}0\,\mathrm{k\Omega}.$$

A mért feszültség:

$$U_{\text{mért}} = 12\,\mathrm{V} \cdot \frac{99{,}0\,\mathrm{k\Omega}}{100\,\mathrm{k\Omega} + 99{,}0\,\mathrm{k\Omega}} \approx 5{,}97\,\mathrm{V}.$$

Ellenőrzés: a műszer terhelő hatása kicsi, de mérhető; a hiba körülbelül 0,5%. Ha az osztó ellenállásai nagyságrendekkel nagyobbak lennének, a hatás erősebb lenne. Ezért kell ismerni a műszer bemeneti ellenállását.

A feszültségmérésnél választani kell **egyen-** (DC) vagy **váltakozó** (AC) feszültség állást. A hálózati mérésre AC állást használunk. A korszerű műszerek egy része **TRMS** (valódi effektív értékű) mérésre képes, ami nem szinuszos jelalak esetén is pontosabb eredményt ad.

8.2.3.2. Árammérés sorosan

Szabály. Az árammérőt mindig az áram útjába, tehát a fogyasztóval **sorosan** kell beiktatni. Ehhez az áramkört feszültségmentes állapotban meg kell szakítani, és a műszert a megszakítás két pontjára csatlakoztatni. Az árammérő belső ellenállása nagyon kicsi, mert nem szabad jelentős feszültséget ejtenie a mért áramkörben.

Számítás. Egy multiméter mA-bemenetének belső ellenállása $R_m = 1{,}0\,\Omega$ (szemléltető érték, ellenőrizendő). Ha a mért áram $I = 100\,\mathrm{mA}$, akkor a műszeren eső feszültség:

$$U_m = I \cdot R_m = 0{,}1\,\mathrm{A} \cdot 1{,}0\,\Omega = 0{,}1\,\mathrm{V}.$$

Ellenőrzés: a fogyasztó 12 V-os tápfeszültsége mellett a 0,1 V-os esés elfogadható; ezért sorba lehet iktatni. A műszer árambemenete azonban nem tűri a túlterhelést: a belső olvadóbiztosíték védi, amelynek cseréje csak a gyártó által előírt típussal végezhető.

Tilos. Az árammérőt tilos a fogyasztóval párhuzamosan, például egy aljzat fázis- és nullavezetője közé kötni. Ekkor a kis belső ellenállás miatt gyakorlatilag rövidzár jön létre, amely kiolvasztja a műszer belső biztosítékát, károsíthatja a kapcsolót, és ívet okozhat.

8.2.3.3. Ellenállás-, folytonosság- és diódamérés

Szabály. Ellenállást és folytonosságot csak **feszültségmentes** áramkörön szabad mérni. A műszer saját, kis mérőáramot bocsát ki, és a mért feszültségből számítja az ellenállást:

$$R_x = \frac{U_m}{I_m},$$

ahol I_m a műszer által kibocsátott mérőáram, U_m pedig a mért feszültség. Ha az áramkör feszültség alatt van, a mérés értelmezhetetlen, és a műszer is károsodhat.

Folytonosságmérésnél a műszer hangjelzést ad, ha az ellenállás egy beállított küszöb alatt van, jellemzően néhány tíz ohm alatt (ellenőrizendő). Ezzel gyorsan ellenőrizhető, hogy egy vezeték nem szakadt-e meg.

Diódamérésnél a műszer a diódára kis nyitóirányú feszültséget kapcsol. Szilíciumdiódánál nyitóirányban 0,45–0,7 V közötti értéket, záróirányban `OL` (túlcsordulás) kijelzést várunk. LED-eknél a nyitófeszültség nagyobb, jellemzően 1,6–3,3 V, ezért a szokásos diódamérés nem mindig mutat jó eredményt.

8.2.4. Lakatfogó: az árammérés megbontás nélkül

Definíció. A lakatfogó olyan árammérő, amely a vezető körül zárható vasmagos nyílással, **az áram útjának megszakítása nélkül** méri az áramot. A váltakozó áramú lakatfogó az áramváltó elvén működik: a vezető egymenetes primer tekercs, a lakatfogó vasmagja pedig a szekunder tekercset gerjeszti. Az egyenáramú mérésre alkalmas lakatfogók Hall-szenzort is tartalmaznak.

Szabály. Üzemi (terhelő)áram méréséhez a lakatfogóval mindig csak **egyetlen eret** fogj át. Ha egy kábel fázis- és nullavezetőjét együtt fogod át, a műszer az áramok különbségét (a szivárgóáramot) méri: a visszavezető áram ellentétes iránya kioltja a fázisáram mágneses terét, így üzemi áram mérésére ez nulla közeli értéket ad; szivárgóáram mérésére viszont éppen ez a módszer (lásd alább).

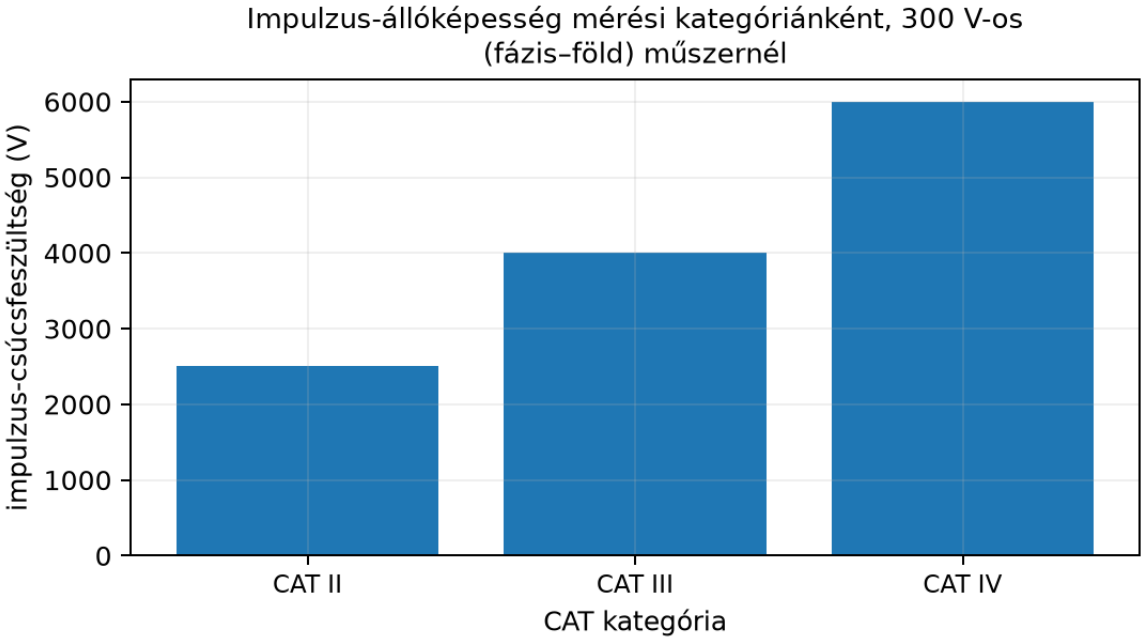
A lakatfogó különösen hasznos:

- **Váltakozó és egyenáram mérésére** kivitel szerint; az AC-DC lakatfogó egyenáramú motorok, akkumulátoros rendszerek mérésére is alkalmas.
- **Szivárgóáram-mérésre** nagy felbontású, mA-tartományú lakatfogóval. Ilyenkor a fázis- és nullavezetőt együtt öleljük át; a kiegyenlítetlen differencia a szivárgó áram. A védővezetőt önállóan is megmérhetjük, ekkor a PE-vezetőben folyó hibaáramot látjuk.

Figyelem. A mérési érték erősen függ a vezető pozíciójától a lakatfogó nyílásában. A pontos méréshez a vezetőt a nyílás közepére kell helyezni, és kerülni kell a közelben futó más áramvezetőket.

8.2.5. Mérési kategóriák (CAT II–IV), mérőzsinór és a műszer védelme

A mérési kategória nem a mérendő feszültség egyszerű nagyságát jelöli, hanem azt, hogy a műszer **milyen hálózati ponton, milyen tranziens túlfeszültségnek** képes ellenállni. A hálózaton kapcsolási műveletek, villámcsapás vagy motorindítás miatt rövid, nagy amplitúdójú túlfeszültség-lökések keletkezhetnek.



8.3. ábra. Impulzus-állóképesség mérési kategóriánként, 300 V-os (fázis–föld) műszernél - Szemléltető, 300 V-os (fázis–föld) névleges feszültségű műszerekre jellemző impulzusállósági értékek; 600 V-os osztályban nagyobbak (ellenőrizendő: MSZ EN 61010-1 és gyártói adatlap).

Szabvány. A mérőműszerek biztonsági követelményeit az MSZ EN 61010-1 sorozat tárgyalja (a pontos kiadást ellenőrizni kell). A szabvány szerinti mérési kategóriák:

- **CAT II:** végfelhasználói aljzatokról táplált, dugaszolható készülékek áramkörei, háztartási készülékek, kéziszerszámok. A tranziensek viszonylag kicsik.
- **CAT III:** elosztók, kapcsolószekrények, fixen szerelt fogyasztók, világítási áramkörök. A tranziensek nagyobbak, mert közelebb vagyunk az elosztóhoz.
- **CAT IV:** a csatlakozási pont, mérőhely, légvezetéki csatlakozás, külső hálózat. Itt a legnagyobb a tranziens igénybevétel.

Szabály. A műszeren feltüntetett CAT-kategóriának és névleges feszültségnek **legalább akkorának** kell lennie, mint a mérendő hálózati pont kategóriája. Lakáselosztóban például CAT III vagy CAT IV besorolású műszer ajánlott; aljzati mérésre CAT II is elegendő lehet, de a biztonságos gyakorlat inkább a magasabb kategóriát választja.

A **mérőzsinórnak** ugyancsak rendelkeznie kell CAT-besorolással, és annak nem szabad alacsonyabbnak lennie a műszerénél. A zsinórok épségét minden mérés előtt ellenőrizni kell: repedt szigetelés, kilazult banándugó, sérült fogantyú esetén a zsinórt azonnal ki kell cserélni.

A műszer **belső olvadóbiztosítéka** csak az árammérő bemenetet védi. A feszültség- és ellenállástartományokat belső áramkörök védik. A biztosítékot soha nem szabad nagyobb értékűre

vagy házi készítésű huzallal pótolni, mert akkor a következő hiba már a műszer tönkremenetelét vagy sérülést okoz.

8.2.6. Mérés előtti ellenőrzőlista

Gyakorlati recept. A multiméter és lakatfogó használata előtt, minden mérési feladatnál végezd el az alábbi lépéseket:

1. **Feszültségmentesítés** – ha a feladat lehetővé teszi, alkalmazd az öt biztonsági szabályt (lásd Villamos munkavégzés biztonsága: az öt szabály és a munkaengedély): lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, szükség szerint földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.
2. **Műszer ellenőrzése** – kapcsold be a műszert, győződj meg a kijelző működéséről, és ellenőrizd az elemet/akkumulátort.
3. **Zsinór-ellenőrzés** – vizsgáld meg a mérőzsinórok szigetelését, csatlakozóit és CAT-besorolását.
4. **Mérési állás kiválasztása** – válaszd ki a mérendő mennyiséget és a méréshatárt; automata műszernél is győződj meg az AC/DC állásról.
5. **Csatlakozók ellenőrzése** – a piros zsinórt a megfelelő aljzatba dugd: feszültség/ellenállás mérésnél a `VΩ` aljzatba, nagy áramnál az `A` aljzatba.
6. **Mérés utáni ellenőrzés** – a mérés befejeztével a műszerrel ismét egy ismert feszültségű ponton ellenőrizd a működést, majd kapcsold ki, és a zsinórokat a feszültség alatti környezettől távol tárold.

8.2.7. Valós életbeli alkalmazás: elosztóban végzett mérés

Egy villanyszerelő egy ipari elosztóban azt vizsgálta, hogy egy megszakító után valóban megjelenike a feszültség. A feszültség jelenlétét csak feszültség alatt lehetett igazolni; ez jogosult személynek, megfelelő CAT-besorolású műszerrel és egyéni védőeszközzel végezhető mérés, nem rutinszerű feszültség alatti munka (ellenőrizendő: MSZ EN 50110-1). A szerelő azonban a mérési pont közelében CAT II besorolású, régi multimétert használt. A kapcsolószekrényben egy nagy motorindítás miatt tranziens túlfeszültség keletkezett, a műszer pedig belső ívhibát szenvedett. A szerelőt a műszer védőburkolata és a megfelelő egyéni védőeszközök mentették meg súlyosabb sérüléstől. **Tanulság:** a mérési kategória megválasztása nem adminisztratív kérdés, hanem a személyi biztonság része. A munkát jogosult személy, CAT III/CAT IV műszerrel és kifogástalan állapotú zsinórokkal kellett volna végezni **(ellenőrizendő: a konkrét eset körülményei, de a védelmi logika általános).**

8.2.8. Gyakorlati útmutató: biztonságos mérés tanműhelyben

Cél: a feszültség-, ellenállás-, folytonosság- és árammérés helyes bekötésének gyakorlása törpefeszültségű áramkörön.

Eszközök és anyagok: digitális multiméter, tanműhelyi egyenfeszültségű tápegység, izzó vagy ellenállás, kapcsoló, ismert értékű ellenállások, dióda, lakatfogó (ha rendelkezésre áll).

Biztonsági korlát. Ez a feladat tanműhelyi, törpefeszültségű környezetre vonatkozik, és kizárólag jogosult oktató felügyeletével végezhető. Hálózati feszültségen önállóan ne mérj.

Az öt biztonsági szabály rövid alkalmazása:

1. Kapcsold le a tápegységet.
2. Biztosítsd, hogy senki ne kapcsolhassa vissza (például tedd el a tápegység csatlakozóját, vagy használj LOTO-t).
3. Ellenőrizd a feszültségmentességet a mérési pontokon.
4. Földelés és rövidre zárás itt általában nem szükséges, de az oktató utasítását kövesd.
5. A szomszédos, feszültség alatt lévő részeket fedd le vagy kerítsd el.

Számozott lépések:

1. **Feszültségmérés:** állítsd a multimétert egyenfeszültség (DCV) állásba, a méréshatárt a várt érték fölé. A piros zsinórt a `VΩ` aljzatba, a feketét a `COM` aljzatba csatlakoztasd. Kapcsold be az áramkört, és mérd meg a tápegység kimeneti feszültségét, majd az izzó kapcsait. A két értéknek az áramkör szerint kell egyeznie.
2. **Ellenállásmérés:** kapcsold ki a tápegységet. Válaszd az ellenállás- (Ω) állást, és mérd meg az ismert ellenállások értékét. Hasonlítsd a színkód vagy a felirat alapján várt értékhez.
3. **Folytonosságmérés:** válaszd a folytonosság/hangjelzés állást, és ellenőrizz egy ép vezetéket, majd egy megszakított mérőzsinórt. Az ép vezetéknél hangjelzésnek kell lennie, a szakadtnál nem.
4. **Diódamérés:** válaszd a dióda állást, és mérd meg a diódát nyitó- és záróirányban. A nyitóirányban a tipikus küszöbfeszültséget, záróirányban `OL` kijelzést várj.
5. **Árammérés:** kapcsold ki a tápegységet. Az áramméréshez szükséges a piros zsinórt az `A` vagy `mA` aljzatba áthelyezni. Szakítsd meg az áramkört az izzó előtt, és a műszert a két megszakítási pont közé kösd. Kapcsold be a tápegységet, és olvasd le az áramot. A mérés végén a piros zsinórt tedd vissza a `VΩ` aljzatba.
6. **Lakatfogó használata (opcionális):** ha van lakatfogód, az áramméréshez nem kell megbontani az áramkört. Fogd át az izzóhoz vezető egyetlen eret egy AC/DC (Hall-elemes) lakatfogóval – a csak AC lakatfogó egyenáramon 0-t mutat –, nullázd a DC-áramállást (DC zero), és hasonlítsd össze az értéket a soros ampermérővel mért értékkel; kis áramnál a lakatfogó felbontása korlátozza az összevetést.

Ellenőrzési pontok:

- A feszültségmérésnél a voltmérő párhuzamosan csatlakozik, és nem terheli észrevehetően az áramkört.
- Az árammérésnél a műszer az áramútban van, és a mért érték az Ohm-törvénynek megfelelően $I = U/R$ közelítőleg egyezik.
- A folytonosságmérésnél a hangjelzés csak ép, alacsony ellenállású áramkörnél szólal meg.

Tipikus hibák ebben a gyakorlatban:

- Feszültségmérésnél a méréshatár túl alacsony, ezért a kijelző `OL` értéket mutat.
- Árammérésnél a mérőzsinór kiválasztása rossz, és a műszer nem mutat áramot, mert a zsinór a `VΩ` aljzatban maradt.
- Ellenállásmérés feszültség alatt, ami téves értéket adhat, és károsíthatja a műszert.

Dokumentálás: a mért értékeket rögzítsd egy jegyzőkönyvben: mérési pont, műszer típusa, méréshatár, mért érték, egység, dátum és aláírás.

8.2.9. Hibakeresési eset: a multiméter nem mutat feszültséget

Tünet. Egy tanműhelyi áramkörben a szerelő azt tapasztalja, hogy a digitális multiméter feszültségméréskor folyamatosan `0` értéket mutat, pedig az áramkörben a lámpa világít.

Hipotézis. A mérési összeállításban van a hiba, nem a tápegységben: a lámpa világít, a másik műszer is feszültséget mér a kimeneten.

Mérés. A szerelő egy másik műszerrel megméri a tápegység kimenetét, ott a feszültség rendben van. Ezután ellenőrzi a multiméter forgókapcsolóját és a zsinórokat: a forgókapcsoló **váltakozó feszültség** (ACV) állásban van, a tanműhelyi tápegység viszont egyenfeszültséget ad. A mérőzsinórt külön folytonosságméréssel is ellenőrzi (a két zsinór összeérintésekor hangjelzés kell).

Ok. A műszer AC állásban volt, a jel viszont egyenfeszültség: sok műszer ilyenkor 0 V körüli értéket mutat. (Másik gyakori ok a belül szakadt mérőzsinór.) A felcserélt zsinór (piros a `COM`, fekete a `VΩ` aljzatban) **nem** okoz nullát: a mérőkör nem szakad meg, egyenfeszültségen csak negatív előjelű értéket látunk, váltakozón a kijelzés változatlan.

Javítás. A forgókapcsolót DC állásba kell tenni, a zsinórokat a helyes aljzatba (fekete `COM`, piros `VΩ`), majd ismert feszültségforráson ellenőrizni a műszert.

Megelőzés. Minden mérés előtt használjuk a mérés előtti ellenőrzőlistát, és egy ismert feszültségű forráson ellenőrizzük a műszer működését. A mérőzsinórokat színük és feliratuk alapján kezeljük, ne hagyjuk őket összekeveredve.

8.2.10. Tipikus hibák

1. **Árammérés párhuzamosan.** A műszer kis belső ellenállású árambemenetét a fogyasztóval párhuzamosan kötik. Ez gyakorlatilag rövidzárat okoz, kiolvasztja a műszer belső biztosítékát vagy károsítja az áramkört.
2. **Feszültségmérés az árambemeneten.** A piros zsinór az `A` aljzatban marad, és a mérőhegyekkel feszültséget akarunk mérni. Ha a piros zsinór az `A/mA` aljzatban marad, a mérőcsúcsok között a műszer kis ellenállású söntje van: feszültségforrásra érintve **rövidzár** jön létre, a belső biztosíték kiolvad, hálózati feszültségen (különösen elosztóban) ív és égési sérülés keletkezhet. Árammérés után a piros zsinórt azonnal tedd vissza a `VΩ` aljzatba; a jobb műszerek hangjelzéssel figyelmeztetnek, ha a zsinór az áramaljzatban van, de a forgókapcsoló nem áramállásban.
3. **Ellenállásmérés feszültség alatt.** A multiméter ellenállásállásban saját mérőáramot ad, ezért a külső feszültség téves értéket okoz, és tönkreteheti a bemenetet.
4. **Lakatfogó mindkét eret átfogja.** Fázis- és nullavezető együttes átfogásakor a műszer nullát mutat, mert az áramok mágneses tere kioltja egymást.
5. **Alacsony CAT-kategóriájú műszer használata.** Elosztóban vagy csatlakozási ponton CAT II-es műszerrel mérni életveszélyes, mert a műszer nem a várható tranziensekre méretezett.

8.2.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy feszültségmérésnél a műszert a fogyasztóval sorosan kell bekötni? Indokold.
2. Mi történik, ha egy multiméter árammérő bemenetét véletlenül egy 230 V-os aljzat fázis- és nullavezetőjére kapcsoljuk? Miért veszélyes?
3. Melyik mérési kategória alkalmas lakáselosztóban végzett mérésre: CAT II vagy CAT III? Miért?
4. Lakatfogóval egy kábel mindkét erét átfogva miért nem mérünk áramot?
5. Folytonosságmérést feszültség alatt el szabad-e végezni? Miért?

8.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorolj fel legalább három üzemmódot, amelyet egy digitális multiméter általában ismer, és mindegyikhez írd le a helyes bekötést egy mondatban.

2. feladat (A). Egy multiméter feszültségmérő bemeneti ellenállása $10\,\mathrm{M\Omega}$. Két $1\,\mathrm{M\Omega}$-os ellenállásból álló feszültségosztó felső ellenállásán mérünk feszültséget $12\,\mathrm{V}$ tápfeszültségnél. Mennyi a mért feszültség, ha a műszer terhelő hatását elhanyagoljuk? Mennyi lenne, ha a műszert figyelembe vennénk a felső ellenálláson?

3. feladat (B). Egy villanyszerelő árammérést végez. A multiméter mA-bemenetének belső ellenállása $2\,\Omega$. A mért áram $50\,\mathrm{mA}$. Mekkora feszültség esik a műszeren? Hány százalékos hibát okoz ez egy $24\,\mathrm{V}$-os fogyasztói áramkörben?

4. feladat (B). Rajzold le (szöveges leírással vagy kapcsolási rajzzal), hogyan kell egy multimétert bekötni egy izzó feszültségének méréséhez, és hogyan kell bekötni ugyanazon izzó áramának méréséhez. Mi a különbség a két bekötés között?

5. feladat (C). Egy elosztóban a mérést CAT II 300 V-os multiméterrel kezdenéd el. Az oktató szerint ez nem megfelelő. Magyarázd el, miért, és milyen műszert választanál helyette.

6. feladat (D). Egy tanműhelyi mérésnél a multiméter folytonosságmérésnél folyamatos hangjelzést ad, amikor a mérőzsinórokat egymáshoz érsz, de a vizsgált motor tekercsén nem szólal meg. A tekercs jó állapotú. Mi lehet a hiba a mérési eljárásban? Írd le a hipotézist, a mérési lépést, az okot és a javítást.

8.2.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Feszültségmérésnél a műszert párhuzamosan kell kötni, mert a feszültség két pont közötti potenciálkülönbség; a soros bekötés megszakítaná az áramkört.
2. **Rövidzár keletkezik.** A műszer árambemenete igen kis ellenállású, így a 230 V-os feszültségre kapcsolva nagy áram folyik, amely kiolvasztja a belső biztosítékot, és ívet, sérülést okozhat.
3. **CAT III vagy CAT IV.** A lakáselosztó közelebb van a csatlakozási ponthoz, ahol nagyobb tranziens túlfeszültségek várhatók; a CAT II elsősorban aljzati készülékekre való.
4. **A mágneses terek kioltják egymást.** A fázis- és nullavezető árama azonos nagyságú, ellentétes irányú; a lakatfogó az összegzett áramot, tehát nullát méri.
5. **Nem.** A folytonosságmérés során a műszer saját mérőáramot használ; a feszültség alatt lévő áramkör téves eredményt ad, és a műszer károsodhat.

1. feladat (A).

- **Feszültségmérés:** párhuzamosan a mérendő két pontra; a kijelző a feszültséget mutatja.
- **Árammérés:** sorosan, a megszakított áramkörbe iktatva; a kijelző az áramot mutatja.
- **Ellenállásmérés:** feszültségmentes alkatrészre; a műszer saját mérőárammal méri az ellenállást.

2. feladat (A).

Ideális esetben a felső ellenálláson a feszültség:

$$U_{\text{ideális}} = 12\,\mathrm{V} \cdot \frac{1\,\mathrm{M\Omega}}{1\,\mathrm{M\Omega} + 1\,\mathrm{M\Omega}} = 6\,\mathrm{V}.$$

A műszer $R_v = 10\,\mathrm{M\Omega}$ párhuzamos a felső $R_1 = 1\,\mathrm{M\Omega}$ ellenállással:

$$R_{1v} = \frac{1\,\mathrm{M\Omega} \cdot 10\,\mathrm{M\Omega}}{1\,\mathrm{M\Omega} + 10\,\mathrm{M\Omega}} \approx 0{,}909\,\mathrm{M\Omega}.$$

A mért feszültség:

$$U_{\mathrm{mért}} = 12\,\mathrm{V} \cdot \frac{0{,}909\,\mathrm{M\Omega}}{0{,}909\,\mathrm{M\Omega} + 1\,\mathrm{M\Omega}} \approx 5{,}71\,\mathrm{V}.$$

A műszer terhelő hatása miatt a mért érték alacsonyabb az ideálisnál.

3. feladat (B).

A műszeren eső feszültség:

$$U_m = I \cdot R_m = 50\,\mathrm{mA} \cdot 2\,\Omega = 0{,}05\,\mathrm{A} \cdot 2\,\Omega = 0{,}1\,\mathrm{V}.$$

A 24 V-os áramkörben a relatív hiba:

$$\frac{0{,}1\,\mathrm{V}}{24\,\mathrm{V}} \cdot 100\% \approx 0{,}42\%.$$

A hiba kicsi, tehát a mérés elfogadható.

4. feladat (B).

Feszültségmérés: a voltmérőt az izzó két kivezetésére, azaz párhuzamosan kötjük. A kapcsoló és a tápegység áramköre változatlan marad; a műszer nem szakítja meg az áramutat.

Árammérés: az áramkört feszültségmentes állapotban megszakítjuk, például az izzó előtt, és a multimétert a szakadás két vége közé iktatjuk. A műszer így sorba kerül az izzóval, és azon is átfolyik a mérendő áram.

A különbség az, hogy a voltmérő párhuzamos és nagy ellenállású, míg az ampermérő soros és kis ellenállású.

5. feladat (C).

A CAT II kategória elsősorban végfelhasználói, dugaszolható készülékek áramköreire való, ahol a tranziens túlfeszültségek kicsik. Egy elosztóban – legyen az lakás- vagy ipari elosztó – a hálózati csatlakozáshoz közelebbi ponton dolgozunk, ahol kapcsolási tranziensek és induktív terhelések miatt nagyobb túlfeszültségek léphetnek fel. Ide **CAT III** vagy **CAT IV** besorolású, megfelelő névleges feszültségű műszer, és azzal egyező CAT-besorolású mérőzsinór szükséges. A CAT-jelölés mindig kategória és névleges feszültség párja (pl. CAT III 600 V). Háromfázisú elosztóban a fázisok között 400 V is mérhető, ezért egy „300 V” névleges műszer ott két fázis közé érintve a névleges feszültsége felett üzemelne. Elosztóba ezért legalább CAT III 600 V (vagy CAT IV 300/600 V) jelölésű műszer és mérőzsinór kell (ellenőrizendő: MSZ EN 61010-1 és gyártói adatlap).

6. feladat (D).

Hipotézis: a folytonosságmérő hangjelzése jól működik, mert a zsinórok összeérésénél megszólal. A motor tekercse jó. Első hipotézis: a tekercs ellenállása nagyobb a műszer folytonossági küszöbénél (jellemzően néhány tíz ohm, például $30{-}50\,\Omega$), ilyenkor a hangjelzés ép tekercsen

sem szól; a folytonosságmérés küszöbértékes jelzés, nem ellenállásmérés. A hibát ezen kívül a mérési pontok előkészítése is okozhatja.

Mérési lépés: a motor lekapcsolása, a visszakapcsolás elleni biztosítás és a feszültségmentesség ellenőrzése után ellenállás-állásban mérd meg a tekercset, és vesd össze a három tekercs értékét (egyezniük kell, néhány % eltéréssel). A motor kapcsolódobozában a tekercs kivezetéseit meg kell keresni, és a mérőzsinórokat közvetlenül a tekercsvégekre kell helyezni. Ha a mérés a motor védőkapcsolóján vagy érintkezőjén keresztül történik, a nyitott érintkező miatt nem kapunk hangjelzést.

Ok: a tekercs ellenállása a folytonossági küszöb fölött van; másodlagos okként a mérést nem közvetlenül a tekercsen végeztük, hanem egy olyan kapcsolón keresztül, amely nyitott állapotban van, vagy a mérőhegyek nem érnek hozzá a fémes kivezetéshez (például lakkszigetelés).

Javítás: válasszuk le a motor kapcsait, és a mérőhegyeket közvetlenül a tekercsvégekre érintve mérjünk. Ha így sincs hangjelzés, ellenállásméréssel ellenőrizzük a pontos értéket: csak a végtelen (nyitott) érték jelent szakadt tekercset.

8.2.14. Rövid összefoglaló

A digitális multiméter a villanyszerelő legalapvetőbb mérőeszköze. Feszültséget **párhuzamosan**, áramot **sorosan** mér; ellenállást, folytonosságot és diódát csak **feszültségmentes** áramkörön szabad vizsgálni. A lakatfogó az áramutat megbontás nélkül méri az áramot: az üzemi áram méréséhez egyetlen eret, a szivárgóáraméhoz a fázis- és nullavezetőt együtt öleljük át. A **CAT mérési kategória** a műszer túlfeszültség-tűrését jelzi: CAT II aljzati készülékekre, CAT III elosztókra, CAT IV a csatlakozási pontra való. A mérőzsinórnak és a műszer belső biztosítékának ugyanolyan szigorú védelmi szerepe van. **Továbbvitt eredmény:** a feszültségmentesítés, a mérés előtti ellenőrzőlista és a párhuzamos/soros bekötés megkülönböztetése minden későbbi mérést megalapoz, különösen a Teljesítmény- és energiamérés, fogyasztásmérők, a Szemrevételezés, működési próbák, kikapcsolt állapotú vizsgálat és az Alapmérések gyakorlata: feszültség, áram, ellenállás, teljesítmény alfejezetekben.

8.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

- **MSZ EN 61010-1** – Villamos mérő-, szabályozó- és laboratóriumi készülékek biztonsági előírásai. (A pontos kiadás, a CAT kategóriák részletes feszültség- és tranziens-tűrési értékei ellenőrizendők.)
- **Mérési kategóriák (CAT II, III, IV)** – a szabvány szerinti osztályozás; a szövegben szereplő alkalmazási példák a biztonsági gyakorlatot tükrözik, a konkrét gyártói adatlapok és az aktuális szabvány kiadás ellenőrizendő.

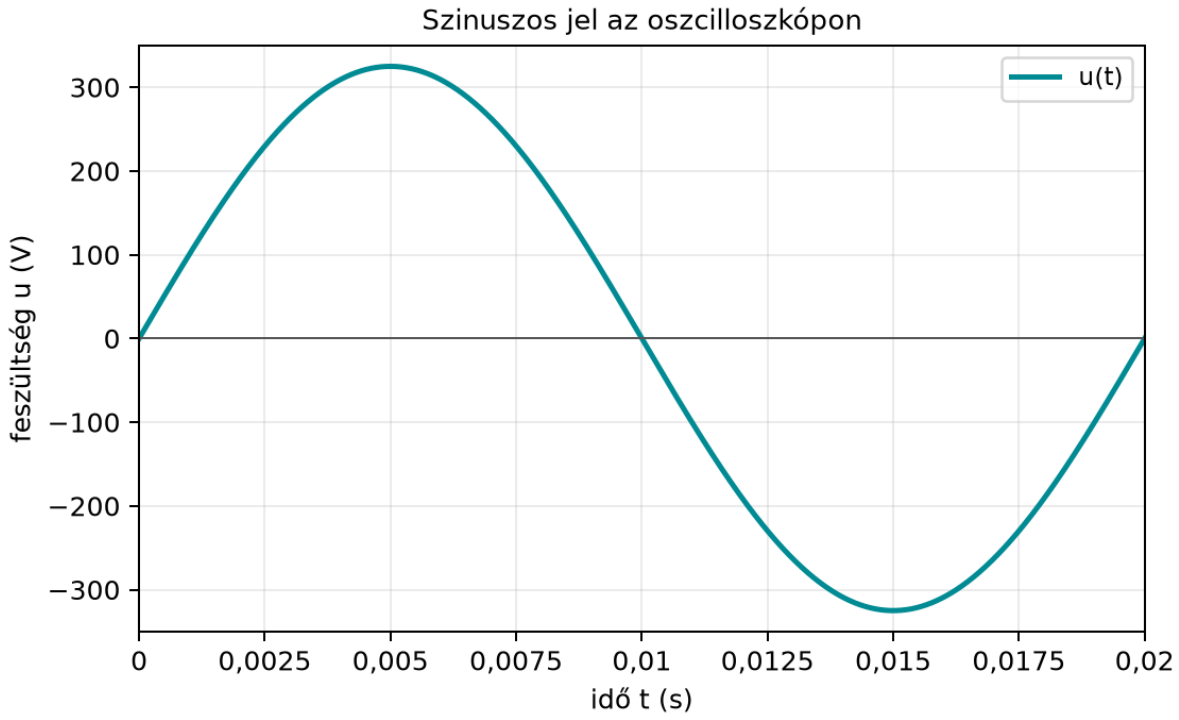
8.3. Oszcilloszkóp és jelalakok

A munkahelyen előfordul, hogy a multiméter csak egyetlen számot mutat, de a jelet nem látjuk: nem tudjuk, hogy a tápegység kimenetén valóban tiszta egyenfeszültség van-e, vagy ráül-e zaj, és azt sem látjuk, hogy egy frekvenciaváltó kimenő jele milyen alakú. Ilyenkor az oszcilloszkóp a szemünk: megmutatja a feszültséget az idő függvényében.

8.3.1. Mit rajzol az oszcilloszkóp?

Az oszcilloszkóp alapfeladata, hogy egy feszültségjelet vízszintes időtengely és függőleges feszültségtengely mentén jelenítsen meg. A modern, digitális tárolós oszcilloszkóp (DSO) mintavételezi a jelet, eltárolja a mintákat, és a képernyőn folyamatosan frissülő görbét rajzol.

Definíció. Az oszcilloszkóp feszültség–idő diagramot rajzoló mérőműszer. A vízszintes tengely az idő, a függőleges tengely a pillanatnyi feszültség.



8.4. ábra. Szinuszos jel az oszcilloszkópon - Szemléltető, képletből számolt ábra: 325 V csúcsértékű, 50 Hz-es szinuszjel feszültség–idő diagramja. Az osztásrácsos oszcilloszkóp-képet és a szimulátort a Példa 1 után mutatjuk.

Az ábrán egy 50 Hz-es, 325 V csúcsértékű szinuszjel egy periódusát látjuk. A rács osztásai segítenek a feszültség és az idő leolvasásában.

Interaktív ábra. A HTML-kiadásban az oszcilloszkóp-szimulátoron (a Példa 1 után) beállíthatod a jelalakot (szinusz, négyszög, fűrész, PWM), a jel amplitúdóját, frekvenciáját és egyenfeszültségű összetevőjét, a TIME/DIV és VOLT/DIV fokozatot, a trigger szintjét és a csatolást (DC/AC/GND); a „Mérd meg” mezőben a leolvasott osztásszámot visszajelzés ellenőrzi. A statikus ábra a Példa 1 képernyőjét mutatja osztásráccsal.

8.3.2. Időalap, érzékenység és a rács leolvasása

Az oszcilloszkóp képernyőjén a rács osztásokból áll, jellemzően 8 vagy 10 osztás vízszintesen és 6 vagy 8 osztás függőlegesen. A leolvasáshoz két beállítást kell ismernünk:

Szabály. A **TIME/DIV** (időalap) azt adja meg, hogy egy vízszintes osztás hány másodpercet (ms, µs, ns) jelent. A **VOLT/DIV** (érzékenység) pedig azt, hogy egy függőleges osztás hány voltot (V, mV) jelent.

Ezért ha egy jelet látunk, a feszültséget a függőleges osztások számából, az időtartamot pedig a vízszintes osztások számából kapjuk meg:

$$U_{\text{jel}} = \text{osztások száma} \cdot \frac{\text{V}}{\text{osztás}},$$

$$t_{\text{jel}} = \text{osztások száma} \cdot \frac{\text{idő}}{\text{osztás}}.$$

Továbbvitt eredmény. A jelalakok (szinusz, négyszög, fűrész, PWM, egyenirányított jel) felismerése és paramétereik leolvasása közvetlenül szükséges az Egyenirányítók, szűrők, stabilizátorok, kapcsolóüzemű táp és PFC alfejezetben, ahol oszcilloszkópos hullámformákkal ellenőrizzük az áramköröket.

8.3.3. Példák a leolvasásra

Példa 1. Az oszcilloszkóp beállítása TIME/DIV = 2 ms/osztás, VOLT/DIV = 5 V/osztás. A szinuszos jel egy teljes periódusa 5,0 osztás szélességű, a csúcstól csúcsig mért kitérés pedig 4,2 osztás magasságú. Mekkora a frekvencia, a csúcsérték és az effektív érték?

Megoldás.

Adott: TIME/DIV = 2 ms, periódus osztásszáma 5,0; VOLT/DIV = 5 V, csúcstól csúcsig osztásszáma 4,2.

A periódusidő:

$$T = 5{,}0 \cdot 2\,\text{ms} = 10\,\text{ms} = 0{,}010\,\text{s},$$

a frekvencia:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}010\,\text{s}} = 100\,\text{Hz}.$$

A csúcstól csúcsig feszültség:

$$U_{pp} = 4{,}2 \cdot 5\,\text{V} = 21\,\text{V},$$

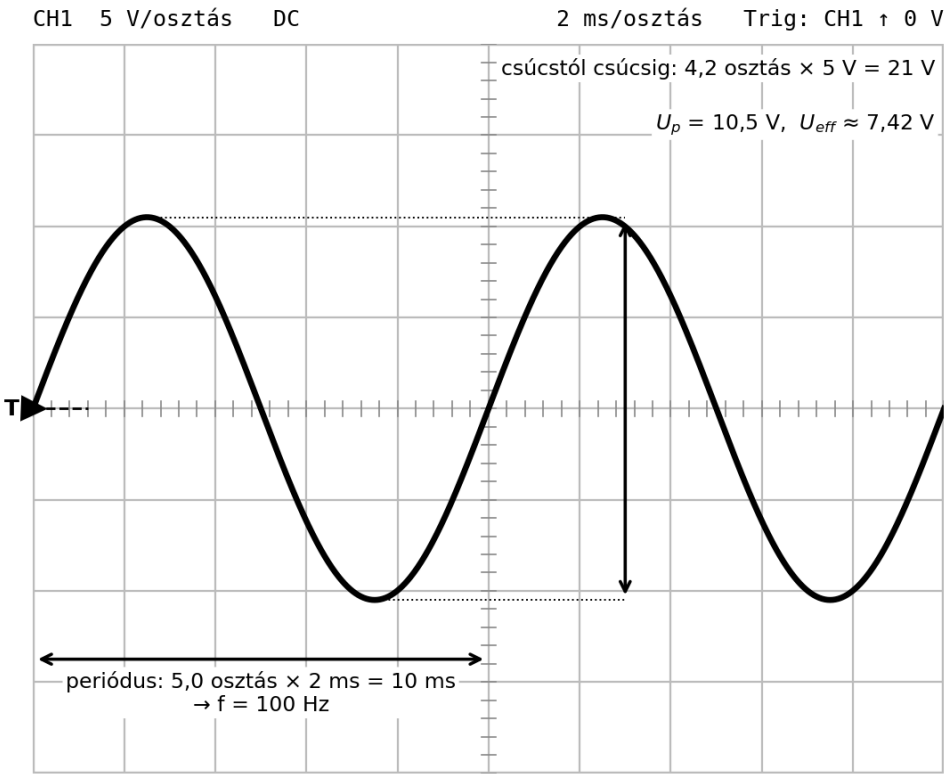
a csúcsérték:

$$U_p = \frac{U_{pp}}{2} = 10{,}5\,\text{V},$$

az effektív érték szinuszos jelnél:

$$U = \frac{U_p}{\sqrt{2}} \approx \frac{10{,}5\,\text{V}}{1{,}414} = 7{,}42\,\text{V}.$$

Ellenőrzés. $U = U_{pp}/(2\sqrt{2}) = 21\,\text{V}/2{,}828 \approx 7{,}42\,\text{V}$ – egyezik; az effektív érték a csúcsérték kb. 71 %-a, ahogy szinusznál kell.



8.5. ábra. A Példa 1 oszcilloszkóp-képe: 10 × 8 osztásos rács, 2 ms/osztás, 5 V/osztás; a periódus 5,0 osztás (10 ms, 100 Hz), a csúcstól csúcsig kitérés 4,2 osztás (21 V)

A képernyőn a jel a bal szélen, a 0 V-os trigger szinten emelkedő éllel indul (T jel). Egy periódus 5 nagy osztás széles, a pozitív és negatív csúcs között 4,2 osztás van; a leolvasott osztásszámot a TIME/DIV, illetve a VOLT/DIV értékkel szorozzuk. A HTML-szimulátorban a trigger szintjét a jelen kívülre állítva a kép „futni” kezd, ahogy a valódi műszeren.

8.3.4. Csúcs-, csúcstól csúcsig és effektív érték

Definíció. A **csúcsérték** (U_p) a jel legnagyobb kitérése a nullához képest. A **csúcstól csúcsig érték** (U_{pp}) a pozitív és negatív csúcs távolsága. Az **effektív érték** az a fiktív egyenérték, amely azonos ellenálláson ugyanakkora átlagos hőteljesítményt hoz létre, mint a váltakozó jel.

Szinuszos jelnél a kapcsolat:

$$U_p = \frac{U_{pp}}{2}, \qquad U = \frac{U_p}{\sqrt{2}} \approx 0{,}707\,U_p.$$

Négyszögjelnél, ha a kitérés szimmetrikus, az effektív érték megegyezik a csúcsértékkel. Más jelalakoknál az összefüggés más, ezért oszcilloszkóppal mért jelalakoknál az effektív értéket nem szabad automatikusan szinuszos képlettel számolni.

Számítási példa. VOLT/DIV = 0,5 V/osztás, egy négyszögjel csúcstól csúcsig kitérése 6 osztás. Határozzuk meg a csúcs- és csúcstól csúcsig értéket.

$$U_{pp} = 6 \cdot 0{,}5\,\mathrm{V} = 3\,\mathrm{V},$$

$$U_p = \frac{3\,\mathrm{V}}{2} = 1{,}5\,\mathrm{V}.$$

Ha a négyszögjel szimmetrikus, akkor az effektív értéke is 1,5 V, nem $1{,}5/\sqrt{2}$ V, mert a négyszögjel nem szinuszos.

8.3.5. Triggerelés és csatolás

A triggerelés az egyik legfontosabb beállítás, mert enélkül a jel folyamatosan fut a képernyőn, és lehetetlen leolvasni.

Definíció. A **trigger** azt a feltételt adja meg, amelynél az oszcilloszkóp elkezdi rajzolni a jelet. A leggyakoribb mód a feszültségszinthez és élhez kötött indítás: például a jel emelkedő éle átlépi a beállított feszültségszintet.

Gyakorlati szabály. Mindig válasszuk ki a trigger forrását (általában CH1 vagy a vizsgált csatorna), a trigger élt (emelkedő vagy lefutó él) és a trigger szintet a jel tartományán belül. Az **AUTO** mód automatikusan mutat képet trigger nélkül is, de a kép lehet instabil; **NORMAL** módban a görbe csak érvényes triggernél frissül.

Csatolás alatt az oszcilloszkóp bemenetét értjük:

- **DC csatolás:** a jel teljes egészét, az egyenkomponenssel együtt mutatja.
- **AC csatolás:** az egyenkomponenst leválasztja, csak a váltakozó részt mutatja.
- **GND:** a bemenetet a műszer földjére köti, így a nulla szintet ellenőrizhetjük.

Ha például egy 5 V-os egyenáramra ültetett 2 V csúcstól csúcsig szinuszt vizsgálunk, DC csatolásban a görbe 4 V és 6 V között mozog, AC csatolásban pedig -1 V és $+1$ V között.

8.3.6. Jelalakok: szinusz, négyszög, fűrész, PWM

Az oszcilloszkóp legnagyobb értéke, hogy a jel alakját is megmutatja. Négy gyakori alakot kell felismerni:

- **Szinusz:** a hálózat, a generátor és a váltakozó áramú rendszerek tipikus jele. Egy periódus alatt sima ívben emelkedik és süllyed.
- **Négyszög:** digitális jelek, órajel, kapcsolóüzemű áramkörök jele. A jel hirtelen vált a magas és alacsony szint között, a periódus egy részében fenn van, a másik részében lent.
- **Fűrész:** időalap-generátorok, monitor- és TV-áramkörök, valamint egyes tápegységek jele. A feszültség egyenletesen emelkedik, majd gyorsan visszaesik.
- **PWM (impulzusszélesség-modulált) négyszög:** olyan négyszögjel, amelynél a bekapcsolt idő hossza változtatható, míg a periódusidő állandó. A **kitöltési tényező** a bekapcsolt idő és a periódusidő hányadosa:

$$D = \frac{t_{\mathrm{on}}}{T} \cdot 100\,\%.$$

Példa. Egy frekvenciaváltó kimenő PWM jelénél a periódus 100 µs, a bekapcsolt idő 30 µs. A kitöltési tényező:

$$D = \frac{30\,\mu\mathrm{s}}{100\,\mu\mathrm{s}} \cdot 100\,\% = 30\,\%.$$

A PWM jel frekvenciája:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{100\,\mu\text{s}} = 10\,\text{kHz}.$$

Ez a példa jól mutatja, hogy az oszcilloszkóppal nemcsak a jel nagyságát, hanem a kapcsolási idők arányát is ellenőrizhetjük.

8.3.7. Biztonság: hálózati jel mérése differenciálszondával vagy leválasztott vizsgált készüléken; a földelt műszer veszélyei

Az oszcilloszkóp mérőbemenetének földpontja általában össze van kötve a műszer védőföldelésével. A mérőfej földcsipesze a mérőkábelen és a műszeren át a védőföldeléssel (PE) van összekötve. Ha a földcsipeszt egy PE-hez képest feszültség alatti pontra kötjük – a fázisra, vagy egy kapcsolóüzemű táp primer oldali „földjére” –, a csipesz és a PE között zárlat jön létre: ív keletkezik, a mérőfej és a vezeték leéghet. A hegy önmagában nagy impedanciájú, de hálózati csúcsfeszültségre csak megfelelő névleges feszültségű és CAT-besorolású mérőfej köthető. Hálózati feszültségű jel vizsgálatához (a) nagyfeszültségű differenciálszondát használj, amelynek CAT-besorolása és névleges feszültsége megfelel a mérési pontnak; vagy (b) a **vizsgált készüléket** (és nem az oszcilloszkópot!) tápláld leválasztó transzformátorról, oktatói felügyelet mellett. **Tilos** az oszcilloszkópot leválasztó transzformátorról táplálni vagy a védővezetőjét bármilyen módon megszakítani: ekkor a műszer háza és a BNC-testek feszültség alá kerülhetnek. A 10:1-es passzív mérőfej névleges feszültségét és CAT-besorolását is figyelembe kell venni (gyakran 300 V CAT II, ellenőrizendő: adatlap).

Tilos. Hálózati feszültségű jelet közvetlenül, földelt oszcilloszkóppal mérni, a mérőfej földcsipeszét a fázisra vagy a nullára kötni, és a védőföldelést elhagyni.

Szabvány. Az oszcilloszkóp bemenetére a mérési kategória (CAT) és a megengedett legnagyobb feszültség jelölése vonatkozik, jellemzően CAT II besorolással, vagy „mérési kategóriába nem sorolt” bemenettel (ez utóbbi hálózati ponton közvetlenül nem használható) **(ellenőrizendő: MSZ EN 61010-2-030, műszer- és mérőfej-adatlap)**. A mérési kategóriákat a Multiméter, lakatfogó és mérési kategóriák alfejezetben ismertük meg, a pontos besorolást és a gyártói adatlap adja meg **(ellenőrizendő: aktuális műszer és mérőfej)**.

8.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy karbantartó szerelő azt tapasztalta, hogy a tápegység kimenő feszültsége multiméterrel mérve 24 V, de a szabályozó elektronika időnként hibásan működött. Az oszcilloszkóppal a 24 V-os kimenetet vizsgálva kiderült, hogy a 24 V-os kimeneten jelentős, 100 Hz-es (kétutas egyenirányítás utáni) fűrészszerű hullámosság ült. A multiméter DC állásban csak a középértéket mutatta, ezért a hibát nem lehetett vele felfedezni. A hiba a kiszáradt szűrőkondenzátor megnövekedett soros ellenállása (ESR) és csökkent kapacitása volt. (50 Hz-es hullámosság az egyenirányító egyik ágának kiesésére utalna.) A tanulság: ha a feszültség alakjában lehet a hiba, multiméterrel nem elég mérni.

8.3.9. Recept: stabil kép beállítása

1. Kapcsold be az oszcilloszkópot, és várd meg, amíg elvégzi az öntesztet.
2. Csatlakoztasd a mérőfejet a vizsgált csatornához (általában CH1).
3. Ellenőrizd a mérőfej csillapítását (például 10:1) a csatornabeállításban.
4. Kalibráld a mérőfejet a műszer kalibráló négyszögjelére, hogy a négyszög sarkai élesek legyenek.
5. Kösd a mérőfej hegyét a jel forrására, a földcsipeszt a forrás földjére – **csak** akkor, ha ez a pont védőföld-potenciálon van (pl. törpefeszültségű, földelt kimenetű jelgenerátor). Hálózati vagy primer oldali ponthoz a földcsipeszt soha ne kösd; ott differenciálszondát használj (lásd Biztonság szakasz).
6. Állítsd a csatolást kezdetben DC-re, hogy minden komponenst láss.
7. Válassz olyan VOLT/DIV értéket, hogy a jel magassága 3–6 osztás legyen.
8. Válassz olyan TIME/DIV értéket, hogy egy periódust több osztáson láss.
9. Kapcsold be a triggert, válassz forrást (CH1), élt (emelkedő) és állítsd a trigger szintjét a jel két szélső értéke közé, lehetőleg a jel közepére (szimmetrikus váltakozó jelnél 0 V közelébe).
10. Ellenőrizd a képet: a jel nem fut, a nulla szint GND állásban a kívánt helyen van.

8.3.10. Gyakorlati útmutató: szinuszjel mérése tanműhelyi jelgenerátorról

Cél. Oszcilloszkóp beállítása 1 kHz-es, 2 V csúcstól csúcsig szinuszjel mérésére, a frekvencia és a feszültség leolvasása.

Eszközök és anyagok. Digitális oszcilloszkóp, 10:1 mérőfej, jelgenerátor, multiméter, mérési jegyzőkönyv.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Az öt biztonsági szabály. Hálózati berendezésen mindig: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, a feszültségmentesség megállapítása, földelés és rövidre zárás, a szomszédos feszültség alatti részek lefedése. Törpefeszültségű jelgenerátoros mérésnél az öt szabály nem alkalmazandó; az átkötéseket kikapcsolt műszerekkel végezd.

Lépések.

1. Ellenőrizd, hogy a jelgenerátor és az oszcilloszkóp kikapcsolt állapotban van.
2. Kösd a mérőfej hegyét a jelgenerátor kimenő jelére, a földcsipeszt a generátor földjére.
3. Kapcsold be a jelgenerátort, és állítsd 1 kHz-es, 2 V csúcstól csúcsig szinuszos kimenetre.
4. Multiméterrel AC állásban mérd meg a generátor kimenetét: az effektív érték 0,707 V körül legyen, **ha** a multiméter váltakozó feszültségű mérési frekvenciatartománya legalább 1 kHz (ellenőrizendő: adatlap). Sok kézi multiméter ennél kisebb frekvenciáig pontos; ilyenkor 1 kHz-en alulbecsülhet, és az ellenőrzést 50–100 Hz-en végezd.
5. Kapcsold be az oszcilloszkópot.
6. Állítsd a csatorna csillapítását 10:1-re, csatolást DC-re.
7. Válassz VOLT/DIV = 0,5 V/osztás értéket. A 2 V-os csúcstól csúcsig jelnek 4 osztás magasnak kell lennie.
8. Válassz TIME/DIV = 0,2 ms/osztás értéket. Az 1 kHz-es jel periódusa 1 ms, ami 5 osztás szélesség.
9. Állítsd a triggert CH1-re, emelkedő élre, AUTO üzemmódra, és húzd a trigger szintet 0 V környékére.
10. Olvasd le a képet: számold meg az osztásokat, és számold ki a frekvenciát és a feszültséget.

Ellenőrzési pontok. A kép stabil, a négyszögjel-sarkak a mérőfej kalibrálásakor élesek, a leolvasott feszültség és frekvencia megfelel a generátor beállításának. A méréseket rögzítsd a jegyzőkönyvben.

Tipikus hibák a gyakorlatban. Ha a görbe folyamatosan fut, a trigger nincs beállítva. Ha a jel nem látszik, ellenőrizd a csatolást, a csillapítást és a jelforrást. Ha a négyszög sarkai nem élesek, a mérőfej kompenzálását kell elvégezni.

8.3.11. Tipikus hibák

Hiba 1: a jel folyamatosan fut, nem olvasható le. A trigger szintje a jelen kívül esik, vagy a trigger ki van kapcsolva. Megoldás: válassz forrást, élt, és állítsd a szintet a jel közepére.

Hiba 2: a négyszögjel sarkai lekerekítettek vagy túllőnek. A mérőfej nincs kompenzálva. Megoldás: a kalibráló négyszögjelre állítsd a kompenzációs trimmerrel.

Hiba 3: egyenáramú szintet mérve AC csatolást használ a tanuló. Az egyenkomponenst elveszíti, ezért a mérés hibás. Megoldás: egyenáramú vagy teljes jelet vizsgálva DC csatolást használj.

Hiba 4: hálózati feszültséget közvetlenül, földelt oszcilloszkóppal mér. A földön keresztül zárlat jön létre, áramütés és tűz keletkezhet. Megoldás: megfelelő CAT-besorolású differenciálszonda, vagy a vizsgált készülék (nem az oszcilloszkóp!) táplálása leválasztó transzformátorról; az oszcilloszkóp védővezetőjét soha ne szakítsd meg.

Hiba 5: a csúcs-csúcs értéket effektív értékként kezeli. Például 10 V csúcstól csúcsig szinuszjelnél az effektív érték 3,54 V, nem 10 V. Megoldás: mindig a jelalakból induljunk ki.

8.3.12. Önellenőrzés

1. Mit jelent a TIME/DIV = 1 ms/osztás beállítás?
2. VOLT/DIV = 0,2 V/osztás, a szinusz jel csúcstól csúcsig kitérése 6 osztás. Mekkora a csúcsérték és az effektív érték?
3. Miért kell a triggert beállítani?
4. Mi a különbség a DC és az AC csatolás között?
5. Miért nem szabad hálózati feszültségű jelet közvetlenül, földelt oszcilloszkóppal mérni?
6. Hogyan értelmezed a PWM jel kitöltési tényezőjét?

8.3.13. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg, mit jelent a VOLT/DIV = 50 mV/osztás beállítás.

2. feladat (A). Egy szinusz jel periódusa 4 osztás, TIME/DIV = 0,5 ms/osztás. Mekkora a jel frekvenciája?

3. feladat (B). Az oszcilloszkóp beállítása VOLT/DIV = 1 V/osztás. A jel csúcstól csúcsig kitérése 3,2 osztás. Számold ki a csúcsértéket, csúcstól csúcsig értéket és az effektív értéket szinusz jelnél.

4. feladat (B). Rajzold le, hogyan jelenik meg DC és AC csatolásban egy 10 V-os egyenfeszültségre ültetett, 2 V csúcstól csúcsig szinuszjel.

5. feladat (C). Egy PWM jelet vizsgálsz az oszcilloszkóppal. TIME/DIV = 10 µs/osztás, a periódus 5 osztás, a bekapcsolt idő 1,5 osztás. Mekkora a frekvencia és a kitöltési tényező?

6. feladat (D). Tanműhelyi mérésnél a jelgenerátor 2 kHz-es, 1 V csúcstól csúcsig négyszögjelet ad. Milyen TIME/DIV és VOLT/DIV beállítást javasolnál? Indokold.

8.3.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok.

1. TIME/DIV = 1 ms/osztás azt jelenti, hogy a képernyőn egy vízszintes osztás 1 ms időtartamot képvisel.
2. Csúcstól csúcsig: $6 \cdot 0{,}2\,\mathrm{V} = 1{,}2\,\mathrm{V}$; csúcsérték: $0{,}6\,\mathrm{V}$; effektív: $0{,}6/\sqrt{2} \approx 0{,}424\,\mathrm{V}$.
3. A trigger nélkül a jel folyamatosan fut, így nem olvasható le stabilan.
4. DC csatolásban a teljes jel (egyenkomponens és váltakozó rész) látszik, AC csatolásban az egyenkomponenst leválasztjuk.
5. A mérőfej földpontja össze van kötve a műszer védőföldelésével, ezért ha feszültség alatti pontra kerül, zárlatot okoz.
6. A kitöltési tényező a bekapcsolt idő és a periódusidő aránya százalékban.

1. feladat megoldás. A VOLT/DIV = 50 mV/osztás azt jelenti, hogy a képernyőn egy függőleges osztás 50 millivolt feszültséget jelent.

2. feladat megoldás. A periódusidő:

$$T = 4 \cdot 0{,}5\,\mathrm{ms} = 2\,\mathrm{ms},$$

$$f = \frac{1}{0{,}002\,\mathrm{s}} = 500\,\mathrm{Hz}.$$

3. feladat megoldás.

$$U_{pp} = 3{,}2 \cdot 1\,\mathrm{V} = 3{,}2\,\mathrm{V},$$

$$U_p = \frac{3{,}2\,\mathrm{V}}{2} = 1{,}6\,\mathrm{V},$$

$$U = \frac{1{,}6\,\mathrm{V}}{\sqrt{2}} \approx 1{,}13\,\mathrm{V}.$$

4. feladat megoldás. DC csatolásban a szinusz a 10 V-os egyenfeszültség körül mozog: a csúcsok 9 V és 11 V között. AC csatolásban az egyenkomponens eltűnik, így a görbe -1 V és $+1$ V között oszcillál.

5. feladat megoldás.

A periódusidő:

$$T = 5 \cdot 10\,\mu\mathrm{s} = 50\,\mu\mathrm{s},$$

$$f = \frac{1}{50\,\mu\mathrm{s}} = 20\,\mathrm{kHz}.$$

A bekapcsolt idő:

$$t_{\text{on}} = 1{,}5 \cdot 10\,\mu\text{s} = 15\,\mu\text{s},$$

$$D = \frac{15\,\mu\text{s}}{50\,\mu\text{s}} \cdot 100\,\% = 30\,\%.$$

6. feladat megoldás. 2 kHz-es jel periódusa 500 µs. Ha TIME/DIV = 50 µs/osztás, egy periódus 10 osztást foglal el, ami jól leolvasható. 1 V csúcstól csúcsig jelnél VOLT/DIV = 0,2 V/osztás esetén a kitérés 5 osztás, ami megfelelő. A trigger CH1-re, emelkedő élre, AUTO módba állítandó.

8.3.15. Rövid összefoglaló

Az oszcilloszkóp feszültség–idő diagramot rajzoló mérőműszer. A vízszintes tengelyt a TIME/DIV időalap, a függőleges tengelyt a VOLT/DIV érzékenység skálázza. A jel leolvasásához az osztások számát szorozzuk a beállított értékkel. Szinusznál a csúcsérték, a csúcstól csúcsig érték és az effektív érték kapcsolata $U_p = U_{pp}/2$ és $U = U_p/\sqrt{2}$. A triggerelés stabil képet ad; a csatolás DC-ben a teljes jelet, AC-ben csak a váltakozó részt mutatja. Gyakori jelalakok: szinusz, négyszög, fűrész és PWM, melyek a későbbi tápegységes és frekvenciaváltós fejezetekben is fontosak. Hálózati jelet csak megfelelő CAT-besorolású differenciálszondával, vagy a vizsgált készüléket (nem az oszcilloszkópot!) leválasztó transzformátorról táplálva, oktatói felügyelettel vizsgáljunk, mert az oszcilloszkóp földelt bemenete zárlatot okozhat; az oszcilloszkóp védőföldelését soha nem szakítjuk meg. Hálózati berendezésen végzett átkötés előtt a feszültségmentesítés öt szabálya kötelező.

8.3.16. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezetben hivatkozott mérési kategóriák és oszcilloszkóp-bemenetek részleteit a gyártói adatlapok és az MSZ EN 61010 szabványcsalád határozza meg **(ellenőrizendő: aktuális kiadás és műszertípus)**. A hálózati jel mérésének biztonsági korlátai a munkavédelmi előírásokból következnek. Az Egyenirányítók, szűrők, stabilizátorok, kapcsolóüzemű táp és PFC alfejezet az itt bemutatott jelalakokat használja fel az egyenirányítók és kapcsolóüzemű tápegységek elemzéséhez.

8.4. Teljesítmény- és energiamérés, fogyasztásmérők

8.4.1. Motiváció

Egy társasházban villanyszerelőként új mérőhelyet kell kialakítani. Az ügyfél nemcsak arra kíváncsi, hogy „van-e áram”, hanem arra is, hogy egy régi klímaberendezés, egy új sütő vagy egy műhelyben üzemelő motor mennyit fogyaszt, és hogy az elosztóban elhelyezett mérőműszer valós terhelésnél helyesen mér-e. A munkahelyi kérdés tehát nem csupán az, hogy a multiméterrel feszültséget és áramot tudunk mérni, hanem az is, hogy ezekből hogyan lesz **teljesítmény**, **energia** és **elszámolási mérőállás**. A teljesítmény- és energiamérés az alapja annak, hogy ellenőrizni tudjuk egy fogyasztó valódi terhelését, igazoljuk a hálózati csatlakozás elégségességét, és megértsük a fogyasztásmérő, valamint az áramváltós mérés működését.

8.4.2. Szemléletes kép

Egy egyfázisú dugaszoló aljzatba bedugott 230 V-os hősugárzó adattáblája szerint 2,3 kW-ot vesz fel. A lakatfogóval mért áram 10 A. Ha egyszerűen összeszorozzuk a feszültséget és az áramot, $230\,\mathrm{V} \cdot 10\,\mathrm{A} = 2300\,\mathrm{W}$ értéket kapunk. Ez a hősugárzónál szinte teljes egészében **hatásos teljesítmény**, mert a fűtőszál gyakorlatilag ohmos ellenállás. Egy motor azonban ugyanilyen 10 A-es áramfelvételnél kevesebb mechanikai munkává alakítható teljesítményt vehet fel, mert a mágneses tere fenntartásához úgynevezett **meddő teljesítményt** is keringtet. A teljesítménymérés éppen ezért több, mint az $U \cdot I$ szorzat: meg kell különböztetnünk a hatásos, meddő és látszólagos teljesítményt, és meg kell mérnünk, hogy egy fogyasztó hosszabb idő alatt mennyi **energiát** használ el.

8.4.3. Alapfogalmak és mérési célok

Definíció. A váltakozó áramú **hatásos teljesítmény** az egy periódus alatt a fogyasztóban hővé, mechanikai munkává vagy más hasznos formává alakított átlagteljesítmény:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi.$$

Az U és I itt effektív érték, $\cos\varphi$ pedig a feszültség és az áram közötti fázisszög koszinusza, azaz a **teljesítménytényező**.

Definíció. A **meddő teljesítmény** olyan, a mágneses vagy villamos térrel kapcsolatos teljesítmény-lüktetés, amelyet a hálózatnak szállítania kell, de hasznos munkává nem alakul:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi.$$

Mértékegysége a **var** (volt-amper reaktív), gyakorlatban kvar vagy Mvar.

Definíció. A **látszólagos teljesítmény** a feszültség és az áram effektív értékének szorzata:

$$S = U \cdot I.$$

Mértékegysége a **voltamper (VA)**. A három mennyiség kapcsolata:

$$S^2 = P^2 + Q^2.$$

Definíció. A villamos **energia** a hatásos teljesítmény idő szerinti integrálja, illetve állandó teljesítmény esetén:

$$W = P \cdot t.$$

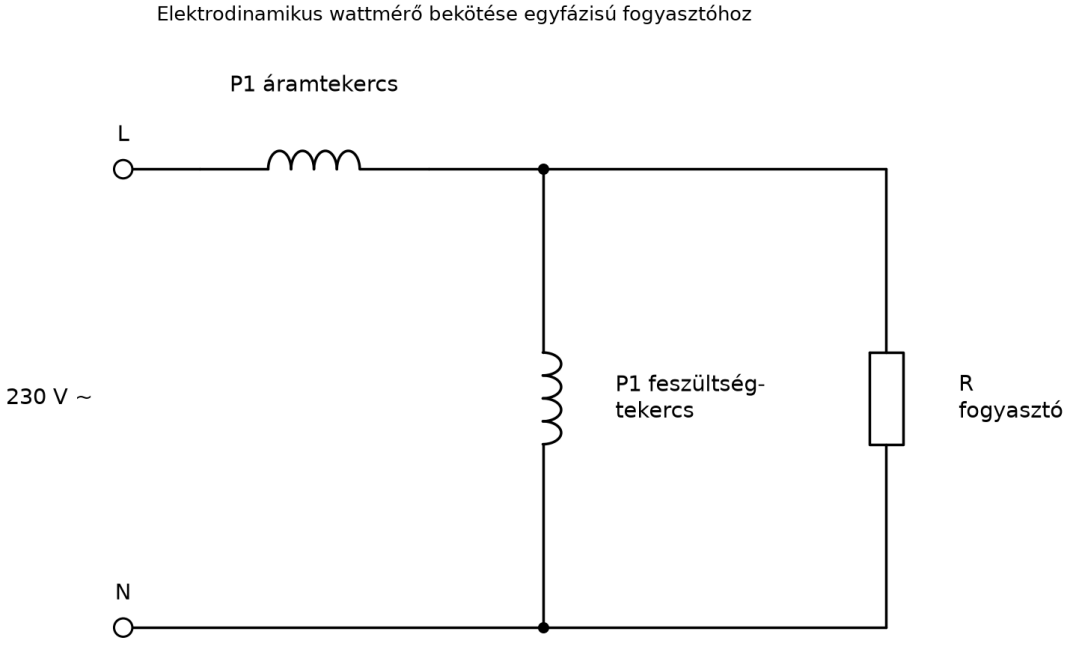
A fogyasztásmérő számlapján a kilowattóra (kWh) az elszámolási egység. Egy kWh az 1 kW hatásos teljesítménnyel egy órán át végzett energiafogyasztás.

Ezeket az összefüggéseket használjuk a későbbi mérőhelyi fejezetekben is, például a Csatlakozás a közcélú hálózathoz, mérőhely alfejezetben.

8.4.4. A wattmérő működése

Szabály. A hagyományos **elektrodinamikus wattmérő** két tekercset tartalmaz: az **áramtekercset** a fogyasztóval sorba kötik, a **feszültségtekercset** pedig a fogyasztóval párhuzamosan. A műszer kitérése arányos a pillanatnyi $u(t) \cdot i(t)$ szorzat átlagával, tehát a $P = UI\cos\varphi$ hatásos teljesítménnyel.

A kapcsolást gyakran úgy jelölik, hogy az áramtekercs egyik kapcsa és a feszültségtekercs egyik kapcsa közös fázispont, amit a műszeren ± vagy L jelöl.



8.6. ábra. Elektrodinamikus wattmérő bekötése egyfázisú fogyasztóhoz - P1 wattmérő két tekercse: az áramtekercs sorosan az L vezetőben, a feszültségtekercs L és N között, a fogyasztóval párhuzamosan (közös pont a terhelés felőli oldalon). R a fogyasztó. A műszer P = U · I · cos**φ** értéket mutat.

A modern **elektronikus mérőműszerek** ugyanezt a mérést feszültség- és árammintavételezéssel végzik, majd digitálisan számítják a hatásos, meddő és látszólagos teljesítményt, a teljesítménytényezőt és a felharmonikus tartalmat is.

Számítási példa. Egy egyfázisú fogyasztó feszültsége $U = 230\,\mathrm{V}$, árama $I = 8\,\mathrm{A}$, a mért teljesítménytényező $\cos\varphi = 0{,}7$. A wattmérő által mutatott hatásos teljesítmény:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 230 \cdot 8 \cdot 0{,}7 = 1288\,\mathrm{W} \approx 1{,}29\,\mathrm{kW}.$$

A látszólagos teljesítmény:

$$S = U \cdot I = 230 \cdot 8 = 1840\,\mathrm{VA} = 1{,}84\,\mathrm{kVA}.$$

A meddő teljesítmény:

$$Q = S \cdot \sin\varphi.$$

Ha $\cos\varphi = 0{,}7$, akkor $\varphi \approx 45{,}6^\circ$ és $\sin\varphi \approx 0{,}714$, tehát:

$$Q \approx 1840 \cdot 0{,}714 \approx 1314\,\text{var} \approx 1{,}31\,\text{kvar}.$$

Ellenőrzésként:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad \Rightarrow \quad 1{,}84^2 \approx 1{,}29^2 + 1{,}31^2,$$

amely kis kerekítési hibával teljesül, mert $P^2 + Q^2 \approx 1{,}66 + 1{,}72 = 3{,}38$ és $S^2 \approx 3{,}39$. ∎

8.4.5. Háromfázisú teljesítménymérés és az Aron-kapcsolás

A háromfázisú rendszerben a hatásos teljesítmény szimmetrikus terhelésnél:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v \cdot \cos\varphi,$$

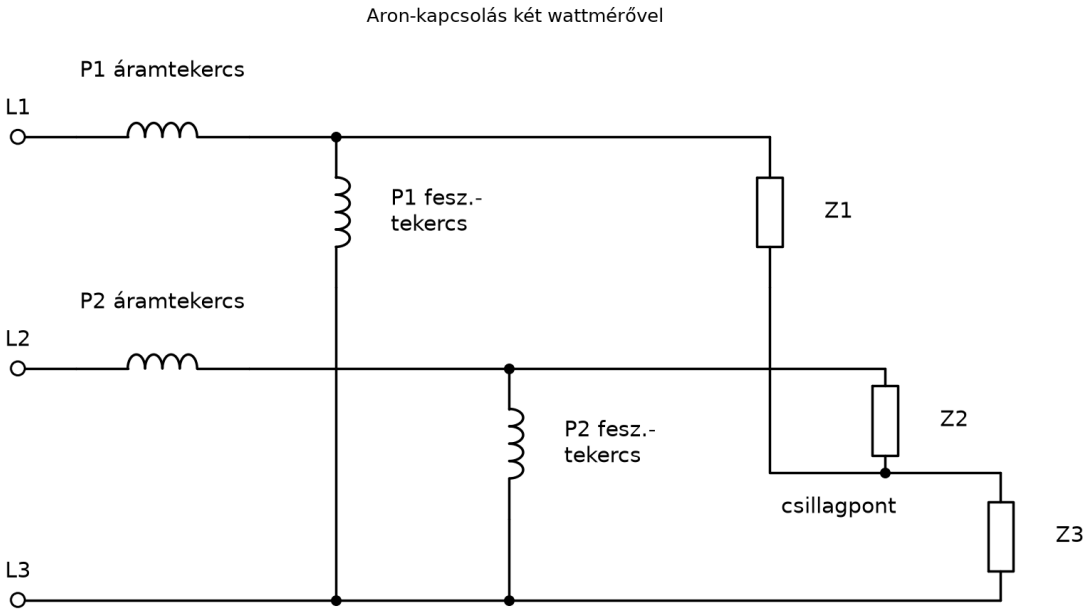
ahol U_v a vonali feszültség, I_v a vonali áram. Ezt a képletet a Csillag és delta kapcsolás és a Háromfázisú teljesítmény, aszimmetria és a nullavezető alfejezetben már levezettük. A mérés szempontjából fontosabb, hogy aszimmetrikus terhelésnél sem elég egyetlen szorzatot mérni.

Szabály. Háromvezetékes, háromfázisú rendszerben a hatásos teljesítmény két wattmérővel mérhető az **Aron-kapcsolás** szerint. A két wattmérőt két fázisvezetőbe kötik be, a feszültségtekercseket pedig a harmadik fázishoz csatlakoztatják. A teljes hatásos teljesítmény a két wattmérő algebrai összege:

$$P_{3f} = P_1 + P_2.$$

A módszer **háromvezetékes** rendszerben érvényes; nullavezetővel ellátott, aszimmetrikusan terhelt hálózatban három wattmérőre lehet szükség.

Az Aron-kapcsolás érdekessége, hogy az egyik wattmérő kitérése bizonyos fázisszögnél negatív is lehet. A wattmérő ilyenkor visszafelé mutat, vagy a feszültségtekercs polaritásváltására van szükség, és az így kapott értéket a másik műszerből ki kell vonni. A gyakorlatban az elektronikus háromfázisú fogyasztásmérők ezt a feszültség- és áramjelek együttes mintavételezésével oldják meg, így negatív előjelű teljesítmény is gond nélkül kezelhető.



8.7. ábra. Aron-kapcsolás két wattmérővel - Háromvezetékes hálózat, N nélkül. P1 áramtekercse L1-ben, P2 áramtekercse L2-ben; feszültségtekercsük L1–L3, illetve L2–L3 közé kapcsolódik (a közös pont a harmadik fázis). A terhelés Z1, Z2, Z3 csillagban, kivezetett csillagpont nélkül. P = P1 + P2; a pont nélküli kereszteződés nem összekötés.

Kidolgozott példa. Egy háromfázisú, 400 V-os motor teljesítményfelvételét Aron-kapcsolásban mérjük. Az egyik wattmérő $P_1 = 6{,}2\,\mathrm{kW}$, a másik $P_2 = 3{,}8\,\mathrm{kW}$. A teljes hatásos teljesítmény:

$$P = 6{,}2 + 3{,}8 = 10{,}0\,\mathrm{kW}.$$

Ha a motor adattáblájáról leolvassuk, hogy a hatásfok $\eta = 0{,}87$, akkor a leadott mechanikai teljesítmény:

$$P_{\mathrm{leadott}} = P_{\mathrm{felvett}} \cdot \eta = 10{,}0 \cdot 0{,}87 = 8{,}7\,\mathrm{kW}.$$

Ez a mérési eredmény tehát nem a tengelyen leadott, hanem a hálózatból felvett teljesítmény. ∎

8.4.6. Cosφ-mérő és fázissorrend-mérő

Definíció. A **cosφ-mérő** (teljesítménytényező-mérő) azt mutatja, hogy a hálózatból felvett áram mekkora fázisszöggel késik vagy siet a feszültséghez képest. Az ipari gyakorlatban gyakran kapcsolják egyfázisú vagy háromfázisú mérőpanelre, ahol a wattmérővel, ampermérővel és voltmérővel együtt a teljes villamos állapot áttekinthető.

Az **induktív** fogyasztóknál (motorok, transzformátorok, fénycsőfojtók) az áram késik a feszültséghez képest, ezért $\cos\varphi$ **késő** (induktív). A **kapacitív** körökben (kompenzáló kondenzátorok) az áram siet, és a teljesítménytényező **előjelét** a mérőműszer skálája is jelzi.

Megjegyzés. A teljesítménytényezőt mérhetjük közvetetten is: P, U és I méréséből:

$$\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I}.$$

Ez azért hasznos, mert egy hagyományos multiméterrel és wattmérővel is ellenőrizhetjük, nincs szükség külön cosφ-mérőre.

8.4.7. Fogyasztásmérők: elektromechanikus, elektronikus és okos mérő

Definíció. A **fogyasztásmérő** (villamos energia mérő, köznyelven villanyóra) a fogyasztó által felhasznált hatásos energiát összegzi, általában kWh-ban. A régi **elektromechanikus** típus egy forgó alumíniumtárcsával rendelkezik, amelynek fordulatszáma arányos a hatásos teljesítménnyel, a tárcsa fordulatait pedig számláló görgeti át. A tárcsa szélén lévő festett jel segítségével a fordulatszám és a felvett teljesítmény összehasonlítható.

Az elektromechanikus mérő kapcsolási elve hasonló a wattmérőhöz: egy áramtekercs és egy feszültségtekercs hoz létre olyan nyomatékot, amely a tárcsát forgatja. A tárcsát fékező mágnes tartja a fordulatszámot a teljesítménnyel arányos tartományban. Fontos, hogy ez a fajta mérő a **hatásos energiát** méri, mert a nyomatékképzésben a $\cos\varphi$ is szerepet játszik.

Definíció. Az **elektronikus fogyasztásmérő** feszültség- és árammintákat vesz, digitálisan számítja a teljesítményt és az energiát. Nem tartalmaz mechanikus tárcsát, ezért kevésbé érzékeny a szerelési helyzetre, és gyakran impulzuskimenettel rendelkezik. A kijelzőn az összesített W energia mellett megjelenhet a pillanatnyi P, U, I, és akár a meddő energia is.

Definíció. Az **okosmérő** elektronikus fogyasztásmérő, amely kommunikációs csatornával (vezetékes vagy rádiós) továbbítja a mérőállást és a mért adatokat a hálózati engedélyes vagy a fogyasztó felé. A fogalom pontos jogszabályi besorolása és kötelező funkciói időben változnak **(ellenőrizendő: aktuális rendelet)**. A szerelő számára az a fontos, hogy az okosmérő ugyanúgy mért energiaelszámoló eszköz, amelyet csak jogosult személy, illetve az elosztói engedélyes bonthat, köthet és plombálhat.

8.4.8. Áramváltó és feszültségváltó a mérésben

Nagyobb áramoknál a fogyasztásmérőt nem közvetlenül a mérendő áramkörbe kötik, hanem **áramváltón** keresztül. Az áramváltó egy különleges transzformátor, amelynek primer tekercse a mérendő vezető (gyakran csak egy átvezetett sín), szekunder tekercse pedig a mérőműszerhez csatlakozik. Az áramváltó áttétele például 100 A / 5 A, ami azt jelenti, hogy a primer 100 A-es áram a szekunder oldalon közelítőleg 5 A-t ad. A mérőműszert 5 A-re kalibrálják, és a skálát 100 A-re írják.

Szabály. Az áramváltó szekunder kapcsait a mérőműszer lekötése **előtt rövidre kell zárni** (a mérőhelyi vizsgálósorkapocs rövidzáró hídjával), és a rövidzárat csak a műszer visszakötése után szabad megszüntetni. Terhelés alatt nyitott szekunder kör veszélyes nagyfeszültséget hozhat létre, és tönkreteheti a váltót.

A **feszültségváltó** nagyobb feszültségek mérését alakítja át szabványos, például 100 V-os mérőfeszültséggé. Kisfeszültségű hálózati mérőhelyeken feszültségváltóra ritkán van szükség, áramváltóra viszont gyakran, például ipari betáplálásnál.

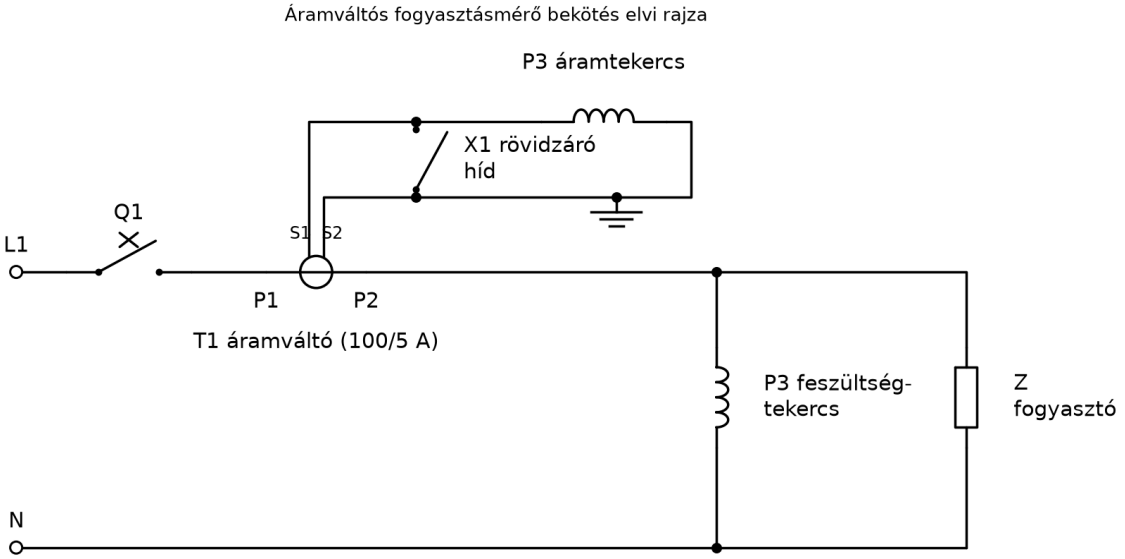
Az áttétel általános alakja:

$$\vartheta = \frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1},$$

ahol N_1 a primer, N_2 a szekunder menetszám. A mért primer áram:

$$I_1 = \vartheta \cdot I_2.$$

A fogyasztásmérő áramváltós beépítésénél a mért energiát az áramváltó áttételével szorozni kell. Egy 100/5-ös áramváltó és egy 5 A-es mérőműszer együttesen a valóságos 100 A-es oldalt méri úgy, hogy a mérőműszer számlálója 5 A-es körben számol.



8.8. ábra. Áramváltós fogyasztásmérő bekötés elvi rajza - Az L1 fővezeték megszakítás nélkül halad át a T1 gyűrűs áramváltón (P1 a hálózat, P2 a fogyasztó felé); a primer maga az átvezetett vezető. Az S1–S2 szekunder kör a P3 mérő áramtekercsére csatlakozik, az S2 földelve (elosztói előírás szerint, ellenőrizendő). Az X1 vizsgálósorkapocs rövidzáró hídja üzem közben nyitott; a mérő lekötése előtt zárni kell, és csak a visszakötés után szabad bontani. A feszültségtekercs L1 és N közé csatlakozik; N külön vezető (nem PE). 100/5 A-es áramváltónál a mért energiát 20-szal kell szorozni.

A rajzon az L1 fővezeték megszakítás nélkül halad át a T1 gyűrűs áramváltón (P1 a hálózat, P2 a fogyasztó felé), a szekunder S1–S2 kör a P3 mérő áramtekercsét táplálja. Az X1 rövidzáró híd üzem közben nyitott; a mérő cseréje előtt ezzel zárjuk rövidre a szekundert, az S2 pedig földelt.

8.4.9. Energia, mérési ciklus és elszámolás

Definíció. A fogyasztásmérő által mutatott **mérési ciklus** egyszerűen a mérőállások különbsége két leolvasás között. Az energiafogyasztás:

$$W = W_2 - W_1,$$

ahol W_1 a korábbi, W_2 a későbbi mérőállás kWh-ban.

Ha a fogyasztásmérő tárcsája percenként n fordulatot tesz, és a mérőállandója C (fordulat/kWh, illetve elektronikus mérőn impulzus/kWh), akkor a pillanatnyi hatásos teljesítmény:

$$P = \frac{n \cdot 60}{C} \quad \text{(kW-ban)},$$

ha n-t fordulat/percben és C-t fordulat/kWh-ban adjuk meg.

Számítási példa. Egy elektromechanikus fogyasztásmérő állandója $C = 375\,\text{fordulat/kWh}$. A tárcsát 20 másodperc alatt 5 fordulatot tett meg. A percenkénti fordulatszám:

$$n = 5 \cdot \frac{60}{20} = 15\,\text{fordulat/perc}.$$

A felvett teljesítmény:

$$P = \frac{n \cdot 60}{C} = \frac{15 \cdot 60}{375}\,\text{kW} = 2{,}4\,\text{kW}.$$

Ez egy hősugárzó vagy vízforraló nagyságrendje. Ellenőrzés: $2{,}4\,\text{kW} \cdot \frac{20}{3600}\,\text{h} = 0{,}0133\,\text{kWh}$, ami $375\,\text{fordulat/kWh}$-val 5 fordulat. ✓ (Kis, készenléti teljesítményt mutatna pl. 5 fordulat 8 perc alatt: 0,625 fordulat/perc, $P = 0{,}625 \cdot 60/375 = 0{,}1\,\text{kW} = 100\,\text{W}$.) A módszer alkalmas arra, hogy egy lakásban a kismegszakítók lekapcsolásával az egyes áramkörök terhelését a mérőállásból ellenőrizzük.

Számítási példa. Egy üzlethelyiség mérője hónap elején 12 340 kWh-t, hónap végén 13 600 kWh-t mutat. A havi fogyasztás:

$$W = 13\,600 - 12\,340 = 1\,260\,\text{kWh}.$$

Ha az elszámolási időszak 30 nap, akkor a napi átlagfogyasztás:

$$\frac{1260}{30} = 42\,\text{kWh/nap}.$$

Egy 2 kW-os hősugárzó napi 3 órás működése:

$$W = 2 \cdot 3 = 6\,\text{kWh/nap},$$

ami a napi összes fogyasztás kis része. Ez a számolás segít az ügyfélnek megérteni a fogyasztás szerkezetét. ∎

8.4.10. Szabványi háttér és mérőhelyi szempontok

Szabvány. A fogyasztásmérőkre, mérőváltókra és a mérőhelyek kialakítására vonatkozó követelményeket Magyarországon a hálózati engedélyes előírásai, a csatlakozási és elszámolási szabályzat, valamint az MSZ HD 60364 kisfeszültségű villamos berendezésekre vonatkozó sorozat épületvillamossági részei határozzák meg. A fogyasztásmérők pontossági osztályaira és vizsgálatára külön mérésügyi előírások vonatkoznak **(ellenőrizendő: aktuális mérésügyi és elosztói előírások)**. A mérő felszerelése, plombálása és hitelesítése jogosultsághoz kötött; a szerelő a mérőhely mechanikai és villamos részét készítheti elő, a mérőt magát nem nyithatja fel és nem bonthatja.

A Mérő- és jelzőkészülékek, feliratok és dokumentáció alfejezetben használjuk majd azt az elvet, hogy az ipari kapcsolószekrényben is azonos az áramváltós mérés logikája: a mért jelet

szabványos, például 5 A-es vagy 1 A-es szekunder körré alakítjuk, és a kijelzőt, mérőműszert vagy PLC-bemenetet erre méretezzük.

8.4.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy kisüzemi pékség villamos felújításakor a főelosztóban közvetett, áramváltós mérőhelyet alakítanak ki. A betáplálás névleges árama 250 A, ezért 250/5-ös áramváltókat szerelnek fel. A régi, közvetlen mérőt elektronikus, áramváltós mérőre cserélik. A bekötés után a villanyszerelő ellenőrző mérést végez: a kemencék teljes terhelésénél a szekunder áram 4,2 A, ami $4{,}2 \cdot 50 = 210\,\mathrm{A}$ primer áramnak felel meg, mert az áttétel $250/5 = 50$. A mérő távkiolvasása és az elosztó mérőpaneljén elhelyezett ampermérő ugyanezt az értéket mutatja. Az áramok egyezése csak az áttételt igazolja. A fázishelyességet és a polaritást (P1/P2, S1/S2) a mérő fázisonkénti hatásos teljesítmény- és $\cos\varphi$-kijelzése igazolja: induktív terhelésnél mindhárom fázison pozitív a teljesítmény, a terhelésnek megfelelő teljesítménytényezővel (ellenőrizendő: mérőtípus kijelzései). Felcserélt polaritásnál az áram ugyanannyi, de az egyik fázis energiája negatív.

A hibakeresés során kiderül, hogy az egyik áramváltó szekunder kapcsa laza volt, ami a mérőműszeren kisebb áramértéket eredményezett. A kötés megerősítése után a mérés helyreáll. A tanulság: az áramváltós körben minden sorkapocs, csatlakozó és mérőműszer-csatlakozás soros ellenállást képvisel, ezért a kötéseknek kis ellenállásúaknak és mechanikailag szilárdaknak kell lenniük.

8.4.12. Gyakorlati útmutató

Biztonsági korlát. A fogyasztásmérővel és mérőváltókkal kapcsolatos hálózati feszültségű munkát csak jogosult személy végezhet. A tanuló ezt tanműhelyi vagy oktató által felügyelt környezetben gyakorolhatja; hálózati feszültségen önállóan ne dolgozzon.

Cél. Egy egyfázisú fogyasztásmérő mérési elvének bemutatása és ellenőrzése tanműhelyi, törpefeszültségű környezetben, például 24 V-os biztonsági transzformátorral és kis terhelő ellenállással. A 230 V-os tárcsás fogyasztásmérő feszültségtekercse 24 V-on nem ad elegendő nyomatékot, ezért az elektromechanikus mérőt csak oktatói bemutatóként, hálózati feszültségű, védett mérőpanelen szabad használni.

Eszközök és anyagok. Biztonsági (leválasztó) transzformátor, törpefeszültségre alkalmas digitális teljesítménymérő (wattmérő) vagy laboratóriumi energiamérő, multiméter, lakatfogó, terhelő ellenállások, kapcsoló, mérőzsinórok.

Lépések

1. **Lekapcsolás.** Válaszd le a tanműhelyi áramkört a hálózatról, és biztosítsd visszakapcsolás ellen.
2. **Feszültségmentesség ellenőrzése.** Multiméterrel ellenőrizd, hogy a mérési pontokon nincs feszültség.
3. **Bekötés.** Kösd be a fogyasztásmérő vagy wattmérő áramkörét sorba a terheléssel, a feszültségkört pedig párhuzamosan.
4. **Első mérés.** Kapcsolj be egy ismert ellenállást. Mérd meg a feszültséget és az áramot multiméterrel, majd hasonlítsd össze a wattmérővel: $P = U \cdot I$.
5. **Tárcsás mérő ellenőrzése.** Ha az oktató hálózati feszültségű, védett mérőpanelen elektromechanikus mérőt mutat be, számold meg a tárcsafordulatokat 1 perc alatt, és a mérőállandó segítségével számítsd ki a teljesítményt.
6. **Terhelésváltás.** Cserélj nagyobb ellenállásra, és ismételd meg a mérést.

7. **Dokumentálás.** Jegyezd fel a mérőállást, a mért feszültséget, áramot, teljesítményt és a tárcsafordulatokból számított teljesítményt.

Ellenőrzési pontok. A wattmérő és az $U \cdot I$ szorzat eltérése kicsi legyen, ha a terhelés ohmos. A mérőállás növekedése arányos a teljesítménnyel és az idővel: 1 kW-os terhelés 1 perc alatt 1/60 kWh-t fogyaszt.

Tipikus hibák. A feszültség- és áramkör felcserélése, a közös pont rossz kiválasztása, a mérő terhelés nélküli feszültség alá helyezése, illetve az áramváltó szekunder kör nyitva hagyása.

8.4.13. Tipikus hibák

Hiba 1. A tanuló a wattmérő áram- és feszültségtekercsét is párhuzamosan köti a fogyasztóval. A műszer ilyenkor nem az áramot méri, és a kijelzés hibás lesz. **Helyes:** az áramtekercs sorosan, a feszültségtekercs párhuzamosan kapcsolódik.

Hiba 2. Háromfázisú mérésnél a nullavezetős hálózatban két wattmérővel akarják megmérni a teljesítményt, erősen aszimmetrikus terhelésnél. Az Aron-kapcsolás csak háromvezetékes rendszerre érvényes; nullavezetős aszimmetrikus rendszerben három wattmérő szükséges.

Hiba 3. Az áramváltó szekunder kapcsait üresen hagyják, amikor a mérőműszert lekötik. Ez veszélyes feszültséget és váltókárosodást okozhat. **Helyes:** a szekunder kapcsokat rövidre zárva tartani, ha nincs mérőműszer csatlakoztatva.

Hiba 4. A teljesítménytényezőt elhanyagolják, és a motor áramfelvételéből $P = U \cdot I$ értékkel számolnak hatásos teljesítményt. Ez motoroknál rendszerint túlbecsli a tényleges hatásos teljesítményt, mert a $\cos\varphi$ kisebb 1-nél.

8.4.14. Önellenőrzés

1. kérdés. Igaz vagy hamis? A wattmérő a látszólagos teljesítményt méri. Indokold!

2. kérdés. Egy fogyasztó $U = 230\,\mathrm{V}$ feszültségen $I = 5\,\mathrm{A}$ áramot vesz fel, $\cos\varphi = 0{,}8$. Mekkora a hatásos és a meddő teljesítmény?

3. kérdés. Két wattmérő Aron-kapcsolásban $P_1 = 4\,\mathrm{kW}$ és $P_2 = -1\,\mathrm{kW}$ értéket mutat. Mi a teljes felvett teljesítmény?

4. kérdés. Egy fogyasztásmérő 200 fordulat/kWh állandójú, a tárcsa 30 másodperc alatt 2 fordulatot tesz. Mekkora a hatásos teljesítmény?

5. kérdés. Miért veszélyes az áramváltó szekunder körét megszakítani terhelés alatt?

6. kérdés. Egy háromfázisú, nullavezetős, erősen aszimmetrikus fogyasztó hatásos teljesítményét hány wattmérővel mérheted pontosan?

8.4.15. Megoldások – Önellenőrzés

1. válasz. Hamis. A wattmérő a hatásos teljesítményt méri, mert a kitérés arányos $UI\cos\varphi$ értékkel.

2. válasz.

$$P = 230 \cdot 5 \cdot 0{,}8 = 920\,\mathrm{W}, \quad \sin\varphi \approx 0{,}6, \quad Q \approx 230 \cdot 5 \cdot 0{,}6 = 690\,\mathrm{var}.$$

3. válasz. $P = 4 + (-1) = 3\,\mathrm{kW}$.

4. válasz. A percenkénti fordulatszám $n = 2 \cdot 2 = 4$ fordulat/perc, tehát $P = 4 \cdot 60/200 = 1{,}2\,\mathrm{kW}$.

5. válasz. A nyitott szekunder körben nagy feszültség indukálódik, ami áramütést és a váltó szigetelésének károsodását okozhatja.

6. válasz. Három wattmérővel, mert az Aron-kapcsolás csak háromvezetékes rendszerre érvényes.

8.4.16. Feladatok

1. feladat (A). Egy egyfázisú fogyasztó feszültsége 230 V, árama 6 A, a wattmérőn mért hatásos teljesítmény 1,104 kW. Számítsd ki a teljesítménytényezőt, a látszólagos teljesítményt és a meddő teljesítményt.

2. feladat (A). Egy fogyasztásmérő mérőállandója $C = 500\,\text{fordulat/kWh}$. A tárcsa 1 perc alatt 10 fordulatot tesz. Mekkora a pillanatnyi hatásos teljesítmény?

3. feladat (B). Egy háromfázisú motor 400 V vonali feszültségen, 12 A vonali árammal, $\cos\varphi = 0{,}85$ tényezővel dolgozik. Számítsd ki a hatásos és a látszólagos teljesítményt. Hány kWh energiát fogyaszt 8 óra üzem alatt?

4. feladat (B). Áramváltós mérésnél az áramváltó áttétele 150 A/5 A. A szekunder oldalra kötött ampermérő 3,6 A-t mutat. Mekkora a primer áram? Mekkora a mérőállás szorzótényezője, ha a fogyasztásmérőt ugyanarra a szekunder körre kötik?

5. feladat (C). Egy műhelyben két wattmérővel (Aron-kapcsolás) mértük a hatásos teljesítményt: $P_1 = 6{,}7\,\mathrm{kW}$ és $P_2 = -0{,}45\,\mathrm{kW}$ (szimmetrikus terhelés). A feszültségváltó nélküli mérésben a feszültség 400 V. A hálózati áram 20 A. Határozd meg a teljes hatásos teljesítményt, a látszólagos teljesítményt és a teljesítménytényezőt. Értékeld a kapott $\cos\varphi$-t!

6. feladat (D). Egy lakóépületben a főelosztó mérőjét 30 nappal ezelőtt 45 780 kWh-ról olvasták le. Most 46 530 kWh-t mutat. A fő fogyasztók: egy 3 kW-os mosógép (átlagosan napi 1 h), egy 2 kW-os tűzhely (napi 0,5 h), és egy 1,5 kW-os klíma (napi 4 h). Becsüld meg a havi fogyasztást, és hasonlítsd össze a mérőállás-különbséggel. Mi lehet az eltérés oka, ha a becsült érték jóval kisebb a mértnél?

8.4.17. Megoldások – Feladatok

1. feladat megoldása.

A látszólagos teljesítmény:

$$S = 230 \cdot 6 = 1380\,\text{VA}.$$

A hatásos teljesítmény $P = 1104\,\text{W}$, így:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{1104}{1380} = 0{,}8.$$

A meddő teljesítmény:

$$Q = S \cdot \sin\varphi, \quad \sin\varphi = \sqrt{1 - 0{,}8^2} = 0{,}6,$$

$$Q = 1380 \cdot 0{,}6 = 828\,\text{var}.$$

Ellenőrzés: $1380^2 = 1104^2 + 828^2$? $1\,904\,400 \approx 1\,218\,816 + 685\,584 = 1\,904\,400$. ∎

2. feladat megoldása.

A percenkénti fordulatszám $n = 10$, tehát:

$$P = \frac{n \cdot 60}{C} = \frac{10 \cdot 60}{500} = 1{,}2\,\text{kW}.$$

3. feladat megoldása.

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 12 \cdot 0{,}85 \approx 1{,}732 \cdot 400 \cdot 12 \cdot 0{,}85 \approx 7{,}07\,\text{kW}.$$

A látszólagos teljesítmény:

$$S = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 12 \approx 8{,}31\,\text{kVA}.$$

8 óra alatt a fogyasztás:

$$W = 7{,}07 \cdot 8 \approx 56{,}5\,\text{kWh}.$$

4. feladat megoldása.

Az áttétel:

$$\vartheta = \frac{150}{5} = 30.$$

A primer áram:

$$I_1 = \vartheta \cdot I_2 = 30 \cdot 3{,}6 = 108\,\text{A}.$$

A mérőállás szorzótényezője 30, tehát a mérőn leolvasott energiakülönbséget 30-cal kell szorozni.

5. feladat megoldása.

A teljes hatásos teljesítmény:

$$P = 6{,}7 - 0{,}45 = 6{,}25\,\text{kW}.$$

A látszólagos teljesítmény:

$$S = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 20 \approx 13{,}86\,\text{kVA}.$$

A teljesítménytényező:

$$\cos\varphi = \frac{6250}{13860} \approx 0{,}451.$$

Második ellenőrzés az Aron-összefüggéssel (szimmetrikus terhelésre): $\tan\varphi = \sqrt{3}\,\dfrac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} = \sqrt{3} \cdot \dfrac{7{,}15}{6{,}25} \approx 1{,}98$, ebből $\cos\varphi \approx 0{,}451$. ✓

Ellenőrzés: a két wattmérő algebrai összege pozitív, de a negatív P_2 alacsony $\cos\varphi$ értéket jelez, ami összhangban van a számított 0,451-gyel. Ez a módszer érzékenyen kimutatja a rossz teljesítménytényezőt. Értékelés: a 0,45-ös teljesítménytényező egy műhely motoros terhelésénél kifejezetten rossz: jellemzően részterhelésen vagy üresen járó motorokra utal. A szokásos elvárás 0,9–0,95 feletti érték, ehhez fázisjavítás kell (lásd Teljesítmények és teljesítménytényező; ellenőrizendő: az elosztói szerződés meddőenergia-feltételei).

6. feladat megoldása.

A mérőállás-különbség:

$$W = 46\,530 - 45\,780 = 750\,\text{kWh}.$$

A becsült fogyasztás:

$$W_{\text{becs}} = 3 \cdot 1 \cdot 30 + 2 \cdot 0{,}5 \cdot 30 + 1{,}5 \cdot 4 \cdot 30 = 90 + 30 + 180 = 300\,\text{kWh}.$$

A becsült érték jóval kisebb, mint a mért 750 kWh. Az eltérés oka lehet, hogy a klíma nem minden nap 4 órát, hanem annál többet üzemel, a berendezések készenléti fogyasztása is számottevő, vagy más, figyelmen kívül hagyott fogyasztók (bojler, szivattyú, számítógépek) is működnek. A feladat tanulsága: a mérőállás összehasonlításából nemcsak a fogyasztás, hanem a fogyasztók becslésének pontossága is ellenőrizhető.

8.4.18. Rövid összefoglaló

A villamos teljesítmény mérése a hálózati feszültség és áram szorzatánál többet jelent: meg kell határoznunk a hatásos teljesítményt $P = UI\cos\varphi$, a meddő teljesítményt $Q = UI\sin\varphi$ és a látszólagos teljesítményt $S = UI$, amelyekre $S^2 = P^2 + Q^2$ érvényes. A wattmérő a hatásos teljesítményt méri; egyfázisú körben áramtekercsét sorosan, feszültségtekercsét párhuzamosan kötjük. Háromvezetékes háromfázisú rendszerben két wattmérővel, az Aron-kapcsolással mérhetünk, és a teljes teljesítmény a két műszer algebrai összege, $P = P_1 + P_2$. A fogyasztásmérő az energiát összegzi kWh-ban; az elektromechanikus mérő tárcsafordulatai és az elektronikus mérő impulzusai a mérőállandó segítségével teljesítményre számíthatók át. Nagyobb áramoknál áramváltót használunk, amelynek szekunder körét – ha nincs rá mérőműszer kötve – rövidre zárva kell tartani, mert nyitott szekunder primer áram mellett veszélyes nagyfeszültség keletkezik; a szorzótényező az áttételből adódik. A fogyasztásmérő és a mérőváltók szerelése, plombálása jogosultsághoz kötött; a mérőhely kialakításánál a hálózati engedélyes előírásai és a hatályos szabványok az irányadók. A megismert mérési elvet tovább használjuk a Csatlakozás a közcélú hálózathoz, mérőhely és a Mérő- és jelzőkészülékek, feliratok és dokumentáció alfejezetekben.

III. RÉSZ – Anyagok, műszaki rajz és dokumentáció

9 Villamosipari anyagismeret

9.1. Fémek és ötvözetek a villamosiparban

9.1.1. Motiváció

A munkahelyen szinte minden döntés visszavezethető egyetlen anyagválasztási kérdésre: miért réz a lakás vezetéke, miért lehet alumínium a nagy keresztmetszetű betápkábel, és miért lesz veszélyes, ha valaki réz sorkapocsba alumínium vezetéket szorít? A helytelen fémválasztás nemcsak feszültségesést vagy meghibásodást okoz, hanem melegedő kötést, tüzet és áramütéses kockázatot is. Ebben az alfejezetben a réz, alumínium, acél és a villamosiparban használt egyéb fémek tulajdonságait tanuljuk meg úgy, hogy később tudatosan válasszunk vezetőt, sorkapcsot, földelőanyagot és érintkezőbevonatot.

9.1.2. Szemléletes kép

Egy lakáselosztó cseréjekor a szerelő a régi alumínium betápvezetékhez akar rézből készült új elosztókábelt csatlakoztatni. Ha a két vezetőt közvetlenül összecsavarja vagy réz kötőelembe szorítja, a kötés látszólag szorosan fog; egy év múlva mégis melegedni kezd, a szigetelés megszárad, a csavar meglazul. Ugyanaz a csatlakozás bimetál összekötővel és helyesen kivitelezve évtizedekig működőképes maradhat. A különbség a fémek elektromos, mechanikai, hőtágulási és korróziós tulajdonságaiban van.

9.1.3. Fémek általános tulajdonságai

Definíció. A fémek olyan anyagok, amelyekben a vegyértékelektronok egy része viszonylag szabadon elmozdulhat az atomok között. Ez a *fémes kötés* és a szabad elektronok magyarázzák a fémek két jellemző tulajdonságát: a jó villamos vezetőképességet és a jó hővezetőképességet.

A fémrácsban a szabad elektronok vezetik az áramot, és ütközéseik adják az ellenállást. Minél szabályosabb a rács, és minél kevesebb szennyező atom, szemcsehatár vagy mechanikai feszültség van benne, annál kisebb a fajlagos ellenállás. Ezért a nagy tisztaságú, lágyított réz jobb vezető, mint a hidegen megmunkált vagy szennyezett réz.

Definíció. A *színfém* (tiszta fém) egyetlen fémes elemből áll, csak kis mennyiségű, nem szándékos szennyezőt tartalmaz; ilyen a villamos célú vörösréz vagy a tiszta alumínium. Az *ötvözet* legalább két elem – fém és fém, vagy fém és nemfém – szándékosan előállított keveréke, például acél, rozsdamentes acél, sárgaréz, bronz.

A színfémek és ötvözetek viselkedése jelentősen eltérhet. Az ötvözés általában rontja a vezetőképességet, de javítja a szilárdságot, a kopásállóságot vagy a korrózióállóságot.

9.1.4. Réz, alumínium és acél

A gyakorlatban két valódi vezetőanyag dominál: a **vörösréz** és az **alumínium**. A vasat és acélt főként szerkezeti, földelési és szabadvezetéki anyagként alkalmazzuk.

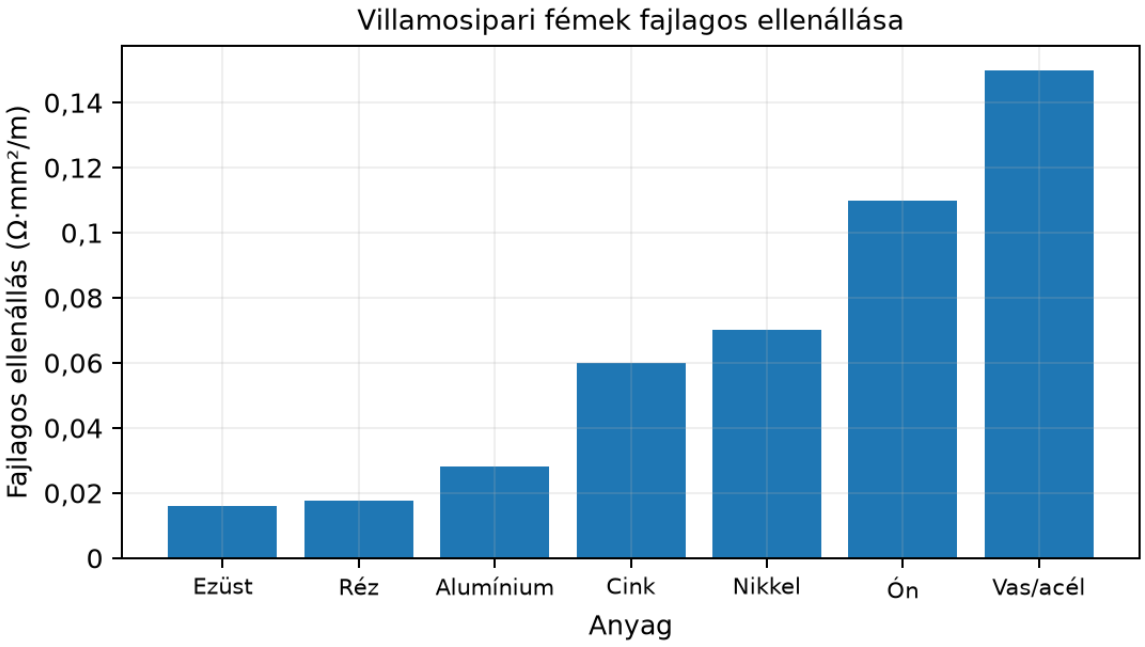
Törvény. Az ellenállást az anyag, a méret és a hőmérséklet határozza meg:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

ahol R az ellenállás, ρ a fajlagos ellenállás, l a vezető hossza, A a keresztmetszete. A ρ a 20 °C-os érték; más hőmérsékleten az ellenállás $R_\vartheta = R_{20}\,(1 + \alpha\,\Delta\vartheta)$ szerint változik, lásd Az ellenállás függése az anyagtól, mérettől és hőmérséklettől. A fajlagos ellenállást gyakran $\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$ egységben adjuk meg, mert így szemléletesen hasonlítható össze két anyag.

A villamosipari gyakorlati értékek 20 °C-on, tájékoztató jelleggel:

Anyag	Fajlagos ellenállás ρ ($\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$)	Sűrűség ($\mathrm{kg/dm}^3$)	Jellemző alkalmazás
Ezüst	kb. 0,016	kb. 10,5	érintkezőbevonat
Réz	kb. 0,0175	kb. 8,9	kábelér, sín, tekercs
Alumínium	kb. 0,028	kb. 2,7	nagy keresztmetszetű kábel, szabadvezeték
Cink	kb. 0,06	kb. 7,1	horganybevonat
Nikkel	kb. 0,07	kb. 8,9	bevonat, ellenálláshuzal-ötvözet
Ón	kb. 0,11	kb. 7,3	forrasztás, bevonat
Vas/acél	kb. 0,10–0,15	kb. 7,8	szabadvezeték-mag, földelő, szerkezet



9.1. ábra. Villamosipari fémek fajlagos ellenállása - Tankönyvi közelítő értékek 20 °C-on; a vas/acél oszlop a táblázat 0,10–0,15 $\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$ tartományának felső értéke. A pontos érték az anyagminőségtől függ, ezért minden méretezésnél a gyártói adatlapot kell ellenőrizni.

Réz. A vörösréz vezetőképessége kiváló, megmunkálhatósága jó, és a felületén képződő oxidréteg viszonylag vékony, bár nem mindig jó vezető. A réz jól forraszthető, préselhető, és a benne kialakított kötések hosszú távon stabilak. Hátránya a nagy sűrűsége, azaz a rézvezető nehéz, valamint az ára, amely a világpiacon erősen változó. Épületvillamossági vezetékezésben, kapcsolószekrény sínezésnél, motor- és trafótekercseknél a réz a standard választás.

Alumínium. Az alumínium fajlagos ellenállása körülbelül 1,6-szor nagyobb a rézénél, vagyis ugyanakkora ellenálláshoz nagyobb keresztmetszet kell. Ugyanakkor a sűrűsége kb. harmada a rézének, ezért azonos ellenállású vezető tömege mégis kisebb. Nagy keresztmetszetű betápkábeleknél, légvezetékeknél ez a tömegelőny jelentős. Az alumínium hátránya, hogy felületén igen kemény, elektromosan szigetelő alumínium-oxid réteg képződik, lágy, hajlamos a kúszásra, és hőtágulása nagyobb a rézénél. Ezért csak Al-kötésre alkalmas, jelölt kötőelemekkel és megfelelő szereléstechnikával szabad csatlakoztatni.

Vas és acél. A vas fajlagos ellenállása a rézének kb. 6–8-szorosa (a fenti táblázat szerint), ezért nem használjuk önálló áramvezetőnek olyan helyen, ahol kis ellenállás kell. Ugyanakkor a horganyzott acél kiváló mechanikai szilárdságot és korrózióállóságot ad, ezért földelőszalagnak, földelőszondának, tartószerkezetnek, kábeltálcának és védőcsőnek választjuk. A szabadvezetékekben gyakori az *acélmagos alumínium vezető* (ACSR jellegű felépítés): az acélmag viseli a mechanikai terhelést, az alumínium köpeny pedig az áramot.

Összefüggés. Azonos hosszúság és megengedett ellenállás mellett a szükséges keresztmetszet:

$$A = \rho \cdot \frac{l}{R}$$

Ezért ha egy rézhez méretezett méretet alumíniumra cserélünk, a keresztmetszetet kb. 1,6-szorosára kell növelni ahhoz, hogy az ellenállás ne nőjön.

9.1.5. Kidolgozott példák

1. példa – Azonos ellenállású Cu és Al vezeték keresztmetszete

Számítás. Adott: $l = 100\,\mathrm{m}$, megengedett ellenállás $R = 0{,}35\,\Omega$.

Réz:

$$A_{\mathrm{Cu}} = \rho_{\mathrm{Cu}} \cdot \frac{l}{R} = 0{,}0175\,\frac{\Omega \cdot \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}} \cdot \frac{100\,\mathrm{m}}{0{,}35\,\Omega} = 5{,}0\,\mathrm{mm}^2$$

Alumínium:

$$A_{\mathrm{Al}} = 0{,}028\,\frac{\Omega \cdot \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}} \cdot \frac{100\,\mathrm{m}}{0{,}35\,\Omega} = 8{,}0\,\mathrm{mm}^2$$

A szabványos szelvényekből a gyakorlatban $6\,\mathrm{mm}^2$ réz és $10\,\mathrm{mm}^2$ alumínium jönne szóba. Az ellenőrzés: az Al-keresztmetszet éppen $8/5 = 1{,}6$-szorosa a rézének.

Megjegyzés. Alumínium vezetőt fix telepítésben csak a szabvány szerinti legkisebb keresztmetszettől és Al-bekötésre minősített kötőelemmel szabad alkalmazni (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52, a legkisebb keresztmetszetek táblázata); a lakásvezetékeknél új szerelésben rezet használunk, a kis keresztmetszetű Al-vezető itt csak számítási szemléltetés.

2. példa – Tömeg-összehasonlítás

Számítás. A tömeg:

$$m = A \cdot l \cdot \gamma$$

ahol γ a sűrűség. A fenti minimális keresztmetszetekkel:

Réz:

$$m_{\mathrm{Cu}} = 5\,\mathrm{mm}^2 \cdot 100\,\mathrm{m} \cdot 8{,}9\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{dm}^3} = 5 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^2 \cdot 100\,\mathrm{m} \cdot 8900\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} = 4{,}45\,\mathrm{kg}$$

Alumínium:

$$m_{\mathrm{Al}} = 8 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^2 \cdot 100\,\mathrm{m} \cdot 2700\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} = 2{,}16\,\mathrm{kg}$$

Az azonos ellenállású alumíniumvezető tehát lényegesen könnyebb, viszont vastagabb, ezért a szerelvényekben, csatlakozókban több helyet igényel.

9.1.6. Korrózió, galvánkorrózió és a Cu–Al kötés problémája

Definíció. A *korrózió* a fémeknek a környezettel való kémiai vagy elektrokémiai reakciója, amely az anyag felületét vagy tömegét pusztítja. A *galvánkorrózió* két különböző fém érintkezésekor és elektrolit, például nedvesség jelenlétében fellépő elektrokémiai korrózió.

A galvánkorrózióban a kevésbé nemes fém oldódik, a nemesebb fém védve marad. A réz nemesebb, mint az alumínium, ezért nedves, szennyezett környezetben a Cu–Al érintkezésnél az alumínium korrodálódik, a kötés ellenállása nő, melegszik, és végül a csatlakozó tönkremegy vagy tüzet okoz.

A Cu–Al kötéseknek azonban nem kell elektrolit ahhoz, hogy problémásak legyenek. Három további hatás akkor is érvényesül:

1. **Oxidréteg.** Az alumínium felületén kemény Al_2O_3 réteg képződik, amely elektromosan szigetelő, ezért a kötés kialakítása előtt megfelelő módon fel kell tárni (drótkefével megtisztítani), és oxidgátló kontaktzsírral kell megakadályozni az újraképződést; sodrott Al-vezetőn a gyártó által előírt Al-érvéghüvely vagy saru is kell.
2. **Hőtágulási különbség.** Az alumínium hőtágulási együtthatója nagyobb a rézénél (Al kb. $23 \cdot 10^{-6}\,1/\mathrm{K}$, Cu kb. $17 \cdot 10^{-6}\,1/\mathrm{K}$, ellenőrizendő az anyagminőség szerint). Terhelési ciklusoknál a kötés „lélegezni” kezd, a csavarnyomaték csökken, az érintkezési nyomás csökken.
3. **Kúszás.** Az alumínium a tartós mechanikai nyomás alatt lassan alakváltozik, ezért a csavarozott alumíniumkötés idővel meglazulhat.

Szabály. A réz és alumínium vezetők közvetlen fém-fém összekötése tilos, ha nincs erre kifejezetten alkalmas, bimetál vagy alumínium-bekötésre minősített kötőelem. A megengedett megoldások:

- Cu–Al bimetál saru, összekötő vagy sorkapocs,
- alumínium bekötésre minősített sorkapocs,
- megfelelően előkészített Al-érvéghüvely és kontaktzsír,
- gyártó által megadott csavarnyomaték és utánaellenőrzés.

Továbbvitt eredmény. A Cu–Al kötések hőciklus-, oxid- és kúszási problémái, valamint az ezekre alkalmazott bimetál csatlakozók és minősített kötőelemek szabálya a későbbi szerelési alfejezetekben minden csatlakozás kialakításánál érvényes marad.

9.1.7. Egyéb fémek és ötvözetek

Ezüst. Az ezüst a legjobb fajlagos vezetőképességű fém, de ára miatt nem kábelérnek használjuk. Erősáramú kapcsolók, megszakítók és relék érintkezőinek felületén vékony ezüstbevonat növeli a vezetőképességet és csökkenti az átmeneti ellenállást. Hátránya, hogy kénvegyületek hatására elszíneződik.

Arany. Az arany kiváló korrózióállóságú, ezért törpefeszültségű elektronikai csatlakozókon, mérő-, jelfeldolgozó és híradástechnikai érintkezőkön használják. Erősáramú, nagy áramú kontaktuson nem jellemző, mert puha és drága.

Ón. Az ón a forraszanyagok alapfémje, és galvanikus bevonatként védi a réz- vagy acélfelületet. Rézvezeték *ónozott* vége jó jelátviteli csatlakozásokban hasznos, de sodrott erősáramú vezető csavaros kötésben való „ónozása” önmagában tilos vagy kerülendő, mert a lágy ón kúszik, idővel meglazítja a kötést. Ilyen helyre érvéghüvely való.

Ólom. Az ólom puha, korrózióálló fém, régebben kábelköpenyként és akkumulátorlemezként használták. Az ólom és vegyületei egészségkárosítóak, ezért alkalmazását környezetvédelmi előírások korlátozzák (ellenőrizendő: RoHS-irányelv és mentességei). Ma főként ólomakkumulátorokban és különleges (például nagyfeszültségű, vegyszerálló) kábelköpenyekben találkozunk vele; épületvillamossági szerelésben ólmot tartalmazó új anyagot (például ólmos forraszt) nem használunk. A forraszanyagokban is ólommentes ötvözeteket írnak elő a környezetvédelmi szabályok.

Cink. A cink elsősorban acélfelületek horganyzott védőrétegeként jelenik meg. A horganyzott acél kábeltálca, védőcső, szerelőlemez, földelőrúd és földelőszalag jó kompromisszumot ad: az acél adja a szilárdságot, a cinkréteg a korrózióvédelmet. A cink a galvánsorban az acélnál kevésbé nemes, ezért először a cinkréteg korrodálódik, és így védi az acélt.

Nikkel. A nikkel kemény, korrózióálló bevonatot ad. Lágyforraszthatóságot, kopásállóságot és vegyszerállóságot igénylő felületeken használják. Nikkel-króm ötvözetekből készülnek a fűtő- és ellenálláshuzalok, mert nagy a fajlagos ellenállásuk, és magas hőmérsékleten is stabilak.

9.1.8. Szabvány

Szabvány. A kábelerek vezetőanyagára, hajlékonysági osztályára és megengedett legnagyobb ellenállására a vonatkozó termékszabvány ad előírást; a kábel vezetőereire jellemzően az MSZ EN 60228 (kábelek vezetői) szabványt alkalmazzák (pontos kiadás és osztály ellenőrizendő). A villamos berendezések anyag- és kötéskiválasztásánál emellett az MSZ HD 60364 sorozat szerelési követelményeit, a csatlakozóelemekre pedig a gyártói adatlapokat és a csatlakozó-szabványokat kell figyelembe venni. A fémek pontos fajlagos ellenállása az anyagminőségtől és a gyártási osztálytól függ, ezért méretezésnél mindig az aktuális szabványt és gyártói adatot használjuk.

9.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy régi társasházi elosztóban alumínium betápkábelhez kellett új réz elosztósínt csatlakoztatni. A szerelő a régi gyakorlat szerint egyszerűen egy sárgaréz sorkapocsba szorította az Al betápkábelt, majd a kapocsból réz vezetővel ment tovább. Az átadáskor a kötés hideg volt, működött. Hónapokkal később időszakos hőkamerás (termográfiai) vizsgálaton a kötésnél szigeteléselszíneződés, megégett csavarfej és megpuhult szigetelés látszott, a csavar utána húzható volt, pedig korábban nyomatékkal lett meghúzva. Az ok a hőtágulási ciklus, az Al kúszása és a nedvesség okozta galvánkorrózió volt. A javítás bimetál Cu–Al csatlakozóval, oxidmentesítéssel, kontaktzsírral és a gyártó nyomatékértékével készült. Ez az eset mutatja, hogy a „szoros csavar” önmagában nem helyettesíti a helyes anyagpárosítást és szereléstechnikát.

9.1.10. Tipikus hibák

Hiba. Réz sorkapocsba közvetlenül szorítanak alumínium vezetőt, mert „látszólag passzol”. A kötés idővel melegszik, ellenállása nő, és tüzet okozhat. Helyes: bimetál kötőelem, Al-bekötésre minősített kapocs, vagy Cu–Al saru.

Hiba. Az alumíniumfelületet nem tisztítják meg, és a vékony oxidrétegre húzzák a csatlakozót. A kötés már az első napon nagy átmeneti ellenállású lehet, pedig a csavar szoros. Helyes: oxidmentesítés, az Al-felületre való kontaktzsír vagy Al-érvéghüvely, a gyártó előírása szerint.

Hiba. Sodrott rézvezetőt beónoznak, majd csavaros sorkapocsba szorítják. Az ón kúszik, a kötés meglazul. Helyes: érvéghüvely vagy a sorkapocs típusának megfelelő vezetővég-kialakítás.

Hiba. A terhelhetőséget szorosan számolva réz helyett azonos keresztmetszetű alumíniumot építenek be, mert „az alumínium is vezet”. Az ellenállás kb. 1,6-szoros, a feszültségesés és a melegedés nagyobb lehet. Helyes: anyagváltáskor a keresztmetszetet és a szerelési módot újra kell számolni.

Hiba. Kültéri vagy párás környezetben a réz és horganyzott acél kötést nem védik le. A cinkréteg feláldozó bevonatként korrodálódik, az acél később rozsdásodik. Helyes: megfelelő tömített kötés, korróziógátló bevonat, vagy a környezetnek megfelelő rozsdamentes anyag.

9.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az alumínium fajlagos ellenállása kisebb, mint a rézé.
2. Miért használnak alumíniumot nagy keresztmetszetű kábelekben annak ellenére, hogy ellenállása nagyobb?
3. Mi a galvánkorrózió feltétele?
4. Miért nem elegendő a csavaros Cu–Al kötésnél a nagy csavarnyomaték?
5. Melyik fém a legjobb fajlagos vezető, és miért nem abból készül a kábelér?
6. Hol jellemző az aranybevonat a villamosiparban?

9.1.12. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a réz három előnyét és három hátrányát épületvillamossági vezetőként.

2. feladat (A) Számítsd ki 30 m hosszú, $4\,\mathrm{mm}^2$ keresztmetszetű vörösréz vezető ellenállását $20\,^\circ\mathrm{C}$-on.

3. feladat (B) Egy berendezéshez 50 m hosszú vezető kell, és a megengedett ellenállása legfeljebb $0{,}12\,\Omega$. Mekkora minimális réz-, illetve alumíniumkeresztmetszet kellene? Melyik szabványos méretet választanád $1{,}5; 2{,}5; 4; 6; 10; 16\,\mathrm{mm}^2$ közül?

4. feladat (B) Egyfázisú áramkörön 16 A üzemi áram folyik, a fogyasztó $l = 20\,\mathrm{m}$ távolságra van (egyirányú vezetékhossz), a vezeték $10\,\mathrm{mm}^2$ réz, illetve $16\,\mathrm{mm}^2$ alumínium. Számítsd ki mindkét esetben a feszültségesést $\Delta U = 2 \cdot I \cdot R$ közelítéssel, ahol R az egyirányú, 20 m-es ér ellenállása; $\cos\varphi = 1$.

5. feladat (C) Egy kültéri elosztóban réz és alumínium vezető csatlakozik egy hagyományos sorkapocsban. A kötés időnként melegszik, a csavar utánaenged, a felületen fehér por látszik. Mi történik, és mi lenne a helyes megoldás?

6. feladat (D) Tervezz meg egy anyagválasztási döntést: egy társasházi alelosztó (vagy hűtőgépház) betápja $5 \times 50\,\mathrm{mm}^2$ keresztmetszetű lenne rézből, de tömegcsökkentés miatt alumíniumra cserélnéd. Milyen szempontokat vizsgálsz, és milyen szerelési feltételeket szabnál?

9.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Az alumínium fajlagos ellenállása kb. $0{,}028\,\Omega\cdot\mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$, a rézé kb. $0{,}0175\,\Omega\cdot\mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$, tehát az alumínium ellenállása nagyobb.
2. Az alumínium sűrűsége kb. harmada a rézének, ezért az azonos ellenállású vezető tömege kisebb. Nagy keresztmetszetnél ez csökkenti a tartószerkezeti terhelést és a szerelési tömeget.
3. Két különböző fém fémes érintkezése + elektrolit, például nedvesség.

4. Mert az alumínium hőtágulása nagyobb, kúszik, a felületen szigetelő oxidréteg is lehet, és a rézzel való közvetlen érintkezés galvánkorróziót okozhat; a csavar „szorossága” idővel nem marad meg.
5. Az ezüst, de drága és puha, ezért csak érintkezőbevonatnak használjuk.
6. Törpefeszültségű, korrózióálló csatlakozókban, elektronikai és híradástechnikai berendezésekben.

1. feladat

Réz előnyei: nagyon jó vezetőképesség, jó mechanikai megmunkálhatóság, stabil, megbízható kötések. Hátrányai: nagy sűrűség (nehéz vezető, erősebb tartószerkezet kell), változó és jellemzően magas ár, valamint a nagy anyagérték miatti lopásveszély a szabadon szerelt vezetékeknél.

2. feladat

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} = 0{,}0175 \cdot \frac{30}{4} = 0{,}13125\,\Omega$$

Kerekítve: $R \approx 0{,}13\,\Omega$. Ellenőrzés: $30/4 = 7{,}5$, $0{,}0175 \cdot 7{,}5 = 0{,}13125$.

3. feladat

Réz:

$$A_{\mathrm{Cu}} = \rho \cdot \frac{l}{R} = 0{,}0175 \cdot \frac{50}{0{,}12} = 7{,}29\,\mathrm{mm}^2 \Rightarrow 10\,\mathrm{mm}^2$$

Alumínium:

$$A_{\mathrm{Al}} = 0{,}028 \cdot \frac{50}{0{,}12} = 11{,}67\,\mathrm{mm}^2 \Rightarrow 16\,\mathrm{mm}^2$$

Ellenőrzés: az Al méret kb. $11{,}67/7{,}29 = 1{,}6$-szoros.

4. feladat

Réz $10\,\mathrm{mm}^2$:

$$R_{\mathrm{Cu}} = 0{,}0175 \cdot \frac{20}{10} = 0{,}035\,\Omega$$

$$\Delta U = 2 \cdot 16 \cdot 0{,}035 = 1{,}12\,\mathrm{V}$$

Alumínium $16\,\mathrm{mm}^2$:

$$R_{\mathrm{Al}} = 0{,}028 \cdot \frac{20}{16} = 0{,}035\,\Omega$$

$$\Delta U = 2 \cdot 16 \cdot 0{,}035 = 1{,}12\,\mathrm{V}$$

A két eset feszültségesése szándékosan azonos, mert a $16\,\mathrm{mm}^2$ alumínium kb. ugyanolyan ellenállású, mint a $10\,\mathrm{mm}^2$ réz. Ellenőrzés: $0{,}028/0{,}0175 = 1{,}6$, és $16/10 = 1{,}6$.

5. feladat

A fehér por az alumínium korróziós terméke, a melegedés a megnövekedett átmeneti ellenállás jele, a csavar utánaengedése a hőtágulási ciklus és az Al kúszása miatt van. A helyes megoldás: bimetál Cu–Al sorkapocs vagy Cu–Al összekötő, oxidmentesítés, kontaktzsír, gyártói nyomaték, és párás környezetben tömített, kültéri kivitelű kötőelem.

6. feladat

Vizsgálandó: a szükséges keresztmetszet (Al esetén kb. 1,6-szoros), a tényleges feszültségesés, a terhelhetőség a szerelési módban, a kapocstípusok Al-bekötési engedélye, a húzó- és hajlítási sugarak, a tömeg és a tartószerkezet, valamint a környezet. Az azonos ellenálláshoz szükséges Al-keresztmetszet $50 \cdot 1{,}6 = 80\,\mathrm{mm}^2$, a következő szabványos méret $95\,\mathrm{mm}^2$; ezt terhelhetőségre és feszültségesésre a Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők és a Feszültségesés és a vezeték méretezése alfejezet szerint ellenőrizni kell. Az öt ér (L1–L3, N, PE) helyett Al-kábelnél külön megfontolandó a PE és az N kialakítása is: a kisebb keresztmetszetű védő- vagy nullavezetőt, illetve a PEN-vezető alkalmazhatóságát az MSZ HD 60364 sorozat vonatkozó része és a gyártói adat szabja meg (ellenőrizendő: minimális PEN/PE keresztmetszet Al esetén). Feltételek: Al-kábelhez minősített, bimetál vagy Al-jelölésű csatlakozók, oxidmentesítés, kontaktzsír, nyomatékos csavarozás és dokumentált utánaellenőrzés. A pontos méretet a Feszültségesés és a vezeték méretezése alfejezetben bemutatott eljárás szerint kell ellenőrizni.

9.1.14. Rövid összefoglaló

A villamosiparban a két fő vezetőfém a réz és az alumínium. A réz fajlagos ellenállása kb. $0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$, az alumíniumé kb. $0{,}028\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$; az Al tehát nagyobb ellenállású, de kisebb sűrűsége miatt azonos ellenállású vezetőben is könnyebb. Az anyagválasztásnál az $R = \rho \cdot l/A$ összefüggést, a feszültségesést, a terhelhetőséget, a mechanikai szilárdságot és a korróziós viszonyokat együtt kell vizsgálni. Az acélt nem áramvezetőnek, hanem földelőnek, szerkezeti elemnek és szabadvezeték-magnak használjuk. A Cu–Al kötések különösen veszélyesek: az oxidréteg, a hőtágulási ciklus, a kúszás és a galvánkorrózió miatt csak bimetál vagy Al-bekötésre minősített kötőelemmel, megfelelő előkészítéssel és nyomatékkal szabad kialakítani. Az ezüstöt és aranyat érintkezőbevonatként, az ónt forrasztásra, az ólmot ma főként akkumulátorokban, a cinket horganybevonatként, a nikkelt bevonatként és ellenálláshuzal-ötvözetként alkalmazzuk. A Cu–Al csatlakozások szabálya (bimetál vagy minősített kötőelem, előkészítés, gyártói nyomaték) a későbbi szerelési alfejezetekben is érvényes marad.

9.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fajlagos ellenállás, sűrűség, hőtágulási együttható és szilárdság pontos értékei az anyagminőségtől, hőmérséklettől és a gyártási folyamattól függnek; a szövegben megadott értékek tanulási célú közelítések. Méretezéshez, kötéskialakításhoz és korróziós besoroláshoz a mindenkori anyagszabványok (például a kábelerekre vonatkozó MSZ EN 60228 sorozat, ellenőrizendő kiadás), a gyártói adatlapok és a hazai szerelési előírások az irányadók. A Cu–Al csatlakozók alkalmazhatóságát mindig az adott termék minősítő jelölésén, gyártói utasításán és a vonatkozó érvényes csatlakozó-szabványon kell ellenőrizni. Az ötvözetek, például rozsdamentes acél és nikkel-króm ellenálláshuzal esetén a pontos összetétel a termékcsaládtól függ.

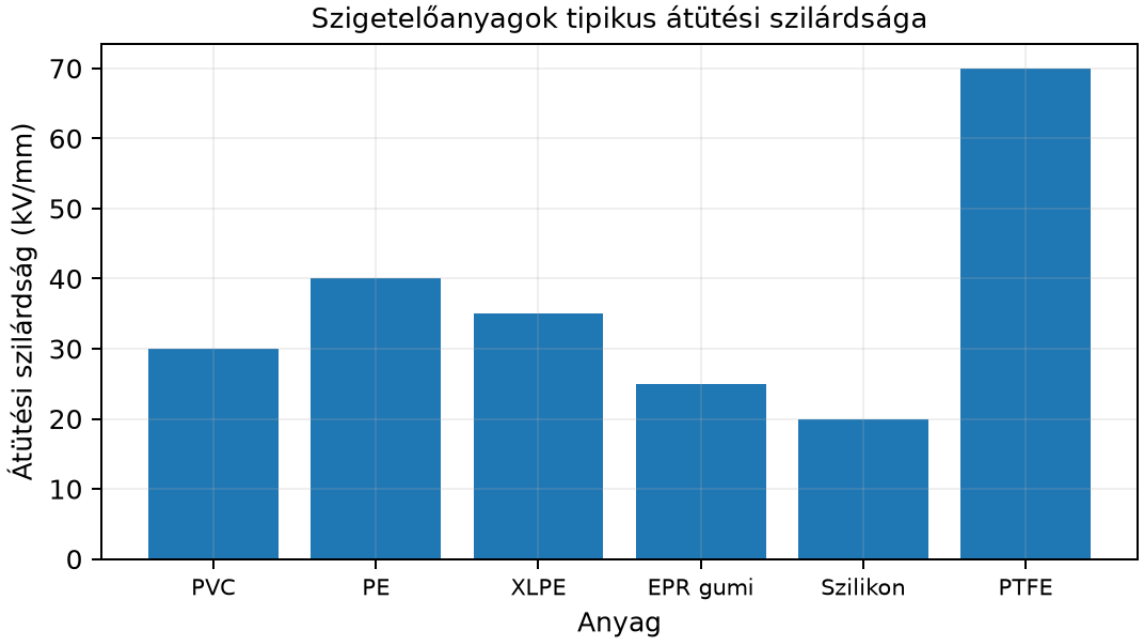
9.2. Szigetelőanyagok és műanyagok

9.2.1. Motiváció

A villanyszerelő munkája során lépten-nyomon szigetelőanyagokkal találkozik: kábelköpenyek, vezetékszigetelések, kapcsolóházak, sorkapocstestek, gyűjtősíntartók, szigetelőszalagok, tekercsvázak. Ha ezeket rosszul választja meg, a következmény nem csupán működési hiba: túlmelegedés, átütés, tűz vagy áramütés is lehet. Gondoljunk egy kazánházban vezetett régi kábelre, amelynek PVC-szigetelése megkeményedett és megrepedezett, vagy egy középületre, ahol tűz esetén a halogéntartalmú műanyagok maró füstgázt fejlesztenek. Az alábbiakban a szigetelőanyagok csoportosítását, legfontosabb jellemzőit és kiválasztási szempontjait tanuljuk meg, hogy a szerelő tudatosan válasszon anyagot a feszültség, a hőmérséklet és a környezet függvényében.

9.2.2. Szemléletes kép

A következő oszlopdiagram néhány gyakori szigetelőanyag tipikus átütési szilárdságát mutatja. A diagramon jól látható, hogy a hagyományos műanyagok (PVC, polietilén, gumi) nagyságrendileg 20–40 kV/mm értékekkel jellemezhetők, míg a fluoropolimerek (PTFE, köznyelvi nevén teflon) ennél lényegesen nagyobb villamos szilárdságot is elviselnek. A pontos értékek anyagonként, gyártónként és a vizsgálati körülményektől függően eltérnek, ezért az ábra csak nagyságrendi tájékoztatást ad.



9.2. ábra. Szigetelőanyagok tipikus átütési szilárdsága - Szemléltető középértékek, nem tervezési adatok; a pontos érték a gyártói adatlaptól és a vonatkozó szabványtól függ.

Ábraértelmezés. A diagram a szigetelőanyagok egyik legfontosabb mutatóját, az átütési szilárdságot hasonlítja össze. A gyakorlatban a villamos méretezésnél sohasem a diagramról leolvasott értékből indulunk ki, hanem a gyártói adatlap és a hőmérsékleti, nedvességi, öregedési tényezőket is figyelembe vevő szabványos eljárás szerint.

9.2.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Szigetelőanyag: olyan anyag, amelyben a szabad töltéshordozók (elektronok, ionok) koncentrációja nagyon kicsi, ezért a rajta átfolyó villamos áram elhanyagolhatóan kicsi. A gyakorlatban a szigetelőanyag nem tökéletes, mindig van egy kis szivárgási áram, de ez a szigetelési ellenálláson keresztül jellemezhető.

Definíció. Átütési szilárdság (villamos szilárdság, dielektromos szilárdság): az a térerősség, amelynél a szigetelőanyag elveszíti szigetelőképességét, és rajta átütés (villamos kisülés) következik be. Képlete:

$$E_d = \frac{U_{\text{átütés}}}{d},$$

ahol E_d az átütési szilárdság kV/mm-ben, $U_{\text{átütés}}$ az átütést okozó feszültség kV-ban, d a próbatest vastagsága mm-ben. A fogalom szinonimájaként használják a **villamos szilárdság** kifejezést is.

Definíció. Hőállósági osztály: a szigetelőanyag megengedett legnagyobb tartós üzemi hőmérsékletét jelölő betű- vagy számjelű osztály. Az osztály a szigetelés legmelegebb pontjára vonatkozik, és a szigetelőanyaggal elérhető élettartam alapján határozzák meg.

9.2.4. Szigetelőanyagok csoportosítása

A szigetelőanyagokat halmazállapotuk szerint három nagy csoportba soroljuk: **szilárd, folyékony és légnemű** szigetelők.

- **Szilárd szigetelők:** PVC, polietilén (PE), térhálósított polietilén (XLPE), gumi (természetes és szintetikus), szilikon, PTFE, epoxigyanta, fenolgyanta, poliuretán, poliamid, kerámia, üveg, csillám. A szilárd szigetelőket a villamosiparban a legszélesebb körben alkalmazzák vezeték- és kábelszigetelésként, kapcsoló- és szerelvényházakként, tekercsszigetelésként, szigetelő alátétekként.
- **Folyékony szigetelők:** ásványolaj alapú transzformátorolaj, szilikonolaj, egyes észteralapú folyadékok, növényi olajok. Elsősorban transzformátorok, kondenzátorok és nagy igénybevételű kapcsolókészülékek szigetelésére és hűtésére használják őket.
- **Légnemű szigetelők:** levegő, nitrogén, kén-hexafluorid (SF_6). A levegő a leggyakoribb „ingyen” szigetelő, az SF_6 pedig kiváló átütési szilárdsága és ívoltó képessége miatt a nagyfeszültségű és a középfeszültségű (10–35 kV-os) kapcsolóberendezésekben – például kompakt transzformátorállomásokban, gyűrűs (RMU) berendezésekben – is elterjedt. (Az SF_6 üvegházhatása miatt környezetvédelmi okokból ma már keresik a helyettesítőjét; ez a szerelői gyakorlatban a középfeszültségű ipari csatlakozási helyeken is megjelenhet. Ív után az SF_6 bomlástermékei mérgezők és maróak; az ilyen berendezés megbontását csak erre kiképzett személy végezheti – ellenőrizendő: F-gáz-szabályozás.)

Anyagi eredetük szerint beszélhetünk **természetes** (csillám, gumi, fa, papír) és **mesterséges** szigetelőanyagokról. A modern villamosiparban a mesterséges (szintetikus) műanyagok dominálnak, mert tulajdonságaik jól szabályozhatók.

9.2.5. Villamos szilárdság és átütési szilárdság

Az átütési szilárdság a szigetelőanyag egyik legfontosabb villamos jellemzője. A levegő átütési szilárdsága normál állapotban körülbelül 3 kV/mm, a transzformátorolajé 15–20 kV/mm. A szilárd műanyagoké ennél nagyobb: a PVC, PE, XLPE, gumi és szilikon anyagok jellemzően 20–40 kV/mm értékekkel jellemezhetők, a PTFE pedig akár 60–80 kV/mm-t is elérhet. (Ezek az értékek tájékoztató jellegűek, a pontos adat a gyártói katalógusban található. **Ellenőrizendő: aktuális gyártói adatlap.**)

A szigetelőanyag átütését két fő mechanizmus okozhatja:

- **Elektromos átütés:** nagy térerősség hatására a töltéshordozók lavinaszerűen megsokszorozódnak, és a szigetelőanyag vezetővé válik. Ez többnyire gyors, szinte azonnali folyamat.
- **Termikus átütés:** a szivárgási áram és a dielektromos veszteségek felmelegítik az anyagot, ami csökkenti a szigetelési ellenállást, ami tovább növeli az áramot, végül hőfutás és tönkremenetel következik be. Ez lassabban, hosszabb terhelés alatt alakul ki.

A gyakorlatban a szigetelőanyagok öregedését, a nedvességfelvételt, a mechanikai sérüléseket és a szennyeződéseket is figyelembe kell venni. Egy szigetelés sosem bír el tartósan annyi feszültséget, mint amennyit a pillanatnyi átütési szilárdsága alapján számíthatnánk; a tervezők ezért jelentős biztonsági tényezővel dolgoznak.

9.2.6. Hőállósági osztályok

A villamos szigetelőanyagokat a megengedett maximális tartós üzemi hőmérsékletük szerint szabványos osztályokba soroljuk. A leggyakoribb osztályok:

Osztály	Megengedett tartós hőmérséklet	Tipikus anyagok
Y	90 °C	pamut, papír, természetes cellulóz
A	105 °C	impregnált pamut, papír, egyes lakkok
E	120 °C	hőálló lakkok, bizonyos műgyanták
B	130 °C	üvegszálas epoxi, csillámos szigetelések
F	155 °C	üvegszál, csillám, magas hőfokú műgyanták
H	180 °C	szilikon, üvegszál, csillám
200 (N)	200 °C	speciális szilikon- és üvegszál/csillám alapú rendszerek
220 (R)	220 °C	speciális üvegszál/csillám alapú rendszerek
250	250 °C	kerámia, csillám, egyes szervetlen anyagok

A régi terveken és adatlapokon „C” (180 °C felett) osztályjelölést is találsz; ezt a számjegyes osztályok váltották fel (ellenőrizendő: MSZ EN 60085, a betűjelek és a számjegyes osztályok megfeleltetése).

A betűs hőállósági osztályokat elsősorban gépek, transzformátorok tekercsszigetelési rendszereire használjuk; a kábeleknél a megengedett legnagyobb vezetőhőmérséklet a jellemző adat (PVC kb. 70 °C, XLPE/EPR kb. 90 °C – ellenőrizendő: kábel-termékszabvány vagy adatlap).

A táblázat osztályhatárai a szigetelőanyag **legmelegebb pontjára** vonatkoznak. A hőmérsékleti osztály kiválasztásakor a szerelőnek ismernie kell a gép vagy hálózat üzemi hőmérsékletét. Például egy motor tekercselésénél a rézveszteség, a vasveszteség és a környezeti hőmérséklet együttesen határozza meg a tekercs hőmérsékletét. Ha a mért legmelegebb pont 140 °C, akkor F osztályú szigetelőanyagot kell választani, mert az 155 °C-ig tűri a tartós hőt. A pontos melegedési határokat a gép szabványa és a gyártó adatlapja rögzíti, ezért a táblázat értékei tájékoztató jellegűek. **(Ellenőrizendő: hatályos szabványok és gyártói adatlapok.)**

Továbbvitt eredmény. A hőállósági osztályokat, a hozzájuk tartozó tipikus anyagokat és a villamos szilárdság fogalmát használjuk a Passzív alkatrészek: ellenállás, kondenzátor, tekercs alfejezetben, ahol az ellenállások és kondenzátorok szigetelését is vizsgáljuk; a Vezeték- és kábeltípusok, jelölésrendszer alfejezetben, ahol a kábelek szigetelőanyagai és hőállósági adatai szerepelnek; továbbá a Vaslemezek, tekercsvezetők és szigetelési osztályok alfejezetben, ahol a motor- és transzformátortekercsek szigetelési rendszerét mélyítjük el.

9.2.7. Éghetőség és halogénmentes anyagok

A szigetelőanyagok éghetősége tűzvédelmi szempontból kulcsfontosságú. A műanyagok többsége éghető, ezért a villamosipari alkalmazásban **égésgátló adalékokkal** módosítják őket. A leggyakoribb égésgátló adalékok halogéneket (klórt, brómot) tartalmaznak; a PVC maga is halogéntartalmú (klórtartalmú) polimer.

A halogéntartalmú anyagok égésekor **maró, mérgező füstgázok** (pl. sósav) keletkeznek. Ezért középületekben, alagutakban, egészségügyi intézményekben, járművekben egyre gyakrabban írnak elő **halogénmentes** (HFFR, LSZH, azaz Low Smoke Zero Halogen) kábeleket. Ezek égésekor kevesebb füst és kevésbé maró gáz keletkezik, így a menekülési útvonalak és a tűzoltói beavatkozás szempontjából kedvezőbbek.

Az éghetőség jellemzésére szabványos vizsgálatokat és osztályokat használnak (pl. éghetőségi fokozatok, csepegés, füstgázsűrűség, korrozivitás). A szerelőnek nem kell minden vizsgálati módszert fejből ismernie, de tudnia kell, hogy a létesítési előírás vagy a megrendelő halogénmentes kábelt írhat elő, és ilyenkor a kábel jelöléséből kell felismernie a követelményt. Az épületbe tartósan beépített kábelek tűzviselkedési osztályát a CPR (az építési termékekről szóló uniós rendelet) szerinti Euroclass jelzi, például Cca-s1,d1,a1 (ellenőrizendő: MSZ EN 50575, MSZ EN 13501-6 és az OTSZ/TvMI alkalmazási követelményei). Az „s” a füstképzés, a „d” az égő csepegés, az „a” a savasság fokozata; a „halogénmentes” tulajdonság önmagában nem jelent jobb tűzviselkedési osztályt.

9.2.8. Fontos műanyagok a szerelői gyakorlatban

A következő anyagokkal találkozik leggyakrabban a villanyszerelő:

- **PVC (polivinil-klorid):** olcsó, jól megmunkálható, jól égésgátolható, de hőállósága korlátozott; tartós üzemi hőmérséklete jellemzően 70 °C körül van (pontos érték a típustól függ). Vezeték- és kábelszigetelések, szerelvényházak, szigetelőszalagok.
- **PE (polietilén):** kiváló vízzáró képesség és jó villamos szilárdság, de éghető és hőállósága mérsékelt; kültéri kábelköpenyek, szigetelések.

- **XLPE (térhálósított polietilén):** a PE térhálósításával jobb hőállóságot és mechanikai tulajdonságokat kapunk; kábelszigetelésként a megengedett tartós vezetőhőmérséklete jellemzően kb. 90 °C (ellenőrizendő: kábel-termékszabvány vagy adatlap); nagyfeszültségű kábelekben is elterjedt.
- **Gumi (természetes és szintetikus, pl. EPR, EPDM):** rugalmas, jó villamos és mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik; hőállósága a típustól függ (az EPR-szigetelésű kábelek vezetőhőmérséklete jellemzően kb. 90 °C – ellenőrizendő: adatlap); hajlékony vezetékek, bevezető kábelek, hosszabbítók.
- **Szilikon:** kiváló hőállóság (kb. 180 °C-ig, ellenőrizendő: gyártói adatlap), nagy rugalmasság, de gyengébb mechanikai szilárdság és magasabb ár; magas hőmérsékletű környezetben (pl. sütők, fűtőberendezések) használják.
- **PTFE (politetrafluoretilén, teflon):** rendkívül nagy villamos szilárdság, kiváló hőállóság (kb. 260 °C-ig, ellenőrizendő: gyártói adatlap), vegyszerállóság, de nehezen megmunkálható és drága; speciális mérőkábelek, nagyfrekvenciás kábelek, hőálló alkatrészek.

A kiválasztás során nem csak a hőmérséklet és a feszültség, hanem a mechanikai igénybevétel, a nedvesség, az UV-sugárzás, a vegyszerek és az éghetőségi követelmények is számítanak.

9.2.9. Műanyag megmunkálása és alkalmazása szerelvényekben

A műanyagok két fő csoportja a **hőre lágyuló (termoplasztikus)** és a **hőre keményedő (duroplasztikus)** anyagok.

- **Hőre lágyuló műanyagok** (PVC, PE, PP, poliamid, polikarbonát): melegítve megolvadnak, újra formázhatók, hegeszthetők. Tipikus feldolgozási eljárások: fröccsöntés, extrudálás, vákuumformázás. A szerelvények, kábelszigetelések, gyűjtősíntartó bakok, sorkapocstestek gyakran hőre lágyuló műanyagból készülnek.
- **Hőre keményedő műanyagok** (epoxi, fenolgyanta, üvegszál erősítésű poliészter): melegítve megkeményednek, nem olvaszthatók újra, csak forgácsolással vagy csiszolással munkálhatók meg. Nagy mechanikai és hőállóságuk miatt kapcsolókészülékek, gyűjtősíntartók, transzformátortekercs-vázak anyagai.

A szerelőnek a gyakorlatban alapvetően nem gyártania, hanem **beépíteni és utólag megmunkálni** kell a műanyag alkatrészeket. Ehhez ismernie kell az anyagok tulajdonságait:

- A hőre lágyuló műanyagok fúrhatók, menetvághatók, de melegítésre deformálódhatnak. Csavarozáskor ügyelni kell a megfelelő nyomatékra, mert a túlhúzás a ház vagy a menet töréséhez vezet.
- A hőre keményedő műanyagok nem olvaszthatók, ezért a túlmelegedésre nem lágyulnak meg, hanem elszenesednek. Az ilyen alkatrészeket nem szabad hővel formálni, és a fúrásnál keletkező por egészségkárosító lehet.
- A szerelvények (kapcsolók, aljzatok, kötődobozok) anyaga lehet hőre keményedő (pl. fenolgyanta, köznyelvi nevén bakelit) vagy hőre lágyuló (pl. polikarbonát). A polikarbonát jól tűri az ütést, de oldószerekre érzékeny, a fenolgyanta pedig hőállóbb.

A műanyagok megmunkálásakor mindig tartsuk be a gyártó utasításait, és gondoskodjunk megfelelő szellőzésről, mert egyes műanyagok hegesztése, vágása egészségre ártalmas gázokat fejleszthet.

9.2.10. Kidolgozott példák

1. példa – Átütési feszültség becslése (tanulási cél)

Adott: egy 0,4 mm vastag PVC fólia, amelynek gyártói átütési szilárdsága $E_d = 30\,\mathrm{kV/mm}$. **Keresett:** mekkora feszültséget bírna el elméletileg a fólia egyenletes térerősség esetén? **Képlet:** $U_{\text{átütés}} = E_d \cdot d$. **Behelyettesítés:**

$$U_{\text{átütés}} = 30\,\frac{\mathrm{kV}}{\mathrm{mm}} \cdot 0{,}4\,\mathrm{mm} = 12\,\mathrm{kV}.$$

Ellenőrzés: a kapott 12 kV elméleti érték. A valóságban a szigetelés vastagsága, a hőmérséklet, a nedvesség és a hosszú távú öregedés miatt a megengedett üzemi feszültség ennél lényegesen kisebb, ezért a gyakorlatban a tervezők biztonsági tényezőt alkalmaznak (jellemzően 5–10-szeres tartalékot). **Figyelem:** ez a számítás csak az átütési szilárdság fogalmát szemlélteti, nem helyettesíti a szabványos szigetelési méretezést.

2. példa – Hőállósági osztály kiválasztása motor tekercseléséhez

Adott: egy motor üzemi mérése során a tekercs legmelegebb pontján 140 °C hőmérsékletet mérünk. A motor törpefeszültségű rendszerben dolgozik, a környezeti hőmérséklet 40 °C. **Keresett:** milyen hőállósági osztályú szigetelőanyagot válasszunk? **Megoldás:** a hőállósági osztály táblázatából az F osztály 155 °C tartós hőmérsékletet enged meg. Mivel a mért 140 °C ez alatt van, az F osztály megfelelő lehet, de ha további hőmérséklet-emelkedés várható, H osztályt (180 °C) érdemes választani. A pontos melegedési határértékeket a motorszabvány és a gyártói adatlap adja meg, ezért a végső döntéshez azokat kell használni. **(Ellenőrizendő: aktuális szabványi melegedési határok.)**

9.2.11. Szabványi követelmények

Szabvány. A villamos szigetelőanyagok hőállósági osztályozását az MSZ EN 60085 szabvány írja le, amely a számjegyes osztályokat (90, 105, 120, 130, 155, 180, 200, 220, 250 °C) és a hozzájuk rendelt betűjeleket rögzíti (ellenőrizendő: a szabvány aktuális kiadása). A szigetelések villamos méretezéséhez az MSZ EN 60664 jellegű szabványt (szigetelési koordináció) kell figyelembe venni, amely a térerősség, a túlfeszültségek és a szennyezettség függvényében ad útmutatást. Kisfeszültségű villamos berendezésekben a szigetelőanyagok kiválasztására és alkalmazására az MSZ HD 60364 sorozat is követelményeket fogalmaz meg, különösen a tűzállóság és az éghetőség terén. A konkrét szabványszakaszokat, táblázatokat és határértékeket mindig a kiadás előtti ellenőrzés szerint kell pontosítani. **(Ellenőrizendő: hatályos szabványkiadások és pontos szakaszok.)**

9.2.12. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasházi kazánházban a szerelő azt tapasztalta, hogy a régi, PVC-szigetelésű kábelek köpenye megkeményedett, és hajlításkor megrepedezett. A kazánházban a hőmérséklet tartósan 60–70 °C körül volt, de a csövek közelében ennél is melegebb. A PVC hosszú távon nem tolerálja ezt a hőterhelést: a lágyítószerek kiöregednek, a szigetelés rideggé válik, és a repedésekbe nedvesség juthat. A szerelő a kábelcserénél XLPE szigetelésű, hőállóbb kábelt választott, és a fűtési környezetben az éghetőségi követelményeket is figyelembe véve halogénmentes kivitelt rendelt. Az eset tanulsága: a szigetelőanyag hőállóságát nem a pillanatnyi üzemi hőmérsékletből, hanem a legmelegebb pont várható tartós hőmérsékletéből kell meghatározni, és mindig a gyártói adatlapot kell alapul venni. A számítás is ezt támasztja alá: az XLPE-kábel 90 °C-os határa

70 °C-os környezetben csak kb. $\sqrt{(90-70)/(90-30)} \approx 0{,}58$-szoros terhelhetőséget enged (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 javítótényező-táblázat), ezért a keresztmetszetet is újra kellett ellenőrizni, és a kábelt a csövektől távolabb vezették; lásd a Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők alfejezetet.

9.2.13. Tipikus hibák

1. **„A vastagabb szigetelés arányosan nagyobb feszültséget bír.”** Ez csak közelítőleg igaz. A vastagabb szigetelés hőelvezetése romlik, a villamos tér eloszlása sem egyenletes, ezért a szigetelési képesség nem növekszik lineárisan a vastagsággal. A méretezést a szabványok és a gyártói adatok alapján kell végezni.
2. **PVC kábel használata a megengedett 70 °C-os vezetőhőmérsékletet túllépő helyen (meleg környezet és saját melegedés).** A PVC tipikus tartós üzemi hőmérséklete 70 °C körül van (típustól függően), ezért magasabb hőmérsékleten a lágyulás, öregedés és a szigetelési ellenállás csökkenése veszélyes. Ha a környezet és a saját melegedés együtt 70 °C feletti vezetőhőmérsékletet adna, XLPE-szigetelésű (90 °C-os vezetőhőmérsékletű) kábel kell, de a meleg környezet miatt csökkentett terhelhetőséggel (javítótényező, lásd Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők); tartósan 70–80 °C feletti környezetben szilikon vagy PTFE szigetelésű, hőálló kábel kell (ellenőrizendő: adatlap).
3. **A hőállósági osztály összekeverése a környezeti hőmérséklettel.** Az osztály azt a maximális hőmérsékletet adja meg, amelyet a szigetelőanyag a saját legmelegebb pontján elvisel, és nem a környező levegő hőmérsékletét. A környezeti hőmérséklet és a berendezés melegedése együttesen adja a szigetelés valódi hőmérsékletét.
4. **Éghetőség figyelmen kívül hagyása.** Ha a szigetelőanyag éghető, tűz esetén a láng terjedését és a füstképződést is értékelni kell. Középületekben, menekülési útvonalakon halogénmentes, csökkentett füstgázkibocsátású anyagokat kell előnyben részesíteni.

9.2.14. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: az átütési szilárdságot kV/mm mértékegységben adjuk meg. Válaszodat indokold!
2. Igaz vagy hamis: a PVC szigetelőanyag tartósan ellenáll 120 °C hőmérsékletnek. Válaszodat indokold!
3. Számolj: mekkora elméleti átütési feszültséget bír el egy 0,5 mm vastag XLPE lemez, ha átütési szilárdsága 35 kV/mm?
4. Mi a különbség a hőállósági osztály és az éghetőségi osztály között?
5. Miért választunk halogénmentes kábelt egy középület folyosójára?
6. Melyik anyagot választanád egy sütő belső vezetékének szigetelésére, és miért?

9.2.15. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a szigetelőanyag, a villamos szilárdság és a hőállósági osztály fogalmát. Add meg a villamos szilárdság képletét és a benne szereplő mennyiségek mértékegységét!

2. feladat (A). Add meg a következő anyagok megengedett tartós vezetőhőmérsékletét nagyságrendileg (kábelszigetelésként): PVC, PE, XLPE, természetes gumi, szilikon, PTFE. Melyik alkalmas 180 °C tartós hőmérsékletre?

3. feladat (B). Egy 2 mm vastag szigetelőréteg átütési szilárdsága 30 kV/mm.
a) Mekkora elméleti átütési feszültséget bír?

b) Ha a kábel névleges feszültsége 10 kV, mekkora a biztonsági tényező az elméleti átütéshez képest?
c) Miért nem szabad ezt a biztonsági tényezőt tervezési értékként használni?

4. feladat (B). Kültéri napelemes rendszerhez kábelt kell választani. A kábelnek UV-sugárzásnak, nedvességnek és $-25\,^{\circ}\mathrm{C}$ és $+90\,^{\circ}\mathrm{C}$ közötti hőmérséklet-ingadozásnak is ellen kell állnia (a modulok mögött ennél melegebb is lehet). Milyen szigetelő- és köpenyanyagot választanál, és miért? Indokold a választást!

5. feladat (C). Miért nem elegendő egy szigetelőanyag átütési szilárdságának ismerete a megbízható szigetelés kiválasztásához? Adj meg legalább három további tulajdonságot, és magyarázd el mindegyik szerepét egy kábelszigetelés esetén!

6. feladat (D). Egy kapcsolószekrényben a gyűjtősíntartó bakok megolvadtak, deformálódtak. A szerelőnek cserélnie kell őket.
a) Mi alapján választod ki a cserealkatrészt, és milyen anyagcsoportba (hőre lágyuló vagy hőre keményedő) tartozhat?
b) Milyen adatlapi jellemzőket ellenőriznél a cserealkatrész hőállóságának és éghetőségének megállapítására?
c) A gyűjtősínek közelében $100\,^{\circ}\mathrm{C}$-ot mértek. Mit jelent ez a mérés, és milyen adatlapi tartós hőmérsékletű síntartó építhető be? Miben különbözik ez a tekercsszigetelési rendszerek hőállósági osztályától (amelyet a Vaslemezek, tekercsvezetők és szigetelési osztályok alfejezet tárgyal)?

9.2.16. Megoldások

9.2.16.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** Az átütési szilárdság a térerősséget fejezi ki, ezért mértékegysége kV/mm vagy MV/m lehet. A kV/mm a villamosiparban elterjedt.
2. **Hamis.** A PVC tartós üzemi hőmérséklete jellemzően $70\,^{\circ}\mathrm{C}$ körül van, $120\,^{\circ}\mathrm{C}$-on hosszabb idő alatt lágyul, öregszik és szigetelőképességét veszti. Ilyen hőmérsékletre szilikon vagy PTFE szigetelésű, hőálló kábel kell (az XLPE tartós határa kb. $90\,^{\circ}\mathrm{C}$ – ellenőrizendő: adatlap).
3. $$U_{\text{átütés}} = E_d \cdot d = 35\,\frac{\text{kV}}{\text{mm}} \cdot 0{,}5\,\text{mm} = 17{,}5\,\text{kV}.$$
4. A hőállósági osztály azt mutatja, mekkora a megengedett maximális tartós üzemi hőmérséklet, míg az éghetőségi osztály azt, hogy az anyag mennyire gyullad meg, hogyan ég, mennyi füstöt és milyen gázokat fejleszt. A kettő nem függ össze közvetlenül: egy magas hőállóságú anyag is lehet éghető.
5. A halogénmentes kábel égésekor kevesebb füstöt és kevésbé maró gázokat fejleszt, mint a PVC. Folyosón, menekülési útvonalon ez csökkenti a füstmérgezés kockázatát, és javítja a tűzoltói beavatkozás feltételeit.
6. A sütő belső hőmérséklete akár 180–250 °C is lehet, ezért **szilikon** szigetelésű vezeték csak 180 °C-ig elegendő; efölött (kb. 250 °C-ig) **PTFE** alapú vagy üvegszál-szigetelésű hőálló vezeték kell (ellenőrizendő: adatlap).

9.2.16.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A).
- **Szigetelőanyag:** olyan anyag, amelyben a szabad töltéshordozók koncentrációja nagyon kicsi, ezért a rajta átfolyó áram elhanyagolhatóan kicsi.

- **Villamos szilárdság (átütési szilárdság):** az a térerősség, amelynél a szigetelőanyag elveszíti szigetelőképességét, és rajta átütés következik be. Képlete: $E_d = \frac{U_{\text{átütés}}}{d}$.
- **Hőállósági osztály:** a szigetelőanyag megengedett maximális tartós üzemi hőmérsékletét jelölő betű- vagy számjelű osztály (Y, A, E, B, F, H, 200, 220, 250; a régi „C” jelölés 180 °C felettit jelentett).
- A képletben E_d mértékegysége kV/mm, $U_{\text{átütés}}$ mértékegysége kV, d mértékegysége mm.

2. feladat (A).
- PVC: megengedett tartós vezetőhőmérséklet kb. 70 °C.
- PE: kb. 70 °C.
- XLPE és EPR: kb. 90 °C.
- Természetes gumi: kb. 60 °C (a típustól függ).
- Szilikon: kb. 180 °C.
- PTFE: kb. 260 °C.

(Ellenőrizendő: gyártói adatlap.) A betűs hőállósági osztályokat (Y…H) a gépek, transzformátorok tekercsszigetelési rendszereire használjuk, nem a kábelekre.
180 °C tartós hőmérsékletre a **szilikon** alkalmas, **PTFE** is.

3. feladat (B).
a) $U_{\text{átütés}} = E_d \cdot d = 30\,\frac{\text{kV}}{\text{mm}} \cdot 2\,\text{mm} = 60\,\text{kV}$.
b) Biztonsági tényező: $\frac{U_{\text{átütés}}}{U_{\text{névleges}}} = \frac{60\,\text{kV}}{10\,\text{kV}} = 6$.
c) Ez az elméleti biztonsági tényező nem használható tervezési értékként, mert a valós szigetelés hőmérséklettől, nedvességtől, öregedéstől, mechanikai sérülésektől és a villamos tér inhomogenitásától függően sokkal korábban tönkremehet, mint az ideális próbatest.

4. feladat (B).
Napelemes egyenáramú oldalra az erre minősített, halogénmentes, térhálósított szigetelésű és köpenyű PV-kábelt választjuk (MSZ EN 50618, pl. H1Z2Z2-K – ellenőrizendő: aktuális szabvány és gyártói adatlap), amely UV-, ózon- és időjárásálló, és a modul mögötti magasabb hőmérsékletre is méretezett. Indoklás: a térhálósított (XLPE/EPR jellegű) szigetelés és köpeny jó hőállóságot és hőciklus-tűrést ad, az UV-álló köpeny védi a szigetelést a napsugárzástól, a halogénmentes anyag tűz esetén kevesebb füstöt és maró gázt fejleszt. A PVC vagy PE köpenyű általános kábel nem PV-kábel, kültéri DC sztringvezetéknek nem megfelelő. **(A konkrét típus kiválasztása a gyártói adatlap és a vonatkozó szabvány szerint történik.)**

5. feladat (C).
Az átütési szilárdság önmagában nem elég, mert:
- **Hőállóság:** a folyamatos üzemi hőmérséklet határozza meg az élettartamot, a hőmérséklet-emelkedés csökkenti a szigetelési ellenállást.
- **Vízfelvétel és nedvességállóság:** a nedvesség csökkenti az átütési szilárdságot és korróziót okozhat.
- **Mechanikai tulajdonságok:** a szigetelésnek hajlítást, vibrációt, mechanikai igénybevételt kell elviselnie.
- **Vegyszerállóság:** savas vagy lúgos környezetben a megfelelő anyag kiválasztása elengedhetetlen.
Ezek együttesen biztosítják, hogy a szigetelés a teljes élettartam alatt megbízható maradjon.

6. feladat (D).
Előzetes lépések. A megolvadás túlmelegedés tünete (laza sínkötés, túlterhelés, felharmonikusok, rossz szellőzés), ezért előbb az okot kell megkeresni: hőkamerás vizsgálat, a kötések nyomatékának ellenőrzése, terhelőáram mérése. A cserét csak a feszültségmentesítés öt szabálya után végezzük (lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos részek lefedése). Cserealkatrészként a kapcsolószekrény gyártója által megadott

típus építhető be (MSZ EN 61439 – ellenőrizendő), mert a tervigazolás erre vonatkozik, nem „saját választású” anyagra.

a) A csere alapja a gyártó által megadott, a tervigazolásban szereplő síntartó. Ezek jellemzően hőre keményedő (UP-GF, epoxi) vagy nagy hőállóságú hőre lágyuló (pl. PA-GF) anyagból készülnek. Ha a gyártói típus nem kapható, az egyenértékűséget a gyártó igazolja; a szerelő nem választhat önállóan. A megolvadás oka a túlmelegedés volt, nem az anyagcsoport.

b) Az adatlapon ellenőrizendő: a legnagyobb tartós üzemi hőmérséklet, az izzóhuzalos vizsgálat (GWT) szerinti éghetőség, a villamos szilárdság és a kúszóáram-szilárdság (CTI) (ellenőrizendő: vonatkozó vizsgálati szabványok).

c) A 100 °C-os síntartó-környezet maga is rendellenes melegedésre utal: előbb az okot kell megszüntetni, és csak olyan alkatrész építhető be, amelynek adatlapi tartós hőmérséklete ennél nagyobb. A betűs hőállósági osztályok (pl. B, F) tekercsszigetelési rendszerekre valók, a síntartónál a gyártói adatlap tartós hőmérséklete és éghetőségi besorolása (például GWT-érték; ellenőrizendő) dönt. A hőállósági osztály (például B = 130 °C) tekercsszigetelési rendszerre vonatkozik.

9.2.17. Rövid összefoglaló

A szigetelőanyagok a villamos berendezés legfontosabb védelmi elemei: nélkülük az áram ellenőrizetlen utakon folyna. A szigetelőket halmazállapot szerint szilárd, folyékony és légnemű anyagokra csoportosítjuk. Legfontosabb villamos jellemzőjük az átütési szilárdság, amelyet $E_d = \frac{U_{\text{átütés}}}{d}$ képlettel számolunk, mértékegysége kV/mm. A hőállósági osztályok (Y, A, E, B, F, H, 200, 220, 250) a szigetelés megengedett maximális tartós üzemi hőmérsékletét adják meg; ezt kell használni a motorok, kábelek és egyéb berendezések kiválasztásakor. A PVC, PE, XLPE, gumi, szilikon és PTFE különböző hőmérséklet- és feszültségtartománya ismert; az éghetőség és a halogénmentesség tűzvédelmi szempontból döntő. A műanyagok hőre lágyuló és hőre keményedő csoportjai eltérő megmunkálást igényelnek. **Továbbvitt eredmény:** a szigetelési osztályok, az átütési szilárdság és a műanyagok jellemzői szükségesek a Passzív alkatrészek: ellenállás, kondenzátor, tekercs, a Vezeték- és kábeltípusok, jelölésrendszer és a Vaslemezek, tekercsvezetők és szigetelési osztályok alfejezetek megértéséhez.

9.2.18. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet a klasszikus villamosipari anyagismeret és a gyakorlati szerelői tapasztalat alapján készült. A hőállósági osztályok pontos határértékei, az egyes anyagok átütési szilárdsága, tartós hőmérsékleti határai és az éghetőségi osztályok a hatályos szabványok (pl. MSZ EN 60085, MSZ EN 60664, MSZ HD 60364) és a gyártói adatlapok szerint változhatnak, ezért ezeket a kiadás előtt célzottan ellenőrizni kell. A szabványszámokat, osztályértékeket és anyagjellemzőket nem szakirodalmi hivatkozásból vettük, hanem tájékoztató jelleggel adjuk meg. **(Ellenőrizendő: minden szabványhivatkozás és paraméterérték.)**

9.3. Passzív alkatrészek: ellenállás, kondenzátor, tekercs

9.3.1. Motiváció

A szerelő a hibakeresés során gyakran találkozik olyan panasszal, hogy „a LED-lámpa villog”, „a ventilátor fordulatszáma nem állítható”, vagy „a tápegység kimenete búg és a feszültség nem stabil”. Ilyenkor a hibát sokszor nem a félvezető, hanem egy passzív alkatrész – ellenállás, kondenzátor vagy tekercs – okozza. Ahhoz, hogy az alkatrészt azonosítani, kicserélni vagy megfelelővel pótolni tudjuk, pontosan le kell olvasni a jelölését, ismerni kell a tűrését, terhelhetőségét és feszültségosztályát. Ebben az alfejezetben ezt a három alapvető passzív alkatrészcsaládot tanuljuk meg.

9.3.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy nyitott LED-tápegységet. A bemeneti oldalon egy kisméretű, kék színű, feliratozott fémoxid-ellenállás ül, mellette egy sárga fóliakondenzátor, a kimeneti oldalon pedig egy hengeres alumínium elektrolitkondenzátor. A hálózati szűrőben egy vasmagos fojtótekercs látható. Mindegyik alkatrészen vagy színsávok, vagy szám-betű kódok vannak. A szerelőnek ezekből kell megállapítania, hogy az adott alkatrész milyen értékű, mekkora feszültségre és áramra méretezett, és hogy a cserealkatrész megfelel-e.

9.3.3. Definíciók és alkatrészcsaládok

Definíció. Passzív alkatrésznek nevezzük azokat az áramköri elemeket, amelyek nem erősítenek, nem vezérelnek aktívan, hanem az energiát tárolják, disszipálják vagy átalakítják. A három alapvető passzív alkatrész az ellenállás (R), a kondenzátor (C) és az induktivitás/tekercs (L).

9.3.3.1. Ellenállások

Definíció. Az ellenállás olyan kétkivezetésű alkatrész, amely a rajta áthaladó áram hatására feszültségesést hoz létre, és villamos energiát hővé alakít. Az ellenállás értéke ohmban (Ω) van megadva.

Fajták. A leggyakoribb rögzített ellenállások:

- **Szénréteg-ellenállás:** olcsó, kis teljesítményű, de zajosabb és pontatlanabb; ma már inkább csak régi készülékekben található.
- **Fémréteg-ellenállás:** pontosabb, kisebb zajú, jobb hőmérsékleti stabilitású; mérőáramkörökben, előtét- és munkaellenállásként használjuk.
- **Fémoxid-ellenállás:** nagyobb impulzustűrés, gyakran tápegységek bemeneti védelmében.
- **Huzalellenállás:** nagyobb teljesítmény (jellemzően 5–50 W), fékellenállásként, fűtő- vagy terhelőellenállásként alkalmazzuk; figyelni kell az induktivitására.
- **Vastagréteg / SMD ellenállás:** felületszerelt kivitel, a jelölés gyakran három- vagy négyjegyű számkód, például `472` jelentése $47 \times 10^2\ \Omega = 4{,}7\,\mathrm{k}\Omega$.

Változtatható ellenállások. A potenciométer háromkivezetésű, tengellyel állítható ellenállás, a trimmer (utánállító) pedig kis méretű, csavarhúzóval állítható. A bekötésnél a középső kivezetés a csúszka; a másik kettő a pálya vége.

Jelölés: színkód. A kivezetéses (THT) ellenállásokon gyakran négy vagy öt színsáv van. A négy sávos kód első két sávja az első két számjegy, a harmadik a szorzó (tíz hatványa), a negyedik a tűrés. Öt sávosnál az első három sáv számjegy, a negyedik a szorzó, az ötödik a tűrés. A színek értékei:

Szín	Számjegy	Szorzó	Tűrés
Fekete	0	10^0	–
Barna	1	10^1	±1 %
Vörös (piros)	2	10^2	±2 %
Narancs	3	10^3	–
Sárga	4	10^4	–
Zöld	5	10^5	±0,5 %
Kék	6	10^6	±0,25 %
Ibolya (lila)	7	10^7	±0,1 %
Szürke	8	10^8	±0,05 %
Fehér	9	10^9	–
Arany	–	10^{-1}	±5 %
Ezüst	–	10^{-2}	±10 %

A kék, ibolya és szürke sáv tűrésértéke az ötsávos precíziós ellenállásokon fordul elő; a „–” jelölésű színek nem tűrésszínek (ellenőrizendő: IEC 60062).

E-sorok. A gyártók nem minden elképzelhető értéket gyártanak, hanem az IEC 60063 szerinti E6, E12, E24, E48, E96 sorokat. Az E12 sor egy évtizeden belül 12 értéket ad: 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2. A következő évtizedben ezek tízszeresei következnek.

9.3.3.2. Kondenzátorok

Definíció. A kondenzátor két, szigetelővel elválasztott vezető lemezből áll, és villamos energiát tárol a dielektrikumban létrejövő villamos térben. A kapacitás egysége a farad (F); a gyakorlatban μF, nF és pF nagyságrendeket használunk.

Fajták.

- **Fóliakondenzátor:** dielektrikuma műanyag fólia (poliészter, polipropilén). Jó nagyfrekvenciás viselkedés, nincs polaritás. Jellemző érték: 1 nF – 10 μF. Motorindító/üzemi kondenzátorként, szűrőkben, időzítőkben használjuk.
- **Kerámia kondenzátor:** kisméretű, olcsó, nagyfrekvenciás szűrésre kiváló. Többrétegű (MLCC) kivitelben 100 pF – 100 μF közötti értékek is elérhetők. Hátránya, hogy egyes típusok kapacitása erősen függ a feszültségtől és a hőmérséklettől.
- **Elektrolitkondenzátor (alumínium):** nagy kapacitás, kis méret, de polaritásra érzékeny. A pozitív és negatív kivezetést jelölik; rossz bekötésnél felrobbanhat vagy tönkremegy. Jellemző érték: 1 μF – több ezer μF, feszültség: 6,3–450 V.
- **Tantálkondenzátor:** nagy kapacitássűrűség, alacsonyabb ESR, de polaritásra és túlfeszültségre érzékeny.

Jelölés. A kerámia és fóliakondenzátorokon gyakran háromjegyű számkód van: az első két számjegy az érték, a harmadik a tíz kitevője, az eredmény pF-ban értendő. Például `104` = 10×10^4 pF = 100 nF. A betű a tűrés, a feszültség pedig külön felirat vagy kód. Az elektrolitkondenzátoron általában közvetlenül szerepel a kapacitás és a feszültség, például `470 µF 35 V`.

9.3.3.3. Tekercsek, fojtók

Definíció. A tekercs (induktivitás) olyan passzív alkatrész, amely az áram változása ellen hat, és energiát tárol a mágneses térben. Az induktivitás egysége a henry (H); a gyakorlatban μH, mH és H.

Fajták és jellemzők.

- **Légmagos tekercs:** kis induktivitás, nagyfrekvenciás rezgőkörökhöz, szűrőkhöz.
- **Vasmagos vagy ferritmagos fojtó:** nagyobb induktivitás; egyenáramú szűrésre, hálózati zavarszűrésre, fojtóként használjuk.
- **Közös módusú fojtó:** két tekercs van egy közös magon; a differenciális jel átmegy, a közös módusú zavart elnyomja.

Minősítő jellemzők. Egy tekercs kiválasztásakor a következő adatokat kell ismerni:

- névleges induktivitás L,
- névleges egyenáram I_{DC} vagy effektív áram,
- egyenáramú ellenállás R_{DC},
- telítési áram, amelynél a mag telítődik, és az induktivitás lecsökken,
- önrezonancia-frekvencia (SRF), amely felett a tekercs már kapacitásként viselkedik,
- szigetelési osztály és hőmérséklet-tartomány.

9.3.4. Jelölések leolvasása és számítások

Szabály. Ellenállás színkódjának leolvasása:

$$R = (\text{első számjegyekből alkotott szám}) \times 10^{\text{szorzó sáv}}\ \Omega,$$

a tűrést az utolsó sáv adja.

Példa. Négy sávos ellenállás színei: sárga, lila, piros, arany.

- Sárga = 4, lila = 7, tehát a kétjegyű szám 47.
- Piros = 10^2, tehát $R = 47 \times 10^2 = 4700\,\Omega = 4{,}7\,\mathrm{k}\Omega$.
- Arany = ± 5 %, így a tényleges érték $4{,}7\,\mathrm{k}\Omega \pm 5\%$ között van, azaz $4465\,\Omega$ és $4935\,\Omega$ között.

Számítás. Kondenzátor kódjának értelmezése. Legyen a felirat: `104K 100V`.

$$C = 10 \times 10^4\,\mathrm{pF} = 100\,000\,\mathrm{pF} = 100\,\mathrm{nF}.$$

A `K` betű ± 10 % tűrést jelent, a `100V` a névleges egyenfeszültség. Tehát a kondenzátor $100\,\mathrm{nF} \pm 10\%$, legfeljebb 100 V feszültségre.

Számítás. Előtétellenállás kiválasztása LED-hez. Adott $U_{\mathrm{táp}} = 12\,\mathrm{V}$, a LED nyitófeszültsége $U_{\mathrm{LED}} = 2\,\mathrm{V}$, a kívánt áram $I = 20\,\mathrm{mA} = 0{,}02\,\mathrm{A}$.

$$R = \frac{U_{\mathrm{táp}} - U_{\mathrm{LED}}}{I} = \frac{12 - 2}{0{,}02} = 500\,\Omega.$$

Kerekítési szabály. A LED árama ne lépje túl a megengedettet, ezért a számított értéknél a következő **nagyobb** E12-es értéket választjuk. Itt a $500\,\Omega$ fölötti legközelebbi E12-es érték $560\,\Omega$. Ezzel az áram:

$$I = \frac{10\,\mathrm{V}}{560\,\Omega} = 17{,}9\,\mathrm{mA}.$$

A disszipált teljesítmény:

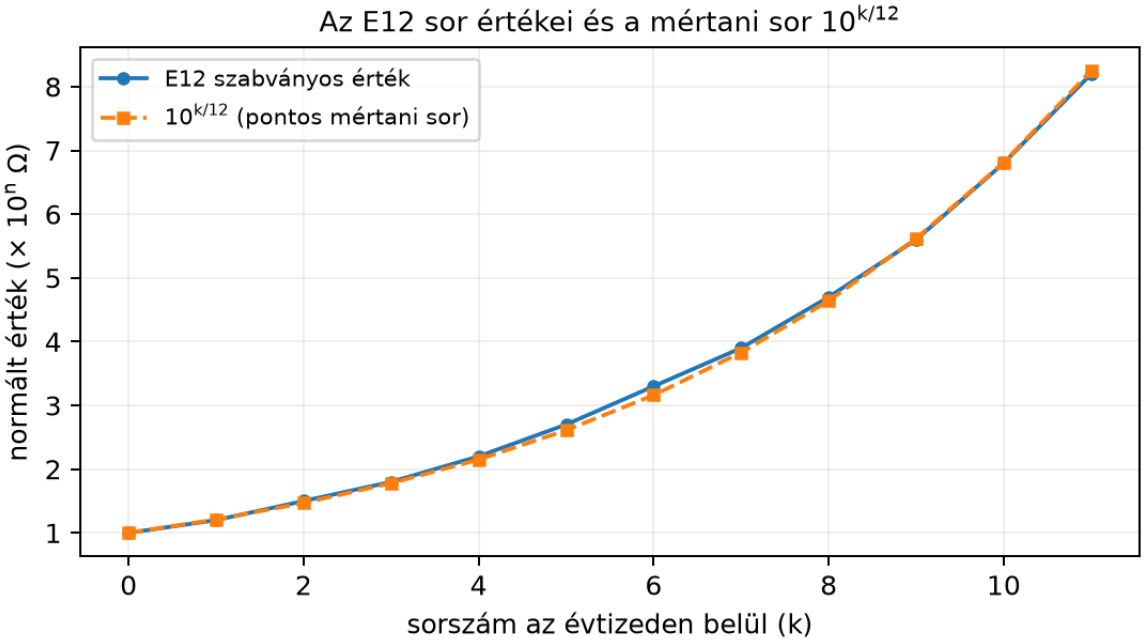
$$P = I^2 R = (0{,}0179)^2 \cdot 560 = 0{,}179\,\mathrm{W}.$$

A 0,25 W csak kb. 1,4-szeres tartalék, ezért a gyakorlatban (az 1,5–2-szeres tartalék szabálya szerint) 0,5 W teljesítményű ellenállást választunk.

Számítás. Tekercs időállandója. Legyen $L = 10\,\mathrm{mH}$, $R = 2\,\Omega$. Az RL-tag időállandója (lásd Elektromágneses indukció, önindukció és az RL-tag alfejezetet):

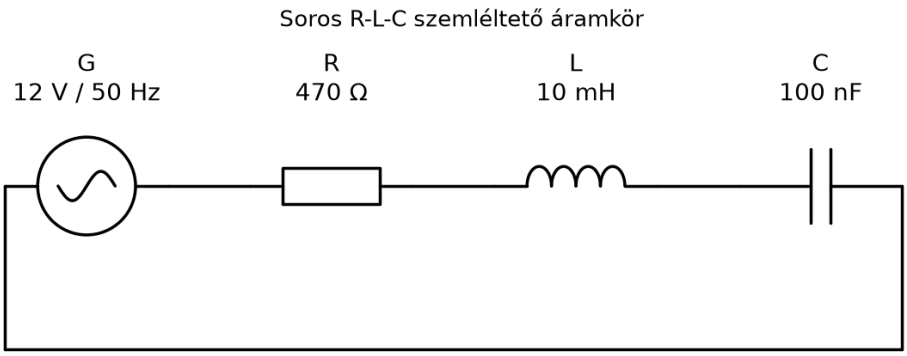
$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0{,}01}{2} = 0{,}005\,\mathrm{s} = 5\,\mathrm{ms}.$$

Ha a tekercsen $I = 1\,\mathrm{A}$ egyenáram folyik, az egyenáramú feszültségesés $U = IR = 1 \cdot 2 = 2\,\mathrm{V}$.

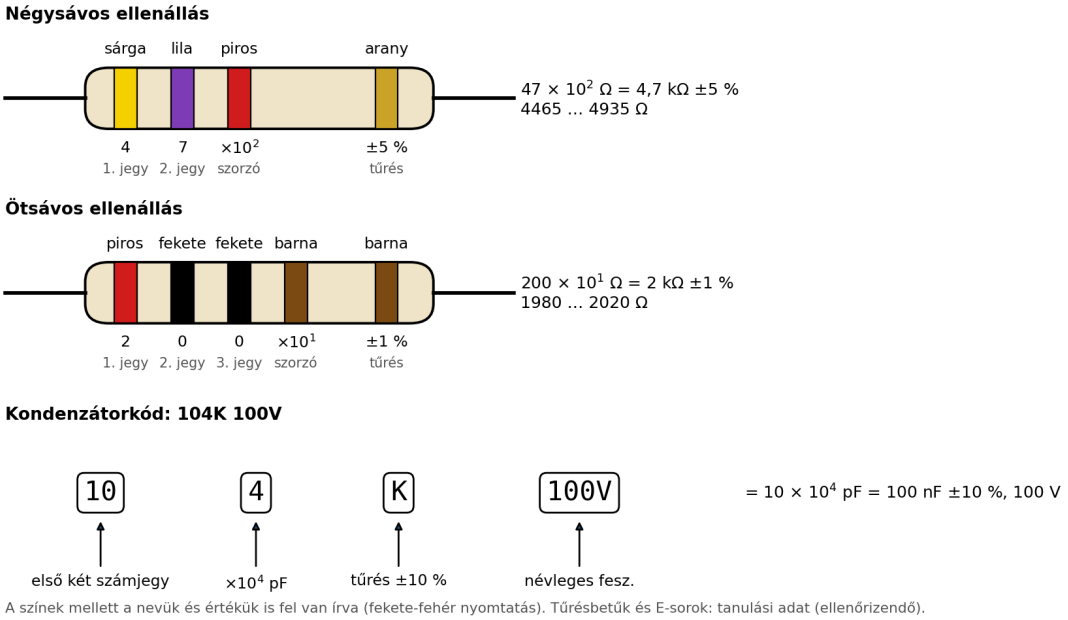


9.3. ábra. Az E12 sor értékei és a mértani sor 10^(k/12) - Képletből számolt: az E12 sor a 10^(k/12) mértani sor (lépésenként kb. 21 %-os növekedés) két értékes jegyre kerekített változata; a következő évtizedben ugyanezek az értékek tízszeresen ismétlődnek.

Ábra. Az alábbi kapcsolási rajz a három passzív alkatrész rajzjelét mutatja egy soros R-L-C áramkörben:



9.4. ábra. Soros R-L-C szemléltető áramkör - A rajz az ellenállás, tekercs és kondenzátor kapcsolási rajzjelét mutatja; törpefeszültségű váltakozó forrásról táplált tanműhelyi kör. Az alkatrészértékek csak szemléltetőek.



9.5. ábra. Színkód és kondenzátorkód leolvasása: sárga-lila-piros-arany = 4,7 kΩ ±5 %; piros-fekete-fekete-barna-barna = 2 kΩ ±1 %; 104K 100V = 100 nF ±10 %, 100 V

Interaktív ábra. A HTML-kiadás színkód- és kondenzátorjelölés-kalkulátorában a tanuló kiválaszthatja a színsávokat (4 vagy 5 sávos ellenállásra), és a program kiírja az ellenállás névleges értékét, tűrését és a megengedett értéktartományt. Ugyanezen az oldalon beírhatja a kondenzátor háromjegyű kódját (például `104K 100V`), mire a kalkulátor megjeleníti a pF-ban és a gyakorlatias egységben kifejezett kapacitást, a tűrésbetű jelentését és a névleges feszültséget; egy beírt ohmértékhez a legközelebbi E12/E24 értéket is megadja. A statikus ábra a két kidolgozott ellenállás-példát (sávonként a szín nevével és értékével) és a `104K 100V` felirat bontását mutatja.

9.3.5. Alkatrész kiválasztása a gyakorlatban

Szabály. Ellenállás kiválasztásakor a következőket ellenőrizd:

1. **Ellenállásérték és tűrés:** a kapcsolási rajz által megkövetelt érték és pontosság.
2. **Terhelhetőség:** a tényleges disszipációnál legalább 1,5–2-szer nagyobb névleges teljesítményt válassz, különösen hűtés nélküli, zárt dobozban.
3. **Feszültség:** a névleges feszültség (a gyártó által megadott maximális üzemi feszültség) legyen nagyobb a kapcsolásban előforduló csúcsfeszültségnél.
4. **Környezet:** hőmérséklet, pára, rezgés; indokolt esetben fémoxid vagy huzalellenállás.
5. **Méret és szerelés:** THT vagy SMD, teljesítményosztály.

Szabály. Kondenzátor kiválasztása:

1. **Kapacitás és tűrés:** az áramkör által igényelt érték.
2. **Névleges feszültség:** egyenáramú körben a csúcsfeszültségnél nagyobb, váltakozó áramú körben a megengedett váltakozó feszültséget ellenőrizd.
3. **Polaritás:** elektrolitkondenzátort csak egyenáramú vagy pulzáló feszültségre, helyes polaritással szabad bekötni.
4. **Hőmérséklet és élettartam:** az elektrolitkondenzátor élettartama erősen csökken magas hőmérsékleten.
5. **Frekvenciaviszony:** nagyfrekvenciás szűréshez kerámia vagy fólia, hálózati pufferkondenzátorhoz elektrolit, motorüzemi kondenzátorhoz fólia/polipropilén típus szükséges.

Szabály. Tekercs kiválasztása:

1. **Induktivitás:** a szűrő vagy rezgőkör által igényelt érték.
2. **Névleges áram:** az egyenáramú (DC) vagy effektív áram ne lépje túl a gyártói értéket.
3. **Egyenáramú ellenállás:** a feszültségesés és a melegedés miatt fontos.
4. **Telítési áram:** kapcsolóüzemű tápegységben a csúcsáram ne telítse a magot.
5. **Önrezonancia-frekvencia:** nagyfrekvenciás alkalmazásban az SRF felett a tekercs nem használható.

9.3.6. Szabvány

Szabvány. A passzív alkatrészek értéksorát és tűréseit nemzetközileg az IEC 60063 (E-sorok) rögzíti; a színkód leolvasásához a gyártói adatlapok és az IEC 60062 szerinti jelölés használható. A kondenzátorok és ellenállások biztonsági követelményeit a vonatkozó termékszabványok tartalmazzák; a pontos szabványszámot és a legújabb kiadást mindig ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: aktuális IEC/EN termékszabványok)**. A beépítésre kerülő alkatrésznek meg kell felelnie a berendezés szabványának (például MSZ EN 60335 háztartási készülékek, MSZ EN 60204 gépek villamos berendezései).

9.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy ügyfél azt panaszolja, hogy a mosógép vezérlőpanelje néha újraindul. (**Biztonsági korlát.** Ilyen munkát csak képzett, jogosult szakember végezhet; a készüléket előbb le kell választani a hálózatról, a primer oldali puffer-kondenzátort ki kell sütni, és a feszültségmentességet mérni kell.) A szerelő a hálózatról leválasztott, kisütött és feszültségmentesnek mért vezérlőt megbontja, és azt látja, hogy a tápegység kimenetén lévő elektrolitkondenzátor teteje domború, a műanyag burkolat megrepedt. A jelölés `1000 µF 10 V`. A szerelő multiméterrel kapacitásmérő üzemmódban csak

120 μF értéket mér; a kondenzátor kiszáradt. A cserealkatrészt `1000 µF 16 V` feszültségű, 105 °C-os, hosszú élettartamú típusra választja. A javítás után a panel stabilan működik. A tanulság: az elektrolitkondenzátorok öregednek, és a feszültségtartalék, valamint a magasabb hőmérsékleti osztály növeli az élettartamot.

Egy másik esetben egy fűtőbetét vezérlésében 0,47 Ω huzalellenállás égett ki. A szerelő a pótlást nem közönséges szénréteg-ellenállással végezte, hanem ugyanolyan huzalellenállással, mert a kapcsolás nagy impulzusáramot kapcsol.

9.3.8. Tipikus hibák

Hiba 1: rossz tűrésű ellenállás beépítése. Ha egy mérőosztóban 1 %-os ellenállás helyett 10 %-os szénréteget építünk be, a mérés pontatlan lesz. **Helyes gyakorlat:** a kapcsolási rajzon előírt tűrést és hőmérsékleti együtthatót tartsuk be.

Hiba 2: elektrolitkondenzátor fordított bekötése. A polaritás felcserélésekor a kondenzátor felmelegszik, kiforrhat, sőt fel is robbanhat. **Helyes gyakorlat:** bekötés előtt mindig ellenőrizd a panelen és a kondenzátoron a polaritásjelölést; a negatív sáv és a rövidebb kivezetés általában a negatív.

Hiba 3: tekercs telítési áramának figyelmen kívül hagyása. Kapcsolóüzemű tápegységben, ha a fojtó telítődik, az induktivitás lecsökken, az áram hirtelen megnő, és a kapcsolóelem tönkremehet. **Helyes gyakorlat:** ellenőrizd a gyártói adatlap telítési áramát, és válassz nagyobb magot vagy más típust, ha a csúcsáram közel van hozzá.

Hiba 4: a terhelhetőség alulméretezése. A számított 0,18 W disszipációhoz pontosan 0,25 W-os ellenállást választunk tartalék nélkül, és az zárt dobozban túlmelegszik (a tartalék csak kb. 1,4-szeres). **Helyes gyakorlat:** legalább 1,5–2-szeres teljesítménytartalék (zárt, meleg dobozban inkább a 2-szeres), és a környezeti hőmérsékletet is vegyük figyelembe. A 0,18 W disszipációhoz ezért 0,5 W-os ellenállás való.

9.3.9. Önellenőrzés

1. Egy négy sávos ellenállás színei: barna, fekete, piros, arany. Mennyi az értéke és a tűrése?

2. Mit jelent a `224K 50V` jelölés egy kerámiakondenzátoron?

3. Miért nem szabad elektrolitkondenzátort váltakozó feszültségre, polaritás nélkül kötni?

4. Egy 100 mH tekercs egyenáramú ellenállása 4 Ω. Mennyi az RL időállandó?

5. Mi a különbség a potenciométer és a trimmer között?

6. Miért választunk a LED előtétellenállásnak 0,5 W-osat, ha a számított disszipáció csak 0,18 W?

9.3.10. Feladatok

1. feladat (A)
Olvasd le az öt sávos ellenállást: piros, fekete, fekete, barna, barna. Add meg az értéket és a tűrést.

2. feladat (A)
Egy kondenzátor felirata `4700 µF 35 V`. Értelmezd a jelölést, és sorold fel, milyen típusú kondenzátorról van szó, mire kell figyelni a beépítésnél.

3. feladat (B)
Egy 12 V-os egyenáramú hálózatban egy LED-hez előtétellenállást kell választani. A LED nyitófeszültsége 2,2 V, a megengedett áram 15 mA. Számítsd ki a szükséges ellenállást, válassz E12 értéket, és ellenőrizd a disszipált teljesítményt. Mekkora névleges teljesítményű ellenállást választanál?

4. feladat (B)
Egy soros RC-tagban $R = 10\,\text{k}\Omega$, $C = 100\,\text{nF}$. Számítsd ki az időállandót. Mennyi idő alatt éri el a kondenzátor feszültsége a tápfeszültség 63,2%-át?

5. feladat (C)
Egy tápegység bemeneti szűrőfojtójának (egyszerű, differenciális fojtó, egy tekercccsel) induktivitása 2,2 mH, egyenáramú ellenállása 0,3 Ω. A fojtón üzemszerűen 3 A folyik. Számítsd ki az egyenáramú feszültségesést és az időállandót. Miért fontos a telítési áram ellenőrzése?

6. feladat (D)
Egy kapcsolóüzemű tápegység kimenete búg, a feszültség terhelés alatt letörik. A szerelő azt gyanítja, hogy a kimeneti elektrolitkondenzátor kiszáradt. Milyen méréseket végeznél? Milyen értékeket várnál jó és rossz kondenzátornál? A csere során milyen feszültségű és hőmérsékletű alkatrészt választanál?

9.3.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Barna = 1, fekete = 0, piros = 10^2, tehát $10 \times 10^2 = 1000\,\Omega = 1\,\text{k}\Omega$, arany = ±5 %.
2. `224K` = $22 \times 10^4\,\text{pF} = 220\,000\,\text{pF} = 220\,\text{nF}$, K = ±10 %, 50 V névleges feszültség.
3. Az elektrolitkondenzátor polarizált; váltakozó feszültségen a dielektrikum váltakozva rossz irányban is igénybe lenne véve, ami gázképződéshez, melegedéshez és robbanáshoz vezethet.
4. $\tau = L/R = 0{,}1/4 = 25\,\text{ms}$.
5. A potenciométer kezelőszervvel (tengellyel) állítható, nagyobb méretű; a trimmer kis méretű, csavarhúzóval állítható, ritkábban állítják.
6. Mert a számított disszipáció 0,18 W, de a zárt doboz melegedése, a tápfeszültség tűrése és a hosszú élettartam miatt teljesítménytartalék kell: a 0,25 W csak 1,4-szeres tartalékot adna, ezért az 1,5–2-szeres szabály szerint a 0,5 W-os ellenállást választjuk.

1. feladat megoldása (A)
Piros = 2, fekete = 0, fekete = 0, tehát a háromjegyű szám 200. Barna szorzó = 10^1, tehát $R = 200 \times 10 = 2000\,\Omega = 2\,\text{k}\Omega$. Az ötödik sáv barna = ±1 %. Tehát $2\,\text{k}\Omega \pm 1\%$, azaz 1,98 kΩ és 2,02 kΩ között.

2. feladat megoldása (A)
A `4700 µF 35 V` alumínium elektrolitkondenzátort jelöl, névleges kapacitása 4700 μF, névleges egyenfeszültsége 35 V. Beépítéskor ügyelni kell a polaritásra: a negatív jelölősáv és a rövidebb kivezetés a negatív kivezetés, a hosszabb a pozitív. A kapcsolásban a maximális feszültség nem haladhatja meg a 35 V-ot.

3. feladat megoldása (B)
Adott: $U_{\text{táp}} = 12\,\text{V}$, $U_{\text{LED}} = 2{,}2\,\text{V}$, $I = 15\,\text{mA} = 0{,}015\,\text{A}$.
Keresett: R.

Képlet: $R = (U_{\text{táp}} - U_{\text{LED}})/I$.
Behelyettesítés: $R = (12 - 2{,}2)/0{,}015 = 653{,}3\,\Omega$.
A számított értéknél a következő nagyobb E12-es érték $680\,\Omega$ (a LED árama így nem lépi túl a megengedettet, lásd a LED-előtétellenállás számításánál a Kerekítési szabályt).
Ellenőrzés az E12 értékkel: $I = 9{,}8/680 = 14{,}4\,\text{mA}$, $P = I^2R = (0{,}0144)^2 \cdot 680 = 0{,}141\,\text{W}$.
Választás: a 0,25 W a minimális 1,5-szeres tartalékot teljesíti ($0{,}25/0{,}141 = 1{,}77$-szeres); zárt dobozban 0,5 W ajánlott. A LED árama a megengedettnél kicsit kisebb, ami biztonságos.

4. feladat megoldása (B)
$\tau = RC = 10\,000 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 1 \cdot 10^{-3}\,\text{s} = 1\,\text{ms}$.
A kondenzátor feszültsége 1τ idő alatt éri el a tápfeszültség $1 - e^{-1} = 0{,}632 = 63{,}2\%$-át. Tehát 1 ms alatt.

5. feladat megoldása (C)
Egyenáramú feszültségesés: $U = IR_{\text{DC}} = 3 \cdot 0{,}3 = 0{,}9\,\text{V}$.
Időállandó: $\tau = L/R = 0{,}0022/0{,}3 = 7{,}33\,\text{ms}$.
A telítési áram azért fontos, mert a csúcsáram telítheti a magot: az induktivitás lecsökken, a szűrés megszűnik, és az áramcsúcs megnő, ami tönkreteheti a kapcsolóelemet.

Megjegyzés. Közös módusú fojtónál a két tekercs az üzemi (differenciális) áramot ellentétes irányban vezeti, a fluxusok kioltják egymást, ezért a közös módusú induktivitás az üzemi áramra nem hat, és az üzemi áram a magot nem telíti; ott az ellenállásokon eső feszültség mindkét tekercsen jelentkezik (tekercsenként $0{,}3\,\Omega$ esetén $2 \cdot 3\,\text{A} \cdot 0{,}3\,\Omega = 1{,}8\,\text{V}$), a telítést a közös módusú zavaráram és a két tekercs aszimmetriája okozhatja.

6. feladat megoldása (D)
Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Mérés és csere előtt a készüléket válaszd le a hálózatról (dugó kihúzva, visszakapcsolás ellen biztosítva), várj, majd mérd meg a primer oldali puffer-elektrolitkondenzátor feszültségét (kb. 325–400 V egyenfeszültség lehet), és ha szükséges, süsd ki ellenálláson keresztül; a feszültségmentességet mérd meg, és csak utána nyúlj az áramkörhöz. Feszültség alatti hullámosságmérés csak a szekunder (törpefeszültségű) oldalon, leválasztó transzformátorról táplált vagy differenciális szondával, felügyelet mellett végezhető; hálózati oldalon földelt szondatesttel soha.
Mérések:
- Szemrevételezés: domború vagy repedt kondenzátorház, szivárgó elektrolit.
- Kapacitásmérés multiméterrel: a névleges értéknél lényegesen kisebb (például 1000 μF helyett 100 μF) kiszáradást jelez.
- ESR-mérés (ha van ESR-mérő): a jó kondenzátor ESR-je alacsony (néhány száz mΩ), a kiszáradté magas, több ohm is lehet.
- Feszültségmérés oszcilloszkóppal: terhelés alatt nagy hullámosság (búgás) látható.

A csere során a névlegesnél nagyobb feszültségű (például 16 V helyett 25 V), hosszú élettartamú, 105 °C-os típust válasszunk, és ügyeljünk a polaritásra, a méretre és a kivezetéstávolságra. A javítás után terheléses próbát és hullámosságmérést végezzünk.

9.3.12. Rövid összefoglaló

A passzív alkatrészek – ellenállás, kondenzátor és tekercs – az áramkörök alapvető építőkövei. Az ellenállás értékét színkóddal vagy számkóddal adják meg; a tűrés és a teljesítmény legalább annyira fontos, mint az ohmérték. A kondenzátorok közül a fólia- és kerámiatípus polaritásmentes, az elektrolitkondenzátor polaritásra érzékeny, ezért beépítésénél a polaritást és a névleges feszültséget ellenőrizni kell. A tekercs kiválasztásakor az induktivitás mellett a névleges áram, az egyenáramú ellenállás, a telítési áram és az önrezonancia-frekvencia a döntő. A jelölések leolvasása és az

E-sorok ismerete alapvető szerelői készség. **Továbbvitt eredmény.** Az itt tanult rajzjeleket és alkatrészjelöléseket használjuk a Rajzjelek és jelölések (MSZ EN 60617) alfejezetben, az ellenállás és kondenzátor fényforrás-előtétben betöltött szerepét a Fénytechnikai alapok és fényforrások alfejezetben, a passzív alkatrészek és félvezetők együttműködését pedig a Félvezető anyagok, dióda, LED és Zener-dióda alfejezetben vizsgáljuk. A feltöltött kondenzátor veszélyes energiát tárolhat; kisütése csak feszültségmentesítés után, ellenőrzött ellenálláson keresztül történjen.

9.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

A leírt színkódok, E-sorok és számkódok az elektrotechnika klasszikus, stabil ismeretei. A pontos szabványhivatkozásokat (IEC 60062, IEC 60063, termékszabványok) és a gyártói adatlapokon szereplő határértékeket a kiadás előtt ellenőrizni kell. A példákban szereplő alkatrészértékek és mérési határértékek tanulási célúak; éles kivitelezésnél mindig az aktuális szabvány és a gyártói adatlap a mérvadó.

10 Vezetékek és kábelek

10.1. Vezeték- és kábeltípusok, jelölésrendszer

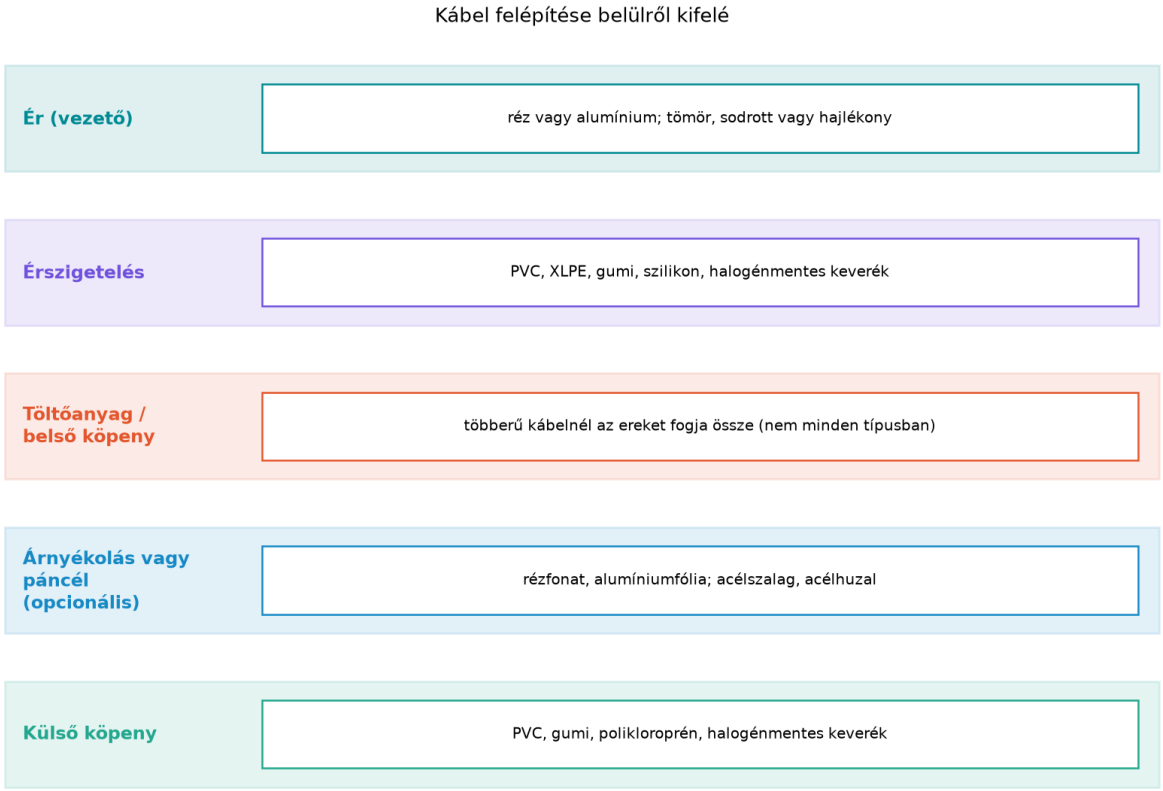
10.1.1. Miért kell pontosan azonosítani a vezetéket?

A munkahelyen gyakran úgy érkezel a helyszínre, hogy a megrendelő már vett „valamilyen” vezetéket, vagy a raktárból kell anyagot kiadni. Ha rossz típust viszel, az eredmény nemcsak hulladék, hanem balesetveszély is lehet: egy PVC-szigetelésű, köpeny nélküli szerelővezeték kültéren megreped, egy földbe nem való kábel meghibásodik, egy hajlékony finom szálú vezeték rosszul rögzíthető a sorkapocsban. Ezért a típusjelölést nem elég „kisilabizálni” – meg kell értened, melyik betű milyen felépítést és felhasználási helyet enged meg.

Ebben az alfejezetben azt tanulod meg, hogyan bontsd fel a harmonizált és hazai vezetékjelöléseket, hogyan azonosítsd a rétegeket (ér, szigetelés, köpeny, páncél, árnyékolás), és hogyan válaszd ki a szerelési módhoz illő típust. A tűzvédelmi (CPR) osztályokat is röviden áttekintjük, mert egyre több építkezésen ezt kérik a kivitelezőtől.

10.1.2. A vezeték felépítése és rétegei

A vezetékek és kábelek réteges felépítésűek. Egy egyszerű szerelővezeték csak egy vagy több szigetelt érből áll, míg egy kábel közös védőköpenyt, esetleg páncélzatot vagy árnyékolást is tartalmaz.



10.1. ábra. Kábel felépítése belülről kifelé - Szemléltető rétegábra: a rétegek a középső vezetőértől kifelé haladnak, a valóságban koncentrikus, hengeres rétegek. Az árnyékolás vagy páncél a külső köpeny ALATT van, a külső köpeny védi a korrózióitól és a sérüléstől. Köpeny nélküli vezetéknél (pl. H07V-U) csak az első két réteg van; a konkrét típusnál egyes rétegek elmaradhatnak.

A **képen látható rétegek** közül mindegyiknek meghatározott szerepe van:

- Az **ér** maga a fém áramvezető; lehet `tömör` (egyetlen vastag szál), `sodrott` (több vastag szál), vagy `hajlékony` (sok vékony szál). A hajlékony felépítés fontos mozgó fogyasztóknál, dugaszoló aljzatok bekötésénél, míg a tömör ér jól fektethető szerelőcsatornába.
- Az **érszigetelés** a fém és a környezet, illetve a többi ér közötti dielektrikum; anyaga meghatározza a megengedett hőmérsékletet, kopásállóságot és vegyszerállóságot.
- A **köpeny** a teljes kábelt körülvevő külső védőréteg; ez biztosítja a mechanikai védelmet és gyakran a kültéri vagy föld alatti alkalmazhatóságot.
- Az **árnyékolás** (pl. rézfonat, alumíniumfólia) az elektromágneses zavarok ellen véd: a külső tereket távol tartja, vagy a belső jeleket nem engedi kisugározni.
- A **páncél** (pl. acélszalag, acélhuzal) mechanikai terhelés elleni réteg; földkábeleknél, bányászatban, gépeken, ahol a kábelt kő, ütés vagy húzás érheti.

Ezt a rétegződést kell felismerned a kábel megmunkálásakor is: a szigetelés eltávolítása nem sértheti a következő réteget, a köpeny bemetszésekor pedig nem vághatod be az árnyékolást vagy az érszigetelést.

10.1.3. Alapfogalmak

Definíció. Vezeték (wire): egy vagy több szigetelt ér, amely nem rendelkezik közös külső köpennyel. Ilyen például a H07V-U szerelővezeték, amelyet védőcsőbe vagy zárt szerelőcsatornába húzunk (a cső lehet vakolat alatt is); közvetlenül vakolatba ágyazni nem szabad (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52, szerelési módok).

Definíció. Kábel (cable): szigetelt erek és közös védőköpeny, valamint adott esetben páncél vagy árnyékolás együttese. A kábel önállóan, védőcső nélkül is szerelhető, mert a köpeny megvédi a belső erek szigetelését.

Definíció. Ér (core/conductor): az áram vezetésére szolgáló fémrész. A kábelben az erek lehetnek tömör vagy sodrott kivitelűek, és különböző színű érszigeteléssel vannak ellátva.

Definíció. Szigetelés (insulation): az ér köré felvitt, nagy ellenállású anyag, amely megakadályozza az érintkezést más erekkel és a környezettel. Az érszigetelés nem azonos a teljes kábel köpenyével.

Definíció. Köpeny (sheath / outer jacket): a kábel külső védőburkolata. A köpeny mechanikailag és vegyileg védi az erek szigetelését, de általában nem szolgál elsődleges szigetelésként a feszültség alatti rész és a föld között.

Definíció. Árnyékolás (screen/shield): vezetőképes réteg vagy fonat, amely a kábel belsejét védi a külső elektromágneses zavaroktól, vagy a belső jelet nem engedi kisugározni. Gyakran együtt jár az „S” vagy „F” jelöléssel a gyengeáramú kábeleknél.

Definíció. Páncél (armour): fém (acél vagy alumínium) réteg, amely mechanikai védelmet ad a kábelnek. A páncél földelhető, de nem tévesztendő össze az árnyékolással.

10.1.4. A harmonizált jelölésrendszer (H-jelölés)

A hazai és európai piacon a leggyakoribb típusjelölések harmonizált (H…) jelölésűek. A harmonizált rendszerben a jelölés felépítése:

- Első betű: `H` – harmonizált (ha nincs H, nem harmonizált, nemzeti jelölés).
- Szám: a névleges feszültségszintet (U_0/U) jelzi: `03` = 300/300 V, `05` = 300/500 V, `07` = 450/750 V (ellenőrizendő: MSZ HD 361).
- Anyagbetűk: `V` = PVC, `R` = gumi, `N` = polikloroprén, `S` = szilikon, `B` = etilén-propilén gumi, `X` = térhálósított polietilén (XLPE), `Z`/`Z1` = halogénmentes keverék (térhálósított, illetve hőre lágyuló; például H07Z1-K: halogénmentes, hajlékony egyerű vezeték kapcsolószekrénybe és középületbe). Az `X`, `Z` és `Z1` pontos megfeleltetése: (ellenőrizendő: MSZ HD 361).
- Felépítésbetűk a kötőjel után: `U` = tömör vezető, `R` = sodrott (merev) vezető, `K` = hajlékony (finom szálú) vezető fix szereléshez, `F` = hajlékony vezető zsinórhoz, mozgó csatlakozáshoz, `H` = igen hajlékony vezető. A lapos kivitelt a kötőjel előtti `H`/`H2` jelzi (ellenőrizendő: MSZ HD 361 aktuális kiadás).

Nézzük a leggyakoribb példákat:

- **H07V-U**: `H` harmonizált, `07` 450/750 V, `V` PVC-szigetelés, `U` tömör réz ér. Ez a klasszikus *merev szerelővezeték*. Csőben vagy zárt csatornában használják (a cső lehet vakolat alatt is, de a vezetéket közvetlenül vakolatba ágyazni nem szabad); nem hajlítható nagy szögben, és nem mozgó fogyasztóhoz.
- **H07V-R**: ugyanaz, de `R` sodrott ér; valamivel hajlékonyabb, mégis merevnek számít.

- **H07V-K**: finom szálú, hajlékony vezető fix szereléshez; felhasználható kapcsolószekrény belső huzalozására, de mozgó fogyasztóhoz nem való (oda az `F` jelű zsinórvezeték kell).
- **H05VV-F**: `05` 300/500 V, `V` PVC-szigetelés, második `V` PVC-köpeny, `F` finom szálú hajlékony ér. Ez a *közepesen hajlékony, fehér/fekete köpenyes kábel*, tipikusan háztartási készülékek csatlakoztatására, mozgó fogyasztókra alkalmas.
- **H05RN-F**: `R` gumiszigetelés, `N` polikloroprén köpeny, `F` finomszálú; kültéri, nedves, olajos környezetben használható, könnyű igénybevételre való hajlékony kábel (például kerti készülékekhez).
- **H07RN-F**: vastagabb gumiköpenyű, 450/750 V-os, nehéz igénybevételre való változat; építési területen, ipari mozgó fogyasztókhoz és hosszabbítókhoz ezt használjuk (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-704 és a termékszabvány). A választást nem a feszültség, hanem a mechanikai igénybevétel dönti el: a 230/400 V-os hálózathoz mindkettő megfelel.

A harmonizált jelölések mellett a kábel feliratán mindig szerepel a gyártó, a keresztmetszet és az ér szám, például `3G2,5` (három ér, ebből egy zöld-sárga védővezető, 2,5 mm²) vagy `4x16` (négy ér, 16 mm², nincs külön jelölt védővezető).

Figyelem. A jelölésben a `G` betű a védővezetővel ellátott („green/yellow”) kábelt jelzi, az `x` pedig a védővezető nélküli érszámot. A feszültségszint (U_0/U) legalább akkora legyen, mint az áramkör névleges feszültsége: a `05` (300/500 V) és a `07` (450/750 V) jelű vezeték egyaránt megfelel a 230/400 V-os hálózatnak.

10.1.5. Hazai és európai típusjelölések

A harmonizált jelölés mellett a magyar gyakorlatban nemzeti jelölésű kábeleket is találsz. Ezeket a jelöléseket nem mindig lehet egy az egyben átfordítani, de a betűjelentések hasonló logikát követnek.

- **NYM-J**: `N` szabványos (német *Norm*, VDE szerinti) típus, `Y` PVC-szigetelés, `M` köpeny (a német *Mantel* szóból), `J` védővezetőt tartalmaz. Ez a lakás- és épületszerelésben általánosan használt köpenyes szerelőkábel: száraz, nyirkos és nedves beltéri helyiségben, vakolat alatt és felett is szerelhető, napsugárzástól védett helyen kültéren is; földbe nem fektethető (ellenőrizendő: gyártói adatlap). A kapcsolószekrényen belüli huzalozásra a H07V-K való.
- **NYY-J**: `N` szabvány, `Y` PVC-szigetelés, `Y` PVC-köpeny, `J` védővezetőt tartalmaz. Az NYM-nél robusztusabb köpenyű, gyakran *földbe fektethető* típusnak számít, de mindig ellenőrizd a gyártói adatot. Az NYY-J-t gyakran használják kültéri, föld alatti vagy betonba ágyazott szerelésre.
- **Régi hazai jelölések (régi terveken és meglévő épületekben ezt találod).** A régi hazai jelölési rendszerben az `MCu` műanyag szigetelésű, köpeny nélküli, tömör rézvezeték (mai megfelelője: H07V-U), az `MBCu` műanyag szigetelésű és műanyag burkolatú (köpenyes) rézvezeték (NYM-J-hez hasonló), a hajlékony tömlővezetékek az `MT` családba tartoztak (mai megfelelője: H05VV-F). A megfeleltetés tájékoztató, a feliraton a feszültségszintet és a CPR osztályt is ellenőrizd (ellenőrizendő: a régi MSZ jelölési szabvány vagy gyártói katalógus, a pontos felbontás és megfeleltetés).
- **NA2XY**: `N` szabvány, `A` alumínium ér, `2X` térhálósított polietilén (XLPE) érszigetelés, `Y` PVC-köpeny. Ez tipikus *alumínium földkábel* erősáramú elosztáshoz. Alumíniumot csak megfelelő méretezéssel és oxidációmentes kötéssel szabad alkalmazni.

A gyakorlatban tehát a felirat lehet harmonizált (H…) vagy nemzeti (NYM-J, NYY-J, NA2XY stb.). A kiválasztáskor mindig nézd meg a gyártói adatlapot, mert ugyanaz a betű nem mindig ugyanazt jelenti (például az `Y` mindig PVC-t jelent, de a `2Y` már polietilént, a `2X` térhálósított polietilént).

10.1.6. Gyengeáramú kábelek

Az erősáramú hálózatok mellett a villanyszerelő ma már mindig találkozik gyengeáramú kábelekkel is: számítógép-hálózat, TV, telefon, riasztó, épületautomatika. Ezek felépítése eltérő, és a jelölésük is más logikát követ.

- **UTP** (Unshielded Twisted Pair) – árnyékolatlan csavart érpárú adatkábel. Gyakran `CAT5e`, `CAT6`, `CAT6a` osztályozással találkozol; a szám a sávszélességre utal. Belül négy érpár, színes szigeteléssel (pl. kék-fehér, narancs-fehér, zöld-fehér, barna-fehér). Irodákban, lakásokban belső hálózathoz használják. Az UTP nem alkalmas erősáramú 230/400 V-os áramkörhöz.
- **STP/FTP** – árnyékolt csavart érpár; az árnyékolás fólia vagy fonat, amely csökkenti a zavarjeleket. Ipari környezetben, hosszabb szakaszokon előnyös. A jelölésben az `S` vagy `F` az árnyékolást jelzi (pl. `S/FTP`: páronként fólia, összefonat).
- **Koaxiális kábel** – belső vezető, dielektrikum, külső árnyékoló fonat és védőköpeny. TV-antenna szerelésnél 75 Ω-os koaxot használnak (pl. RG-6), kamerarendszereknél gyakran 75 Ω, adatátvitelnél 50 Ω. A koaxot nem szabad élesen megtörni, mert az impedancia megváltozik.

10.1.7. Különleges kábelek

A következő két csoport nem kizárólag gyengeáramú: tűzálló és halogénmentes kábelek erősáramú áramkörökben (biztonsági világítás, füstelvezető motor) is előfordulnak.

- **Tűzálló kábelek** – olyan kábelek, amelyek tűz alatt meghatározott ideig működőképesek maradnak. Az `FE180` a kábel szigetelésmegtartó képességét jelöli (180 perc, a kábelt önmagában vizsgálva); az `E30`, `E60`, `E90` a kábelrendszer funkciómegtartása 30/60/90 percig, és csak a bevizsgált rögzítéssel és tartószerkezettel együtt érvényes (ellenőrizendő: hatályos OTSZ és műszaki irányelv). Az `FE180` kábel tehát önmagában nem garantál 90 perces funkciómegtartást, ha a rögzítés nem minősített. Ezeket tűzjelző rendszerekhez, biztonsági világításhoz, füstelvezető motorokhoz kell használni. A tűzálló kábelek gyakran szervetlen szigetelésűek (pl. mica-szalag, ásványi szigetelés).
- **Halogénmentes kábelek** – égéskor kevés füstöt és nem korrozív gázt bocsátanak ki; gyakran `LSZH`, `LSOH`, `FRNC` jelöléssel. Középületekben, alagutakban, zárt terekben egyre inkább ezeket írják elő.

10.1.8. Tűzvédelmi osztályok (CPR) és alkalmazási helyek

A CPR (Construction Products Regulation, építési termék rendelet) a kábelek tűzvédelmi viselkedését osztályozza. Ez nem a kábel felépítését, hanem az égési tulajdonságait minősíti: mennyire járul hozzá a tűz terjedéséhez, mennyi füstöt és égve csepegő részecskét termel.

A fő osztályok (a legjobbtól a legrosszabbig): `Aca`, `B1ca`, `B2ca`, `Cca`, `Dca`, `Eca`, `Fca`. A kiegészítő jelek:

- füstképzés: `s1` (kevés), `s2`, `s3` (sok)
- savasság: `a1`, `a2`, `a3`
- égve csepegés: `d0` (nincs), `d1`, `d2`

Például egy `Cca-s1,d1,a1` jelölésű kábel közepes tűzterjedési osztályú, kevés füstöt termel, alig csepeg égve, és alacsony savasságú. A CPR osztály a teljesítménynyilatkozatban (DoP) és a kábeldob/csomagolás címkéjén szerepel, a legtöbb gyártó pedig a kábel palástjára is rányomtatja (ellenőrizendő: MSZ EN 50575, jelölési előírások).

A magyarországi gyakorlatban középületekben, társasházi közös terekben, menekülési útvonalakon gyakran előírják, hogy a kábelek legalább `Cca-s1,d1,a1` osztályúak legyenek, de ez létesítményenként és a hatályos tűzvédelmi előírástól függően változik. A tűzvédelmi terv és a hatályos OTSZ előírásai adják a pontos követelményt. **(Ellenőrizendő: az aktuális OTSZ és a CPR szerinti minimális osztályok.)**

A kiválasztásnál tehát a tűzvédelmi osztály nem pótolja a tűzállóságot: a CPR az égési viselkedést minősíti, míg a tűzállóság (szigetelésmegtartás: FE; funkciómegtartás: E30, E90) a tűz alatti működőképesség időtartamát adja meg.

10.1.9. Szabványok és követelmények

Szabvány. A vezetékek és kábelek kiválasztására, valamint a szerelési módokhoz rendelésre az MSZ HD 60364-5-52 (Kisfeszültségű villamos berendezések – A villamos vezetékek kiválasztása és szerelése) ad általános követelményeket. A kábelek tűzvédelmi osztályait az MSZ EN 50575 (CPR) szerint kell feltüntetni és igazolni. A vezető anyagára és ellenállására vonatkozó követelmények a vonatkozó termékszabványokban (pl. MSZ EN 60228) szerepelnek. A pontos szabványszakaszokat és a hatályos kiadásokat mindig ellenőrizd a munka tervezésekor. **(Ellenőrizendő: a felsorolt szabványszámok pontos kiadása és az alkalmazandó részek.)**

Szabály. A típusjelölésből leolvasott feszültségszintet, érszámot, keresztmetszetet és CPR osztályt egyeztetni kell a tervezett áramkör feszültségével, a környezeti hatásokkal (nedvesség, UV, mechanikai sérülés) és a helyi tűzvédelmi előírásokkal. A vezeték névleges feszültsége (U_0/U) legyen legalább akkora, mint az áramkör névleges feszültsége: a 230/400 V-os hálózatban a 300/500 V-os (`05`, pl. H05VV-F, NYM-J) és a 450/750 V-os (`07`, pl. H07V-U) vezeték egyaránt megfelel. A választást a szerelési mód, a mechanikai igénybevétel és a termékszabvány szerinti alkalmazási terület dönti el (pl. a köpeny nélküli egyerű vezetékek jellemzően 450/750 V-osak). A 300/300 V-os (`03`) vezeték csak könnyű, kis igénybevételű készülékcsatlakozásra való (ellenőrizendő: gyártói adatlap). A gyártói adat mindig mérvadó.

10.1.10. Kiválasztási recept: lépésről lépésre

Szabály. Ha egy adott munkához vezetéket vagy kábelt kell választanod, kövesd az alábbi lépéseket:

1. **Határozd meg az áramkör feszültségét és áramát.** Egyfázisú 230 V, háromfázisú 400 V, vagy gyengeáramú jel (pl. Ethernet, TV). Az áram nagyságát a terhelésből és a védelmi készülékből tudod.
2. **Válassz ki a feszültségszintnek megfelelő jelölést.** a vezeték U_0/U névleges feszültsége legyen legalább az áramkör feszültsége; 230/400 V-hoz a `05` (pl. `H05VV-F`, `NYM-J`) és a `07` (pl. `H07V-U`) jelű vezeték egyaránt megfelel, a végső választást a szerelési mód és az alkalmazási terület dönti el.
3. **Nézd meg a környezetet.** Beltéri (száraz és nedves helyiség) → H07V-U (csőben) vagy NYM-J; nedves, kültéri → gumi vagy polikloroprén köpenyű H05RN-F, H07RN-F; földbe fektetett → NYY-J, NA2XY (ha alumínium is szóba jöhet); mozgó fogyasztó → H05VV-F, H05RN-F; kapcsolószekrény belső → H07V-K.
4. **Határozd meg a szükséges érszámot és a védővezetőt.** Egyfázisú hálózathoz általában 3 ér (L, N, PE), háromfázisúhoz 4 vagy 5 ér (L1, L2, L3, N, PE). A `G` jelölésű kábelben van védővezető.

5. **Ellenőrizd a keresztmetszetet.** A vezeték terhelhetősége és feszültségesése alapján kell méretezni; ezt a Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők és a Feszültségesés és a vezeték méretezése alfejezetek tárgyalják.
6. **Nézd meg a tűzvédelmi osztályt (CPR).** Ha a létesítmény előírja, válassz legalább a tervben megadott osztályt (pl. `Cca-s1,d1,a1`). Tűzálló áramkörhöz a tervben előírt funkciómegtartású (`E30`/`E90`) kábelrendszert (kábel és minősített rögzítőrendszer) használd; az `FE180` jelölés önmagában nem elég.
7. **Ellenőrizd a gyártói adatlapot.** Ugyanaz a jelölés gyártónként kis eltéréseket mutathat; a megengedett hőmérséklet, hajlítási sugár, vegyszerállóság és a tényleges CPR osztály az adatlapon van.

10.1.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasház felújításánál a vállalkozó kapott egy csomag `H07V-U` vezetéket a belső világítási körökhöz, és a segéd hozott egy `H05VV-F` kábelt a lépcsőházi mozgásérzékelő bekötéséhez. A szerelő azonnal szólt: a H07V-U-t a falba csövezve használják, nem mehet a mennyezet alatt szabadon, mert nincs köpenye. A mozgásérzékelő fix szerelésű készülék, ezért a bekötéséhez is köpenyes szerelőkábel (NYM-J 3G1,5) vagy csőbe húzott H07V-U kell; a hajlékony H05VV-F csak mozgatott, dugós csatlakozású készülékhez való – a segéd által hozott kábelt ezért visszaküldték (a 300/500 V-os névleges feszültség egyébként megfelelne a 230 V-os áramkörnek, de a választást az alkalmazási mód dönti el). A pincében lévő kábelcsatornához már NYM-J-t választott, mert az köpenyes és mechanikailag ellenállóbb.

A tanulság: a típusjelölésből kiolvasott felépítés és feszültségszint dönti el, hogy a kábel használható-e az adott szerelési helyen. Egy rossz választás később szigetelésrepedéshez, zárlathoz vagy a szabványossági felülvizsgálat elutasításához vezethet.

10.1.12. Tipikus hibák

- **H07V-U hajlékony bekötésre.** A tömör érű szerelővezeték nem való mozgó fogyasztóhoz; a gyakori hajlítgatás eltöri. Mozgó fogyasztóhoz H05VV-F vagy H07RN-F kell.
- **NYM-J földbe fektetésre.** Az NYM-J köpenye nem földbe való, hiányzik a megfelelő mechanikai és nedvességálló réteg. Földbe NYY-J vagy más, erre minősített kábel kell.
- **A `03` jelű zsinórvezeték fix szerelésre vagy erős igénybevételű helyre használata.** A 300/300 V-os (`03`) vezeték csak könnyű, kis igénybevételű készülékcsatlakozásra való; fix szerelésben vagy mechanikailag igénybevett helyen nem megfelelő (ellenőrizendő: gyártói adatlap, termékszabvány alkalmazási területe). Mindig ellenőrizd a névleges feszültséget és az alkalmazási területet is.
- **CPR osztály elhanyagolása.** A tűzvédelmi terv által előírt minimális osztály (pl. `Cca-s1,d1,a1`) kihagyása nem csak hibás, hanem az átadást is meghiúsíthatja. A kábel kiválasztásánál mindig kérdezd meg, van-e CPR előírás.
- **Alumínium kábelt rézre méretezett kötéssel szerelni.** Az alumínium vezető oxidálódik, és más anyagú kötőelemekkel elektrokémiai korrózió lép fel. Alumíniumhoz kontaktpaszta és az arra alkalmas kötőelem szükséges; a méretezésnél az alumínium nagyobb fajlagos ellenállását figyelembe kell venni.

10.1.13. Önellenőrzés

1. Mit jelent a `H07V-U` jelölésben az `U`?
2. Milyen feszültségszintet jelez a `H05` és mit a `H07`?

3. Mi a különbség az `NYM-J` és `NYY-J` között a felhasználás szempontjából?
4. Melyik kábelréteg véd a mechanikai sérülések ellen: a szigetelés vagy a páncél?
5. Mit jelent a CPR jelölésben a `Cca` és mit az `s1`?
6. Mi a hiba ebben a kijelentésben: „Az UTP kábel jól használható 230 V-os világítási kör vezetékezésére”?

A válaszok a Megoldások szakasz elején, az „Önellenőrzés – válaszok” alcím alatt találhatók.

10.1.14. Feladatok

1. feladat (A)
Bontsd fel a `H05VV-F` jelölést: add meg minden betű és szám jelentését.

2. feladat (A)
Miben különbözik a `H07V-U` a `H07V-R` vezetéktől? Melyiket választanád fix szerelőcsatornába fektetéshez és miért?

3. feladat (B)
Kültéri, esőtől védett, de nedves helyre szerelt háromfázisú csatlakozóhoz kábelt keresel. Két típus közül választhatsz: `H07V-U` és `H07RN-F`. Melyiket választod, és indokold meg a választásodat a felépítés és a környezeti hatások alapján.

4. feladat (B)
Adott egy `NYM-J 3G2,5` jelölésű kábel. Írd le, mit jelentenek az egyes jelölésrészek, és mondd meg, milyen szerelési helyre való, illetve hová nem szabad tenni.

5. feladat (C)
Társasházi közös folyosóra biztonsági világítási áramkört terveznek. A tűzvédelmi leírás szerint a kábelnek tűz alatt legalább 90 percig működőképesnek kell lennie, és kevés füstöt kell kibocsátania. Milyen jelölésű kábelt keress? Sorold fel, milyen paramétereket kell ellenőrizned a gyártói adatlapon.

6. feladat (C)
Egy kültéri földbe fektetendő erősáramú kábelen a következő feliratot látod: `NA2XY 4x16`. Bontsd fel a jelölést, és válaszolj: milyen anyagú a vezető, milyen a szigetelés, és miért kell az alumínium vezetőt különös gonddal kötni?

7. feladat (D)
A tanműhelyben kapsz egy ismeretlen kábelmintát. Rajzold le a rétegeit (ér, szigetelés, köpeny, esetleg árnyékolás), olvasd le a feliratot, és azonosítsd a típust. Sorold fel, milyen méréssel vagy szemrevételezéssel ellenőriznéd, hogy a kábel sértetlen és megfelel-e a feliratnak. A feladatot feszültségmentes kábelen, oktatói felügyelet mellett végezd; hálózati feszültségű munkát önállóan ne végezz.

10.1.15. Megoldások

10.1.15.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Az `U` tömör (egyhuzalos) eret jelent, tehát a vezeték egyetlen vastag szálból áll; a réz anyagot az jelzi, hogy nincs alumíniumra utaló betű.
2. A `H05` 300/500 V-os, a `H07` 450/750 V-os névleges feszültségszintet jelöl.

3. Az NYM-J beltéri (száraz és nedves helyiség), napfénytől védett kültéri szerelésre való, földbe nem; a köpenye vékonyabb; az NYY-J vastagabb köpennyel készül, és gyakran földbe fektethető (ellenőrizd a gyártói adatot).
4. A páncél. A páncél mechanikai védelmet ad, a szigetelés az elektromos elválasztást biztosítja.
5. A Cca a tűzterjedési osztály: közepes, a B-k jobbak, az E/F rosszabbak. Az s1 a füstkibocsátás: kevés füst.
6. Az UTP 4 érpárú gyengeáramú adatkábel, nem alkalmas 230 V-os erősáramú áramkörre; a feszültségszintje és a szigetelése nem erre való.

10.1.15.2. 1. feladat (A)

A H05VV-F felbontása: - H: harmonizált típus. - 05: 300/500 V névleges feszültség. - első V: PVC érszigetelés. - második V: PVC köpeny. - F: finom szálú, hajlékony ér.

10.1.15.3. 2. feladat (A)

A H07V-U tömör réz ér, a H07V-R sodrott (több vastag szál) réz ér. Fix szerelőcsatornába fektetéshez a tömör U a jobb, mert merev, jól tartja az alakját, nem törik meg a csatornában, és a sorkapcsokban is stabilan rögzíthető. A sodrott R akkor előnyös, ha valamennyire hajlítgatni kell a vezetéket, de fix telepítésre az U is megfelel.

10.1.15.4. 3. feladat (B)

Az H07RN-F kábelt választom, mert: - H07: 450/750 V-os, megfelel a 230/400 V-os hálózathoz. - R: gumiszigetelés, amely ellenáll a nedvességnek és a hőingadozásnak. - N: polikloroprén köpeny, amely az olajoknak és az időjárási hatásoknak is ellenáll (a közvetlen napsugárzás elleni védelem külön ellenőrizendő: adatlap). - F: hajlékony, így a csatlakozóhoz köthető, mozgatható.

A H07V-U önmagában köpeny nélküli, PVC-szigetelésű merev vezeték; nedves, kültéri környezetben hamar tönkremenne.

10.1.15.5. 4. feladat (B)

Az NYM-J 3G2,5 felbontása: - N: szabvány szerinti kábel. - Y: PVC-szigetelés. - M: köpenyes. - J: védővezetőt tartalmaz. - 3G2,5: 3 ér, ebből egy védővezető, 2,5 mm² keresztmetszettel.

Beltéri (száraz és nedves helyiség), napfénytől védett kültéri szerelésre való, pl. falba, csőbe, kábelcsatornába. Nem szabad földbe fektetni, mert a köpenye nem földkábelhez készült.

10.1.15.6. 5. feladat (C)

E90 funkciómegtartású kábelrendszert (kábel és minősített rögzítőrendszer) kell keresni; az FE180 jelölés önmagában nem elég (csak a szigetelésmegtartást jelzi). A CPR osztályból a füstkibocsátás s1 (kevés füst), a csepegés d0 vagy d1, a savasság a1 legyen (a pontos minimumot a tűzvédelmi terv adja). A kábel adatlapján és a rögzítőrendszer tanúsítványán együtt kell szerepelnie az E90 funkciómegtartásnak (bevizsgált kábelrendszer); a kábelfeliraton jellemzően a CPR osztály és az FE180 szigetelésmegtartás látható. Például egy halogénmentes, tűzálló kábel jelölése tartalmazhatja: FRNC, LSZH, E90. A gyártói adatlapon ellenőrizni kell: a tűzállósági időt,

a CPR osztályt (pl. `B2ca-s1,d1,a1` vagy jobb), a kábel hőmérsékleti tartományát és a szerelési módot.

10.1.15.7. 6. feladat (C)

A `NA2XY 4x16` felbontása: - `N`: szabvány szerinti. - `A`: alumínium vezető. - `2X`: térhálósított (XLPE) szigetelés. - `Y`: PVC-köpeny. - `4x16`: négy ér, 16 mm².

Az alumínium vezetőt azért kell különös gonddal kötni, mert felülete gyorsan oxidálódik (alumínium-oxid réteg), ami növeli az átmeneti ellenállást. Emellett a rézhez képest nagyobb fajlagos ellenállású, és elektrokémiai korrózió lép fel, ha közvetlenül rézzel érintkezik. Megfelelő kontaktpaszta, oxidmentesítés és az arra alkalmas kötőelemek szükségesek.

10.1.15.8. 7. feladat (D)

A gyakorlati feladatban a kábelmintán le kell rajzolni a rétegeket: középen az ér (tömör vagy sodrott), körülötte az érszigetelés, majd ha van, a közös köpeny, esetleg árnyékoló fonat vagy páncél. A feliratról leolvasott típust azonosítani kell (pl. `H05VV-F 3G1,5`). Szemrevételezéssel ellenőrizzük, hogy a köpeny sértetlen, a felirat jól olvasható, a színjelölések megfelelőek. Méréssel (pl. szigetelési ellenállás mérése az erek között, és ha van, az erek és az árnyékolás/páncél között 500 V-os szigetelési ellenállásmérővel) ellenőrizhető, hogy nincs-e rövidzár vagy földzárlat. A mérést csak feszültségmentes, leválasztott kábelen, oktatói felügyelet mellett végezzük.

10.1.16. Rövid összefoglaló

A vezetékek és kábelek megbízható azonosítása a típusjelölésből alapvető szerelői készség. A felépítés rétegei: az ér (tömör, sodrott vagy hajlékony), az érszigetelés, a köpeny, valamint opcionálisan az árnyékolás vagy páncél. A harmonizált jelölések (`H05VV-F`, `H07V-U`, `H07RN-F`) a feszültségszintet, a szigetelőanyagot és a hajlékonyságot kódolják. A hazai típusok (`NYM-J`, `NYY-J`, `NA2XY`) a köpeny meglétét, a vezető anyagát és a védővezető jelenlétét jelölik. Gyengeáramú kábeleknél az `UTP/STP` és a koaxiális kábel a jellemző. A tűzálló (`E30`, `E90` funkciómegtartás; `FE180` szigetelésmegtartás) és halogénmentes (`LSZH`) tulajdonság erős- és gyengeáramú kábelen egyaránt követelmény lehet. A CPR osztály (`B2ca-s1,d1,a1` stb.) a tűzterjedést, füstkibocsátást és csepegést minősíti. A kiválasztásnál mindig a feszültségszint, a környezet, az érszám, a keresztmetszet és a tűzvédelmi előírás dönt.

Továbbvitt eredmény. A típusjelölés felbontását – a feszültségszint, a szigetelő- és köpenyanyag, valamint a felépítés betűjeleinek értelmezését – használjuk a Színjelölés, keresztmetszet és szerelési módok alfejezetben, ahol a vezetékszíneket, a keresztmetszetet és a szerelési módot rendeljük egymáshoz. A most tanult jelölésrendszer nélkül a későbbi méretezési és szerelési útmutatók nem érthetők meg.

10.2. Színjelölés, keresztmetszet és szerelési módok

10.2.1. Motiváció

Egy felújítás során a régi kötési képet látod a lakáselosztóban: piros, zöld, fekete, kék vezetékek keverednek, a védőcsőben melegszik a kábel. Ha itt a megszokott rutin szerint kötöd be az új szerelvényeket, könnyen fázist teszel a nullára, vagy ami rosszabb, a testelésre. A helytelen

színválasztás vagy a szerelési mód figyelmen kívül hagyása nemcsak működési zavart, hanem közvetlen érintésvédelmi hibát és tűzveszélyt is okozhat. Ebben az alfejezetben azt tanulod meg, hogyan azonosítsd egyértelműen a vezetőket, milyen szabványos keresztmetszetek közül választhatsz, és miért nem mindegy, hogy egy kábelt falba vésve, tálcán vagy a földben vezetsz.

10.2.2. A vezetők színjelölése

Mit látsz, ha megbontasz egy korszerű, ötvezetős lakáskábelt? Barna, fekete, szürke eret, egy világoskéket és egy zöld-sárgát. Ez a színkód a hibavédelem és a szerelhetőség alapja: a szerelőnek messziről, rajz nélkül is tudnia kell, melyik ér lehet feszültség alatt, és melyikhez tilos hozzányúlnia feszültségmentesítés előtt.

Szabvány. A vezetők színjelölését Magyarországon az MSZ EN 60445 (az ember–gép kapcsolat, a jelölés és az azonosítás alapelvei; a berendezések kapcsainak, a vezetékvégeknek és a vezetőknek az azonosítása; ellenőrizendő: pontos cím és kiadás) írja elő. (Régi dokumentumokban a kábelerek színeire a HD 308 hivatkozást is megtalálod; ezt az EN 60445 váltotta fel, a HD 308 már nem hatályos.) A pontos, hatályos kiadás évszámát mindig ellenőrizd a munkavégzés helyén. A szabvány a következő egyértelmű hozzárendelést rögzíti:

Vezető szerepe	Előírt szín
Védővezető (PE)	Kizárólag **zöld-sárga**
Nulla- vagy középvezető (N)	Kizárólag **világoskék**
Fázisvezető (L1, L2, L3)	**Barna, fekete, szürke**
Védő- és nullavezető egyesítve (PEN)	**Zöld-sárga**, a végein **világoskék** jelöléssel

Szabály. A zöld-sárga szín kizárólag védővezető (PE vagy PEN) céljára használható. A világoskék szín elsősorban a nullavezetőé, de ha az áramkörben nincs nullavezető, akkor fázisvezetőként is használható. A gyakorlatban azonban ez kerülendő, mert egy későbbi bővítésnél félreértést okoz. A barna, fekete, szürke csak fázisvezetőt jelölhet.

Továbbvitt eredmény. A fenti színkódot fogod használni minden kapcsolási és huzalozási rajzon, a Vezetékek és kábelek szerelési módjai fejezet gyakorlati útmutatójában, valamint a Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru műveleteinél is. Ha itt téveszted el, ott hibás munkát fogsz végezni.

10.2.3. Szabványos keresztmetszetek

A vezetékkeresztmetszetet négyzetmilliméterben (mm^2) adjuk meg. Az érték a vezető anyagának (réz vagy alumínium) tényleges felületét jelenti, nem az átmérőt. A kereskedelemben a villanyszerelők gyakran mondják: „egyötös rezet”, ami $1{,}5\,\mathrm{mm}^2$-t jelent. Az európai és hazai gyakorlatban a harmonizált (H) kábeleknél az alábbi szabványos keresztmetszetsor (MSZ EN 60228) szerint választunk:

0,5 0,75 1 1,5 2,5 4 6 10 16 25 35 50 70 95 120 150 185 240 ... mm^2

A lakásvillamosságban leggyakrabban 1,5, 2,5, 4, 6 és $10\,\mathrm{mm}^2$ keresztmetszetekkel dolgozunk. Ipari elosztóknál a 16–$240\,\mathrm{mm}^2$ tartomány a jellemző. A katalógusokban ez a sor folytatódik 300, 400, $500\,\mathrm{mm}^2$ fölé is, de az már egy másik szerelési világ.

Definíció. A **tömör** vezető egyetlen huzalból áll. A **sodrott** vezető több, egymás köré csavart huzalból áll. A **hajlékony** vezető nagyon sok vékony, finomsodratú szálból áll, ezért jól hajlítható. A vezető hajlékonysági osztályát a szabvány 1, 2, 5, 6 osztályokba sorolja. A merev, tömör vezető jellemzően 1-es osztályú, a hajlékony finomsodratú 5-ös.

A választás szempontja mindig a mechanikai igénybevétel és a csatlakoztatás módja. A rögzített, álmennyezetben vagy védőcsőben vezetett áramkörhöz használhatsz tömör 1,5 vagy 2,5 mm^2-t. A mozgó, rezgésnek kitett gépekhez, hajlékony kábelekhez viszont csak finomsodratú vezető szabad. A tömör vezetőt ne használd olyan helyen, ahol a vezetéket mozgatják vagy rezgés éri.

Gyakorlat. A kéziszerszámos dobozban lévő hajlékony kábeleknél mindig figyeld a jelölést: például a H05VV-F 3G1,5 megjelölésben a 3 az erek számát, a G azt jelzi, hogy az egyik ér zöld-sárga (védővezető), az 1,5 a keresztmetszet mm^2-ben. A tömör kábelnél például H07V-U 1,5 jelölést látsz. A betűkódos jelölésrendszert a Vezeték- és kábeltípusok, jelölésrendszer alfejezetben tanultad.

10.2.4. Szerelési módok csoportjai

Az áramkörök kivitelezésekor nem csak az a kérdés, milyen vastag a vezető. Legalább ilyen fontos, hogy hová kerül. Ugyanaz a 2,5 mm^2-es rézvezeték teljesen másképp melegszik, ha szabad levegőn, szerelőtálcán fut, vagy ha süllyesztve, hőszigetelésben, védőcsőben van. A melegedés oka egyszerű: amikor áram folyik rajta, a vezető ellenállása miatt villamos teljesítmény alakul át hővé, a $P = I^2R$ összefüggés szerint. Ez a hő csak akkor távozik el, ha a környező anyag (levegő, fal, föld) jól elvezeti. Ha a kábel hőszigetelő rétegbe kerül, a hő ottreked, a szigetelés megolvadhat, a kábel tönkremehet, vagy tüzet okozhat.

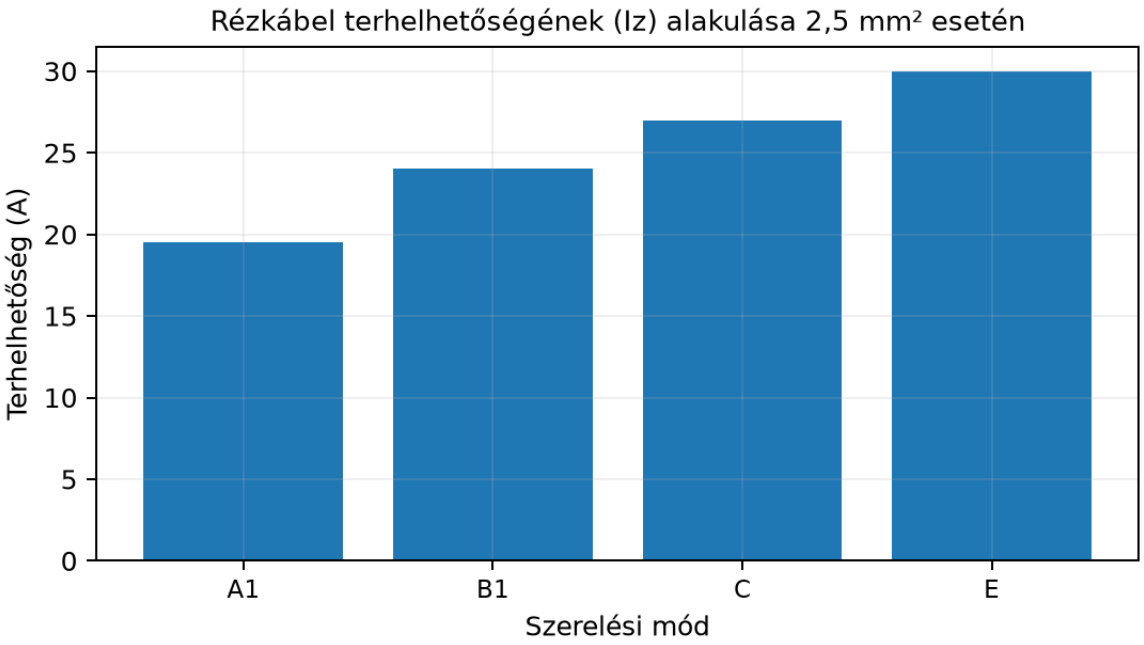
A terhelhetőségi táblázatok használatához a szabvány az elhelyezést **szerelési módokkal** jelöli. Így válik a táblázat egyetemessé, és így lehet ugyanazt a számítást a francia, a magyar vagy a szlovák kivitelezőnek megismételni.

Szabvány. Az MSZ HD 60364-5-52 (Kisfeszültségű villamos berendezések – 52. rész: Szerelési módok és terhelhetőség) a szerelési módokat betűkkel és számokkal jelöli. A pontosan hatályos táblázatértéket mindig ellenőrizd a szabvány legfrissebb kiadásában **(ellenőrizendő: aktuális terhelhetőségi táblázat)**. A leggyakoribb csoportok:

- **A1, A2:** vezeték (A1) vagy többerű kábel (A2) védőcsőben **hőszigetelő falban**. A hőelvezetés rossz, mert a hőszigetelő anyag körülveszi.
- **B1, B2:** vezeték (B1) vagy többerű kábel (B2) védőcsőben vagy szerelőcsatornában falon, illetve falazatban. A hőelvezetés közepes.
- **C:** kábel közvetlenül falon, illetve vakolat alatt vagy falazatba ágyazva. A hőelvezetés jobb, mint A1/B1 esetén.
- **D:** kábelek a földben (védőcsőben vagy közvetlenül). A hőelvezetés a talaj hővezető képességétől és nedvességétől függ.
- **E, F:** kábel szabad levegőn, perforált tálcán vagy létrán (E: többerű kábel, F: egyerű kábelek). A hőelvezetés kiváló, ha a nap nem süti közvetlenül.

A betűjelek hozzárendelését a szabvány A.52.3 táblázata adja **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52, aktuális kiadás)**. A hazai gyakorlat két leggyakoribb esete: védőcsőbe húzott H07V-U vakolat alatt vagy falazatban → B1 (2,5 mm^2: kb. 24 A); köpenyes kábel (pl. NYM-J) közvetlenül vakolat alatt → C (kb. 27 A); hőszigetelt (pl. gipszkarton és kőzetgyapot) falban csőben → A1 (kb. 19,5 A). A konkrét betűjelet mindig a tényleges beépítésből határozd meg, nem a „falba vésés” szóból (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52).

Az alábbi ábra azt mutatja meg, hogy ugyanaz a keresztmetszet mennyit bír el a különböző csoportokban. Az értékek szemléltető példák, a pontos értékek a szabványi táblázattól és a környezeti hőmérséklettől függenek:



10.2. ábra. Rézkábel terhelhetőségének (Iz) alakulása 2,5 mm² esetén - Szemléltető, kerekített referenciaértékek: 2,5 mm² PVC szigetelésű rézvezeték, két terhelt ér, 30 °C környezeti hőmérséklet (ellenőrizendő az aktuális MSZ HD 60364-5-52 táblázat). A D (földben) mód külön táblázatból származik, ezért nincs itt.

Látod, miért nem mindegy, hová teszed a vezetéket? Ugyanaz a 2,5 mm^2-es rézvezeték hőszigetelő falban, védőcsőben (A1) kb. 19,5 A-t, szabad levegőn (E) kb. 30 A-t visel el; a vakolat alatti szerelés ezek között van: csőben (B1) kb. 24 A, köpenyes kábellel közvetlenül (C) kb. 27 A (két terhelt ér, PVC, réz, 30 °C; ellenőrizendő). Ha tehát a tervező kiszámolta, hogy 2,5 mm^2 kell, de a szerelő a falba vésve vezeti, miközben a terv szabad levegőn, tálcán való szerelést ír elő, a kábel túlmelegedhet.

Megjegyzés. Az oszlopdiagram értékei nem a szabvány hivatalos táblázatát helyettesítik, hanem a hőelvezetés különbségét szemléltetik. Ez a látvány segít megjegyezni, hogy a rosszabb hőelvezetésű szerelési mód (pl. hőszigetelő falban, védőcsőben) kisebb terhelhetőséget ad.

10.2.5. Gyakorlati útmutató: színellenőrzés bekötés előtt

Cél: Ismerd fel és ellenőrizd a kábel ereit, ne bízz vakon a színben. **Eszközök és anyagok:** tömör rézkábel (NYM-J 5x2,5 jellegű), kétpólusú feszültségvizsgáló (az öt szabály 3. lépéséhez; a fázisceruza a feszültségmentesség megállapítására nem megbízható), multiméter CAT III/IV-es mérőzsinórral, szerelőolló, kés.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

1. **Feszültségmentesítés** az öt biztonsági szabály szerint: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.
2. **Szemrevételezés:** Nézd meg a kábel külső köpenyét. A NYM-J jellegű kábelnél az erek színei a szabvány szerintiek: barna, fekete, szürke, kék, zöld-sárga.
3. **Kábelvég bontása:** Húzd le a külső köpenyt, majd az egyes erek szigeteléséből vágj le annyit, hogy érvéghüvelyt tudj szerelni, de ne többet.
4. **Érazonosítás folytonosságméréssel:** a kábel túlsó végén kösd össze ideiglenesen a vizsgált eret a zöld-sárga érrel (sorkapoccsal, jelölve), majd a közeli végen mérd az ellenállást a két ér között csengő/Ω állásban; kis érték = a pár összetartozik. Ezt ismételd minden érre, a végén az ideiglenes áthidalást bontsd. Rövid, tanműhelyi kábelmintán a két vég közvetlenül is összemérhető. A zöld-sárga érnek a másik oldalon is zöld-sárgának kell lennie. A bekötési rajzon a vezetőket a rajz színével és feliratával jelöld (L1, L2, L3, N, PE).
5. **Bekötés a kapocsba:** A zöld-sárga eret mindig a védővezető-sínre, a kék eret a nulla-sínre, a barna/fekete/szürke ereket a túláramvédelmi eszközre és a fogyasztóra kösd.
6. **Ellenőrzés:** A kötés után ismételt folytonosságméréssel ellenőrizd, hogy a zöld-sárga és a kék eret nem cserélted-e fel. A szabványos mérés a folytonosságon túl a szigetelési ellenállást is ellenőrzi, amit a Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés résznél tanulsz majd meg.

Tipikus hibák: A zöld-sárga vezeték túl rövidre vágása, a kék keresztmetszetének kisebbre választása, a szerelőollóval a külső köpeny alatt a belső erek megsértése.

10.2.6. Hibakeresés: felcserélt színek a lakáselosztóban

Tünet: Egy felújításnál a lakáselosztó bővítésekor a szerelő a meglévő köröknél azt találja, hogy a kör fogyasztói nem működnek; a mérés (kétpólusú feszültségvizsgálóval, műszerellenőrzés után): a barna és a kék ér között 0 V, a zöld-sárga és a kék ér között viszont 230 V van.

Figyelem. Ha a védővezetőn feszültséget mérsz, azonnal kapcsold le az érintett kört (szükség esetén a főkapcsolót), és a hiba megszüntetéséig ne helyezd vissza feszültség alá: minden védővezetős készülékház életveszélyes lehet. A területet biztosítsd, a lakókat értesítsd.

Hipotézis: A régi szerelésben a vezetékek nem a mai színkód szerint vannak színezve (a régi szerelésekben a mai színkódtól eltérő színek fordulnak elő – ellenőrizendő: régi MSZ színjelölés), vagy a kábelt toldották, és a toldásnál felcserélődtek az erek.

Mérés és azonosítás: a tünetként mért feszültség (kétpólusú feszültségvizsgálóval, műszerellenőrzés után) azt mutatja, hogy a zöld-sárga ér fázispotenciálon, a barna nullapotenciálon van: $U_{\text{barna-kék}} = 0\,\text{V}$, $U_{\text{zöld-sárga–kék}} = 230\,\text{V}$. Ezután a kört lekapcsolod, az öt szabály szerint feszültségmentesíted, és az ereket folytonosságméréssel azonosítod. A hibát a színjelölés felcserélődése okozza, amely nem felel meg az MSZ EN 60445 követelményeinek.

Ok: Egy korábbi toldásnál a régi kábel fázisát a mai zöld-sárga érhez kötötték, a nullát a barnához – ezért a védővezető feszültség alatt van. A fogyasztók ezért nem működtek – emiatt vették észre a hibát –, közben azonban minden testelt készülékház fázisfeszültségen volt.

Javítás: A hálózatot részekre bontva, rajz alapján, folytonosságméréssel (feszültségmentesen) kell azonosítani minden eret. A régi színeket soha ne tippeld meg. Ha nem egyértelmű a szín, a hibás szakaszra új kábelt kell behúzni; a zöld-sárga eret más funkcióra átjelölni, más eret zöld-sárgára jelölni tilos (ellenőrizendő: MSZ EN 60445). Ezt villamos szakember végezheti.

Megelőzés: Mindig az aktuális színkódot használd, és a kábel mindkét végét jelöld fel. A javítás után készíts hurokimpedancia-mérést és áram-védőkapcsoló (FI-relé) vizsgálatot, valamint a védővezető folytonosságának mérését.

10.2.7. Tipikus hibák

- **Hiba:** A zöld-sárga vezetőt használják kapcsolt fázisnak egy váltókapcsolásnál, mert „épp nem volt más vezeték”. **Következmény:** A védővezető áram alá kerül, a hiba csak akkor derül ki, ha valaki hozzáér, vagy egy másik szerelő áramütést szenved. **Helyes:** Mindig szabványos eret használj, vagy húzz be új kábelt.
- **Hiba:** A nullavezetőt kisebb keresztmetszetűre választják, mert „a háromfázisú terhelés úgyis szimmetrikus”. **Következmény:** Aszimmetria vagy 3. felharmonikusokat termelő fogyasztók (LED-ek, kapcsolóüzemű tápegységek) esetén a nullavezető árama elérheti, sőt meghaladhatja a fázisáramot, és a nullavezető túlmelegszik. **Helyes:** a nullavezető legyen a fázisvezetővel azonos keresztmetszetű; csökkenteni csak a szabvány feltételei szerint, nagyobb keresztmetszetnél szabad (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52).
- **Hiba:** A szerelő nem veszi figyelembe a szerelési módot, és a tálcán szerelt kábel terhelhetőségét írja fel a falba véshez. **Következmény:** Túlmelegszik a szigetelés, az rövidzárlatot okoz. **Helyes:** A terhelhetőségi számítást mindig a konkrét szerelési mód (A1, B1, C, D) alapján végezd.

10.2.8. Önellenőrzés

1. Milyen színű a védővezető (PE)?
2. Mit jelent, ha egy PEN vezetőt látsz zöld-sárga színnel, a végein kék szigeteléssel?
3. Miért kisebb a falba süllyesztett kábel terhelhetősége, mint a tálcán szerelté?
4. Sorold fel a lakásvillamosságban leggyakoribb szabványos keresztmetszeteket!
5. Mi a teendő, ha egy régi kábelben piros, fekete, zöld színű ereket találsz?

Válaszok az önellenőrzésre: 1. Zöld-sárga. 2. Egyszerre védő- és nullavezető; a zöld-sárga jelzi a védelmet, a kék a nullát. 3. Mert a fal rossz hővezető, a hő nem tud eltávozni, így a szigetelés gyorsabban melegszik. 4. 1,5, 2,5, 4, 6 és 10 mm^2 (világítás 1,5, aljzatkör 2,5, nagyobb fogyasztók és betáp 4–10 mm^2). 5. Nem a színre hagyatkozol, hanem folytonosságméréssel azonosítod az ereket, és rajzot készítesz.

10.2.9. Feladatok

1. feladat (A). Rajzold le (szövegesen) egy ötvezetős, háromfázisú kábel érjeit. Írd mellé az L1, L2, L3, N, PE jelölést és a hozzá tartozó színt.

2. feladat (A). Egy 5x2,5 mm^2-es kábel kék erét nullaként, a zöld-sárgát védőként, a barnát fázisként jelölöd. Hány mm^2 a nulla és a védő keresztmetszete?

3. feladat (B). Egy katalógus A1 csoportban 2,5 mm^2 rézre (két terhelt ér, PVC) 19,5 A-t ad meg. Ugyanez a kábel B1-ben 24 A-t, C-ben 27 A-t bír (ellenőrizendő: aktuális táblázat). Indokold meg a különbséget!

4. feladat (B). Egy munkatársad a 10 mm^2-es, bordó színű, 60 V-os mérővezetéket használ a 230 V-os áramkörhöz. Milyen szabályt sért meg, és mit kockáztat?

5. feladat (C). Egy lakáselosztóban a bővítés során a szabványos kéket a régi fekete nullához kötötted. A régi fekete valójában fázis volt. Mi történik? Hogyan keresnéd meg a hibát?

6. feladat (D). Egy felújításnál a kábel tálcán megy a földszinten, majd a falba vésve megy fel az emeletre. Hogyan választanád meg a védelmet, ha ugyanaz a 2,5 mm²-es kábel mindkét szakaszon fut?

Megoldások a feladatokhoz

1. L1 - barna, L2 - fekete, L3 - szürke, N - világoskék, PE - zöld-sárga.
2. A nulla és a védő is 2,5 mm². A szabvány nem engedi a nullát vékonyabbra, ha a fázis 2,5-ös.
3. Mert a hőelvezetés eltérő: A1 hőszigetelő falban, védőcsőben (legrosszabb), B1 védőcsőben falon (közepes), C közvetlenül falon, vakolat alatt vagy falazatban (jobb); szabad levegőn (E) a legjobb. Minél rosszabb a hőelvezetés, annál kisebb az I_z.
4. A 60 V-os vezeték nem felel meg a 230 V-os feszültségszintnek, és a bordó szín nem szabványos a hálózati feszültségre. A szigetelés átüthet, és a szerelőt megzavarja. Tilos!
5. Ha a régi fekete egy kismegszakítóról táplált fázis, a nullasínre kötve fázis–nulla zárlatot okoz: visszakapcsoláskor a kismegszakító azonnal old (ívvel), az RCD-s körben az RCD is oldhat. Ha a fekete egy kapcsolt fázis (például lámpa felé), akkor a kapcsoló felkapcsolásakor ugyanez történik. Hibakeresés: az öt biztonsági szabály következik: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése kétpólusú feszültségvizsgálóval, földelés és rövidre zárás, szomszédos részek lefedése. Ezután rajz alapján folytonosságméréssel azonosítod az ereket; a zöld-sárga eret más funkcióra átjelölni tilos.
6. A védelmet a *legrosszabb* szakaszra kell méretezni. Ha a fal szakasz hőszigetelt falban, védőcsőben fut (A1), akkor a teljes körre az A1-hez tartozó kisebb terhelhetőséget kell venni; a konkrét betűjelet a tényleges beépítésből kell meghatározni.

10.2.10. Rövid összefoglaló

A villamos szerelés alapja az egyértelmű azonosítás. A szabvány szerint a zöld-sárga kizárólag védővezető (PE/PEN), a világoskék a nulla (N), a barna, fekete, szürke a fázis. A kábelek keresztmetszetét a szabványos keresztmetszetsorból (MSZ EN 60228) választjuk (0,5-től 240 mm²-ig), és megkülönböztetünk tömör, sodrott és hajlékony ereket. Ugyanaz a keresztmetszet eltérő áramot (hőt) bír el attól függően, milyen szerelési módba kerül: a hőszigetelő falban, védőcsőben (A1, A2) a hőelvezetés rossz, falon, vakolat alatt (C) jobb, szabad levegőn vagy tálcán (E) a legjobb, földben (D) a talaj hővezetésétől függ. A méretezésnél ezért mindig a konkrét beépítéshez tartozó terhelhetőséget (I_z) kell alapul venni, nem a kábel elméleti maximumát. A hibás színjelölés életveszélyes, mert a védővezetőre kerülő fázis a készülékházat teszi veszélyessé. A színekben vakon nem szabad bízni – mindig méréssel azonosítsd az ereket.

Továbbvitt eredmény. A szabványos színeket és a szerelési módok hatását használjuk a Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők számításainál, a Vezetékek és kábelek szerelési módjai gyakorlatánál, valamint a Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru alfejezetben.

10.3. Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők

A családi ház vagy lakásfelújítás során az egyik leggyakoribb szerelői hiba, hogy a vezetőt „szemre” választják: „egy 1,5 mm²-es vezeték elbírja a 16 ampert”. Ez a gyakorlat azonban figyelmen kívül hagyja a szerelési módot, a környezet hőmérsékletét és a közös védőcsőben futó többi áramkör hatását. A vezető és a szigetelés melegedése határozza meg, hogy az adott áramkör tartósan, károsodás nélkül üzemeltethető-e. Ebben az alfejezetben az úgynevezett **tartós terhelhetőség** fogalmát és a **javítótényezők** alkalmazását tanuljuk meg, mert e nélkül sem a Feszültségesés

és a vezeték méretezése, sem az Anyag- és eszközkiválasztás, árajánlat vagy az Aljzatkörök és fogyasztói csatlakozások, nedves helyiségek feladatait nem lehet biztonságosan megoldani.

10.3.1. Melegedés és a megengedett üzemi hőmérséklet

Amikor a vezetőn I áram folyik, a vezető ohmos ellenállásán $P_{\text{veszt}} = I^2R$ teljesítmény hővé alakul. Ez a hő egy része a vezető anyagát melegíti, másik része a szigetelésen, a környező levegőn vagy a szerelőcső anyagán keresztül távozik. A hőmérséklet akkor állandósul, amikor a veszteségi hőteljesítmény megegyezik a környezetbe leadott hőteljesítménnyel.

Definíció. A vezeték **megengedett üzemi hőmérséklete** az a legnagyobb hőmérséklet, amelyen a szigetelőanyag a várható élettartama alatt – jellemzően több évtized – nem károsodik káros mértékben. A legelterjedtebb PVC-alapú szigetelésnél ez a határ 70 °C, a térhálósított polietilén (XLPE) alapú szigetelésnél pedig 90 °C **(ellenőrizendő: az adott gyártói adatlap és a hatályos szabvány pontos értékei)**.

A hőmérséklet-emelkedés körülbelül az áram négyzetével arányos, ezért a túlterhelés gyorsan túlmelegedést okoz. A túl magas hőmérséklet először a szigetelőanyag öregedését gyorsítja fel: a PVC elveszti rugalmasságát, megkeményedik, megreped; ezáltal csökken a dielektromos szilárdsága, és kialakulhat a zárlat. A melegedés a vezetőt körülvevő szerelvényeket, kapcsolókat, csatlakozó kapcsokat is igénybe veszi, és tűzveszélyes helyzetet teremt.

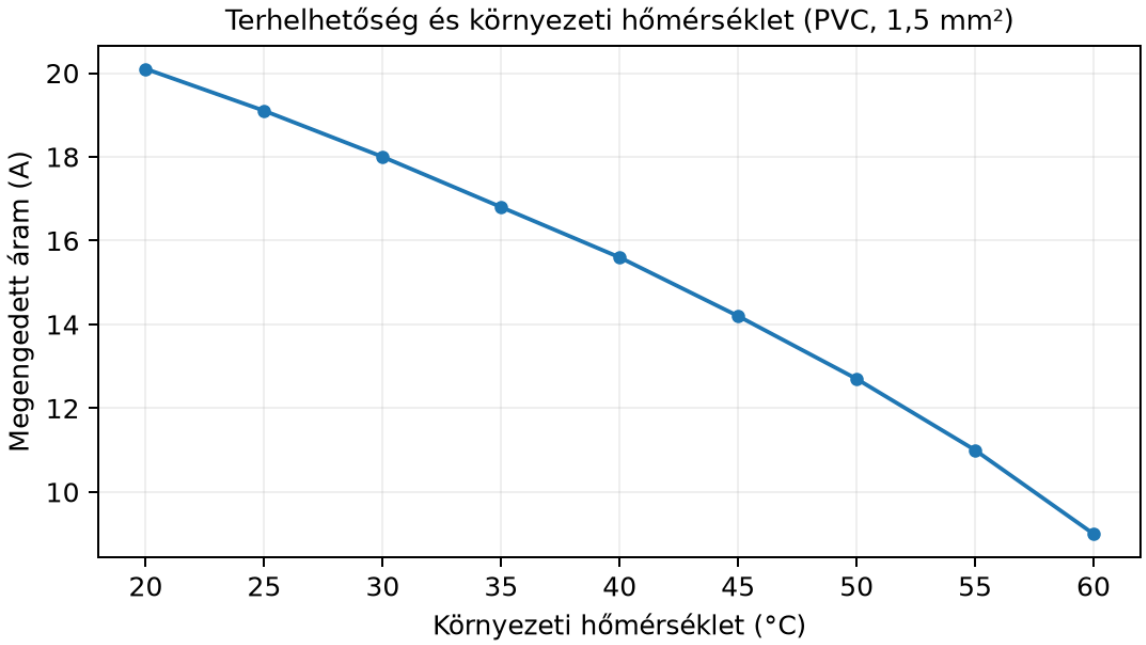
Összefüggés. A vezető ellenállása a hőmérséklettel is nő, tehát a melegedés visszahat az áramfelvételre: nagyobb hőmérséklet nagyobb ellenállást, nagyobb ellenállás további melegedést okoz. A gyakorlati méretezésnél azonban a megengedett hőmérséklethez tartozó táblázatos, úgynevezett **tartós terhelhetőségi értéket** használjuk, amely már ezt a visszacsatolást figyelembe veszi.

10.3.2. Terhelhetőségi táblázatok: a „névleges” alapérték

A vezetékek tartós terhelhetősége (I_z) függ a vezető anyagától (réz vagy alumínium), a szigetelés típusától, a keresztmetszettől, a szerelési módtól és a környezet hőmérsékletétől. Az MSZ HD 60364-5-52 szabvány rendszere szerint a gyártók és a tervezők a **referencia-körülményekre** (levegőben, csőben, szabadon szerelve, adott környezeti hőmérséklet, egyetlen áramkör) adják meg a vezetők névleges terhelhetőségét. A táblázatból kiolvasható alapértéket azután **javítótényezőkkel** igazítjuk a valóságos szerelési viszonyokhoz.

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések létesítését a magyarországi gyakorlatban az MSZ HD 60364 sorozat szabályozza; a vezetők terhelhetőségének és a szerelési módoknak a részleteit az MSZ HD 60364-5-52 tartalmazza. A terhelhetőségi táblázatok, a javítótényezők és a hőmérsékleti alapértékek a szabvány mellékleteiben találhatók; az aktuális kiadást és a táblázatszámokat mindig ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: a hatályos szabványkiadás, a használt táblázat pontos száma és a referencia-hőmérsékletek)**.

Az alábbi ábra egy szemléltető, számított értékű diagram, amely egy tipikus réz, PVC szigetelésű, 1,5 mm²-es, csőben szerelt vezető terhelhetőségét mutatja a környezeti hőmérséklet függvényében, feltételezve, hogy a megengedett üzemi hőmérséklet 70 °C és a referencia-hőmérséklet 30 °C. A pontokat a $k_1 = \sqrt{(70-\vartheta)/(70-30)}$ képletből számoltuk: 20 °C-on 20,1 A, 40 °C-on 15,6 A ($18 \cdot 0{,}87$), 60 °C-on már csak 9,0 A.



10.3. ábra. Terhelhetőség és környezeti hőmérséklet (PVC, 1,5 mm²) - k1 = $\sqrt{((70 - \vartheta)/40)}$ képlettel, 18 A referenciaértékből számolva (PVC, 30 °C referencia); a szabványtáblázat kerekített tényezői (pl. 40 °C: 0,87) ezzel egyeznek – ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52. A valós méretezéshez a hatályos táblázat használata kötelező.

A diagram világosan mutatja, hogy a terhelhetőség már néhány fokos környezeti hőmérséklet-emelkedésre is érzékenyen csökken, ezért a javítótényező alkalmazása nem elhanyagolható formalitás.

10.3.3. Javítótényezők: a valós szerelési körülmények

A tényleges megengedett terhelés kiszámításához az alap-táblázatból kiolvasott I_{alap} értéket meg kell szorozni a vonatkozó tényezőkkel. Az általános képlet:

$$I_z = I_{\text{alap}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \ldots$$

ahol: - k_1 a **környezeti hőmérséklet javítótényezője** (a referencia-hőmérséklettől való eltérés miatt), - k_2 a **csoportosítási tényező** (több áramkör vagy vezeték közös csőben, tálcán vagy kötegben fut), - k_3 a **hőszigetelés tényezője** (pl. hőszigetelésben vagy szigetelt falüregben fektetett vezeték esetén), - további tényezők is lehetnek, például talajban fektetésre vagy alumíniumvezetőre, de a gyakorlati szerelői feladatokban a fenti három a leggyakoribb.

A tényezők értéke általában 1,0 alatt van, tehát csökkentik a terhelhetőséget. Előfordulhat 1,0 feletti is, például a 30 °C-nál alacsonyabb környezeti hőmérsékletnél (lásd a 2. példát), de a tervezők ezt a tartalékot a gyakorlatban gyakran nem használják ki, hanem biztonsági okból $k_1 = 1$-gyel számolnak.

Szabály. A javítótényezőket nem tetszőlegesen kerekítjük, hanem a szabvány táblázataiból választjuk. A végeredményt a szabványos terhelhetőségi értékre, a biztonság irányába kerekítve adjuk meg.

Példa. Vegyünk egy réz, PVC szigetelésű, 1,5 mm²-es vezetőt, amelyet süllyesztett falhoronyban, műanyag csőben szerelünk. A szabvány szerinti referencia-terhelhetőség (két terhelt erű, csőben, 30 °C) legyen $I_{\text{alap}} = 18$ A **(ellenőrizendő: a hatályos táblázat pontos értéke)**. Ha a környezeti hőmérséklet a mérőszekrény közelében tartósan 35 °C, a k_1 tényező kb. 0,94. Ha a csőben négy másik áramkör is fut, a csoportosításra (5 áramkör egy csőben) $k_2 = 0{,}60$ **(ellenőrizendő: a csoportosítási tényezők táblázata)**. Hőszigetelés nem érinti, így $k_3 = 1$. A korrigált terhelhetőség:

$$I_z = 18 \cdot 0{,}94 \cdot 0{,}60 \cdot 1 = 10{,}15\,\text{A} \approx 10{,}2\,\text{A}.$$

Látható, hogy a 16 A-es kismegszakítóval védett aljzatkör helytelen választás lenne ilyen körülmények között, mert a vezető megengedett terhelhetősége jóval a védelmi szint alá esne.

10.3.4. A vezeték melegedésének ellenőrzése: $I_b \le I_n \le I_z$

A biztonságos méretezés alapfeltétele az

$$I_b \le I_n \le I_z$$

egyenlőtlenséglánc, ahol: - I_b az áramkör **tartós üzemi árama** (a legnagyobb tartósan folyó áram), - I_n a védőkészülék (kismegszakító vagy olvadóbiztosító) **névleges árama**, - I_z a vezeték **korrigált tartós terhelhetősége**.

Törvény. Az MSZ HD 60364-4-43 szerint a vezetők túlterhelés elleni védelmét úgy kell kialakítani, hogy a vezető a várható túlterhelések és zárlatok során ne károsodjon. Ennek alapja az $I_b \le I_n \le I_z$ feltétel, valamint az, hogy a vezető terhelhetősége a védőkészülék kioldási karakterisztikájával összhangban legyen. **(Ellenőrizendő: a hatályos szabvány követelménye és a védőkészülék kioldási karakterisztikája.)**

Az egyenlőtlenség értelmezése: - $I_b \le I_n$: a védőkészüléket legalább akkorára kell választani, mint a várható legnagyobb üzemi áram, különben a normál üzemben is leold. - $I_n \le I_z$: a védőkészülék névleges árama nem haladhatja meg a vezető korrigált terhelhetőségét, különben a vezető túlmelegedhet anélkül, hogy a védelem lekapcsolna.

Szabály. A túlterhelés elleni védelemnek egy második feltételt is teljesítenie kell: $I_2 \le 1{,}45\,I_z$, ahol I_2 a védőkészülék megállapodás szerinti, egy órán belül biztosan működő árama. Kismegszakítónál $I_2 = 1{,}45\,I_n$, ezért ott az $I_n \le I_z$ teljesülése elég; olvadóbiztosítónál (a megállapodás szerinti áram nagyobb, kb. $1{,}6\,I_n$) külön ellenőrizni kell (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-43, MSZ EN 60898-1, MSZ EN 60269).

A feltételek teljesülése esetén a vezeték hőmérséklete tartósan a megengedett határ alatt marad; a 1,0–1,45 I_n tartományban azonban a védőkészülék csak késleltetve old le, a vezeték átmenetileg a határ fölé melegedhet.

Megjegyzés. A gyakorlatban a feltételt a Kismegszakítók és kioldási jelleggörbék alfejezet is használja; ott a B, C, D karakterisztikájú kismegszakítók kioldási viselkedését is figyelembe vesszük.

10.3.5. Kidolgozott számítási példák

10.3.5.1. 1. példa: Egy iroda légkondicionáló áramkörének javítótényezős méretezése

Adott: Egy irodai klímaberendezés névleges teljesítménye $P = 3{,}0$ kW, névleges feszültsége 230 V, teljesítménytényezője $\cos\varphi = 0{,}93$. A vezetéket fém védőcsőben, a szerelt falon kívül szerelik, a környezeti hőmérséklet 40 °C, a csőben még két másik áramkör is fut. A vezeték réz, PVC szigetelésű, 2,5 mm², a referencia-terhelhetőség legyen $I_{\text{alap}} = 24$ A (két terhelt erű, fém védőcsőben falon, B1 szerelési mód, 30 °C) **(ellenőrizendő a táblázatban)**.

Keresett: Megfelel-e a 2,5 mm²-es vezető, ha a védőkészülék névleges árama $I_n = 16$ A?

Megoldás lépései:

1. Számítsuk ki a tényleges üzemi áramot:

$$I_b = \frac{P}{U\cos\varphi} = \frac{3000}{230 \cdot 0{,}93} = 14{,}03\,\text{A}.$$

2. Válasszuk a javítótényezőket:
   - 40 °C, PVC, levegőben szerelve: $k_1 = 0{,}87$ (a gyakorlati érték; **ellenőrizendő**),
   - három áramkör egy csőben: $k_2 = 0{,}70$,
   - hőszigetelés nincs: $k_3 = 1$.

3. Számítsuk ki a korrigált terhelhetőséget:

$$I_z = 24 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}70 \cdot 1 = 14{,}616\,\text{A} \approx 14{,}6\,\text{A}.$$

4. Ellenőrizzük az $I_b \le I_n \le I_z$ feltételt:

$$14{,}03 \le 16 \le 14{,}6$$

Nem teljesül, mert $I_n = 16$ A nagyobb, mint $I_z \approx 14{,}6$ A. A vezető túlterhelhető lenne, tehát nagyobb keresztmetszetet (4 mm² vagy nagyobb) kell választani, vagy csökkenteni kell a csoportosítást, illetve a hőmérsékleti hatást.

Tanulság: a 2,5 mm²-es vezető a 16 A-es kismegszakítóval látszólag megfelel, de a javítótényezők miatt a tényleges terhelhetősége a névleges alá esik.

10.3.5.2. 2. példa: Lakáselosztó fővezetékének ellenőrzése

Adott: Egy lakás fővezetéke réz, 6 mm², PVC szigetelésű, szerelőcsőben vezetve, a külső falon, ahol a környezeti hőmérséklet 25 °C. A lakás legnagyobb tartós üzemi árama $I_b = 32$ A, a fővezeték védőkészüléke $I_n = 35$ A (a mérőhely előtti, plombált gG olvadóbiztosító). A referencia-terhelhetőség 6 mm²-re, csőben, 30 °C: $I_{\text{alap}} = 36$ A **(ellenőrizendő)**. A csőben a fővezetéken kívül egy másik, 10 A-es áramkör is fut.

Keresett: Megfelelő-e a méretezés?

Megoldás:

1. Javítótényezők:

- 25 °C, PVC: legyen $k_1 = 1{,}06$ (a 30 °C referencia alatt a tényező 1-nél nagyobb; **ellenőrizendő**; a tervezők biztonsági okból gyakran $k_1 = 1$-gyel számolnak, ekkor $I_z = 36 \cdot 1 \cdot 0{,}80 = 28{,}8\,\text{A}$),
- két áramkör csőben: $k_2 = 0{,}80$,
- hőszigetelés: $k_3 = 1$.

2. Korrigált terhelhetőség:

$$I_z = 36 \cdot 1{,}06 \cdot 0{,}80 \cdot 1 = 30{,}528\,\text{A} \approx 30{,}5\,\text{A}.$$

3. Ellenőrzés:

$$I_b = 32 \le I_n = 35 \le I_z = 30{,}5$$

Nem teljesül: I_z kisebb, mint I_n. A 6 mm²-es vezeték ebben a szerelési helyzetben túlmelegedhet, a 35 A-es védő nem fogja időben megvédeni. Mivel a védelmet gG olvadóbiztosító adja, a második feltételt is ellenőrizzük ($I_2 \le 1{,}45\,I_z$): $I_2 \approx 1{,}6 \cdot 35 = 56\,\text{A}$, $1{,}45\,I_z = 1{,}45 \cdot 30{,}5 = 44{,}2\,\text{A}$ – ez sem teljesül ($56 > 44{,}2$).

Megoldás: nagyobb keresztmetszet vagy a csoportosítás megszüntetése. Ellenőrzés 10 mm²-rel (azonos oszlopból: három terhelt ér, B1 szerelési mód, $I_{\text{alap}} = 50\,\text{A}$ – **ellenőrizendő**):

$$I_z = 50 \cdot 1{,}06 \cdot 0{,}80 \cdot 1 = 42{,}4\,\text{A}$$

$$32 \le 35 \le 42{,}4 \quad \text{és} \quad I_2 = 56\,\text{A} \le 1{,}45 \cdot 42{,}4 = 61{,}5\,\text{A}$$

Mindkét feltétel teljesül, tehát a 10 mm²-es vezeték megfelel.

Hibás példa ellenpéldaként: Ha valaki a referencia-táblázatból 36 A-t kiolvassa, és anélkül használja, hogy a csoportosítási tényezőt figyelembe venné, a vezető valójában kb. 30,5 A-re terhelhető. A 35 A-es védő nem old le, a vezető tartósan a megengedett hőmérséklet felett üzemel, a szigetelés öregszik, és a lakáselosztóban tűzveszély alakulhat ki.

10.3.6. A melegedés fizikai háttere és az interaktív kalkulátor

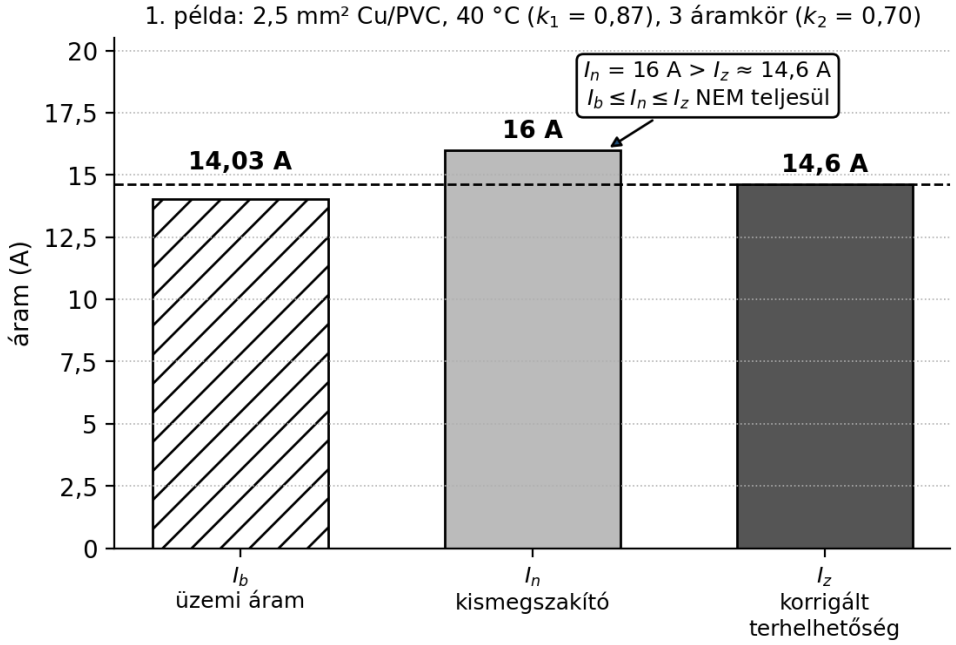
A vezető hőmérséklet-emelkedését a veszteségi teljesítmény és a hőellenállás határozza meg. Egyszerű stacionárius modellben a vezető hőmérséklete:

$$\vartheta_{\text{vez}} = \vartheta_{\text{körny}} + I^2 R_{\text{meleg}} \cdot R_{\text{th}}$$

ahol ϑ_{vez} a vezető hőmérséklete, $\vartheta_{\text{körny}}$ a környezet hőmérséklete, R_{meleg} a vezető ellenállása a meleg állapotban, R_{th} pedig a termikus ellenállás a vezető és a környezet között. Ezt a képletet a gyakorlati méretezésben ritkán használjuk, mert a szabványos táblázatok már a megengedett hőmérsékletre vonatkoznak, de segít megérteni, miért nő a hőmérséklet az áram négyzetével, és miért fontos a jó hőelvezetés.

A könyv HTML-kiadásában ehhez az alfejezethez egy **interaktív terhelhetőség-kalkulátort** csatolunk. A kalkulátorban a felhasználó megadja a táblázatból kiolvasott referencia-terhelhetőséget (ez a vezető anyagától, keresztmetszetétől és a szerelési módtól függ), kiválasztja a szigetelés típusát (PVC vagy XLPE), beállítja a környezeti hőmérsékletet, a csoportosítási

és a hőszigetelési tényezőt, valamint az üzemi áramot és a védőkészülék névleges áramát. A program kiszámolja a k_1 tényezőt és a korrigált I_z értéket, majd ellenőrzi az $I_b \le I_n \le I_z$ feltételt, szövegesen is kiírva, hogy teljesül-e. A statikus ábra az 1. példa három áramát mutatja egymás mellett: $I_b = 14{,}03$ A, $I_n = 16$ A, $I_z \approx 14{,}6$ A – az $I_n \le I_z$ reláció nem teljesül.



10.4. ábra. Az 1. példa ellenőrzése: üzemi áram 14,03 A, kismegszakító 16 A, korrigált terhelhetőség 14,6 A

A kalkulátorban a referencia-terhelhetőséget (I_{alap}) és a k_2, k_3 tényezőt a hatályos táblázatból kell beírni (a gombok a fejezet két kidolgozott példáját töltik be); a k_1 tényezőt a program a fenti képletből számolja PVC (70 °C) vagy XLPE (90 °C) szigetelésre, és az $I_2 \le 1{,}45 \cdot I_z$ feltételt is kiírja.

10.3.7. Gyakorlati útmutató: terhelhetőség ellenőrzése a szerelőpulton

Cél: Egy adott áramkör vezetőjének kiválasztása táblázatból a javítótényezők alkalmazásával.

Eszközök és anyagok: az MSZ HD 60364-5-52 terhelhetőségi és javítótényező-táblázatai (vagy a gyártói katalógus megfelelő táblázatai), zsebszámológép, az áramkör adatai (üzemi áram, védőkészülék névleges árama, szerelési mód, környezet).

Biztonsági korlát. A méretezés tanműhelyi vagy irodai feladat, feszültség alatti munkát nem igényel. Hálózati feszültségű munkát csak jogosult személy végezhet.

Az öt biztonsági szabály itt nem értelmezhető, mert nem mérünk feszültség alatti hálózatot, csak papíralapú vagy gépi számítást végzünk. Amennyiben a kiválasztott vezetőt később ténylegesen beszerelik, a szerelés során a Felmérés, tervértelmezés és szerelési technológia biztonsági előírásait kell betartani.

Lépések:

1. Határozd meg az áramkör I_b üzemi áramát a fogyasztó adataiból (P, U, $\cos\varphi$).

2. Válaszd ki a védőkészülék I_n névleges áramát úgy, hogy $I_n \geq I_b$ legyen, és illeszkedjen a fogyasztó jellegéhez (pl. B vagy C karakterisztika).
3. Válaszd ki a szerelési módot (csőben, falban, szabadon, kábellétrán vagy kábeltálcán stb.), és olvasd ki a referencia-terhelhetőséget I_{alap} a táblázatból a vezető anyaga, szigetelése és keresztmetszete alapján.
4. Határozd meg a javítótényezőket:
   - k_1: a környezeti hőmérséklet alapján,
   - k_2: a csoportosítás alapján (hány áramkör fut együtt),
   - k_3: a hőszigetelés miatt, ha a vezető hőszigetelésben vagy szigetelt falüregben halad.
5. Számítsd ki a korrigált terhelhetőséget: $I_z = I_{\text{alap}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$.
6. Ellenőrizd: $I_b \leq I_n \leq I_z$. Ha nem teljesül, növeld a keresztmetszetet, vagy csökkentsd a terhelést/környezeti hatást.
7. Dokumentáld a választást: a tervbe írd be a I_b, I_n, I_z, a választott keresztmetszetet és a javítótényezőket.

Ellenőrzési pontok: Az eredményül kapott I_z legyen nagyobb vagy egyenlő I_n-nel. A I_z ne térjen el nagymértékben a referencia-értékből; ha a javítótényezők szorzata nagyon alacsony, vizsgáld meg a szerelési mód megváltoztatásának lehetőségét.

10.3.8. Tipikus hibák

1. **A javítótényezők elhagyása.** A leggyakoribb hiba, hogy a szerelő csak a referencia-táblázatból olvas, és nem szoroz a csoportosítási vagy hőmérsékleti tényezővel. Ez túlmelegedéshez, idő előtti szigetelésöregedéshez vezet. Helyes: mindig alkalmazd a tényezőket, és a végeredményt ellenőrizd az $I_b \leq I_n \leq I_z$ feltétellel.

2. **Hibás szerelési mód.** A szerelési módot gyakran nem azonosítják pontosan (pl. falon kívüli csőben szerelt vezetőt levegőben szereltnek tekintik, ami nagyobb terhelhetőséget ad). A rossz osztályozás miatt a vezető valóságban kevesebb áramot bír el. Helyes: a szerelés tényleges kialakítását azonosítsd a szabványos jelölésekkel, és a megfelelő táblázatot használd.

3. **A csoportosítás figyelmen kívül hagyása.** Több áramkör közös védőcsőben vagy kábeltálcán való elhelyezése esetén a szomszédos vezetők melegítik egymást. Ha ezt nem vesszük figyelembe, a belső vezetők hőmérséklete a megengedett érték fölé emelkedik. Helyes: a csoportosítási tényezőt mindig a valós darabszám és elrendezés alapján válaszd ki.

4. **A védőkészülék névleges áramának túlzott megválasztása.** Ha I_n túl nagy, a feltétel $I_n \leq I_z$ nem teljesül: a kismegszakító nem védi meg a vezetőt a tartós túlterhelés ellen. Helyes: a védőkészüléket az üzemi áramhoz és a vezető terhelhetőségéhez igazítsd, ne a csúcsáramokhoz.

5. **A túlterhelés és a zárlat összemosása.** A túlterhelés elleni feltétel ($I_b \leq I_n \leq I_z$ és $I_2 \leq 1{,}45\, I_z$) a tartós, kis túláramra vonatkozik; a kismegszakító hőkioldója késleltetett, ezért rövid idejű túláramnál a vezető átmenetileg megmelegszik. A zárlati áramra külön feltétel van ($k^2S^2 \geq I^2t$, azaz a vezető termikus határa és a kioldási idő), amelyet a Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram alfejezet tárgyal. Ha a méretezés csak az egyik feltételt vizsgálja, a vezető károsodhat. **(Ellenőrizendő: a gyártói kioldási görbe és a vezető termikus terhelhetőségének összevetése.)**

10.3.9. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A PVC szigetelésű vezető megengedett üzemi hőmérséklete 90 °C. Indokold.
2. **Számolj:** Egy 4 mm²-es réz, PVC vezetőt 35 °C-os környezetben, egy olyan csőben szerelnek, amelyben három áramkör fut. A referencia-terhelhetőség 30 °C-on 38 A. A hőmérsékleti tényező 0,94, a csoportosítási tényező 0,70. Mennyi a korrigált terhelhetőség?
3. **Fogalom:** Mit jelent az $I_b \le I_n \le I_z$ feltétel egyes tagja?
4. **Gyakorlat:** Milyen következménye van annak, ha egy 1,5 mm²-es vezetőt 16 A-es kismegszakítóval védenek, de a szerelési mód miatt a I_z értéke csak 14,5 A?
5. **Táblázatolvasás:** Sorolj fel legalább három olyan tényezőt, amely a referencia-terhelhetőség csökkentését indokolja, és mondd el, hogyan viszonyulnak 1-hez.

10.3.10. Feladatok

1. feladat (A). Határozd meg egy egyfázisú, 2,3 kW-os, $\cos\varphi = 0{,}95$ teljesítménytényezőjű fogyasztó üzemi áramát 230 V-on. Ezután javasolj legalább akkora I_n értékű kismegszakítót, hogy az $I_b \le I_n$ feltétel teljesüljön.

2. feladat (A). Egy 10 mm²-es réz, PVC szigetelésű vezető referencia-terhelhetősége szabadon szerelve, 30 °C-on 51 A (ellenőrizendő). A környezet 40 °C, a hőmérsékleti javítótényező 0,87. Mennyi a korrigált terhelhetőség, ha nincs csoportosítás és hőszigetelés?

3. feladat (B). Egy háromfázisú, 5,5 kW-os (leadott, tengelyteljesítmény), $\cos\varphi = 0{,}88$, hatásfokú $\eta = 0{,}87$ motor vezetékét szerelik falon, közös védőcsőben (B1 szerelési mód), ahol 5 áramkör fut együtt. A környezeti hőmérséklet 30 °C. A választott vezető 4 mm² réz, PVC, három terhelt ér, referencia-terhelhetőség 28 A (B1, 30 °C – ellenőrizendő). A csoportosítási tényező 0,60. Válassz megfelelő névleges áramú kismegszakítót a motorvédelemhez (a direktindítási áramlökést most ne vizsgáld), és ellenőrizd az $I_b \le I_n \le I_z$ feltételt.

4. feladat (B). Egy lakás aljzatköreit 2,5 mm² réz, PVC vezetővel szerelik süllyesztett védőcsőben. A környezeti hőmérséklet a falhoronyban 35 °C. A referencia-terhelhetőség csőben falon (B1, két terhelt ér), 30 °C-on: 24 A. A hőmérsékleti tényező 0,94, a csoportosítási tényező (3 áramkör egy csőben) 0,70. Megfelel-e a 16 A-es kismegszakító az $I_b \le I_n \le I_z$ feltételnek, ha a legnagyobb tartós üzemi áram $I_b = 12$ A? Ha nem, mit javasolsz?

5. feladat (C). Elemezd, miért nem elegendő a vezeték melegedésének ellenőrzéséhez csak az I_z kiszámítása, ha a védőkészülék kioldási karakterisztikája nem ismert. Hivatkozz az $I_b \le I_n \le I_z$ feltételre és a kismegszakító termikus kioldójának működésére. **(Továbbvitt eredményt készít elő a Kismegszakítók és kioldási jelleggörbék alfejezethez.)**

6. feladat (D). Egy irodaépület elosztószekrényéből egy 32 A-es háromfázisú áramkör indul egy 10 m-re lévő al-elosztóba. A vezeték réz, 6 mm², PVC, falon, közös védőcsőben (B1 szerelési mód) szerelve. A csőben 7 áramkör fut, a csoportosítási tényező 0,54 (ellenőrizendő). A környezet 40 °C, a hőmérsékleti tényező 0,87. A referencia-terhelhetőség 6 mm²-re, három terhelt érrel, B1 szerelési módban, 30 °C-on 36 A (ellenőrizendő). A legnagyobb tartós üzemi áram $I_b = 28$ A, a védőkészülék $I_n = 32$ A. Ellenőrizd, hogy a választott vezető megfelel-e. Ha nem, milyen lépést tennél? (Ez a feladat összekapcsolja az $I_b \le I_n \le I_z$ feltételt az Anyag- és eszközkiválasztás, árajánlat alfejezettel.)

10.3.11. Megoldások

10.3.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A PVC megengedett üzemi hőmérséklete általában 70 °C; a 90 °C az XLPE-szigetelésre jellemző. **(Ellenőrizendő az aktuális gyártói adatok.)**
2. Korrigált terhelhetőség: $I_z = 38 \cdot 0{,}94 \cdot 0{,}70 = 25{,}0$ A.
3. I_b a tartós üzemi áram, I_n a védőkészülék névleges árama, I_z a vezető korrigált tartós terhelhetősége. A feltétel biztosítja, hogy a védő ne oldjon le normál üzemben, és a vezető ne hevüljön a megengedett határ fölé.
4. A vezető túlmelegszik, mert a 16 A-es kismegszakító 16 A fölött sem old le azonnal: kb. 18 A alatt ($1{,}13\,I_n$) egy órán belül nem old ki, kb. 23 A-nél ($1{,}45\,I_n$) egy órán belül kikapcsol (ellenőrizendő: MSZ EN 60898-1), a 14,5 A-re méretezett vezető viszont már 14,5 A felett tartósan károsodik. A hőmérséklet-emelkedés miatt a szigetelés öregszik, zárlat és tűz alakulhat ki.
5. Hőmérséklet (nagyobb környezet → kisebb terhelhetőség), csoportosítás (több áramkör → kisebb), hőszigetelés (rosszabb hőelvezetés → kisebb). A tényezők általában 1-nél kisebbek (csökkentő hatásúak); 1-nél nagyobb k_1 csak 30 °C-nál alacsonyabb környezetben fordul elő.

10.3.11.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A).
$I_b = \frac{P}{U \cos\varphi} = \frac{2300}{230 \cdot 0{,}95} = 10{,}53$ A.
A kismegszakítók névleges sorában a következő szabványos érték 13 A (… 10, 13, 16, 20, 25, 32 … – ellenőrizendő: MSZ EN 60898-1); a vezeték terhelhetőségétől függően 13 vagy 16 A választható ($I_n \le I_z$).

2. feladat (A).
$I_z = 51 \cdot 0{,}87 = 44{,}37$ A, tehát kb. 44 A.

3. feladat (B).
Először az üzemi áram. Az 5,5 kW leadott teljesítmény, a felvett áramhoz a hatásfok is kell:
$I_b = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_v \cos\varphi\,\eta} = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}88 \cdot 0{,}87} = 10{,}4$ A.
A korrigált terhelhetőség:
$I_z = 28 \cdot 1 \cdot 0{,}60 \cdot 1 = 16{,}8$ A.
Választás: $I_n = 13$ A (C jelleggörbe): $10{,}4 \le 13 \le 16{,}8$ teljesül (a 16 A is teljesítené, de szorosabb tartalékkal); a 10 A kisebb az üzemi áramnál. (Ellenőrzésképpen: 2,5 mm²-es vezetővel – három terhelt ér, kb. 21 A, ellenőrizendő – $I_z \approx 21 \cdot 0{,}60 = 12{,}6$ A lenne; 10,4 A és 12,6 A között nincs szabványos I_n, ezért kell a 4 mm².) A motor túlterhelés elleni védelmét a gyakorlatban motorvédő kapcsoló vagy hőkioldó adja, a motor névleges áramára beállítva; ezt a Motorvédő kapcsoló, hőkioldó, megszakító és szakaszoló alfejezet, a direktindítási áramlökést pedig a Készülékkiválasztás: áram, feszültség, élettartam, koordináció alfejezet tárgyalja.

4. feladat (B).
$I_z = 24 \cdot 0{,}94 \cdot 0{,}70 = 15{,}8$ A.
Az $I_b = 12 \le I_n = 16 \le I_z = 15{,}8$ nem teljesül. Megoldás: 13 A-es kismegszakító ($12 \le 13 \le 15{,}8$ teljesül), vagy növelni a keresztmetszetet (pl. 4 mm²), vagy csökkenteni az egy csőben futó áramkörök számát. Ha a 16 A-es védőkészüléket meg kell tartani, a 4 mm²-es vezeték a megoldás.

5. feladat (C).
Az I_z önmagában csak a tartós terhelhetőséget adja meg. A védőkészülék kioldási karakterisztikája határozza meg, hogy adott túláramnál mennyi idő alatt old le. Ha a kismegszakító hőkioldója túl magas névleges áramú vagy túl lassú karakterisztikájú, akkor a vezető hőmérséklete a kioldás előtt túllépheti a megengedett értéket. Az $I_b \le I_n \le I_z$ feltétel a tartós túlterhelésre vonatkozik; a zárlati áramokra külön ellenőrizni kell a kioldási időt és a vezető termikus terhelhetőségét. A Kismegszakítók és kioldási jelleggörbék alfejezetben látjuk majd a B, C, D karakterisztikák különbségét.

6. feladat (D).
A referencia-terhelhetőség 36 A, a javítótényezők: $k_1 = 0{,}87$, $k_2 = 0{,}54$, $k_3 = 1$.
$I_z = 36 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}54 = 16{,}9$ A.
Az $I_n = 32$ A, tehát $I_b \le I_n \le I_z$ nem teljesül. A vezető túlterhelhető. Két járható megoldás van.
(a) A csoportosítás csökkentése: a 32 A-es betáplálás külön csőbe kerül ($k_2 = 1$), de a 6 mm² így is kevés ($I_z = 36 \cdot 0{,}87 = 31{,}3$ A < 32 A), ezért külön csőben 10 mm² kell ($50 \cdot 0{,}87 = 43{,}5$ A ≥ 32 A).
(b) A közös csőben marad, de a szükséges referencia-terhelhetőség $I_{\text{alap}} \ge 32/(0{,}87 \cdot 0{,}54) = 68{,}1$ A, ezért 25 mm² kell (kb. 89 A, így $I_z \approx 41{,}8$ A); a 16 mm² kb. 68 A-es értékével $I_z = 31{,}9$ A, ami éppen kevés. A kisebb névleges áramú védőkészülék nem megoldás, mert $I_n \ge I_b = 28$ A kell, a 6 mm² korrigált I_z-je pedig csak 16,9 A (táblázati értékek: ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52). Az Anyag- és eszközkiválasztás, árajánlat alfejezetben az anyagkiválasztás költség- és helyigényét is mérlegelnünk kell.

10.3.12. Rövid összefoglaló

A vezetékek tartós terhelhetőségét a vezető melegedése, a szigetelés megengedett üzemi hőmérséklete (PVC: 70 °C, XLPE: 90 °C) és a szerelési körülmények együttesen határozzák meg. A referencia-terhelhetőségi táblázatból kiolvasott I_{alap} értéket a környezeti hőmérséklet (k_1), a csoportosítás (k_2) és a hőszigetelés (k_3) javítótényezőivel korrigáljuk: $I_z = I_{\text{alap}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$. A túlterhelés elleni védelem alapfeltétele az $I_b \le I_n \le I_z$ összefüggés, ahol I_b az üzemi áram, I_n a védőkészülék névleges árama, I_z a vezető korrigált terhelhetősége. Ez a feltétel biztosítja, hogy a vezető hőmérséklete a megengedett érték alatt maradjon, és a védelem időben lekapcsoljon. **Továbbvitt eredmény.** Az $I_b \le I_n \le I_z$ feltételt és a korrigált I_z meghatározását használjuk a Feszültségesés és a vezeték méretezése, az Anyag- és eszközkiválasztás, árajánlat és a nedves helyiségek aljzatköreinek kialakítása során (Aljzatkörök és fogyasztói csatlakozások, nedves helyiségek).

10.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezetben hivatkozott szabványok az MSZ HD 60364 sorozat, elsősorban az MSZ HD 60364-5-52. A konkrét táblázatszámok, a referencia-terhelhetőségi értékek, a javítótényezők és a hőmérsékleti határértékek a szabvány aktuális kiadásától függnek; az itt szereplő értékek tanulási példák, és nem feltétlenül azonosak a hatályos táblázat értékeivel. A felhasználás előtt mindig ellenőrizni kell a gyártói adatlapokat és a hatályos szabványt **(ellenőrizendő: az MSZ HD 60364-5-52 aktuális kiadásának terhelhetőségi táblázatai, javítótényezői és a referencia-hőmérsékletek)**.

10.4. Feszültségesés és a vezeték méretezése

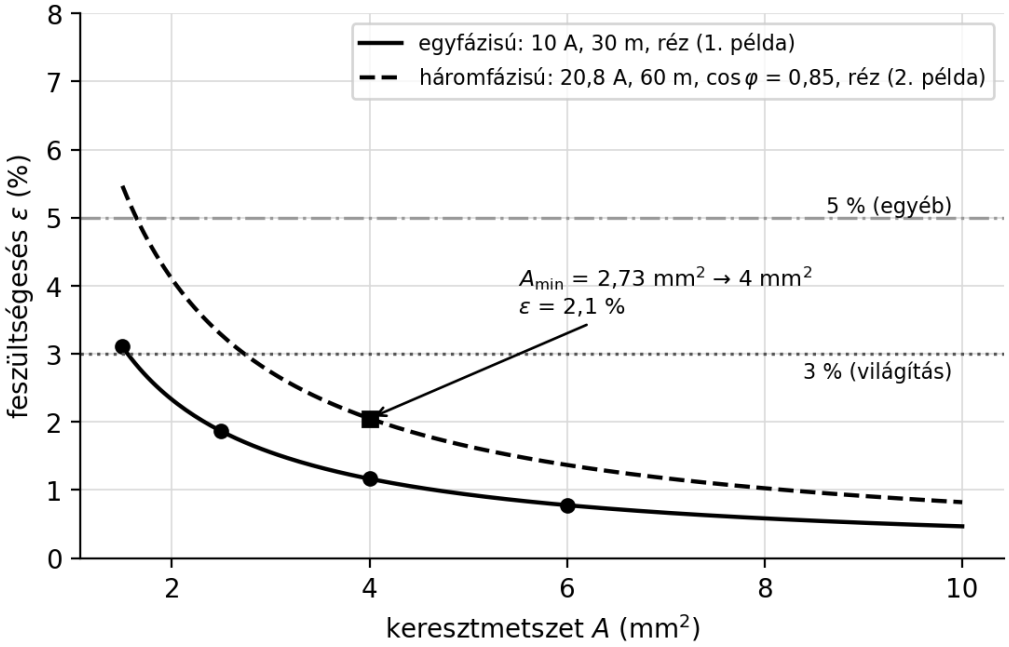
10.4.1. Miért éppen a hosszú vezeték lesz a „láthatatlan ellenállás”?

A műhelyben a 3 méteres hálózati kábel alig számít, a 80 méteres kerti elosztó viszont már igen: ugyanaz a kábel ellenállásként viselkedik, és a feszültség egy részét „megeteti” maga a vezető. A fogyasztó kapcsain ezért kisebb feszültség jelenik meg, mint a betáplálásnál. A lámpa halványabb, a fűtőtest lassabban fűt, a motor nehezebben indul, és eközben a vezeték maga is melegszik. Ha csak a terhelhetőségre méretezünk, hosszú kábelnél könnyen lehet, hogy a kábel nem melegszik túl, de a feszültségesés már elfogadhatatlan. Ezért kell ezt az ellenőrzést is elvégezni.

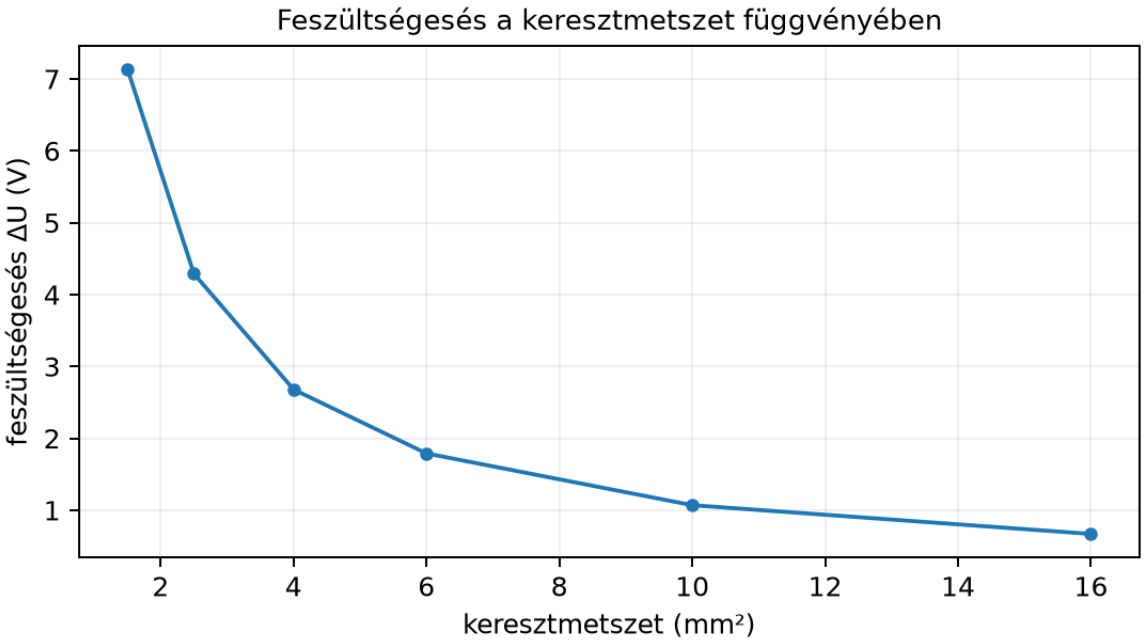
Szemléletes kép. Képzeld el a kábelt úgy, mint két, sorba kötött ellenállást a fogyasztó előtt és után. Az egyik a fázisvezető, a másik a nullavezető. A fogyasztó árama mindkettőn átfolyik, ezért a feszültség mindkettőn esik. A fogyasztó kapcsain mérhető feszültség tehát:

$$U_{\text{fogyasztó}} = U_{\text{forrás}} - \Delta U,$$

ahol ΔU a teljes feszültségesés a kábelen. A cél az, hogy ΔU a megengedett, kis érték alatt maradjon.



10.5. ábra. Feszültségesés a keresztmetszet függvényében



10.6. ábra. Feszültségesés a keresztmetszet függvényében - Kiszámolt értékek az 1. példa adataival (egyfázisú, 10 A, 30 m, réz, $\kappa = 56$ m/(Ω · mm²), cosφ = 1): $\Delta U = 2 \cdot I \cdot l \cdot \cos\varphi/(\kappa A)$; a pontok közötti egyenes szakaszok csak összekötik a szabványos keresztmetszeteket, a valódi összefüggés fordított arányosság ($\Delta U \cdot A$ = állandó).

Az ábra azt mutatja, hogy azonos áram és hossz mellett a nagyobb keresztmetszet kisebb ellenállást, tehát kisebb feszültségesést okoz. A gyakorlatban a kérdés mindig az: mekkora az a minimális keresztmetszet, amely mellett a feszültségesés a megengedett határ alatt marad.

10.4.2. A feszültségesés fogalma és számítási képletei

Definíció. A feszültségesés ΔU a vezetéken vagy a vezetékrendszeren a terhelő áram hatására fellépő feszültségkülönbség. A fogyasztó kapcsain ez a feszültség forrásoldali feszültség és a feszültségesés különbsége. A feszültségesést voltban vagy százalékban adjuk meg:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100\%,$$

ahol egyfázisú esetben $U_n = 230$ V, háromfázisú esetben $U_n = 400$ V.

Szabály. A feszültségesés alapját a terhelőáram és a vezeték impedanciája adja. Ha a vezetéknek csak az ellenállását vesszük figyelembe (a reaktanciát elhanyagoljuk), a legfontosabb képletek:

Egyfázisú áramkör, oda-vissza két vezető:

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot l \cdot \frac{\cos\varphi}{\kappa A} = \frac{2\, I\, l \cos\varphi}{\kappa A},$$

ahol I a terhelőáram (ohmos terhelésnél $\cos\varphi = 1$), $\cos\varphi$ a terhelés teljesítménytényezője, l az egyirányú vezetékhossz, κ a vezetőanyag fajlagos vezetőképessége, A a fázisvezető keresztmetszete. A nullavezetőt ugyanolyan keresztmetszetűnek feltételezzük.

Háromfázisú, szimmetrikus terhelés:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \frac{\cos\varphi}{\kappa A} = \frac{\sqrt{3}\, I\, l \cos\varphi}{\kappa A},$$

ahol I a vonali áram, l a fázisvezető hossza, $\cos\varphi$ a terhelés teljesítménytényezője.

Összefüggés. A fenti egyszerű képletek a reaktancia elhanyagolásával érvényesek. Ha a vezeték reaktanciáját is figyelembe kell venni (nagy keresztmetszet, kis $\cos\varphi$, hosszú kábel), a pontosabb alak:

Egyfázisú:

$$\Delta U \approx 2\, I\, l\, (r\cos\varphi + x\sin\varphi)\,,$$

háromfázisú:

$$\Delta U \approx \sqrt{3}\, I\, l\, (r\cos\varphi + x\sin\varphi)\,,$$

ahol r és x a vezeték hosszegységre eső ellenállása és reaktanciája. A gyakorlati méretezésben a szabványos táblázatok vagy gyártói adatlapok tartalmazzák ezeket az értékeket. A számértékek ellenőrzését a gyártói adatlapok és a vonatkozó szabvány alapján kell elvégezni **(ellenőrizendő: aktuális vezeték-ellenállás és reaktancia adatok)**.

A fajlagos vezetőképesség tipikus, egyszerű számolásra használt értéke rézre hideg állapotban kb. $\kappa = 56\ \mathrm{m}/(\Omega \cdot \mathrm{mm}^2)$, alumíniumra kb. $\kappa = 35\ \mathrm{m}/(\Omega \cdot \mathrm{mm}^2)$ **(ellenőrizendő: anyagminőségtől és hőmérséklettől függ; meleg üzemi állapotban a réz vezetőképessége kisebb, ezért a pontos számításhoz korrigált értéket kell használni)**. A vezeték melegedése miatt üzemi hőmérsékleten a fajlagos ellenállás nagyobb, a fajlagos vezetőképesség kisebb, mint hidegen. Egyszerű példákban 56-tal számolunk, de jó tudni, hogy a méretezési szabványok meleg üzemi ellenállással dolgoznak.

10.4.3. A megengedett feszültségesés és annak oka

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések feszültségesésére a vonatkozó magyar és európai szabályozás, elsősorban az MSZ HD 60364 sorozat és a hálózati engedélyes előírásai adnak követelményeket. A szokásos tervezési értékek: világítási áramköröknél legfeljebb kb. 3%, egyéb fogyasztóknál kb. 5% a csatlakozási ponttól a fogyasztóig. Motorindításkor ennél nagyobb, rövid idejű feszültségesés is megengedhető, de ezt a motor nyomatéka és a védelmek kioldási viszonyai határozzák meg. A pontos értékek a mindenkori szabványtól és a hálózati engedélyes helyi előírásaitól függnek **(ellenőrizendő: aktuális MSZ HD 60364-5-52 és az elosztóhálózati engedélyes követelményei)**.

Miért kell korlátozni? A fogyasztó teljesítménye a kapocsfeszültségtől függ. Egy fűtőtest ellenállása közel állandó, ezért a leadott teljesítmény a feszültség négyzetével arányos: ha a feszültség 10%-kal csökken, a teljesítmény kb. 19%-kal kisebb. A motorok nyomatéka is a feszültség négyzetével arányos, így már 10% feszültségesés is jelentős indítási nehézséget okozhat. A világítás fényereje is csökken, a LED-es tápegységek és elektronikus eszközök pedig hibásan működhetnek. Ezért a feszültségesésnek van egy gyakorlati felső határa.

10.4.4. Vezetékméretezési folyamat lépései

A vezetéket nemcsak feszültségesésre, hanem terhelhetőségre, védelemre és zárlati viszonyokra is méretezni kell. A feszültségesés-ellenőrzés e folyamat egyik eleme.

Méretezési lépések.

1. Határozd meg az üzemi áramot I_b a fogyasztó adataiból: egyfázisú esetben $I_b = P/(U\cos\varphi\eta)$, háromfázisú esetben $I_b = P/(\sqrt{3}\,U\cos\varphi\eta)$, ha a P a leadott mechanikai vagy hőteljesítmény.
2. Válassz védelmi készüléket, amelynek névleges árama $I_n \geq I_b$, és amely megfelel a túláram-védelmi funkciónak.
3. Válassz vezetéket, amelynek terhelhetősége I_z a szerelési mód és a korrekciós tényezők figyelembevételével teljesíti: $I_b \leq I_n \leq I_z$. Az $I_b \leq I_n \leq I_z$ feltételt és a korrigált I_z meghatározását a Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők alfejezet tanítja; a védelem és a zárlat további részleteit a Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram alfejezet tárgyalja.
4. A kiválasztott keresztmetszettel számítsd ki a feszültségesést a fenti képletekkel.
5. Ellenőrizd, hogy ΔU vagy ε a megengedett határ alatt van-e. Ha nem, növeld a keresztmetszetet, és ismételd a számítást.
6. Végül ellenőrizd a zárlati áramokat, a védővezető keresztmetszetét és a feszültségesést motorindításkor is, ha a fogyasztó nagy indítóáramú.

Továbbvitt eredmény. Ez a lépéssor a vezetékméretezés általános váza. A Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram, a Védővezető, PEN és a keresztmetszet méretezése, valamint a Méretezés: terhelés, feszültségesés és zárlat egyszerű esetekben alfejezetek erre az áramkör-méretezési rendre építenek.

10.4.5. Kidolgozott példák

10.4.5.1. 1. példa: egyfázisú aljzatáramkör feszültségesése

Adott: 2,3 kW-os fűtőtest, $U = 230$ V, $\cos\varphi = 1$, $l = 30$ m, réz vezeték, $\kappa = 56$ m/ $(\Omega \cdot \text{mm}^2)$.

Keresett: a feszültségesés 1,5 mm^2 és 2,5 mm^2 esetén, továbbá százalékban.

Megoldás lépésenként:

Terhelőáram:

$$I_b = \frac{P}{U\cos\varphi} = \frac{2300\ \text{W}}{230\ \text{V} \cdot 1} = 10\ \text{A}.$$

1,5 mm² esetén:

$$\Delta U = \frac{2\,I\,l}{\kappa A} = \frac{2 \cdot 10\ \text{A} \cdot 30\ \text{m}}{56\ \text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2) \cdot 1{,}5\ \text{mm}^2} = \frac{600}{84}\ \text{V} \approx 7{,}14\ \text{V}.$$

Százalékban:

$$\varepsilon = \frac{7{,}14\ \text{V}}{230\ \text{V}} \cdot 100\% \approx 3{,}1\%.$$

2,5 mm² esetén:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 10\ \text{A} \cdot 30\ \text{m}}{56\ \text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2) \cdot 2{,}5\ \text{mm}^2} = \frac{600}{140}\ \text{V} \approx 4{,}29\ \text{V}.$$

Százalékban:

$$\varepsilon = \frac{4{,}29\ \text{V}}{230\ \text{V}} \cdot 100\% \approx 1{,}9\%.$$

Ellenőrzés. Az 1,5 mm^2 réz vezeték terhelhetősége védőcsőben (B1, két terhelt ér, PVC) kb. 17,5 A (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 táblázata), tehát 10 A-re megfelel. A 3,1%-os feszültségesés aljzatáramkörön (egyéb fogyasztó, kb. 5%-os határ) még elfogadható, de ha ugyanezt a vezetéket világítási körre használnánk (kb. 3%-os határ), már nem. A 2,5 mm^2 minden szempontból megfelel. A példa mutatja, hogy a terhelhetőség és a feszültségesés külön dönthet, és hogy a határ a fogyasztó jellegétől függ.

10.4.5.2. 2. példa: háromfázisú motor kábelméretezése feszültségesésre

Adott: 11 kW-os, 400 V-os háromfázisú aszinkronmotor, $\cos\varphi = 0{,}85$, $\eta = 0{,}90$, $l = 60$ m, réz kábel, $\kappa = 56\ \text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$. Megengedett feszültségesés 3%.

Keresett: a minimális keresztmetszet.

Megoldás:

Üzemi áram:

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3}\,U \cos\varphi \eta} = \frac{11000\ \text{W}}{\sqrt{3} \cdot 400\ \text{V} \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}90} \approx 20{,}8\ \text{A}.$$

A feszültségesés háromfázisú, szimmetrikus terhelésnél:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}\, I\, l \cos\varphi}{\kappa A}.$$

Ebből a szükséges keresztmetszet, ha $\Delta U_{\text{meg}} = 0{,}03 \cdot 400\ \text{V} = 12\ \text{V}$:

$$A_{\min} = \frac{\sqrt{3}\, I\, l \cos\varphi}{\kappa \Delta U_{\text{meg}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 20{,}8\ \text{A} \cdot 60\ \text{m} \cdot 0{,}85}{56\ \text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2) \cdot 12\ \text{V}}.$$

Számláló:

$$\sqrt{3} \cdot 20{,}8 \cdot 60 \cdot 0{,}85 \approx 36{,}03 \cdot 60 \cdot 0{,}85 \approx 1837{,}4.$$

Nevező:

$$56 \cdot 12 = 672.$$

$$A_{\min} = \frac{1837{,}4}{672} \approx 2{,}73\ \text{mm}^2.$$

A legközelebbi nagyobb szabványos keresztmetszet 4 mm^2. Válasszunk 4 mm^2-t.

Ellenőrzés a kiválasztott 4 mm^2-rel:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 20{,}8\ \text{A} \cdot 60\ \text{m} \cdot 0{,}85}{56\ \text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2) \cdot 4\ \text{mm}^2} \approx \frac{1837{,}4}{224} \approx 8{,}20\ \text{V}.$$

Százalékban:

$$\varepsilon = \frac{8{,}20\ \text{V}}{400\ \text{V}} \cdot 100\% \approx 2{,}1\%.$$

A feszültségesés 3% alatt van, tehát a 4 mm^2 megfelel. A terhelhetőséget is ellenőrizni kell; 4 mm^2 réz kábel szokásos terhelhetősége 20,8 A-nél nagyobb, például 27–34 A a szerelési módtól függően **(ellenőrizendő: aktuális terhelhetőségi táblázat)**.

10.4.5.3. 3. példa: motorindítási feszültségesés

A motor közvetlen indításakor az indítóáram a névleges áram 5–8-szorosa is lehet, és a $\cos\varphi$ kicsi, kb. 0,3–0,5. Ezért a feszültségesés indításkor nagyobb, mint üzemben. A 2. példa adataival: $I_{\text{ind}} = 6 \cdot 20{,}8\ \text{A} \approx 125\ \text{A}$, $\cos\varphi_{\text{ind}} \approx 0{,}4$, 4 mm^2-rel:

$$\Delta U_{\text{ind}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 125\ \text{A} \cdot 60\ \text{m} \cdot 0{,}4}{56 \cdot 4} \approx \frac{5196}{224} \approx 23{,}2\ \text{V}.$$

Százalékban:

$$\varepsilon_{\text{ind}} = \frac{23{,}2\ \text{V}}{400\ \text{V}} \cdot 100\% \approx 5{,}8\%.$$

Ha a megengedett indítási feszültségesés például 10% vagy 15%, ez elfogadható, de ha a hálózati engedélyes vagy a motor nyomatékigénye kisebb korlátot ír elő, akkor nagyobb keresztmetszet kell. A pontos határ ellenőrizendő a hálózati engedélyes és a motor gyártói adatai alapján **(ellenőrizendő: megengedett indítási feszültségesés)**.

10.4.6. Szabványi háttér és ellenőrzési igény

Szabvány. A vezetékméretezés és a feszültségesés ellenőrzése a kisfeszültségű villamos berendezések szabványcsaládjában szerepel. Az MSZ HD 60364-5-52 foglalkozik a vezetékek terhelhetőségével és szerelési módjaival, az MSZ HD 60364-5-54 a földeléssel és védővezetőkkel. A feszültségesésre vonatkozó ajánlások és határértékek a szabvány és a hálózati engedélyes előírásai szerint pontosítandók. A méretezésnél a vezeték reaktanciáját, meleg üzemi ellenállását, a korrekciós tényezőket és a környezeti hőmérsékletet is figyelembe kell venni **(ellenőrizendő: pontos szabványhivatkozás és hatályos értékek)**.

10.4.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy családi ház kertjében 40 méter hosszú, 1,5 mm^2-es gumikábellel kötöttek be egy 3 kW-os hősugárzót. A kismegszakító nem oldott le, mert a terhelhetőség éppen elég volt, de a készülék nem fűtötte a helyiséget elvártan. A szerelő a fogyasztó kapcsain 214 V-ot mért 230 V helyett, vagyis $\Delta U = 16$ V ($\varepsilon \approx 7\%$). A fejezet képlete hideg vezetőre $I = 3000/230 \approx 13{,}0$ A árammal $\Delta U = 2 \cdot 13{,}0 \cdot 40/(56 \cdot 1{,}5) \approx 12{,}4$ V-ot (5,4%) ad; a mért többlet a meleg vezető nagyobb ellenállásából és a dugaszolós csatlakozások átmeneti ellenállásából ered – ez utóbbi melegedést is okoz, ezért a csatlakozókat is ellenőrizni kell. A hősugárzó leadott teljesítménye a feszültség négyzetével csökkent, ezért a komfort nem alakult ki. A javítás: 2,5 mm^2-es kábelre cserélték a vezetéket, amivel a feszültségesés a képlet szerint kb. 7,5 V-ra (3,2%) csökkent. Ez az eset mutatja, hogy a feszültségesés-ellenőrzés nem elméleti formaság, hanem a fogyasztó működését közvetlenül befolyásolja.

10.4.8. Gyakorlati útmutató: feszültségesés számítása és ellenőrzése

Cél. Egy tervezett áramkör vezeték-keresztmetszetének meghatározása úgy, hogy a terhelhetőség és a feszültségesés egyaránt megfelelő legyen.

Eszközök és anyagok. Ceruza, papír, számológép, vezeték- és kábeltáblázatok, gyártói adatlapok, a fogyasztók adatai.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi, törpefeszültségű környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

A gyakorlati méretezés lépései.

1. Ellenőrizd, hogy a munkavégzés helye feszültségmentes legyen, ha mérni kell. Mindig a feszültségmentesítés öt biztonsági szabálya szerint járj el: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.
2. Gyűjtsd össze a fogyasztó adatait: P, U, $\cos\varphi$, η, indítóáram, ha motor.
3. Számítsd ki az üzemi áramot.
4. Válassz védelmi készüléket, amelynek névleges árama nagyobb az üzemi áramnál.
5. Válassz egy kiinduló vezeték-keresztmetszetet a terhelhetőség alapján.
6. Számítsd ki a feszültségesést.
7. Ellenőrizd a megengedett feszültségesést. Ha nem felel meg, növeld a keresztmetszetet, és ismételd.
8. Ellenőrizd a motorindítási feszültségesést, ha a fogyasztó motor.
9. Jegyezd fel a választott keresztmetszetet, a feszültségesést és a védelmi készüléket.

Ellenőrzési pontok. A kiválasztott kábel terhelhetősége a szerelési mód és a korrekciós tényezők figyelembevételével nagyobb vagy egyenlő legyen a védelmi készülék névleges áramánál. A feszültségesés százalékban a megengedett határ alatt legyen. A számításban az egyfázisú és háromfázisú képleteket ne keverd össze.

Dokumentálás. Írd fel a bemenő adatokat, a képleteket, a részszámításokat, az eredményt és az ellenőrzést. Mutasd meg a választott keresztmetszetet és a számított feszültségesést.

10.4.9. Tipikus hibák

1. **Csak terhelhetőségre méretezni, feszültségesést nem ellenőrizni.** Hosszú kábelnél a feszültségesés hamar túllép a határon, még ha a terhelhetőség megfelel is. Helyes: mindkét ellenőrzést elvégezni.
2. **Egyfázisú áramkörben nem számolni a nullavezetővel.** A feszültségesés ilyenkor kétszer akkora, mint amit a fázisvezetőre számolnak. Helyes: a $2l$ hossz a képletben.
3. **Háromfázisú terhelésnél egyfázisú képletet használni.** A $\sqrt{3}$ szorzó elmarad, a feszültségesést alábecsüljük. Helyes: szimmetrikus háromfázisú terhelésnél a fenti háromfázisú képlet.
4. **Induktív terhelésnél $\cos\varphi$ elhanyagolása.** A motoroknál és transzformátoroknál a $\cos\varphi$ jelentősen módosítja az áramot, tehát a feszültségesést. Helyes: az üzemi áramot a teljesítménytényezővel számolni, és a feszültségesés képletben is szerepeltetni.
5. **A feszültségesést a forrás feszültségéhez képest V-ban összehasonlítani, százalék nélkül.** A 12 V a 230 V-nál 5,2%, a 400 V-nál 3%, tehát a megengedés csak százalékban értelmezhető. Helyes: mindig százalékos értéket is megadni.

10.4.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Egyfázisú áramkörben a feszültségesés kétszerese a fázisvezetőn eső feszültségnek, mert a nullavezető is áramot vezet.
2. Írd fel a háromfázisú, $\cos\varphi = 1$ terhelés feszültségesésének egyszerű képletét.
3. Miért nagyobb a motorindítási feszültségesés, mint az üzemi?
4. Azonos áram és hossz mellett melyik keresztmetszet okoz nagyobb feszültségesést, a 1,5 mm^2 vagy a 2,5 mm^2? Indokold!
5. Egy 230 V-os áramkörben $\Delta U = 11{,}5$ V. Hány százalékos feszültségesés ez?

10.4.11. Feladatok

10.4.11.1. 1. feladat (A)

Határozd meg a feszültségesés fogalmát, és írd le, miért kell korlátozni.

10.4.11.2. 2. feladat (A)

Egyfázisú 16 A-es áramkör, $l = 40$ m, réz vezeték 2,5 mm^2, $\cos\varphi = 1$. Számítsd ki a feszültségesést V-ban és százalékban.

10.4.11.3. 3. feladat (B)

Háromfázisú, 400 V-os, 22 kW-os motor, $\cos\varphi = 0{,}85$, $\eta = 0{,}92$, $l = 65$ m, réz kábel. Mekkora minimális keresztmetszet szükséges, ha a megengedett feszültségesés 3%?

10.4.11.4. 4. feladat (B)

Kerti elosztó 60 m hosszú, egyfázisú, 230 V, 3,6 kW fűtőtest, $\cos\varphi = 1$. Válassz keresztmetszetet, ha a megengedett feszültségesés 5%, és ellenőrizd a terhelhetőséget is.

10.4.11.5. 5. feladat (C)

Egy hosszú kábelen a feszültségesés 7,2%. A szerelő azt mondja: „a kismegszakító úgyis leold túlterhelésnél, ezért a feszültségesés nem gond.” Elemezd, miért hibás ez az érvelés, és milyen következményekkel járhat a fogyasztóra és az áramkörre!

10.4.11.6. 6. feladat (D)

Tanműhelyi modellen (törpefeszültség) építs egy 24 V-os, 10 A-es, 20 m hosszú vezetékpárral ellátott áramkört. Mérd meg a forrás és a fogyasztó feszültségét. Számítsd ki a feszültségesést, és hasonlítsd össze a mért értékkel. Ha nincs mérési lehetőség, számold ki a feszültségesést 20 m, 10 A, 1,5 mm^2 réz vezetékre, és ítéld meg, hogy 24 V-os rendszerben elfogadható-e.

10.4.12. Megoldások

10.4.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** Az oda-vissza út kétszer olyan hosszú, mint a fázisvezető.
2. $\Delta U = \frac{\sqrt{3}\,I\,l}{\kappa A}$.
3. Mert az indítóáram 5–8-szorosa az üzemi áramnak, és az indítási $\cos\varphi$ kisebb.
4. A 1,5 mm^2-es, mert nagyobb az ellenállása.
5. $\varepsilon = \frac{11{,}5\ \text{V}}{230\ \text{V}} \cdot 100\% = 5\%$.

10.4.12.2. 1. feladat megoldása

A feszültségesés a vezeték ellenállásán és reaktanciáján a terhelő áram hatására fellépő feszültségkülönbség. Korlátozni kell, mert a fogyasztó kapocsfeszültsége csökken, ami teljesítménycsökkenést, motorindítási nehézséget, rossz világítást és elektronikai hibákat okozhat.

10.4.12.3. 2. feladat megoldása

$$\Delta U = \frac{2\,I\,l}{\kappa A} = \frac{2 \cdot 16\ \text{A} \cdot 40\ \text{m}}{56 \cdot 2{,}5} = \frac{1280}{140}\ \text{V} \approx 9{,}14\ \text{V}.$$

$$\varepsilon = \frac{9{,}14\ \text{V}}{230\ \text{V}} \cdot 100\% \approx 4{,}0\%.$$

10.4.12.4. 3. feladat megoldása

Először az üzemi áram:

$$I = \frac{22000\ \text{W}}{\sqrt{3} \cdot 400\ \text{V} \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}92} \approx \frac{22000}{541{,}9} \approx 40{,}6\ \text{A}.$$

Megengedett feszültségesés:

$$\Delta U_{\text{meg}} = 0{,}03 \cdot 400\ \text{V} = 12\ \text{V}.$$

Szükséges keresztmetszet:

$$A_{\min} = \frac{\sqrt{3} \cdot 40{,}6 \cdot 65 \cdot 0{,}85}{56 \cdot 12}.$$

Számláló: $1{,}732 \cdot 40{,}6 \cdot 65 \cdot 0{,}85 \approx 70{,}32 \cdot 65 \cdot 0{,}85 \approx 3885{,}2$.

Nevező: 672.

$$A_{\min} \approx \frac{3885{,}2}{672} \approx 5{,}78 \text{ mm}^2.$$

A legközelebbi szabványos keresztmetszet 6 mm^2. Ellenőrzés: 6 mm^2-rel a feszültségesés:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 40{,}6 \cdot 65 \cdot 0{,}85}{56 \cdot 6} \approx \frac{3885{,}2}{336} \approx 11{,}56 \text{ V},$$

ami 2,9%, tehát megfelel. A terhelhetőséget is ellenőrizni kell: háromfázisú körben három terhelt ér van, és a 6 mm^2 réz PVC kábel terhelhetősége ekkor kb. 36 A (B1) – 41 A (C) (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52), ami az $I_b = 40{,}6$ A üzemi áramhoz és az e fölé választandó védelemhez ($I_n \geq 40{,}6$ A) nem elég. A feszültségesésre a 6 mm^2 épp megfelel, de a terhelhetőség miatt **végeredmény:** 10 **mm**^{2}; ezzel $\Delta U \approx 3885{,}2/560 \approx 6{,}94$ V (1,7 %). Védelem: $I_n = 50$ A (a 40 A kisebb az üzemi áramnál). Ellenőrzés: $40{,}6 \leq 50 \leq I_z$; a 10 mm^2 terhelhetősége B1-ben kb. 50 A, C-ben kb. 57 A (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52), tehát a feltétel teljesül, B1-ben éppen a határon – csoportosítás vagy 30 °C feletti környezet esetén 16 mm² kell. Ha a motor túlterhelés-védelmét motorvédő kapcsoló adja, lásd a Motorvédő kapcsoló, hőkioldó, megszakító és szakaszoló alfejezetet.

10.4.12.5. 4. feladat megoldása

Üzemi áram:

$$I = \frac{3600 \text{ W}}{230 \text{ V}} \approx 15{,}65 \text{ A}.$$

Megengedett feszültségesés:

$$\Delta U_{\text{meg}} = 0{,}05 \cdot 230 \text{ V} = 11{,}5 \text{ V}.$$

Szükséges keresztmetszet:

$$A_{\min} = \frac{2 \cdot 15{,}65 \cdot 60}{56 \cdot 11{,}5} \approx \frac{1878}{644} \approx 2{,}92 \text{ mm}^2.$$

A legközelebbi szabványos keresztmetszet 4 mm^2. Ellenőrzés 4 mm^2-rel:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 15{,}65 \cdot 60}{56 \cdot 4} \approx \frac{1878}{224} \approx 8{,}38 \text{ V},$$

ami 3,6%, tehát megfelel. Terhelhetőség: 4 mm^2 réz kábel terhelhetősége 15,65 A-nél nagyobb, szokásos szerelési módoknál legalább 25 A, tehát megfelel.

10.4.12.6. 5. feladat megoldása

A kismegszakító túláram ellen véd, de a feszültségesés nem feltétlenül túláram következménye. A 7,2% feszültségesés azt jelenti, hogy a fogyasztó kapcsain a névleges feszültségnél 7,2%-kal kisebb feszültség van, miközben az áram a névleges üzemi áram lehet. A fogyasztó teljesítménye csökken, a motor nyomatéka csökken, a fűtőtest kevésbé fűt, a kábel vesztesége megnő, és az érzékeny készülékek hibásan működhetnek. A kismegszakító csak akkor old le, ha az áram túllép az I_n értéken. Állandó teljesítményű fogyasztóknál (motor, elektronikus tápegység) a feszültségesés miatt a fogyasztó ugyanazt a teljesítményt nagyobb árammal veszi fel, ami tovább növeli a vezeték veszteségét, de nem mindig éri el a kismegszakító kioldási szintjét; ellenállásos fűtőnél az áram és a teljesítmény is csökken. A helyes megoldás a vezeték keresztmetszet növelése.

10.4.12.7. 6. feladat megoldása

Mért értékek hiányában számítás:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 10\ \text{A} \cdot 20\ \text{m}}{56 \cdot 1{,}5} = \frac{400}{84} \approx 4{,}76\ \text{V}.$$

Ez 24 V-os rendszerben:

$$\varepsilon = \frac{4{,}76\ \text{V}}{24\ \text{V}} \cdot 100\% \approx 19{,}8\%.$$

Ez a gyakorlatban elfogadhatatlan nagy feszültségesés, ezért 24 V-os rendszerben vastagabb vezeték vagy nagyobb feszültség szükséges. A gyakorlatban a törpefeszültségű hálózatokat a rövid távolság és a nagyobb keresztmetszet jellemzi.

10.4.13. Rövid összefoglaló

A feszültségesés a vezeték ellenállásán és reaktanciáján a terhelő áram hatására eső feszültség. Egyfázisú áramkörben $\Delta U = 2Il\cos\varphi/(\kappa A)$ (ohmos terhelésnél $\cos\varphi = 1$) vagy pontosabban $2Il(r\cos\varphi + x\sin\varphi)$, háromfázisú szimmetrikus terhelésnél $\Delta U = \sqrt{3}Il\cos\varphi/(\kappa A)$ vagy pontosabban $\sqrt{3}Il(r\cos\varphi + x\sin\varphi)$. A százalékos feszültségesést a világításnál kb. 3%, egyéb fogyasztóknál kb. 5% alá kell méretezni; a pontos határ a szabványtól és a hálózati engedélyestől függ **(ellenőrizendő)**. A vezetékméretezés általános lépései: üzemi áram, védelmi készülék, terhelhetőség, feszültségesés, motorindítási esés, zárlat. Ez a folyamat alapja a Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram, a Védővezető, PEN és a keresztmetszet méretezése és a Méretezés: terhelés, feszültségesés és zárlat egyszerű esetekben tárgyalásának. A hosszú kábeleknél a feszültségesés gyakran a méretező tényező.

10.4.14. Források és ellenőrzési hiányok

A feszültségesés képletei az Ohm-törvényből és a háromfázisú rendszer geometriájából következnek, ezek stabil elektrotechnikai alapok. A megengedett feszültségesés határértékeit, a fajlagos vezetőképesség értékét, a terhelhetőségi adatokat és a motorindítási határokat a hatályos magyar/európai szabványok, a hálózati engedélyes előírásai és a gyártói adatlapok alapján kell ellenőrizni a kiadás előtt.

11 Műszaki rajz alapjai

11.1. Szabványos rajzlap, vonalak, felirat és méretezés

11.1.1. Miért kell a szabványos rajzot ismerned?

Képzeld el, hogy megkaptad egy lakásfelújítás tervét. A rajzos kiviteli feladatban az első, amit ellenőrizni fogsz, nem az áramkörök száma, hanem az, hogy mit ábrázol a rajz, milyen formában. Ha a rajz fejléce, a vonalak jelentése és a méretezési jelölések nem egyértelműek, akkor a legjobb szakmai szándék mellett is hibásan fogsz szerelni: rossz magasságba teszed a kapcsolót, rossz keresztmetszetű kábelt fogadsz el, vagy éppen a falba vésett horony mélységét nem tudod pontosan lekérdezni a tervről. A műszaki rajz a szerelő közös nyelve; ha mindenki ugyanazt a szabványos jelölésrendszert használja, akkor a rajzot készítő tervező, a kivitelező és a felülvizsgáló egyaránt ugyanazt érti rajta.

Ebben az alfejezetben a hagyományos műszaki rajz formai elemeit tanulod meg: a rajzlapméreteket, a vonaltípusokat, a szabványos feliratmezőt és az egyszerű méretezés alapjait. Ezek nélkül a későbbi villamos kapcsolási rajzokat sem tudnád értelmezni, mert azok is ugyanezekre az alapokra épülnek.

11.1.2. Szemléletes helyzetkép: egy tervlap, amit meg kell értened

Tegyük fel, hogy egy A4-es lapon megkaptad egy kapcsolószekrény belső lemezének furatkiosztási tervét. A lap jobb alsó sarkán a feliratmezőben azt látod, hogy a rajz 1:2 méretarányú, tehát a lapon ábrázolt alkatrész fele akkora, mint a valóságos alkatrész. A furatok közötti távolságot vékony méretvonalak mutatják, nyílhegyekkel és számértékkel. A lemez körvonala vastag, a furatok tengelyvonala vékony lánc- (pont-vonal-) típusú. Ha ezt a néhány alapjelet már ismered, a rajz gyorsan elolvasható.

A rajz formai elemei tehát nem öncélú szabályok, hanem egy pontos olvasási rendszer. A cél, hogy a rajzról kiolvasott adat megegyezzen a valóságos alkatrész adatával, és hogy két különböző ember is ugyanazt az információt olvassa le róla.

11.1.3. A rajzlapok mérete és tájolása

A műszaki rajzok készítéséhez szabványos méretű lapokat használunk, amelyek elsősorban az ISO 216 A-szériájához illeszkednek. Az A-széria alapelve, hogy minden lapot a hosszabb oldalára merőlegesen megfelezve a következő méretet kapod; ezt a tulajdonságot az A-széria minden lapjánál a hosszabb és a rövidebb oldal $\sqrt{2}$ aránya biztosítja. A szabványos alapméret az A0, amelynek területe $1\,\mathrm{m}^2$, ezért a mérete $841\,\mathrm{mm} \times 1189\,\mathrm{mm}$. A további méretek:

- A0: $841 \times 1189\,\mathrm{mm}$
- A1: $594 \times 841\,\mathrm{mm}$
- A2: $420 \times 594\,\mathrm{mm}$
- A3: $297 \times 420\,\mathrm{mm}$

- A4: $210 \times 297\,\text{mm}$

Szabvány. A műszaki rajzok rajzlapméreteit és a rajz formai kereteit a vonatkozó ISO-szabvány fogalmazza meg: a rajzlapok és a keret az MSZ EN ISO 5457, a feliratmező az MSZ ISO 7200, a vonalak az ISO 128 sorozat, a szabványírás az ISO 3098, a méretmegadás az ISO 129 szerint (ellenőrizendő: a hazai átvétel pontos jelölése és kiadása). A mindennapi gyakorlatban A4 és A3 a leggyakoribb, míg épületvillamossági terveken A3 és A2 fordul elő.

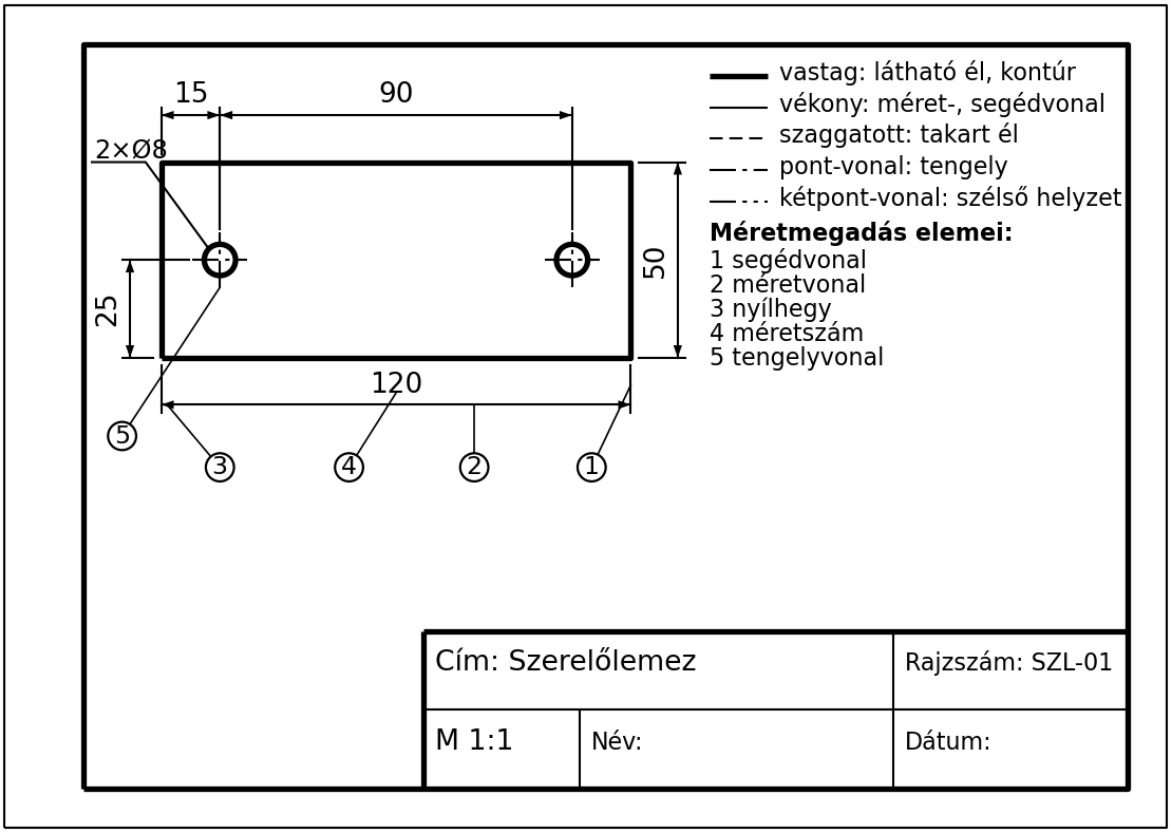
A lapokat általában fekvő (vízszintes) helyzetben használjuk. A4-es lap kivételesen álló helyzetben is előfordul, például egyszerű alkatrészrajzokon. A rajz belső keretét a lap szélétől mintegy 10–20 mm beljebb húzzuk; a bal oldali margót azonban nagyobbra, körülbelül 20 mm-re vesszük, hogy a tervet lefűzhessük.

11.1.4. A feliratmező

Minden műszaki rajzon van egy **feliratmező** (szövegbélyegző, címmező), amely a rajzról szóló alapinformációkat tartalmazza. A feliratmező helye a rajz jobb alsó sarkában van, vagy a rajzkeret alsó sávjában, a lap alján végighúzódva. A feliratmező tartalma jellemzően:

- a rajz címe (pl. „Lakáselosztó egyvonalas rajza”);
- a rajz azonosítója (rajzszám, tervszám);
- a tervező neve, aláírása, dátum;
- a rajz méretaránya;
- a méretmegadás egysége (ha nem milliméter);
- a rajz készítésének és ellenőrzésének dátumai;
- a cég neve és elérhetősége.

A feliratmező egyszerű formában is elkészíthető: egy téglalapot felosztasz néhány sorra és oszlopra, majd beírod a fenti adatokat. Oktatási rajzoknál elegendő a cím, a méretarány, a név, a csoport és a dátum.



11.1. ábra. Szabványos A4-es rajzlap feliratmezővel: a gyakorlati útmutató szerelőlemezének mintarajza

Az ábra fekvő A4-es lapot (297 × 210 mm) mutat: a belső keret balra 20 mm-re, a többi oldalon 10 mm-re van a lap szélétől, a jobb alsó sarokban a 180 × 40 mm-es feliratmező (cím, rajzszám, méretarány, név, dátum). A lapon a gyakorlati útmutató 120 × 50 mm-es lemeze látható vastag kontúrral, két Ø8 furattal, amelyek középpontja 15 mm-re van a lemez szélétől (tengelytávolságuk 90 mm); a furatok tengelye pont-vonal. A számok a méretmegadás elemeit jelölik: 1 segédvonal, 2 méretvonal, 3 nyílhegy, 4 méretszám, 5 tengelyvonal; jobbra fent a vonalfajták jelmagyarázata. A HTML-változatban a rajz lépésenként épül fel, és az 1:2 méretarány bekapcsolásakor látszik, hogy a rajzi hossz feleződik, a méretszám viszont nem változik.

A feliratmező a rajz olvashatóságának egyik kulcsa. Ha a terepen dolgozó szerelő nem látja a méretarányt vagy a rajz azonosítóját, nem tudja eldönteni, hogy a kezében lévő terv éppen a kivitelezésre alkalmas, jóváhagyott változat-e.

11.1.5. Vonalfajták és használatuk

A műszaki rajzon a vonalaknak meghatározott jelentésük van. Ha minden vonalat ugyanolyan vastagon húznál, a rajz olvashatatlanná válna. A leggyakoribb vonaltípusok:

- **Folytonos vastag vonal**: a látható élek, kontúrok, a tárgy ténylegesen látható körvonala. Ez a rajz meghatározó vonala.
- **Folytonos vékony vonal**: méretvonalak, segédvonalak, vonalkázás, csatlakozó méretvonal, a feliratmező belső vonalai. Szerepe a kiegészítő, nem a tárgyat ábrázoló elemek rajza.

- **Szaggatott vonal (keskeny)**: nem látható élek, rejtett élek, amelyek a tárgyon ténylegesen léteznek, de az adott nézetből nem látszanak. A szaggatás hossza és szünetaránya egyenletes.
- **Pont-vonal (lánc-vonal)**: szimmetriatengely, furatok tengelye, osztókör, szimmetriavonal. Ez nem létező él, hanem segédvonal.
- **Két pontból és vonalból álló lánc-vonal**: mozgó alkatrész szélső helyzete, súlypont, esetleg a mérőkeret jelölése.

A vonalvastagságokat szabványos arányokkal adjuk meg. A leggyakoribb az $1 : 2$ arány: ha a vastag vonal 0,5 mm, akkor a vékony vonal 0,25 mm. A villamos rajzokon a vastag vonalat az erősáramú körök, a vékony vonalat a vezérlő- és jelzőkörök ábrázolására is használjuk.

Gyakorlati szabály. A méretező vonalat soha ne húzd vastagon, mert akkor a rajzot olvasó azt hiheti, hogy az is a tárgy körvonala. A látható él kiemelése a vastag vonalé; a méretmegadás mindig vékony marad.

A ceruzás rajzolás során a vonalak minőségét a ceruza keménysége határozza meg. Közepes keménységű (HB vagy H) ceruza a vékony vonalakhoz, B vagy 2B a vastag vonalakhoz használható. A gyakorlatban ma már legtöbbször számítógépes rajzolóprogram (CAD) állítja elő a vonalakat, de a rajzolvasáshoz a vonaltípusok jelentését kézzel is ismerned kell.

11.1.6. Szabványbetűk

A műszaki rajzokon a feliratokat, méretszámokat, megjegyzéseket **szabványos írással** kell feltüntetni. A szabványos írás alapja a dőlt betűs írás, amelynek dőlésszöge 75° a vízszinteshez képest. Létezik álló betűs írás is, de a gyakorlatban a dőlt a jellemző. A betűmagasságot szabványos méretre választjuk: a leggyakoribb a 2,5 mm, 3,5 mm, 5 mm, 7 mm, 10 mm, 14 mm, 20 mm. A számjegyeket ugyanilyen magassággal írjuk.

A rajzon szereplő feliratokat úgy kell elhelyezni, hogy a lapot a feliratmezővel együtt nézve vízszintesen olvashatóak legyenek. A feliratok és méretszámok a lap alsó éléről nézve olvashatók; függőleges méretvonalaknál a méretszám a lap jobb oldaláról nézve olvasható (alulról felfelé írva) (ellenőrizendő: ISO 129). A méretfeliratokat általában a méretvonal fölé, azzal párhuzamosan írjuk.

Példa. Egy furat átmérőjének megadása: `Ø8`. A Ø jel a furat átmérőjét jelenti, a szám a milliméterben megadott átmérő. Ha a rajz másképp nem jelöli, minden méret milliméterben értendő. Ez alól az épületvillamossági tervek sem kivételek, bár ott a tervrajzokon gyakran méterben adják meg a helyszínrajzi méreteket, amit a feliratmezőben külön jelölni kell.

11.1.7. A méretmegadás elemei

A rajz célja, hogy a gyártandó, szerelendő alkatrészt pontosan le tudd gyártani. Ehhez **méretezni** kell a rajzot. A méretmegadás elemei:

1. **Segédvonal (kiterjesztővonal)**: vékony, az alkatrész körvonalától induló, a méretvonalon túl kicsit (kb. 1–2 mm) túlnyúló vonal. Kijelöli a mérendő pontokat.
2. **Méretvonal**: vékony vonal, a segédvonalakra merőlegesen, a segédvonalak között helyezkedik el. A méretvonalra kerül a méretszám.
3. **Méretszám**: a tényleges nagyságot adja meg, függetlenül a rajz méretarányától.
4. **Nyílhegyek**: a méretvonal végein, a segédvonalakhoz érve, mutatják a méret irányát.
5. **Átmérő- és sugárjelek**: `Ø` átmérőhöz, `R` sugárhoz.

A méretezés alapelvei:

- **A méretek mindig a valóságos méretet adják**. Ha a rajz 1:2 arányú, akkor a rajzon mért 10 mm-es szakasz 20 mm-t jelent, de a méretfelirat azt írja, hogy `20`.
- **A méretvonalat nem szabad a látható éllel összevonni**. A méret a tárgyon kívül, a segédvonalak között maradjon, hacsak nincs konkrét oka az ábrázolásnak.
- **Minden méretet csak egyszer adj meg**. Ne méretezd ugyanazt a távolságot két külön nézetben is, mert ellentmondáshoz vezethet.
- **A méretek elhelyezése**: a rövidebb méretek kerüljenek közelebb a tárgyhoz, a hosszabbak kijjebb, hogy a méretvonalak ne keresztezzék egymást. Az átmérőméreteket a vetületi ábrán a legjobban értelmezhető nézetre tedd.
- **A láncszerű méretezést kerüld**, ha a tűrésfelhalmozódás miatt a terv nem adja meg egyértelműen a funkció szempontjából fontos méretet. Helyette adj meg egy viszonyítási (bázis) felületet, és abból méretezz.

Számítási példa: méretarány-átszámítás. Egy kapcsolószekrény oldalfala függőleges furattávolsága a valóságban 120 mm. A rajz 1:2 méretarányú. Kérdés: mekkora a két furat távolsága a rajzon?

Adott: $t_{\text{valós}} = 120\,\text{mm}$; $M = 1:2$. Keresett: t_{rajz}. Képlet: $t_{\text{rajz}} = M \cdot t_{\text{valós}}$, ahol M a rajz méretaránya, azaz $M = 1/2 = 0{,}5$. Behelyettesítés: $t_{\text{rajz}} = 0{,}5 \cdot 120\,\text{mm} = 60\,\text{mm}$. Ellenőrzés: a rajz fele akkora, tehát a kapott méretnek a valóságos fele kell legyen; 60 mm értelmes eredmény.

Számítási példa: méretszám-olvasás. Egy furat rajzon megadott átmérője `Ø12`. A rajz 2:1 méretarányú (nagyított). Mekkora a furat valóságos átmérője? A méretszám mindig a valóságos méret, tehát a furat átmérője 12 mm. A rajzon a furat átmérője 24 mm lenne ($2 \cdot 12$), de a méretfeliratnak ettől függetlenül `Ø12`-nek kell lennie.

11.1.8. Szerkesztések: merőleges, párhuzamos, szögfelezés, alapidomok

A hagyományos kézi rajzolás során a méretezett rajz előállításához néhány alapszerkesztést biztonsággal kell tudnod. A cél, hogy pontos vonalakat szerkessz, nem becsülgetéssel.

- **Merőleges szerkesztése egy egyenesre adott pontból.** Használd a körzőt: a pontból metsz két azonos sugarú ívvel az egyenest, majd a metszéspontokból nagyobb sugárral metszett íveket. A kapott metszéspontot összekötve az adott ponttal merőlegest kapsz.
- **Párhuzamos szerkesztése egy egyenessel egy adott ponton át.** Két lépésben végezhető: először az adott pontból merőlegest bocsátasz az eredeti egyenesre, majd **az adott ponton át** merőlegest szerkesztesz erre a merőlegesre. Ez utóbbi lesz a keresett párhuzamos.
- **Szögfelező szerkesztése.** A szög csúcsából körívet rajzolsz, hogy a két szögszárat elmesse. Az ív és a szárak metszéspontjaiból azonos sugárral újabb köríveket metszel. A csúcs és a kapott metszéspont összekötése a szögfelező.
- **Alapidomok szerkesztése.** A leggyakoribb alapidomként a négyzet, téglalap, szabályos háromszög, szabályos hatszög szerkesztése fordul elő szerelési alapoknál, furatkiosztásnál. A szabályos hatszög szerkesztése a kör sugarának ismételt felrakásával történik: a kört hat egyenlő részre osztod úgy, hogy a sugarat sorban felméred a kerületre, majd a szomszédos osztópontokat összekötöd.

Számítógépes rajzolás során ezek a szerkesztések a program parancsaival egy mozdulat, de a méretezett rajz ellenőrzésekor kézzel is gyorsan le tudod ellenőrizni egy adott furat helyzetét.

Figyelem. A rajzot ne méretezd túl, de ne hagyj el egyetlen olyan méretet sem, amely a gyártáshoz vagy szereléshez kell. A hiányzó méretet a műhelyben már nem lehet pótolni, legfeljebb a tervezőtől kérni, ami költséget és időt jelent.

11.1.9. Továbbvitt eredmény

A rajzlap, vonaltípus, feliratmező és méretmegadás ismeretét a Vetületi ábrázolás, metszet és axonometria alfejezetben arra használjuk, hogy egy alkatrész alakját több nézetből ábrázoljuk. A Rajzjelek és jelölések (MSZ EN 60617) alfejezetben pedig a kapcsolási rajzok jelölésrendszerét építjük fel, amely ugyanazt a méretlogikát és vonaltípus-értelmezést alkalmazza.

11.1.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy villamos kivitelező kap egy A3-as méretű gyártói dokumentációt egy frekvenciaváltó szellőzőnyílásainak kiosztásáról. A rajz 1:5 méretarányú, a feliratmezőben szerepel a gyártó neve és a rajzszám. A szerelőnek egy lemezlyukasztó sablont kell elkészítenie, hogy azt a készülékház hűtőnyílásainak kijelölésére használja. A rajzon a nyílások méretei `Ø6` és `Ø9` jelöléssel szerepelnek, a tengelytávolságok pedig vékony méretvonalakon, `35` és `50` értékkel. A szerelő felismeri, hogy a méretszámok a valóságos milliméterek, így közvetlenül a sablonra viheti őket; nem kell átszámolnia az 1:5 arányt. Hiba lett volna, ha a rajzon vonalzóval leméri a távolságokat és azokat használja, mert az ötödére kicsinyített értékek lettek volna.

11.1.11. Gyakorlati útmutató: egyszerű alkatrész rajzlapjának elkészítése

Cél. Készíts egy A4-es rajzlapot feliratmezővel, és méretezz egyszerűen egy téglalap alakú lemezt két furattal.

Eszközök és anyagok. Rajzlap A4, HB és B ceruza, körző, vonalzó, derékszögű vonalzó, radír, esetleg sablon a feliratmezőhöz.

Biztonsági korlát. A feladat papír alapú rajzolás, ezért nincs villamos kockázat. Ha a rajzot törpefeszültségű tanműhelyi feladathoz készíted, a későbbi megmunkálásnál tartsd be a műhelyszabályokat. A fémlemez megmunkálását, furat készítését csak tanműhelyi kéziszerszámokkal, nem hálózati fúrógéppel végezd.

Az öt biztonsági szabály itt nem alkalmazandó villamos értelemben, de a munkaterület legyen rendben, a rajzeszközök hegyes részei tárolva legyenek.

Lépések.

1. Húzd meg a lap belső keretét: bal oldalon 20 mm, többi oldalon 10 mm margóval.
2. Rajzold meg a feliratmezőt a jobb alsó sarokban: körülbelül 180 mm széles és 40 mm magas téglalap. Oszd négy-öt sorra, és tüntesd fel a rajz címét, rajzszámot, méretarányt, nevet, dátumot.
3. Vékony (szerkesztő) vonallal szerkeszd meg a lemez téglalapját a lap bal felső harmadában, például 120 × 50 mm méretben, 1:1 méretarányban; a méretezés előtt húzd át a kontúrt folytonos vastag vonallal (0,5 mm).
4. Rajzold meg a furatok tengelyvonalait: a lemez szélétől a furatok középpontja 15 mm távolságra legyen, a furatátmérő `Ø8`. A tengelyvonalakat húzd lánc-vonallal.
5. Rajzold meg a furatok látható körvonalát vastag folytonos vonallal.
6. Méretezd a lemezt: hossz 120, szélesség 50; a bal furat helye a bal széltől 15 (bázis), a furatok tengelytávolsága 90 (vagy bázisról: 15 és 105); a furatok magassága az alsó éltől 25 (vagy szimmetriatengellyel jelölve); átmérő `2×Ø8`. A méretvonalakat helyezd a tárgyon kívülre, egymástól legalább 7 mm távolságra.
7. Ellenőrizd, hogy a segédvonalak a kontúrtól indulnak, és 1–2 mm-rel túlnyúlnak a méretvonalon, és hogy a méretszámok a méretvonal fölött olvashatók-e.

Ellenőrzési pontok.

- A feliratmezőben a méretarány valósan megegyezik a rajzon használt aránnyal.
- A méretszámok a valóságos méretek, nem a rajzon mért hosszak.
- A vonalak típusa elkülönül: vékony, vastag, lánc-vonal.
- A furat tengelye és mérete egyértelmű, a furat száma kiolvasható.

Tipikus hibák.

- A feliratmezőt a bal alsó sarokba rajzolod, pedig a szabványos hely a jobb alsó sarok.
- A méretszámot a méretarány szerint átszámítva írod, holott a méretszám mindig a valóságos méret.
- A szimmetriatengelyt folytonos vékony vonallal húzod, pedig lánc-vonalat kell használni.

11.1.12. Tipikus hibák

1. **A méretszámot a rajzról mért értékből számolod.** A méretszámnak a valóságos méretet kell adnia. Ha a rajz 1:2 méretarányú (kicsinyített), és a rajzon 60 mm-t mérsz, a méretszám `120` (a valóságos méret); a `60`-at (a rajzon mért hosszt) beírni hiba. Az ábrázolás kicsinyített, de a méretfelirat nem.
2. **A látható élt és a méretvonalat összekevered.** Ha a méretvonalat vastagra húzod, a rajzolvasó azt hiheti, hogy az is a tárgy éle. A méret mindig vékony marad.
3. **A furatot nem jelölöd átmérővel.** Ha csak annyit írsz, hogy `8`, akkor nem egyértelmű, hogy az átmérő vagy sugár értéke. A helyes jelölés `Ø8` átmérőhöz, `R4` sugárhoz.
4. **A feliratmezőt elhagyod.** A rajz azonosítás nélkül nem tudható, hogy melyik tervváltozat, milyen méretarányban készült, és ki a tervező. Tervátadáskor ez szakmai dokumentációs hiba.

11.1.13. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az A4-es lap mérete $210 \times 297\,\text{mm}$, és a lap felezésével az A-széria minden további mérete levezethető.
2. Igaz vagy hamis? A szaggatott vonal a látható éleket ábrázolja.
3. Igaz vagy hamis? A méretvonalat vastag folytonos vonallal kell húzni.
4. Számítás: egy alkatrész hossza a valóságban 80 mm. Milyen hosszon rajzolod 2:1 méretarányban, és mit írsz a méretfeliratra?
5. Mi a hiba egy olyan rajzon, ahol a furat jelölése `Ø10` helyett `R10`?
6. Hová kell rajzolni a feliratmezőt, és miért fontos a méretarány feltüntetése?

11.1.14. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel az A-széria A4, A3, A2, A1, A0 méreteit, és indokold, miért nem kell mindegyiket fejből tudnod a szerelési gyakorlatban, ha a feliratmező és a rajzkeret megvan.

2. feladat (A). Rajzolj A4-es lapon egy $60 \times 30\,\text{mm}$-es téglalapot, és méretezd a hosszát és szélességét. Ne felejtsd el a feliratmezőt.

3. feladat (B). Egy furat átmérője `Ø10`, a rajz 1:2 méretarányú. Mekkora a furat átmérője a rajzon, és mit kell írni a méretfeliratra?

4. feladat (B). Egy lemezen négy furat van; középpontjuk a lemez bal szélétől (bázis) 25, 40, 65 és 90 mm-re van. a) Méretezd bázisról, b) méretezd láncszerűen, és magyarázd el, melyik méretezési mód miért jobb a tűrésfelhalmozódás szempontjából.

5. feladat (C). Adott egy rajz, amelyen a látható kontúrvonalat vékony vonallal, a méretvonalakat vastagon húzták, a furat tengelyvonalát pedig folytonos vékony vonallal. Sorold fel a hibákat, és mondd meg, milyen következménnyel járhat a rajzolvasás során.

6. feladat (D). Készíts egy egyszerű szerelőlemez rajzot: egy 100×40 mm-es lemez, rajta egy központi `Ø12` furat, két szélső `Ø6` furat, amelyek a lemez szélétől 10 mm-re vannak. Méretezd a lemezt úgy, hogy a furatok egymáshoz és a szélekhez viszonyított helyzete egyértelmű legyen. A rajzot ellenőrizd a gyakorlati útmutató ellenőrzési pontjai szerint.

11.1.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok.

1. Igaz. Az A4-es lap felezésével A5-öt kapnánk, a felezési elv az egész A-szériára igaz.
2. Hamis. A látható éleket folytonos vastag vonal jelöli, a szaggatott a rejtett, nem látható éleket.
3. Hamis. A méretvonal vékony folytonos vonal, hogy elkülönüljön a tárgy élétől.
4. $2:1$ arányban a rajzon a hossz $2 \cdot 80\,\text{mm} = 160\,\text{mm}$, de a méretfelirat `80` marad, mert a méret a valóságos méretet adja.
5. `R10` sugarat jelent, ami 20 mm átmérőnek felelne meg. A furat jelölése `Ø10` lenne.
6. A feliratmezőt a jobb alsó sarokba kell rajzolni. A méretarányt azért fontos feltüntetni, mert a rajzolvasó csak így tudja a méretezett adatokat a rajzon megjelenő geometriához viszonyítani, és így tévedésmentesen értelmezhető a terv.

1. feladat megoldása. A4: 210×297; A3: 297×420; A2: 420×594; A1: 594×841; A0: 841×1189 (mind mm). A szerelési gyakorlatban a lapokat a keret és a feliratmező azonosítja; a fejből tudás akkor fontos, ha magad készíted a rajzot. Mindenesetre a szabványos lapkiosztás ismerete a rajzolvasás alapja.

2. feladat megoldása. Rajzolj keretet, feliratmezőt. A téglalap kontúrja vastag, hossza 60, szélessége 30 mérettel. A méretvonalak vékonyak, a méretszámok a vonal fölé kerülnek.

3. feladat megoldása. Adott: $d_{\text{valós}} = 10\,\text{mm}$; $M = 1:2 = 0{,}5$. Keresett: d_{rajz}. Képlet: $d_{\text{rajz}} = M \cdot d_{\text{valós}}$. Behelyettesítés: $d_{\text{rajz}} = 0{,}5 \cdot 10 = 5\,\text{mm}$. A méretfelirat: `Ø10`, mert a méret a valóságos átmérőt adja.

4. feladat megoldása. Bázisméretezésnél minden méretet a lemez bal szélétől (bázisfelület) mérve adsz meg: 25, 40, 65, 90. Láncméretezésnél az osztástávolságokat láncban: 25, 15, 25, 25 (a furatok közötti különbségek: $40-25=15$, $65-40=25$, $90-65=25$). A bázisméretezés előnye, hogy a tűrések nem adódnak össze: minden méret közvetlenül a bázishoz kötött, ezért a méretek tűrései egymástól függetlenek. Láncszerűnél a hibák összeadódhatnak, így a legtávolabbi furat helyzete a köztes tűrések összegével terhelt.

5. feladat megoldása. Hiba: a látványkontúr vékony, ami nem emeli ki a tárgyat. A méretvonal vastag, ezért az olvasó az élekkel keverheti. A furat tengelyvonala folytonos vékony vonal, pedig lánc-vonalat kell használni. Következmény: az olvasó nem tudja egyértelműen megkülönböztetni a valós éleket a méretezéstől, és a furat helye nem lesz szimmetriatengelyként értelmezhető. Ez téves megmunkáláshoz, rossz furatkiosztáshoz vezethet.

6. feladat megoldása. Rajzold meg a lemezt: hossz 100, szélesség 40, központi furat `Ø12` a lemez közepén, két szélső furat `Ø6` a szélektől 10 mm-re. Méretezd a furatok tengelytávolságát a

lemez bal szélétől: 10, 50, 90; a lemez szélétől a furatok függőleges helyzetét: 20 (a középvonalhoz igazítva). Az átmérőket `Ø12` és `Ø6` jelöléssel. Ellenőrzés: a tengelyvonalak lánc-vonallal, a kontúr vastag, a méretvonal vékony.

11.1.16. Rövid összefoglaló

A szabványos rajzlap és a rajz formai elemei a villamos- és gépészeti dokumentáció közös nyelve. Az A-széria (A4–A0) lapméretei a felezési elven alapulnak; a lapon a belső rajzkeret és a jobb alsó sarokban elhelyezett feliratmező azonosítja a rajzot. A vonaltípusok egyértelmű jelentést hordoznak: folytonos vastagon a látható élek, vékony vonallal a méretek, szaggatottal a rejtett élek, lánc-vonallal a tengelyek. A feliratok szabványos betűkkel, vízszintesen olvashatók. A méretmegadás elemei: segédvonal, méretvonal, nyílhegy, méretszám, átmérő- vagy sugárjel. A méretfelirat mindig a valóságos méretet adja meg, függetlenül a rajz méretarányától. A méretezést bázisra, nem láncszerűen érdemes felépíteni, hogy a tűrések ne összegződjenek. A rajzi alapok, amelyeket itt elsajátítottál, a vetületi ábrázolásban és a kapcsolási rajzok jelölésrendszerében térnek vissza.

Továbbvitt eredmények. A szabványos rajzlap, vonaltípus és feliratmező használatát a Vetületi ábrázolás, metszet és axonometria alfejezetben az alkatrészek több nézetű ábrázolására alkalmazzuk, a Rajzjelek és jelölések (MSZ EN 60617) alfejezetben pedig a kapcsolási rajzok jelölésrendszerének alapjaként használjuk. A méretszám mindig valóságos méretet jelöl; a rajzon a vonaltípusok a rajzolvasás egyértelműségét biztosítják.

11.2. Vetületi ábrázolás, metszet és axonometria

A veszélyes üzemű vagy bonyolult szerkezetű villamos berendezések (például egy kapcsolószekrény oldalfala, egy íves lemezre szerelt sorkapocs tartó, vagy egy leválasztó kapcsoló mechanikája) szerelésekor gyakran olyan alkatrészeket kell megmunkálni, felfogatni vagy ellenőrizni, amelyek nem szabványos elemei a katalógusnak. Ilyenkor a szerelőnek el kell tudnia készíteni egy lemeztárgy kézi vázlatát, vagy értelmeznie kell a gépész kolléga által adott műszaki rajzot. Ha nem érted a vetületi ábrázolás logikáját, könnyen rossz helyre fúrsz lyukat, rossz irányba hajlítasz meg egy lemezt, vagy olyan szerkezetet szerelsz össze, amelyik fizikailag nem illeszkedik a rendelkezésre álló helyre.

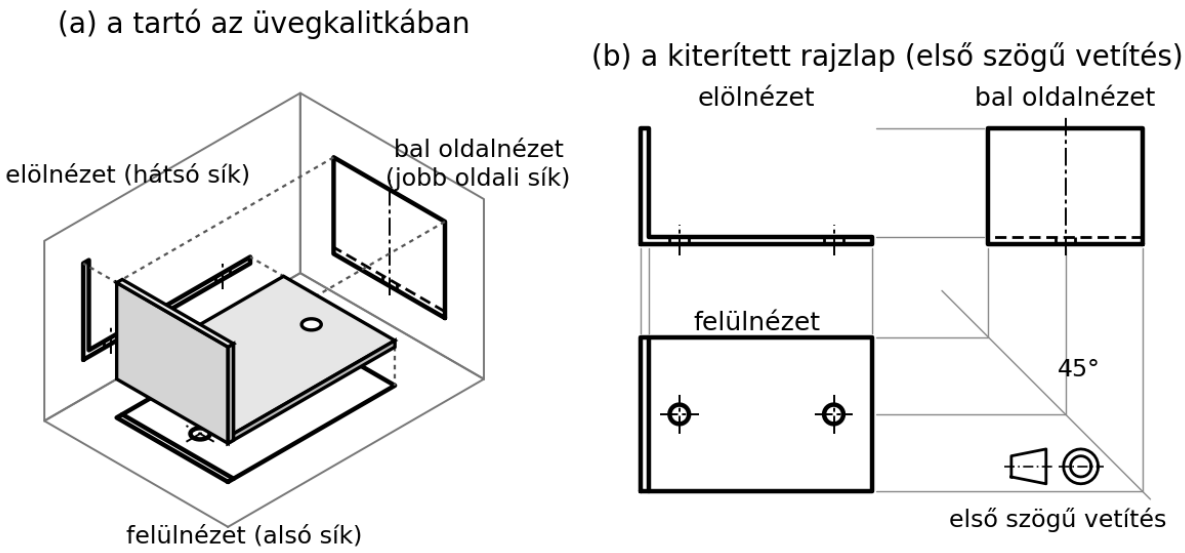
> **Megjegyzés.** Ez az alfejezet a gépészeti rajz alapjait tárgyalja, de az itt tanult ábrázolási logika nélkül a későbbi fejezetekben szereplő kapcsolószekrény-elrendezési rajzok és szerelőlap-fúrási tervek sem értelmezhetők.

11.2.1. Vetületi ábrázolás és képsíkok

Definíció. A **merőleges (ortogonális) vetítés** olyan ábrázolási módszer, amelynél a tárgyat egymással párhuzamos, a képsíkra merőleges vetítősugarakkal képezzük le egy síkra.

A rajzoló egy képzeletbeli „üvegkalitkát” helyez a tárgy köré. A kalitka hat oldala a hat képsík. A tárgyat merőlegesen rávetítjük ezekre a síkokra. Ahhoz, hogy ez a térbeli elrendezés papírra kerüljön, a képsíkokat le kell hajtani (kiteríteni) egyetlen közös rajzsíkba.

Szabály. A hazai és európai gyakorlatban az **európai (első szög) vetítési módszert** használjuk. Ez azt jelenti, hogy a tárgy a vetítési irányhoz képest a képsík **előtt** helyezkedik el. A kiterítés után a tárgy **felülnézete** az **elölnézet alá**, a **bal oldalnézete** pedig az **elölnézet jobb oldalára** kerül.



11.2. ábra. Az üvegkalitka elve és az első szögű vetítés: a kidolgozott példa L-alakú tartója és kiterített három nézete

Az ábra (a) része a kidolgozott példa tartóját (60 × 40 mm-es, 2 mm vastag talp, a bal végén 30 mm magas szár, két Ø5 furat) mutatja a nyitott üvegkalitkában: az elölnézet a tárgy mögötti hátsó síkra, a felülnézet az alatta lévő síkra, a bal oldalnézet a tárgytól jobbra lévő síkra vetül. A (b) rész a kihajtott rajzlap: a felülnézet az elölnézet alatt, a bal oldalnézet az elölnézettől jobbra van; a mélységet a 45°-os segédvonal viszi át a felülnézetből az oldalnézetbe. A bal oldalnézet egy 40 × 30 mm-es téglalap, a talp felső éle és a furatok a szár mögött vannak, ezért szaggatott vonallal látszanak. A HTML-változat lépésenként mutatja a vetítést és a síkok kihajtását.

Miért nevezzük első szögnek? A függőleges és a vízszintes képsík a teret négy térnegyedre osztja. Első szögű vetítésnél a tárgyat az első térnegyedbe helyezzük: a megfigyelő és a képsík közé – innen a név. A régi magyar tervek is ezt a logikát követik.

11.2.2. A nézetek elrendezése

A leggyakoribb ábrázolás három nézetet használ. A **főnézet (elölnézet)** a tárgy legjellegzetesebb oldala, a legtöbb információval. Ez általában az az oldal, ahol a legtöbb furat, él vagy felismerhető jellemző található. A **felülnézet** felülről, a **bal oldalnézet** balról mutatja a tárgyat.

A rajzlapon a nézeteket merev kapcsolat, a **vetületi rend** rögzíti:

- Az elölnézet és a felülnézet **függőlegesen** pontosan egymáshoz van igazítva (a szélességi méretek megegyeznek).
- Az elölnézet és a bal oldalnézet **vízszintesen** pontosan egy vonalba esik (a magassági méretek megegyeznek).
- A felülnézet és az oldalnézet **mélységi** méretei megegyeznek.

Példa. Egy téglatestet ábrázolunk. Elölnézet egy téglalap. Felülnézet egy téglalap az elölnézet alatt. A bal oldalnézet egy téglalap az elölnézet jobb oldalán. A három téglalapból a méretek ellenőrzésével egyértelműen azonosítható a tárgy.

Definíció. A tárgy **látható éleit** folytonos vastag vonallal, a **takarásban lévő, nem látható éleit** szaggatott vékony vonallal rajzoljuk. A nézetekben a szimmetria- és furattengelyeket vékony pont-vonallal jelöljük.

A nézetek számát a tárgy bonyolultsága határozza meg. Egy tengely (henger) esetében elegendő egyetlen nézet, ha az átmérőt ∅ jellel adjuk meg, hiszen a jel egyértelművé teszi a kör keresztmetszetet; ∅ jel nélkül két nézet kell.

11.2.3. Síklapú testek és forgástestek ábrázolása

A villamosipari szerelés során leggyakrabban kétféle geometriával találkozol: síklapú lemezekkel (tartókonzolok, sínfelfogatások, kábelcsatorna-fülek) és forgástestekkel (szigetelő perselyek, tekercstestek, kapcsolótengelyek).

1. Síklapú test (L-alakú tartó).

- **Elölnézet:** Az L betű alakját látjuk. A függőleges szár és a vízszintes talp látható éleit folytonos vonallal rajzoljuk.
- **Felülnézet:** A tartót felülről nézve egy téglalapot látunk, amelynek a széle mentén egy másik téglalap látszik. A szár és a talp belső találkozási éle látható, ezért éles hajlításnál vastag folytonos vonallal rajzoljuk, lekerekített hajlításnál az érintővonalat vékony vonallal jelöljük.
- **Bal oldalnézet:** Az L szélességét látjuk, egy téglalapot, amelynek belső sarkaiban a hajlítási élek miatt szaggatott vonalak lehetnek.

A gyakorlatban a lemeztárgyaknál a furatokat is jelölni kell. A furat látható, ha a nézet irányából nyitott. Ha a furat a tárgy mögöttes oldalán van, a kontúrját szaggatott vonallal rajzoljuk, a középpontját pedig pontvonallal.

2. Forgástest (hengeres szigetelőpersely).

- **Elölnézet:** Egy téglalap (élletörés esetén a végeken rövid ferde vonalakkal); a tengelyt pont-vonallal húzzuk be.
- **Felülnézet:** Egy kör, a középpontján átmenő két tengelyvonallal. A furatot egy koncentrikus kör jelöli. Ha a belső furat nem hatol át, a takarásban lévő részét szaggatott vonallal rajzoljuk.
- **Oldalnézet:** Gyakran elhagyható, mert a felülnézet és az elölnézet már meghatározza a forgástestet.

11.2.4. Metszetek és jelöléseik

A bonyolult tárgyak (például egy zárt csapágyház, egy perforált lemez profilja, egy süllyesztett furat) belső szerkezete rejtett marad. A túl sok szaggatott vonal áttekinthetetlenné teszi a rajzot. Ilyenkor **metszetet** alkalmazunk.

Definíció. A **metszet** úgy keletkezik, hogy a tárgyat egy képzeletbeli síkkal kettévágjuk, a sík előtti részt eltávolítjuk, és a megmaradt részt vetítjük. A metszősíkot a nézetben vékony pont-vonallal jelöljük, amelyet a végein és a töréspontoknál vastagon húzunk; a vetítési irányt nyilak, a metszetet betűpár (például „A–A”) azonosítja (ellenőrizendő: MSZ EN ISO 128).

Szabály. A metszett felületeket (ahol a képzeletbeli sík ténylegesen átvágta az anyagot) vékony, párhuzamos vonalakkal, úgynevezett **sraffozással** jelöljük. A sraffozás alapértelmezésben 45 fokos dőlésszögű. A szomszédos, de különálló alkatrészeket a sraffozás irányának vagy sűrűségének megváltoztatásával különböztetjük meg egymástól.

Megjegyzés. A vékony lemezeket (például egy kapcsolószekrény oldalfalát) metszetben gyakran nem sraffozzuk, hanem teljesen feketére befeketítjük, mert a sraffozás túl vékony vonalakat eredményezne.

Példa (metszet). Képzelj el egy hengeres villamos kapcsolószekrény-zsanért. Az elölnézetből nem látjuk, hogy a belső csap menetes-e vagy sem. Ha a felülnézetben a zsanér tengelyén át **hosszirányú** metszősík (A–A) van jelölve, az A–A metszetben a persely és a csap hosszmetszetét látjuk: a menet profilja itt látszik (a tengelyre merőleges keresztmetszet csak körgyűrűt mutatna, menetprofilt nem). A metszett persely sraffozott; a tömör csapot a szabályok szerint hosszmetszetben nem sraffozzuk (ellenőrizendő: MSZ EN ISO 128), az üres rész a csap körüli hézag.

Szabvány. A műszaki rajzok általános szabályait, a vetületi ábrázolást és a metszetek jelölését az MSZ EN ISO 128 sorozat és az MSZ EN ISO 5456 szabványok tartalmazzák **(ellenőrizendő: a pontos, hatályos szabványszámok és kiadásuk éve a felhasználás időpontjában)**. A régi magyar szabványban (MSZ 100) a jelölések helyenként eltérőek lehetnek, de a logika ugyanaz.

11.2.5. Axonometrikus és műszaki vázlat kézzel

A vetületi ábrák pontosak, de nehezen olvashatók annak, aki nem szokott hozzá. A szerelő számára gyakran egyszerűbb egy **látszati képet (axonometriát)** készíteni kézzel, mert az egyetlen pillantásra megmutatja a tárgy térbeli alakját.

Definíció. Az **axonometrikus ábrázolás** (látszati kép) a tárgyat párhuzamos vetítéssel, térben mutatja. A leggyakoribb formája az **izometrikus ábrázolás**, ahol a három koordinátatengely 120 fokos szöget zár be egymással.

A kézi vázlat (műszaki vázlat) nem helyettesíti a méretezett rajzot, de a szerelés helyszínén felbecsülhetetlen segítség. A vázlat elkészítésekor a lényeg az arányok megtartása és a méretek pontos feljegyzése.

11.2.6. Kidolgozott példa: L-alakú lemeztartó három nézete

Feladat. Adott egy 2 mm vastag acéllemezből hajlított tartókonzol. A talp szélessége 40 mm, hossza 60 mm. A függőleges szár magassága 30 mm. A talpon két darab 5 mm átmérőjű furat van, a szélektől 10 mm-re, középen. Készítsd el a három nézetet!

Megoldás.

1. **Elölnézet (főnézet):** A konzolt szemből nézzük. Rajzolunk egy vízszintes téglalapot (a talpat), amelynek szélessége 60 mm, magassága 2 mm. A téglalap bal szélére rajzolunk egy függőleges téglalapot (a szárat), amelynek magassága 30 mm, szélessége 2 mm. A két téglalap érintkezzen, a csatlakozásnál a hajlítási él legyen jelölve. A két furatot a talpon nem látjuk, mert felülről vannak, de a furatok tengelyvonalát a talp közepén, pont-vonallal behúzzuk. A furatok szélét szaggatott vonallal jelezzük, hogy takarásban van.
2. **Felülnézet:** Az elölnézet alá rajzoljuk. Egy 60 mm széles és 40 mm mély téglalap. A 40 mm-es mélységen a téglalap bal szélén a függőleges szár vetülete látszik: egy 2 mm széles sáv, amely a 40 mm-es mélység mentén végigfut. A két 5 mm-es furat helye most már látható, középen, a szélektől 10 mm-re. Középpontjukat pont-vonallal keresztezzük, a furat körvonalát folytonos vastag vonallal rajzoljuk.
3. **Bal oldalnézet:** Az elölnézet jobb oldalára rajzoljuk. Mivel a szár a tartó bal végén áll, balról nézve a szár lapja eltakarja a talpat: a nézet egy 40 mm széles, 30 mm magas téglalap. A talp felső éle a szár mögött van, ezért 2 mm magasan szaggatott vonallal rajzoljuk; a két $\emptyset 5$ furat a talpban takart, ezért függőleges szaggatott vonalpárként (2 mm magas) jelenik meg, tengelyük pont-vonal. Az L-alak az elölnézeten látszik, nem az oldalnézeten.

Ellenőrzés. A három nézet összehasonlításakor a 60 mm-es hosszméret csak az elölnézeten és a felülnézeten látszik, a 40 mm-es szélesség csak a felülnézeten és az oldalnézeten, a 30 mm-es magasság pedig csak az elölnézeten és az oldalnézeten (a felülnézeten a szár 2×40 mm-es sávként jelenik meg, a magasság ott nem mérhető). Ez a vetületi rend ellenőrzése: minden alapméret pontosan két nézetben jelenik meg, és a két nézetben azonos hosszú.

11.2.7. Gyakorlati útmutató

Cél. Egy sérült vagy hiányzó szerelőlemez-pótlás elkészítéséhez felmérni a meglévő lemezt és arról vázlatot készíteni.

Eszközök és anyagok. Toll, ceruza (HB vagy 2H), radír, négyzetrácsos papír, mérőszalag vagy tolómérő, szögmérő.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; ha a felmérendő alkatrész egy élő berendezés része, a munkavégzés előtt el kell végezni a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

Lépések:

1. **Válaszd ki a főnézetet.** Nézd meg a tárgyat, és válaszd ki azt az irányt, amely a legtöbb információt adja (furatok, hajlítások, felületi jellemzők). Ez lesz az elölnézet.
2. **Mérd meg a fő méreteket.** Mérd meg a hosszt, magasságot, szélességet. A méreteket azonnal, milliméterben írd fel a vázlatra, a megfelelő vetület mellé.
3. **Rajzold meg az elölnézetet.** A négyzetrácsos papíron, ceruzával, a méretarányt betartva (például 1:2 vagy 1:1) rajzold meg a főnézetet vékony vonallal.
4. **Vetítsd a felülnézetet.** Az elölnézet alá, azonos szélességgel rajzold meg a felülnézetet. Használj a négyzetrácsot a függőleges igazításhoz.
5. **Vetítsd az oldalnézetet.** Az elölnézet jobb oldalára rajzold meg a bal oldalnézetet. A magassági méretek vízszintes vetítővonalakkal igazíthatók.
6. **Jelöld a rejtett éleket.** Ahol lyuk vagy takarásban lévő él van, használj szaggatott vonalat.
7. **Takarítsd ki a rajzot.** Radírozd ki a felesleges vetítővonalakat (vagy halványítsd ki őket), és húzd meg a végleges kontúrokat vastagon.
8. **Írd fel a méreteket.** A méreteket a méretvonalakkal, a kész rajzra írd fel (a méretezés szabályait az előző alfejezetben tanultad).
9. **Dokumentálás.** Írd fel a tárgy nevét, anyagát, darabszámát és a rajzolás dátumát a rajzlap sarkába.

Ellenőrzési pont. A kész vázlatról kérdezd meg egy társadat, hogy el tudná-e készíteni a tárgyat a rajz alapján. Ha nem, a rajz hiányos.

11.2.8. Tipikus hibák

1. **A vetületi módszer felcserélése.** A tanuló az oldalnézetet a tárgy bal oldalára rajzolja, mert intuíciója szerint a bal oldali látvány a bal oldalra kerül. Ez a harmadik szögű vetítés (amerikai módszer). **Helyesen:** Az európai (első szög) vetítésben a bal oldalnézet a jobb oldalra, a felülnézet pedig alulra kerül.

2. **Hiányzó szaggatott vonalak.** A tanuló csak a látható éleket rajzolja meg, a takarásban lévő furatot vagy élet elfelejti jelölni. Ez téves szereléshez vezethet, mert a furat ott van, csak nem látszik. **Helyesen:** A rejtett éleket szaggatott vonallal, a tengelyeket pont-vonallal mindig jelöljük.
3. **Hibás sraffozás.** A tanuló a metszetben a sraffozást a tárgy tényleges színének vagy árnyékának jelölésére használja, vagy a szomszédos elemeket azonos irányba sraffozza. **Helyesen:** A sraffozás nem színt, hanem a vágott anyag felületét jelöli, és a különböző alkatrészeket eltérő irányú vagy osztásközű sraffozással különböztetjük meg.

11.2.9. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** Az európai vetítési rendszerben a felülnézet az elölnézet fölött helyezkedik el.
2. **Hogyan jelöljük a szerelőlemez takarásban lévő belső élét a vetületi rajzon?**
3. **Mit jelent a rajzon az „A–A” felirat?**
4. **Milyen dőlésszögű a szabványos sraffozás alapértelmezésben?**
5. **Milyen alakzatot rajzolunk a felülnézetbe, ha a tárgy egy henger?**

11.2.10. Feladatok

1. feladat (A) Nevezd meg a három leggyakrabban használt vetületi nézetet, és írd le, hogyan helyezkednek el egymáshoz képest a rajzlapon az európai vetítés szerint.

2. feladat (A) Rajzolj le egy 20 mm × 10 mm × 5 mm méretű téglatest három nézetét arányosan, ceruzával, négyzetrácsos papírra. Jelöld a méreteket!

3. feladat (B) Adott egy 50 mm hosszú, 20 mm széles, 3 mm vastag acéllemez. A lemez jobb oldali rövid élének közepéből egy 10 mm széles (a 20 mm-es szélesség irányában), 10 mm mély (a hossz irányában), a teljes vastagságon átmenő téglalap alakú bevágást (hornyot) martak ki. Készítsd el a három nézetét! Jelöld szaggatott vonallal a takarásban lévő éleket.

4. feladat (B) Magyarázd el, mi a különbség a vetületi nézet és a metszet között. Sorold fel, milyen vonaltípusokkal találkozol egy metszeti rajzon!

5. feladat (C) Egy szerelő egy hengeres szigetelőpersely rajzát nézi. Az elölnézet egy téglalap, a felülnézet egy kör. A rajzon csak ez a két nézet van. A persely belsejében egy furat van, amely nem megy át a perselyen (vakfurat). Hogyan jelölnéd ezt a két nézeten, hogy a gépész el tudja készíteni? Rajzold le vázlatosan!

6. feladat (D) Képzelj el egy zárt, csavarozott acél kapocsdobozt. Vázold fel, hogyan használnád az axonometrikus ábrázolást a doboz és a fedél összeszerelési sorrendjének bemutatására! Milyen előnye van a látszati képnek a vetületi rajzzal szemben a szerelő számára?

11.2.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok: 1. Hamis. A felülnézet az elölnézet alá kerül. 2. Szaggatott vékony vonallal. 3. A metszet azonosítója, amely a metszősík nevét adja meg. 4. 45 fok. 5. Kört, amelynek középpontjában a tengelyvonalak kereszteződnek; a furatot koncentrikus körökkel jelöljük.

Feladatok – megoldások:

1. Az elölnézet, felülnézet és bal oldalnézet. A felülnézet az elölnézet alá, a bal oldalnézet az elölnézet jobb oldalára kerül. A nézetek szélét nem szabad elforgatni, a vetületi kapcsolatot meg kell tartani.

2. Elölnézet: 20 mm széles, 10 mm magas téglalap. Felülnézet: 20 mm széles, 5 mm mély téglalap az elölnézet alatt. Bal oldalnézet: 5 mm széles, 10 mm magas téglalap az elölnézet jobb oldalán. A méretezés a téglalapok oldalaihoz igazodjon.

3. Elölnézet: 50×3 mm téglalap; a bevágás alja ($x = 40$ mm) takart él, ezért szaggatott függőleges vonal 3 mm magasan. Felülnézet: 50×20 mm téglalap, a jobb szél közepén 10×10 mm-es bevágás folytonos vastag vonallal. Bal oldalnézet: 20×3 mm téglalap; a bevágás két oldalfala (5 mm-re a középvonaltól) takart, ezért két, 3 mm magas szaggatott függőleges vonal.

4. A vetületi nézet a tárgy teljes külső képét mutatja. A metszet egy képzeletbeli vágás után mutatja a tárgy belsejét. A metszetnél a vágott anyagot sraffozással jelöljük, a vágósík nyomvonalát vékony pont-vonallal (a végein és a töréspontoknál vastagítva) és nyilakkal jelöljük, a metszetet betűkkel azonosítjuk. A metszetben a nem vágott mögöttes részek folytonos vonallal látszanak.

5. Elölnézet: A téglalap belsejében a zsákfurat (vakfurat) kontúrját szaggatott vonallal rajzoljuk, mert az elölnézetből nem látszik a belső furat. A furat tengelyét pont-vonallal húzzuk be. Felülnézet: A kör belsejébe egy kisebb koncentrikus kört rajzolunk folytonos vonallal, mert a furat felülről látható. A középpontot keresztező pont-vonalak jelzik a tengelyt.

6. A látszati (izometrikus) kép a dobozt a sarok felől, 30 fokos tengelyekkel rajzolja. Az összeszerelési sorrend bemutatásához a dobozt, a fedelet és a csavarokat együtt, esetleg szétrobbantott (exploded) ábrázolásban rajzoljuk. Előnye: azonnal látható a térbeli egymásra épülés, a szerelő egyetlen pillantással megérti a csavarok helyét és a fedél illesztését, míg a vetületi rajzokból ezt a térbeli kapcsolatot fejben kell összerakni.

11.2.12. Rövid összefoglaló

A műszaki rajz alapja a merőleges vetítés. A hazai és európai gyakorlat az első szög (európai) vetítést használja, ahol a tárgyat egy üvegkalitka képsíkjaira vetítjük, majd a síkokat kiterítjük. Ennek eredménye, hogy az **elölnézet alatt a felülnézet, jobb oldalán a bal oldalnézet** található. A nézetek között merev vetületi kapcsolat van: a vízszintes és függőleges méretek egybeesnek. A látható éleket folytonos vastag, a rejtett éleket szaggatott vonallal rajzoljuk. A belső, rejtett szerkezetek feltárására **metszeteket** használunk, ahol a vágott anyagot 45 fokos sraffozással jelöljük, a vágósíkot betűkkel azonosítjuk. A síklapú testeket (lemezek, konzolok) általában három nézetben, a forgástestekhez (tengelyek, perselyek) egy nézet is elegendő, ha az átmérőt ∅ jellel adjuk meg; különben két nézet kell. Az **axonometrikus (látszati) ábrázolás**, különösen az izometria, a szerelő számára gyors, térbeli áttekintést nyújt, míg a kézi vázlat a műhelyben a felmérés és a gyors adatrögzítés nélkülözhetetlen eszköze. **Továbbvitt eredmény.** Az itt tanult vetületi logika és metszeti ábrázolás nélkülözhetetlen a következő alfejezetben tárgyalt gépelemek (például csavarkötések, sasszegek) pontos rajzjeleinek és térbeli beépítésének értelmezéséhez.

11.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ EN ISO 128 sorozat: Műszaki rajzok – A rajzok ábrázolásának általános elvei **(ellenőrizendő: az adott részek pontos címe és hatályos kiadása)**.

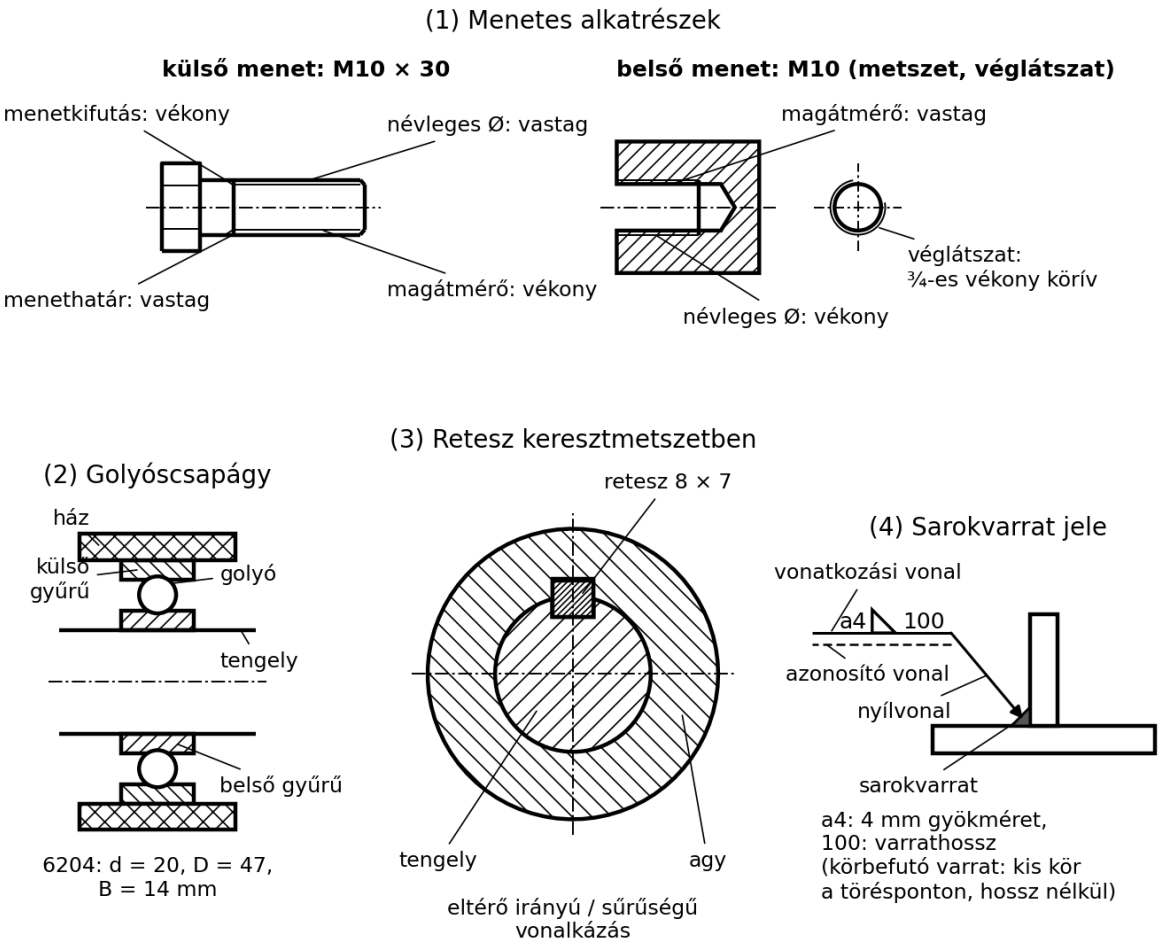
- MSZ EN ISO 5456: Műszaki rajzok – Vetületi módszerek **(ellenőrizendő: az aktuális részek és vonatkozási számuk)**.

11.3. Gépelemek és kötések ábrázolása

11.3.1. Motiváció

Képzeld el, hogy egy villanymotor javítását kell elvégezned: a fedél csapágyfészkéből ki kell szerelned a kopott gördülőcsapágyat, a tengelyről le kell húznod a retesszel rögzített ventilátort, majd a motor fedelét csavarokkal vissza kell szerelned. A műhelyben kézbe kapod a gépkönyv szerelési rajzát. A rajz nem fénykép, hanem szabványos jelképekből álló műszaki ábra: ha nem ismered a csavar, a retesz, a csapágy és a hegesztés rajzi jelölését, nem tudod eldönteni, mi oldható, mi nem, milyen sorrendben kell bontani, és mit kell cserélni. Ez az alfejezet azt tanítja meg, hogyan azonosítsd a leggyakoribb gépelemeket és kötéseket a műszaki rajzokon, és hogyan kerüld el a félreértésekből adódó szerelési hibákat.

11.3.2. Szemléletes kép



11.3. ábra. Gépelemek jelképes ábrázolása: menetes alkatrészek, golyóscsapágy, retesz és sarokvarrat jele

Az ábrán egyszerre látod a gépelemek jellegzetes vonalait. (1) Az M10 × 30 csavar külső menetén a névleges átmérő vastag, a magátmérő vékony vonal, a menethatár vastag, a menetkifutás vékony ferde vonal; a metszetben rajzolt menetes furatnál fordítva: a magátmérő vastag, a névleges átmérő vékony, a véglátszatban a névleges átmérő ¾-es vékony körív. (2) A 6204-es golyóscsapágy egyszerűsített metszetén a gyűrűk vonalkázottak, a golyók nem; a tengelyt hosszmetszetben nem metsszük. (3) A tengely–agy keresztmetszetben a tengely, az agy és a retesz egymástól eltérő irányú vagy sűrűségű vonalkázást kap. (4) A sarokvarrat jele nyílvonalból, vízszintes vonatkozási vonalból és szaggatott azonosító vonalból áll; az alapjel (háromszög) a folytonos vonalon a nyíloldali varratot jelzi, előtte a varrat gyökmérete (a4), utána a hossza (100); körbefutó varratnál a törésponton kis kör állna, és ilyenkor külön hosszat nem adunk meg (ellenőrizendő: MSZ EN ISO 2553). A HTML-változatban az elemek nevére mutatva a rajzon kiemelődik a helyük, és a varrat oldala átváltható.

11.3.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. *Gépelem* alatt a gépészetben olyan szabványosított vagy szabványosítható alkatrészt értünk, amely többféle berendezésben azonos vagy hasonló feladatot lát el: csavar, anya, retesz, ék, csapszeg, csapágy, fogaskerék, tengelykapcsoló, tömítés, hegesztési varrat stb.

Definíció. *Oldható kötés* olyan kapcsolat, amely az alkatrészek roncsolása nélkül oldható és újra létrehozható (pl. csavarkötés, reteszkötés, ékkötés, bordáskötés, csapszeges kötés). *Nem oldható kötés* olyan kapcsolat, amely csak az egyik alkatrész vagy a kötőelem roncsolásával bontható (pl. hegesztés, forrasztás, ragasztás, szegecskötés).

Szabály. A műszaki rajzon a gépelemeket nem fényképszerűen, hanem egyszerűsített, szabványos jelképekkel ábrázoljuk. A jelkép célja az egyértelmű azonosítás és a szerelési/gyártási információ átadása, nem pedig a valósághű megjelenés. A rajzolvasó feladata a jelkép mögötti valós alkatrész felismerése.

11.3.4. Csavar, csavarkötés és biztosítás ábrázolása

A csavarkötés a leggyakoribb oldható kötés. A rajzon két dolgot kell megkülönböztetnünk: magát a csavart (külső menet) és az anyát vagy a menetes furatot (belső menet).

Szabály. Külső menet (csavar, csavarorsó) ábrázolásakor a menet *külső (névleges) átmérőjét* **vastag folytonos vonallal**, a *magátmérőt* pedig **vékony folytonos vonallal** rajzoljuk. A menet végét – ha a menet nem fut ki a csavar teljes hosszán – a magátmérő vékony vonalának végétől a külső átmérőig ferde vékony vonallal jelöljük.

Szabály. Belső menet (anya, menetes furat) ábrázolásakor a menet *belső (mag) átmérőjét* **vastag folytonos vonallal**, a *külső átmérőt* **vékony folytonos vonallal** rajzoljuk. A vékony vonal az anyag felőli oldalon van.

Szabály. A csavarfejet egyszerűsítve ábrázoljuk: hatszögfejű csavar esetén a fej kontúrja hatszög, belső kulcsnyílású (imbusz) csavarnál a fej hengeres, a belső kulcsnyílást egy hatágú csillaggal vagy egyszerűen jelöljük; laposfejű süllyesztett csavarnál a fej a felülettel egy síkba simul, a rajzon a felületbe süllyedve látszik. A csavar méretét a menetnévleges átmérővel és a hasznos hosszal adjuk meg, pl. **M10 × 30**: menetátmérő 10 mm, csavarhossz 30 mm.

Szabály. A csavarbiztosításokat a rajzon ábrázolni kell, mert a szerelésnél fontos a vibráció elleni védelem. Gyakori biztosítások: rugós alátét (tört gyűrű, a rajzon ferde vágással), fogazott alátét (külső vagy belső fogak), ellenanya (két anya egymás mellett), csavarrögzítő folyadék (a

rajzon szöveges megjegyzésként). A rugós alátétet gyakran egy körívvel és egy ferde vágással jelölik a csavarfej alatt.

Példa. Egy szerelési rajzon az látszik, hogy a motor fedelét négy M8 × 20 csavar rögzíti, mindegyik alatt rugós alátét. A rajz alapján egyértelmű: a fedél oldható, a csavarokat el kell távolítani a bontáshoz, a rugós alátéteket pedig a visszaszereléskor ki kell cserélni, ha ellapultak.

11.3.5. Retesz, ék, bordáskötés, csapszeg

Ezek az elemek tengely és agy közötti erőátvitelt vagy helyzetrögzítést szolgálnak.

Definíció. *Retesz* (párhuzamos oldalú retesz) egy téglalap keresztmetszetű, hosszúkás acél elem, amelyet a tengelybe mart reteszhoronyba és az agyba készített reteszhoronyba helyeznek. A párhuzamos retesz nem önzáró, csak nyomatékátvitelt biztosít; a ferde felületű, beütött elem az ék (lásd alább). A rajzon a reteszt általában oldalnézetben téglalapként, metszetben pedig a horonyban ülő téglalapként ábrázoljuk; a retesz hosszát és méretét (pl. szélesség × magasság × hossz) megadjuk.

Definíció. *Ék* olyan ferde felületű elem, amelyet a tengely és az agy közé erősen beütnek, így önzáróan rögzíti az agyat a tengelyen. A rajzon az ék agy felőli (felső) lapja lejt (pl. 1:100), a tengely felőli lapja párhuzamos a tengellyel.

Definíció. *Bordáskötés* esetén a tengelyen több, körben elhelyezkedő fog (borda) van, az agyban pedig ezeknek megfelelő hornyok. A rajzon a bordákat a tengely kerületén egyenletesen eloszló fogakként ábrázoljuk, metszetben a tengely fogait és az agy hornyait mutatjuk. A bordáskötés nagyobb nyomaték átvitelére alkalmas, mint a retesz.

Definíció. *Csapszeg* hengeres vagy kúpos csap, amelyet két alkatrész furatába helyeznek a helyzet rögzítésére vagy csuklós kapcsolat létrehozására. A rajzon a csapszeget tengelyirányú metszetben, keresztmetszetben pedig körként ábrázoljuk. A csapszeget sasszeggel (hasított, rugós biztosítóelem, amelynek szárait a furaton átdugás után szétnyitják) biztosíthatjuk.

Megjegyzés. A retesz, ék, bordáskötés és csapszeg mind **oldható kötés**, mert az alkatrészek károsodása nélkül szét- és összeszerelhetők.

11.3.6. Csapágyak

A csapágyak a tengelyek megtámasztására és a forgás lehetővé tételére szolgálnak. Két fő típus: csúszócsapágy és gördülőcsapágy.

Szabály. *Csúszócsapágy* (persely) rajzán a csapágyat egyszerű gyűrűként vagy hüvelyként ábrázoljuk, metszetben a persely falát vonalkázzuk; a kenőhornyot vékony vonallal jelölhetjük. A csúszócsapágy általában bronz, sárgaréz vagy műanyag persely.

Szabály. *Gördülőcsapágy* (golyós, görgős, tűgörgős, kúpgörgős) egyszerűsített ábrázolása: a külső és belső gyűrűt vastag folytonos vonallal rajzoljuk, a gördülőelemeket pedig kis körökkel vagy sematikus jelekkel jelöljük. Metszetben a gördülőcsapágy gyűrűit vonalkázzuk, a gördülőelemeket nem metszve ábrázoljuk. A csapágy típusát a rajz melletti tételszám vagy a csapágytípus-jelölés (pl. 6204 – szabványos méretsorozat-jelölés) azonosítja. A villamos gépekben szinte mindig gördülőcsapágy van.

Példa. Egy motor tengelyének rajzán a csapágy rajza: két koncentrikus kör (külső és belső gyűrű), közöttük egy sor kis kör (golyók). Ez egy egysoros golyóscsapágy. A tengelyre illesztett belső gyűrű, a házba illesztett külső gyűrű látható. A szerelésnél a csapágyat a jelölés szerint kell beépíteni.

11.3.7. Fogazott gépelemek

A fogaskerekek, fogaslécek és csigahajtások a nyomaték és fordulatszám átvitelére, módosítására szolgálnak.

Szabály. Fogaskerék ábrázolásakor a fogazatot **nem** rajzoljuk ki foganként. Ehelyett: - az *osztókört* **vékony pontvonallal**, - a *fejkört* **vastag folytonos vonallal**, - a *lábkört* gyakran elhagyjuk vagy vékony folytonos vonallal jelöljük. Metszetben a fogaskerék testét vonalkázzuk, de a fogakat nem metszve ábrázoljuk. Az osztókör a fogaskerék elméleti gördülőköre, a fejkör a fogak csúcsain átmenő kör, a lábkör a fogtövek alján átmenő kör.

Szabály. Kúpkerekek és csigahajtások esetén az ábrázolás hasonló elvű: a fogazatot egyszerűsítve, az osztóvonalat pontvonallal, a fejvonalat folytonossal rajzoljuk. A fogasléc fogazata egyenes fogak sorozata, melyet a fogasléc hossza mentén ábrázolunk.

Megjegyzés. A fogaskerekek jelképi ábrázolása lehetővé teszi a hajtáslánc gyors áttekintését: a fogaskerék-párok kapcsolódását a két osztókör érintkezésével jelöljük.

11.3.8. Tengelykapcsolók

A tengelykapcsoló két tengely összekapcsolására szolgál, lehet merev vagy rugalmas, illetve üzem közben **kapcsolható** (például súrlódó tengelykapcsoló) vagy nem kapcsolható. (Az „oldható kötés” fogalma itt nem keverendő: az a roncsolásmentes szétszerelhetőséget jelenti.)

Szabály. Merev tengelykapcsoló (pl. tárcsás kapcsoló) rajzán két tárcsa látható, amelyeket csavarok fognak össze; a tengelyvégek a tárcsák agyában ülnek. Rugalmas tengelykapcsoló (pl. gumibetétes) rajzán a két fél közé rugalmas elemet (gumi vagy műanyag betét) rajzolnak, ezt vékony vonallal vagy szöveges jelöléssel azonosítják. Kapcsolható tengelykapcsoló (pl. körmös vagy súrlódó tengelykapcsoló) üzem közben is lehetővé teszi a tengelyek szétválasztását. A tengelykapcsolók ábrázolásánál fontos a központosítás és a nyomatékátvitel módjának felismerése.

Példa. Egy szivattyú hajtásánál a motor tengelye és a szivattyú tengelye közé rugalmas tengelykapcsoló van. A rajzon a két tengelyvég között egy hengeres gumibetét látható, a kapcsolófeleket csavarok rögzítik. A szerelő a rajz alapján tudja, hogy a kapcsoló szét- és összeszerelhető, és a gumibetét kopás esetén cserélhető.

11.3.9. Nem oldható kötések, hegesztési varratok jelölése

A nem oldható kötések közül a hegesztés a legfontosabb. A hegesztési varratokat a rajzon szabványos jelekkel kell megadni, mert a varrat alakja, mérete és helyzete a gyártás és az ellenőrzés alapja.

Szabály. A hegesztési varrat jelölése **nyílvonalból**, vízszintes **vonatkozási vonalból** (a szaggatott azonosító vonallal együtt) és **alapjelből** (szimbólumból) áll; a nyílvonal a varratra mutat, az alapjel a vonatkozási vonalon ül. Ha az alapjel a vonatkozási vonal folytonos oldalán van, a varrat a nyíl oldalán, ha a szaggatott oldalán, a túloldalon van. Az alapjelek:

- **Sarokvarrat**: derékszögű háromszög (a varrat keresztmetszete háromszög alakú).
- **Tompavarratok** (a két lemez élei közötti varratok): I-varrat (két párhuzamos, rövid vonal), V-varrat (V alakú jel), U-varrat (U alakú jel).
- **Pontvarrat**: egy kisebb kör (ellenállás-hegesztésnél).

Szabály. A varrat keresztmetszeti méretét az alapjel **bal oldalára**, a hosszát a **jobb oldalára** írjuk (sarokvarratnál az „a” előtag a gyökméretet, a „z” a befogóméretet jelöli, pl. a5 ◺ 100). A vonatkozási vonal és a nyílvonal találkozásánál elhelyezett **kör** kerületi (körbe futó) varratot, a **zászló** helyszíni (nem műhelyi) varratot jelöl (ellenőrizendő: MSZ EN ISO 2553 aktuális kiadása). Hogy az alapjel a vonatkozási vonal melyik oldalán van, a varrat oldalát (nyíloldal/túloldal) jelzi, nem a méret helyét.

Szabály. Forrasztást és ragasztást a rajzon szöveges utalással vagy speciális jelöléssel adjuk meg, de a hegesztéshez hasonlóan egyértelműnek kell lennie. Szegecskötésnél a szegecset keresztmetszetben és tengelyirányban ábrázoljuk, a fej formáját (félgömbfejű, süllyesztett) jelöljük.

Példa. Egy kapcsolószekrény acél keretének rajzán a sarokvarrat jele: a nyílvonal a sarokba mutat, a háromszög alapjel a vonatkozási vonal folytonos oldalán van, tőle balra „a4” (4 mm gyökméret), a nyílvonal és a vonatkozási vonal találkozásánál kör (kerületi varrat). Ez azt jelenti: a két lemez sarkát 4 mm gyökméretű sarokvarrattal, a teljes kerület mentén, műhelyben kell hegeszteni.

11.3.10. Szabvány

Szabvány. A gépelemek és kötések ábrázolására a magyar gyakorlatban az európai és nemzetközi szabványokat kell alkalmazni. A menetek ábrázolására az **MSZ EN ISO 6410**, a központfuratokra az **MSZ EN ISO 6411**, a hegesztési varratok jelölésére az **MSZ EN ISO 2553** (az MSZ EN 22553 régi jelölés, lecserélték), az általános tűrésekre az **MSZ EN ISO 2768**, a felületi érdességre az **MSZ EN ISO 1302**, újabb kiadásban az ISO 21920-1 vonatkozik (ellenőrizendő: hatályos hazai átvétel). **(ellenőrizendő: az aktuális szabványkiadások és a magyar jelölési gyakorlat.)** A rajzokat mindig e szabványok szerint kell készíteni és olvasni; a szabadkézi, egyéni jelölések félreértéshez és hibás gyártáshoz vezetnek.

11.3.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy villanymotor csapágycseréjénél a szerelő a gépkönyv szerelési rajza alapján azonosítja a csapágy típusát és beépítési irányát. A rajzon a csapágy jele egysoros golyóscsapágyat mutat, a tengelyen retesz rögzíti a ventilátort, a fedél csavarokkal van felszerelve. A szerelő a rajzot félreolvassa: a csapágy jele melletti „6204” jelölést figyelmen kívül hagyja, és rossz csapágyat rendel. A hiba a beszerelésnél derül ki, amikor a csapágy nem illeszkedik. Ha a szerelő ismerte volna a rajzi jelöléseket, a csapágy azonosítója alapján pontosan a megfelelő alkatrészt rendeli meg. (Ez a példa tipikus, nem konkrét eset.)

11.3.12. Tipikus hibák

1. **Menetábrázolás felcserélése.** Külső menetnél a vékony és vastag vonalak felcserélése: a magátmérőt vastaggal, a külsőt vékonyan rajzolják. Ez a rajzot olvashatatlanná teszi, mert a menet típusa félreérthető. Helyes: külső menetnél a külső átmérő vastag, a magátmérő vékony; belső menetnél fordítva.
2. **Retesz és ék összekeverése.** A párhuzamos reteszt ferdének rajzolják, vagy az éket párhuzamosnak. A két elem más funkciójú: a retesz nem önzáró, az ék igen. A rajzon a retesz mindkét oldala párhuzamos a tengellyel, az ék egyik oldala ferde.

3. **Hegesztési varrat jelölésének rossz elhelyezése.** Az alapjelet a vonatkozási vonal rossz oldalára vagy a méretet és a hosszt felcserélve (a hosszt balra, a méretet jobbra) írják, miközben a varrat a másik oldalon van. A varrat méretét (az alapjeltől balra) és a hosszát (jobbra) mindig a szabványos pozícióba kell írni, különben a hegesztő a tükörképet készíti el.

4. **Csapágy túlrészletezése.** A gördülőcsapágyat gördülőelemenként, méretarányosan rajzolják, ami felesleges és lassítja a rajzolvasást. A szabványos egyszerűsített jel (két kör, kis körök) elegendő, a típust a tételszám vagy a jelölés adja meg.

11.3.13. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a külső és a belső menet ábrázolása között a vastag és vékony vonalak tekintetében?
2. Milyen vonallal rajzoljuk a fogaskerék osztókörét?
3. Mi a sarokvarrat alapjele a hegesztési rajzon?
4. Oldható vagy nem oldható kötés a reteszkötés? Indokold!
5. Mit jelent a hegesztési varrat jelölésénél a nyílvonal törésénél elhelyezett kör?
6. Mi a hiba azon a rajzon, ahol a csapágy gördülőelemeit metszetben vonalkázva ábrázolják?

11.3.14. Feladatok

1. feladat (A) Mit jelent az M10 × 30 csavarjelölés? Milyen rajzi vonalakkal ábrázolnád a csavar menetes részét?

2. feladat (A) Sorold fel, hogy a felsoroltak közül melyik oldható és melyik nem oldható kötés: csavarkötés, hegesztés, reteszkötés, forrasztás, bordáskötés, csapszeges kötés, szegecskötés, ékkötés.

3. feladat (B) Egy tengely-agy kapcsolat rajzán a tengelyben egy hosszú, téglalap alakú hornyot, az agyban ugyanilyen hosszú hornyot látsz, és egy téglalap keresztmetszetű elemet a kettő között. Mi ez az elem, és mi a funkciója? Rajzold le a metszetet szövegesen: milyen vonalakat használnál?

4. feladat (B) Egy hegesztési varrat jelölése: a vonatkozási vonal folytonos oldalán derékszögű háromszög alapjel van, tőle balra „a5”, jobbra „100” (a5 ◺ 100). Mit jelent ez a jelölés?

5. feladat (C) Egy villanymotor tengelyének rajzán a csapágy jele: két koncentrikus kör, közöttük egy sor kis kör. A csapágy mellett a tételszám „6204”. Milyen típusú csapágy ez? Milyen alkatrészeket jelölnek a körök? Miért fontos a beépítési irány?

6. feladat (D) Egy kapcsolószekrény keretén hegesztési varratokat kell ellenőrizni. A tervrajzon a varrat jele: háromszög alapjel, tőle balra „a4”, a nyílvonal és a vonatkozási vonal találkozásánál kör (kerületi varrat). Magyarázd el, mit kell mérni és ellenőrizni a helyszínen a rajz alapján.

11.3.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Külső menetnél a külső (névleges) átmérőt vastag folytonos vonallal, a magátmérőt vékony folytonos vonallal rajzoljuk. Belső menetnél a belső (mag) átmérő vastag, a külső vékony.
2. A fogaskerék osztókörét vékony pontvonallal rajzoljuk.
3. A sarokvarrat alapjele egy derékszögű háromszög.

4. A reteszkötés oldható, mert az alkatrészek károsodása nélkül szét- és összeszerelhető.
5. A kör a nyílvonal törésénél kerületi (körbe futó) varratot jelent.
6. A gördülőcsapágy gördülőelemeit nem metszve, nem vonalkázva ábrázoljuk; a gyűrűket vonalkázzuk, a golyókat kis körökkel jelöljük.

1. feladat megoldása. Az M10 × 30 csavarjelölés: metrikus menet, névleges átmérő 10 mm, hasznos csavarhossz 30 mm. A menetes rész ábrázolása: a külső átmérőt vastag folytonos vonallal, a magátmérőt vékony folytonos vonallal rajzoljuk, a menet végét ferde vékony vonallal zárjuk le, ha a menet nem fut ki.

2. feladat megoldása. Oldható: csavarkötés, reteszkötés, bordáskötés, csapszeges kötés, ékkötés. Nem oldható: hegesztés, forrasztás, szegecskötés. (A forrasztás és ragasztás is nem oldható, de a forrasztás speciális esetben oldható lehet; a gyakorlatban nem oldhatóként kezeljük.)

3. feladat megoldása. Ez reteszkötés: a tengelybe mart reteszhoronyba és az agyba készített reteszhoronyba egy párhuzamos reteszt helyeznek, amely nyomatékot visz át. A metszet ábrázolása: a tengelyt és az agyat vonalkázzuk, a reteszt metszetben téglalapként rajzoljuk, a hornyok falát és a retesz körvonalát vastag folytonos vonallal. Keresztmetszetben (tengely–agy metszet) a tengely, az agy és a retesz is vonalkázott, egymástól eltérő irányú vagy sűrűségű sraffozással; hosszmetszetben a reteszt nem metsszük (ellenőrizendő: MSZ EN ISO 128 metszeti szabályai).

4. feladat megoldása. A háromszög sarokvarratot jelent; az alapjel bal oldalán az „a5” a gyökméretet (5 mm), jobb oldalán a „100” a varrat hosszát (100 mm) adja; mivel az alapjel a vonatkozási vonal folytonos oldalán van, a varrat a nyíl oldalán fut. Tehát a varrat egy 5 mm gyökméretű sarokvarrat, 100 mm hosszban, a nyíl oldalán (ellenőrizendő: MSZ EN ISO 2553).

5. feladat megoldása. Ez egy egysoros golyóscsapágy. A külső kör a külső gyűrű, a belső kör a belső gyűrű, a kis körök a golyók. A „6204” a csapágy típusjelölése. A beépítési irány azért fontos, mert a csapágy egyes típusai (például a ferde hatásvonalú golyóscsapágy) nem szimmetrikusak, és a helytelen beépítés tönkremenetelhez vezet; egysoros golyóscsapágynál az irány általában mindegy, de a szerelésnél a gyűrűk illesztését kell betartani.

6. feladat megoldása. A rajz szerint a varrat 4 mm gyökméretű („a4”) sarokvarrat, a teljes kerület mentén (a kör körbefutó varratot jelent, ezért külön hossz nincs megadva). A helyszínen ellenőrizni kell: a varrat ténylegesen a teljes kerület mentén, a sarokban van-e és folytonos-e; a gyökméretet (a varratba írható legnagyobb egyenlő szárú háromszög magassága) varratméret-sablonnal vagy -mérővel meg kell mérni, és 4 mm-nek kell lennie. A varrat felületén repedés, széli beégés (bemetszés), gyökoldali kötéshiány vagy be nem olvadás nem megengedett.

11.3.16. Rövid összefoglaló

A gépelemek rajzi ábrázolása szabványos jelképrendszerre épül. A csavaroknál a külső menetnél a külső átmérő vastag, a magátmérő vékony folytonos vonal; belső menetnél fordítva. A csavarbiztosításokat (rugós alátét, ellenanya, fogazott alátét) a rajzon jelölni kell. A retesz, ék, bordáskötés és csapszeg oldható kötések, a tengely és agy közötti nyomatékátvitelt vagy helyzetrögzítést szolgálják. A csapágyakat egyszerűsítve: gördülőcsapágyat két kör és kis körök jelképezik, csúszócsapágyat egyszerű gyűrű. A fogaskerekeknél az osztókört vékony pontvonallal, a fejkört vastag folytonos vonallal rajzoljuk. A tengelykapcsolók merev vagy rugalmas kivitelűek. A hegesztési varratokat nyílvonallal és alapjelekkel (sarokvarrat: háromszög; tompavarratok: I-varrat – két párhuzamos vonal –, V- és U-varrat) ábrázoljuk, a méretet, hosszt és kerületi/helyszíni jelleget kiegészítő jelekkel adjuk meg. A szabványok (MSZ EN ISO 6410, MSZ EN ISO 2553 stb.) biztosítják az egyértelműséget. **Továbbvitt eredmény.** A gépelemek felismerése és a szerelési rajzok olvasása elengedhetetlen a hajtástechnikai fejezethez Hajtástechnika: gépelemek,

tengelykapcsoló, csapágy, szíj, ahol a tengelyek, csapágyak, reteszek és tengelykapcsolók gyakorlati kiválasztásával és szerelésével foglalkozunk.

11.3.17. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezetben hivatkozott szabványok: MSZ EN ISO 6410 (menetek ábrázolása), MSZ EN ISO 6411 (központfuratok), MSZ EN ISO 2553 (hegesztési varratok jelölése; a régi MSZ EN 22553 lecserélve), MSZ EN ISO 2768 (általános tűrések), MSZ EN ISO 1302 (felületi érdesség). **(ellenőrizendő: az aktuális szabványkiadások pontos számai és hatálya.)** A rajzi jelölések leírása a klasszikus műszaki rajzi gyakorlaton alapul, de a szabványos jelképek pontos formáját mindig az aktuális szabvány szerint kell ellenőrizni.

12 Villamosipari dokumentáció I – épületvillamosság

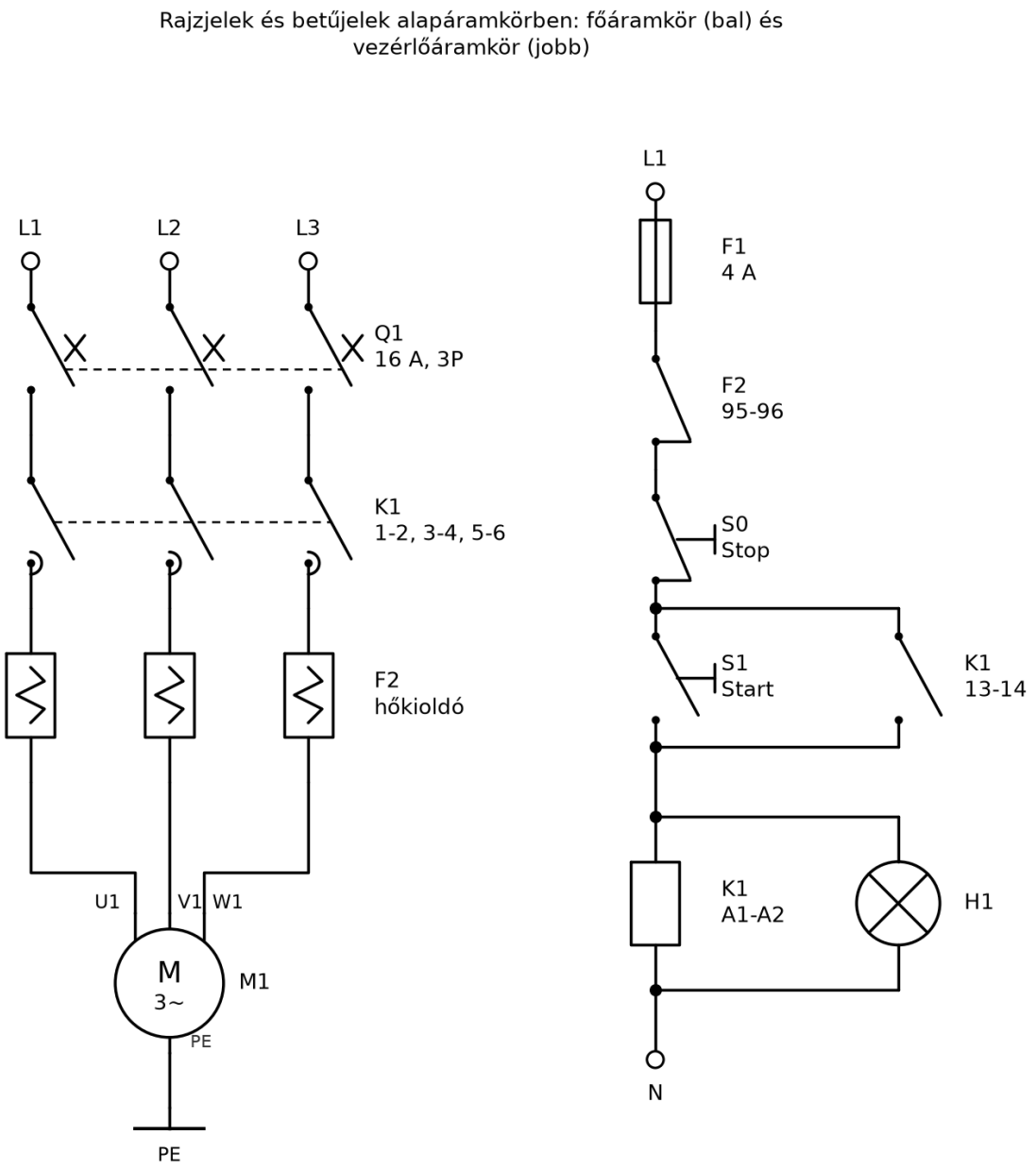
12.1. Rajzjelek és jelölések (MSZ EN 60617)

12.1.1. Motiváció: miért kell megtanulnod a rajzjeleket?

Képzeld el, hogy egy lakásfelújításon kapsz egy tervet, amelyen csak vonalak és apró, furcsa ábrák vannak. A megrendelő azt mondja: „A villanyt a terv szerint kell megcsinálni.” Ha ezt a „titkosírást” nem tudod elolvasni, nem fogod tudni, hová kell vezetéket húzni, hány kört kell kiépíteni, vagy mi kerül az elosztószekrénybe. A rajz a szakma közös nyelve. A villanyszerelő, a tervező, a kivitelező és a felülvizsgáló ugyanazokat a jeleket használja. Ha egy jelet félreolvasol, az nem gyenge osztályzatot jelent, hanem rosszul bekötött motort, lekapcsoló kismegszakítót vagy akár veszélyes hibát. Ebben az alfejezetben felépítjük ezt a közös nyelvet: megtanulod felismerni, lerajzolni és megfelelő betűjelekkel azonosítani a legfontosabb erősáramú készülékeket.

12.1.2. Szemléltető ábra: egy alapkapcsolás rajzjelei

Nézd meg ezt az egyszerű kapcsolást! Itt látsz egy motort (M1), amelyet egy kismegszakítón (Q1) és egy mágneskapcsoló főérintkezőjén (K1) keresztül táplálunk. A mágneskapcsoló tekercsét (K1) két nyomógombbal (S0 Stop, S1 Start) és egy jelzőlámpával (H1) vezéreljük.



12.1. ábra. Rajzjelek és betűjelek alapáramkörben: főáramkör (bal) és vezérlőáramkör (jobb) - Szemléltető kapcsolás, alaphelyzetben. Főáramkör: Q1 háromfázisú kismegszakító/motorvédő, K1 főérintkezők, F2 hőkioldó, M1 3~ motor PE-vel. Vezérlőáramkör L1 és N között: F1 4 A biztosító, F2 95-96 bontó, S0 Stop (NC), S1 Start (NO) és vele párhuzamosan K1 13-14 öntartó, K1 A1-A2 tekercs, vele párhuzamosan H1 jelzőlámpa. A készülékadatok tanulási példák (ellenőrizendő).

Ábraolvasás. A bal oldali három függőleges ág a főáramkör: az L1, L2, L3 fázis a Q1 háromfázisú kismegszakítón (a motort és vezetékét védi), a K1 mágneskapcsoló három főérintkezőjén (1-2, 3-4, 5-6) és az F2 hőkioldón át jut a motor U1, V1, W1 kapcsára; a motor fém teste a PE védővezetőre csatlakozik. A jobb oldali függőleges áramút a vezérlőáramkör az L1 és az N között: az F1 4 A-es biztosító csak a vezérlőkört védi, utána sorosan az F2 hőkioldó 95-96 bontó érintkezője és az S0 Stop (bontó) nyomógomb következik. Ha megnyomod az S1 Start (záró) nyomógombot,

a K1 tekercs (A1-A2) feszültséget kap, a mágneskapcsoló behúz, a főérintkezők zárnak, és a motor elindul; az S1-gyel párhuzamos K1 13-14 öntartó érintkező a gomb elengedése után is zárva tartja a kört. Az S0 megnyomása vagy a hőkioldó működése megszakítja a tekercs áramát, és a motor leáll. A H1 jelzőlámpa a tekercssel párhuzamosan, saját ágon kapcsolódik, ezért akkor világít, amikor a tekercs feszültség alatt van. Ez a „rajz–valóság–mérés” hármas első lépése: a rajz pontosan megmutatja, mi hová van kötve.

12.1.3. A rajzjelek rendszere

Definíció. A **rajzjel** (graphical symbol) egy készülék vagy alkatrész működését, feladatát tömör, szabványos ábrával jelöli. A rajzjel nem a szerkezetet, hanem a villamos funkciót ábrázolja: nem az a lényeg, hogy a kismegszakítónak milyen a hűtőbordája, hanem az, hogy megszakítja az áramot túlterhelés vagy zárlat esetén.

Definíció. A **betűjel** (reference designator, készülékjel) az adott rajzon szereplő konkrét készülék típusát és sorszámát adja meg, például Q1, K3, M2. A betű a készülék *funkcióját*, a szám a rajzon belüli *példányát* azonosítja.

Szabály. Egy rajzon ugyanaz a betűjel mindig ugyanazt a fizikai készüléket jelenti. Ha K1 tekercsét látod az egyik sorban, és K1 főérintkezőjét egy másik sorban, akkor ezek ugyanahhoz a mágneskapcsolóhoz tartoznak, fizikailag egy készülékben vannak.

12.1.3.1. A legfontosabb erősáramú rajzjelek

A következő jeleket szinte minden épületvillamossági és gépi rajzon látni fogod. A jel formája mellett mindig a **feladatot** jegyezd meg, mert a szabvány a jelek családját a működés alapján rendezi el.

- **Feszültségforrás (source):** Egy kör, benne hullámvonallal (váltakozó áram) vagy hosszú–rövid vonallal (egyenáram). A hálózatot gyakran nem is rajzoljuk ki teljesen, csak a betáplálási pontot jelöljük L1, L2, L3, N, PE feliratokkal.
- **Ellenállás (resistor):** Téglalap. Fűtőbetétet, fékellenállást, előtétellenállást jelöl. (A régi terven is téglalap; a cikk-cakk jel az amerikai gyakorlatban fordul elő.)
- **Kapcsoló érintkező (switch contact):** a vezetékvonalból kiinduló ferde vonal (mozgó érintkező), amely alaphelyzetben a **záró** (NO) érintkezőnél **nem ér** a túloldali csatlakozáshoz (nyitott), a **bontónál** (NC) hozzáér (zárt); régi terveken a csatlakozási pontokat kis körök jelölik. A záró (NO) és bontó (NC) érintkező a ferde vonal helyzetében különbözik; a kapcsolókat mindig alaphelyzetben (működtetés nélkül) rajzoljuk.
- **Nyomógomb (pushbutton):** Ugyanaz, mint a kapcsoló érintkező, de a mozgó érintkezőhöz szaggatott vonallal a nyomógomb működtető jele kapcsolódik; az önvisszatérés a nyomógomb jelében benne van. Az S jelű nyomógombok záró (NO) vagy bontó (NC) kivitelűek lehetnek.
- **Olvadóbiztosító (fuse):** Téglalap, amelyet hosszában (a vezeték irányában) egy vonal oszt ketté; a két végén csatlakozási pontok. F1 jelöléssel.
- **Kismegszakító (MCB):** a záró érintkező jele, a mozgó érintkező végén × (megszakító), mellette a túlterhelési (hő-) és a zárlati (elektromágneses) kioldó jele; egyszerűsített rajzokon a × jel és a felirat (pl. C16: a B/C/D jelleg és a névleges áram) elegendő (ellenőrizendő: MSZ EN 60617).
- **Lámpa (lamp):** Kör, benne X. Jelzőlámpát, izzót, fényforrást jelöl.
- **Motor (motor):** Kör, benne M betű. Háromfázisú motornál a körből három kivezetés jön ki (U1, V1, W1 vagy L1, L2, L3).

- **Transzformátor (transformer):** Két egymás melletti tekercs jelölés (több félkör vagy téglalap), gyakran T betűvel.
- **Áram-védőkapcsoló (RCD):** Kétpólusú (vagy négypólusú) kapcsolóérintkező, a vezetőket körülölelő összegző áramváltó jelével és az ehhez kapcsolt kioldóval (ellenőrizendő: MSZ EN 60617). Gyakran FI-relé néven is rajzolják, és a nullavezetőt is megszakítja.

Rajzjel	Megnevezés	Betűjel	Kapocsjel	Régi terven
	Váltakozó feszültségű forrás	G (betáplálás)	L1, L2, L3, N	–
	Egyenfeszültségű forrás (hosszú lemez: +)	G	+, −	–
	Ellenállás, fűtőbetét	R	—	a cikk-cakk az amerikai jel
	Záró (NO) érintkező	a készülék jele (K, Q, S)	13-14 (segéd)	kis körök a csatlakozási pontokon
	Bontó (NC) érintkező	a készülék jele (K, Q, S)	21-22 (segéd)	kis körök a csatlakozási pontokon
	Záró nyomógomb (Start)	S	13-14	–
	Bontó nyomógomb (Stop)	S	21-22	–
	Olvadóbiztosító	F	—	vastag kontúr, keresztvonal
	Kismegszakító (× = megszakító)	Q vagy F (jel magyarázat)	1-2 (3-4, 5-6)	–
	Áram-védőkapcsoló (FI)	Q vagy F (jel magyarázat)	1-2, N-N	–
	Lámpa, jelzőlámpa	H (jelzőlámpa), E (világítás)	X1-X2	–
	Mágneskapcsoló-, relétekercs	K	A1-A2	téglalapban hullám- vagy ferde vonal
	Hőkioldó (túlterhelés-érzékelő)	F	1-2…5-6; 95-96, 97-98	–
	Háromfázisú motor	M	U1, V1, W1 (U2, V2, W2)	K, L, M kapocsjelölés
	Transzformátor	T	1U1-1U2 / 2U1-2U2	–

12.2. ábra. Jeltábla: a tanított erősáramú rajzjelek betűjellel, kapocsjelöléssel és a régi terveken előforduló eltéréssel

A jeltábla a fenti felsorolás jeleit a könyv kapcsolási rajzainak jelképeivel mutatja, soronként a megnevezéssel, a betűjellel és a tipikus kapocsjelöléssel; az utolsó oszlop azt jelzi, miben térhet el ugyanaz a jel egy régi terven (ellenőrizendő: a terv jelmagyarázata). A HTML-változat kvíz-módjában a név és a betűjel elrejthető, így a jelek felismerése gyakorolható.

Továbbvitt eredmény. Ezeket a rajzjeleket közvetlenül használjuk az Áramúti, kapcsolási és huzalozási rajz; világítási áramkörök alfejezetben, ahol a teljes lakásáramköröket fogjuk megrajzolni és olvasni.

12.1.4. Betűjelek: készülékek azonosítása

A betűjel a rajz legfontosabb szöveges kódja. A betűjel a terv jelmagyarázatában rögzített rendszert követi. A könyv egybetűs kódokat használ (Q kapcsoló/megszakító, F védelem, K relé/mágneskapcsoló stb.), amelyek a funkció szerinti betűosztályokat követik. Az IEC 81346-2 kétbetűs kódjai (pl. QA, KF, FC – **ellenőrizendő: IEC 81346-2 táblázata**) és a régi IEC 60750 szerinti kódok (KM, KA, QF) is előfordulnak. A leggyakoribb erősáramú betűjelek:

- **Q – Erősáramú kapcsolókészülék.** Ide tartozik a szakaszoló, a megszakító, a kismegszakító (Q1), a motorvédő kapcsoló. A Q betű szinte mindig valamit *ki-be kapcsol* a főáramkörben. (A kismegszakítót egyes terveken F jelöli; a választott rendszert a jelmagyarázat rögzíti.)
- **F – Védelem.** Ide tartozik az olvadóbiztosító (F1), a kisautómata (bár sokszor Q-ként jelöljük), a hőkioldó (F1, F2), a túlfeszültség-levezető (SPD). Az F betű a védelmet, a bontást, a korlátozást jelöli.
- **K – Relé, mágneskapcsoló.** Ide tartozik a mágneskapcsoló (K1), a segédrelé, az időrelé, az impulzusrelé. A K mindig egy *végrehajtó* elem, amely a tekercsen kapott jellel más áramkört kapcsol.
- **S – Emberi beavatkozó.** Ide tartozik a nyomógomb (S1), választókapcsoló, vészleállító, végálláskapcsoló. Az S betűt valaki vagy valami mechanikusan működteti, nem villamos jellel.
- **H – Jelző, figyelmeztető.** Ide tartozik a jelzőlámpa (H1), a hangjelző. A H készülék tájékoztatja a kezelőt.
- **M – Motor.** Ide tartozik minden villamos forgógép, amely mechanikai munkát végez (M1, M2). Szivattyú-, ventilátor- és kompresszormotort jelöl.
- **T – Transzformátor.** Ide tartozik minden feszültségváltó: vezérlőtranszformátor (T1), biztonsági transzformátor, áramváltó (TA – vagy TA1). A T betű a villamos energia átalakítását jelöli.

Megjegyzés. Egyes tervek a funkció pontosítására két betűt használnak. A régi IEC 60750 szerinti kódok: KM = mágneskapcsoló, KA = segédrelé, KT = időrelé, QF = megszakító, SQ = végálláskapcsoló; az IEC 81346-2 más második betűket használ (pl. QA, KF, FC – ellenőrizendő). Régi magyar terveken gyakran találkozol más betűjelekkel is (pl. a relé K vagy R, a mágneskapcsoló C vagy K), ezért a rajzon mindig keresd meg a **jelmagyarázatot**.

12.1.5. Régi MSZ és mai IEC jelek összevetése

Az MSZ EN 60617 / IEC 60617 jelrendszer az 1990-es évek óta fokozatosan kiszorította a régi, tisztán nemzeti magyar (MSZ) jeleket. A legtöbb alapvető erősáramú jel nagyon hasonlít, mert a magyar szabvány is a klasszikus európai iskolát követte, de van néhány fontos különbség, amelyet a régi tervek olvasásakor észre kell venni:

- **Mágneskapcsoló tekercs.** A régi MSZ jelölésben a tekercset gyakran egy téglalapban lévő hullámvonallal vagy egy téglalapban lévő ferde vonallal rajzolták. A mai IEC-alapú jel egy egyszerű, üres téglalap (vagy téglalap a K1 felirattal).

- **Kontaktor főérintkező.** A régi jeleken gyakran vastagabb vonallal húzták, a mai jeleken a főérintkező ugyanolyan vastag, de gyakran zárójelben vagy külön íven jelöljük a mágneskapcsolóhoz tartozást.
- **Biztosító.** Régen néha a téglalapot vastag kontúrral, az olvadós betétet keresztvonallal rajzolták; a mai jel is ezt az elvet követi.
- **Elektronikai jelek.** A legnagyobb eltérés a félvezetőknél (dióda, tranzisztor) volt: a régi MSZ jelek itt különböztek a legjobban. Ezt a Félvezető anyagok, dióda, LED és Zener-dióda alfejezetben tárgyaljuk.

Szabály. Régi terven soha ne feltételezz semmit: ha bizonytalan vagy, keresd meg a terv jelmagyarázatát (legend) vagy a régi MSZ szabványgyűjteményt (jellemzően MSZ 1700 sorozat, **ellenőrizendő: pontos szám**). Az áramütéses balesetek jelentős része a rajz félreolvasásából fakad, ezért a bizonytalanságot mindig tisztázni kell.

12.1.6. Jelölés a rajzon: azonosító, érték, kapocs

Egy készüléket a rajzon három adat azonosít pontosan:

1. **Azonosító (betűjel + sorszám).** Pl. Q1, K1, F1. Ez a készülék neve.
2. **Érték vagy típus.** Pl. 16 A, 4 A, C16, B10. Ez megadja a készülék kiválasztásához szükséges adatot.
3. **Kapocsjelölés.** Pl. 1/2, 3/4, 13/14, A1/A2, U1/V1/W1. Ez megmutatja, hogy a készülék melyik fizikai csatlakozójára kell kötni a vezetéket.

Példa. A fenti ábrán Q1 értéke 16 A, kapocsjelölése 1 (felső) és 2 (alsó). K1 tekercsének kapcsai A1 és A2: A1 a felső (ahol a feszültséget kapjuk), A2 az alsó (a nulla felé). A főérintkező kapcsai 1/2, 3/4, 5/6. A segédérintkező 13/14 (záró) vagy 21/22 (bontó). A motor kapcsai U1, V1, W1; így a bekötés egyértelmű.

Szabály. A kapocsjelölés a fizikai bekötés térképe. Mindig kösd a vezetéket arra a kapocsra, amit a rajz mutat. Ha a motort U1-re, V1-re, W1-re kötöd, a forgásirány megfelel a rajznak; ha felcseréled két fázist, a motor megfordul.

12.1.7. Szabványi környezet

Szabvány.

A rajzjelek elsődleges forrása az **MSZ EN 60617** (IEC 60617) szabványcsalád. Ez a nemzetközi szabvány egységesíti a kapcsolási rajzokon használt jeleket, hogy egy magyar, német vagy francia terv ugyanúgy legyen olvasható. Az európai és magyar villamos dokumentációk ezt a jelkészletet használják. A szabvány jelek és azok kombinációinak gyűjteménye; a konkrét készülékek (pl. mágneskapcsolók) rajzjelei az MSZ EN 60947 (készülékek) és az MSZ EN 60617 (kapcsolási jelek) összhangjából adódnak. A betűjelek (referenciajelölés) az **IEC 81346** (korábban IEC 61346 / MSZ EN 61346) alapelveit követik – **ellenőrizendő: aktuális jelölés**. A méretezett vagy gyártói adatlapos kiválasztáshoz a kapocsjelölés a gyártó adatlapján szerepel.

12.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy kolléga egy régi társasházban cserélte a lakáselosztót. A régi tervet nézte, hogy hová kell kötni a villanytűzhely külön körét. A terven egy olyan kismegszakítót látott, amelynek a jele nagyon hasonlított egy kapcsolóhoz, de mellette ez állt: „C16”. A kapcsoló jele mögött kis szaggatott vonal volt, ami a túlterhelésvédelmi kioldót jelölte. A szerelő ezt először sima kapcsolónak nézte volna, de a C16 felirat és a jel kiegészítő eleme egyértelművé tette, hogy kismegszakítót kell felszerelnie. Ez a kis különbség a rajzjel felismerésén múlt: a túláramvédelem nélküli kapcsoló nem védi meg a tűzhely vezetékét, és melegedéshez, lakástűzhöz vezethetett volna. A jelmagyarázat és a szabványos jel ismerete tette pontossá a munkát.

12.1.9. Gyakorlati útmutató: rajzjel felismerése és rajzolása

Cél: Ismerd fel, rajzold le és azonosítsd be a leggyakoribb erősáramú rajzjeleket.

Eszközök és anyagok: Papír, ceruza, radír, vonalzó vagy egy egyszerű rajzolóprogram.

Biztonsági korlát. Ez a feladat rajzolás, tehát gyengeáramú/tanműhelyi környezetre vonatkozik. Hálózati feszültségű munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet. A rajzoló feladathoz nem kell tápfeszültség; ha a kapcsolást ki is próbálod, csak törpefeszültséggel, oktatói felügyelettel.

Gyakorlati recept – A rajzjel megrajzolásának lépései:

1. **Azonosítsd a funkciót.** Mit csinál a készülék? Kapcsol (Q), véd (F), vezérel (K), jelez (H), motort hajt (M)?
2. **Válaszd ki a jelet.** A fenti definíciók alapján keresd meg a szabványos ábrát. Ne találj ki saját jelet, mert a másik szerelő nem fogja érteni.
3. **Rajzold meg a fő alakzatot.** Előbb a külső keretet (kör, négyzet, téglalap), utána a belső jeleket.
4. **Csatlakoztasd a vonalakat.** A jelvezetékek mindig derékszögben, függőlegesen vagy vízszintesen álljanak; ne keresztezd őket feleslegesen.
5. **Írd fel az azonosítót és az értéket.** Mindig add meg a betűjelet és a sorszámot (Q1, K1), valamint a szükséges értéket (16 A, 4 A).
6. **Kösd be a kapcsokat.** Jelöld a készülék kapcspontjait (1/2, 3/4, 13/14, A1/A2).
7. **Ellenőrizd a rajz–valóság–mérés hármast.** Tégy fel magadnak három kérdést: 1) Amit rajzoltam, az a valós készülék melyik kapcsát jelenti? 2) Ha megépítem, a vezetékek hová kerülnek? 3) Ha multiméterrel mérek, hol kell folytonosságot vagy feszültséget kapnom?

Ellenőrzési pont. A kész rajzon nem lehet olyan vonal, amely ne csatlakozna egy készülékhez vagy egy kapocshoz. Ha egy vezeték keresztez egy másikat, de nincs rajtuk kötéspont (dot), akkor az nem érintkezik. Ha T-elágazás van, mindig rajzolj kötéspontot (dot).

12.1.10. Tipikus hibák

Hiba 1: következetlen betűjelölés egy terven belül. A kismegszakítót egyes terveken Q, másokon F jelöli („az is védelem”); mindkettő előfordul, a betűjelet a projekt jelmagyarázata és az alkalmazott szabványkiadás dönti el. Hiba, ha egyazon terven belül ugyanazt a készüléktípust egyszer Q-val, egyszer F-fel jelölöd: a másik szerelő azt hiheti, hogy az egy sima olvadóbiztosító, és nem tudja, hogy azt a kapcsolót ki is lehet kapcsolni. **Helyes gyakorlat:** A választott rendszert (ebben a könyvben: kismegszakító Q) a jelmagyarázatban rögzítsd, és a teljes tervben tartsd.

Hiba 2: Záró és bontó érintkező felcserélése. Egy nyomógombot vagy segédérintkezőt alaphelyzetben (tehát működtetés nélkül) rajzolunk. A záró (NO) érintkező alaphelyzetben nyitva van, a bontó (NC) alaphelyzetben zárva van. Ha a rajzon felcseréled, a vezérlés pontosan az ellenkezőjét fogja csinálni: a vészleállító gomb nem állítja le a motort, hanem elindítja. **Helyes gyakorlat:** A rajzot mindig úgy készítsd, hogy a készülék feszültségmentes, alaphelyzetben van.

Hiba 3: Hiányzó kötéspont (dot) a T-elágazásnál. Ha két vezeték keresztezi egymást, de nincs rajtuk pont, az azt jelenti, hogy nincs elektromos összeköttetés. Ha egy vezeték elágazik, azt a pontot mindig rajzold meg. **Helyes gyakorlat:** A könyv kapcsolási rajzain minden elágazást kötéspont jelöl; a saját rajzodon is ellenőrizd, hogy minden T-elágazásnál van-e pont.

12.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A Q1 jelölés mindig egy kismegszakítót jelent.
2. Mi a különbség a Q és az F betűjel között?
3. Miért fontos, hogy a rajzon a K1 tekercs és a K1 főérintkező ugyanazt a betűjelet viselje?
4. Rajzold le szavakkal: hogyan néz ki egy záró nyomógomb (NO) jelölése?
5. Mi a teendő, ha egy régi, ismeretlen rajzjelet találsz?

(A válaszok a Megoldások alfejezet elején, „Önellenőrzés – válaszok” alcím alatt találhatók.)

12.1.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a Q, F, K, S, H, M, T betűjelek jelentését, és mindegyikhez írj egy-egy konkrét készüléket.

2. feladat (A). Rajzold le papírra a következő jeleket: olvadóbiztosító, lámpa, motor, záró nyomógomb, bontó nyomógomb, transzformátor.

3. feladat (B). Írd le egy kismegszakító (MCB) jelölése és egy olvadóbiztosító (fuse) jelölése közötti legfontosabb vizuális különbséget.

4. feladat (B). A 12.1.2 alszakasz kapcsolási rajzán hol van a vezérlőáramkör? Sorold fel a vezérlőáramkör készülékeit, és indokold, miért nem a főáramkörhöz tartoznak.

5. feladat (C). Egy régi terven egy kapcsoló jelet látsz, mellette „K1” felirattal. A készülék alatt van egy téglalap is, benne „K1” felirattal. A terv szerint a téglalap kapcsai A1 és A2. Mi ez a készülék, és miért van kétszer lerajzolva?

6. feladat (D). Rajzold meg a 12.1.2 alszakasz kapcsolási rajza alapján ugyanazt a kapcsolást, de cseréld ki a Q1 kismegszakítót egy sima szakaszoló kapcsolóra, és az F1 olvadóbiztosítót egy 4 A-es (például B4 vagy C4) kismegszakítóra. Írd át a betűjeleket is, és mondd meg, mi hiányzik a csere után a főáramkör védelméből! (A feladatot rajzold le vagy írd le a jelek szöveges elrendezését.)

12.1.13. Megoldások

12.1.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A Q1 egy kapcsolóeszközt jelöl, de lehet szakaszoló, megszakító vagy egyéb. A kismegszakító specifikus jele a Q1, de a Q betűhöz tartozó többi készülék is Q-val kezdődik.

2. A Q kapcsol a főáramkörben, az F véd (pl. olvadóbiztosító). A kismegszakító, amely mindkettőt tudja, ebben a könyvben Q; más terveken F-fel is jelölhetik, ezért a jelmagyarázat dönt.
3. Mert ezek ugyanannak a fizikai készüléknek a részei. Ha a K1 tekercs meghúz, az a K1 főérintkező fog zárni, nem egy másik mágneskapcsolóé.
4. Egy ferde vonal (mozgó érintkező), amely alaphelyzetben nem ér a túloldali csatlakozáshoz; a ferde vonalhoz szaggatott vonallal kapcsolódik a nyomó működtető jele.
5. Keresd meg a terv jelmagyarázatát, egy régebbi szabványgyűjteményt, vagy kérdezz meg egy gyakorlott kollégát. Semmiképp ne tippelj.

12.1.13.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A). - Q: erősáramú kapcsoló (kismegszakító Q1, szakaszoló QS). - F: védelem (olvadóbiztosító F1, hőkioldó F2). - K: relé, mágneskapcsoló (K1, K2). - S: nyomógomb, kapcsoló (S0, S1). - H: jelzőlámpa, hangjelző (H1). - M: motor (M1). - T: transzformátor (T1, TA).

2. feladat (A). A jelek leírásai a szövegben találhatók, pl. az olvadóbiztosító egy téglalap, hosszában, a vezeték irányában egy vonallal; a lámpa egy kör, benne X; a motor egy kör, benne M; a záró nyomógomb egy ferde vonallal és szaggatott vonallal kapcsolt működtetővel, a bontó ennek a ferde vonalnak a másik irányú állásával; a transzformátor két egymás melletti tekercsjel.

3. feladat (B). A kismegszakító (MCB) jele egy kapcsoló jele és egy kis túlterhelés/hőkioldó jele kombinációjaként jelenik meg: a záró érintkező mozgó végén × (megszakító), mellette a hő- és elektromágneses kioldó jele. Az olvadóbiztosító jele egyetlen téglalap, benne az olvadó betétet jelző vonallal, nincs külön kapcsolóérintkezője.

4. feladat (B). A vezérlőáramkör a 12.1.2 alszakasz rajzának jobb oldali, L1 és N közötti függőleges áramútja: F1 (4 A-es vezérlőbiztosító), F2 95-96 (a hőkioldó bontó érintkezője), S0 (bontó nyomógomb, Stop), S1 (záró nyomógomb, Start) és vele párhuzamosan K1 13-14 (öntartó segédérintkező), K1 A1-A2 (mágneskapcsoló tekercs), valamint a tekercssel párhuzamos H1 (jelzőlámpa). Ezek a készülékek nem a motort táplálják közvetlenül, hanem a mágneskapcsoló tekercsét vezérlik, hogy a főérintkező zárjon. A motor nagy áramát a főérintkező kapcsolja, míg a vezérlőáramkörben csak a tekercs kis árama folyik.

5. feladat (C). Ez egy mágneskapcsoló. Azért van kétszer lerajzolva, mert az egyik jel (a kapcsoló) a főérintkezőjét, a másik jel (a téglalap A1/A2-vel) a tekercsét ábrázolja. A rajzon ugyanaz a K1 betűjel kapcsolja össze a kettőt, jelezve, hogy ugyanannak a fizikai készüléknek a két, különböző helyen működő része.

6. feladat (D). A főáramkör három ágában a Q1 kismegszakító jele helyére a szakaszoló kapcsoló jele kerül (jele: Q1 vagy QS, a kapcsoló jele a × kioldójel nélkül). A vezérlőáramkör tetején az F1 olvadóbiztosító jele helyére a kismegszakító jele kerül (× jellel), 4 A-es felirattal (például C4); betűjele a választott jelölési rendszer szerint Q2 vagy F1. A vezérlőkör védelmének névleges árama nem nőhet: a 4 A-es biztosító helyére 4 A-es kismegszakító kerül, mert a vékony vezérlővezetéket és a segédérintkezőket 16 A-es védelem nem védené (ellenőrizendő: a vezérlővezeték keresztmetszete, a segédérintkezők adatai és a gyártó kínálata). A betűjelek tehát: Q1/QS (szakaszoló), Q2 (4 A-es kismegszakító), K1 (mágneskapcsoló), F2 (hőkioldó), S0, S1, H1, M1 (motor). A többi elem és a vezetékezés változatlan. **Figyelem.** A szakaszolónak nincs zárlatvédelmi kioldója: ebben a formában a motorág zárlat ellen védtelen, így **nem üzemeltethető**. Ha a Q1 szakaszoló marad, elé (vagy vele egybeépítve) zárlatvédelmet kell tenni, például F3 3×gG olvadóbiztosítót vagy szakaszoló-biztosítót, illetve motorvédő kapcsolót kell alkalmazni (lásd Motorvédő kapcsoló, hőkioldó, megszakító és szakaszoló).

12.1.14. Rövid összefoglaló

A villamos rajz a szakma közös nyelve. Ebben az alfejezetben megtanultad a legfontosabb erősáramú rajzjeleket (forrás, ellenállás, kapcsoló, biztosító, kismegszakító, lámpa, motor, transzformátor), és a készülékeket azonosító betűjeleket (Q kapcsoló, F védelem, K relé/mágneskapcsoló, S nyomógomb, H jelzőlámpa, M motor, T transzformátor). A rajz–valóság–mérés hármas elve itt azt jelenti, hogy minden rajzolt jelhez tartozik egy fizikai készülék és egy mérési pont. A kapocsjelölések (1/2, 3/4, 13/14, A1/A2, U1/V1/W1) megmutatják, hová kell a vezetéket kötni. A régi MSZ és a mai IEC-alapú jelek nagyrészt hasonlóak, de eltérések előfordulnak, ezért a bizonytalan jelet mindig tisztázni kell. **Továbbvitt eredmény.** Ezeket a jeleket és betűjelöléseket használjuk az Áramúti, kapcsolási és huzalozási rajz; világítási áramkörök alfejezetben, ahol a teljes lakás- és épületvillamossági kapcsolásokat fogjuk rajzolni és olvasni; szabványos alapjuk az MSZ EN 60617 (IEC 60617).

12.2. Áramúti, kapcsolási és huzalozási rajz; világítási áramkörök

Amikor egy lakás felújításakor a régi szerelést bővíted, gyakran nem elég annyit tudni, hogy „a sárga-zöld a föld”. A kivitelezőnek látnia kell, hogy melyik vezeték hová megy, melyik kapocsra csatlakozik, és miért nem ég a lámpa akkor, amikor az egyik kapcsolót átváltod. Ehhez háromféle rajzot kell tudni olvasni: a **kapcsolási rajzot**, a **huzalozási rajzot** és a **szerelési rajzot**. Ezek ugyanarról az áramkörről beszélnek, csak más-más kérdésre válaszolnak.

A kapcsolási rajz a működést mutatja, a huzalozási rajz a vezetékek útját, a szerelési rajz pedig a falon elfoglalt helyet. A hibakeresés során mindháromra szükség lehet: a kapcsolási rajzból megérted, hogyan kellene működnie; a huzalozási rajzból megtalálod, hogy hol kell mérned; a szerelési rajzból pedig azt, hogy fizikailag hol van a szerelvény vagy a kötődoboz.

12.2.1. A három rajzfajta különbsége

A villamos dokumentációkban többféle rajzot használnak, és ezeket gyakran egymás mellett, de eltérő céllal készítik.

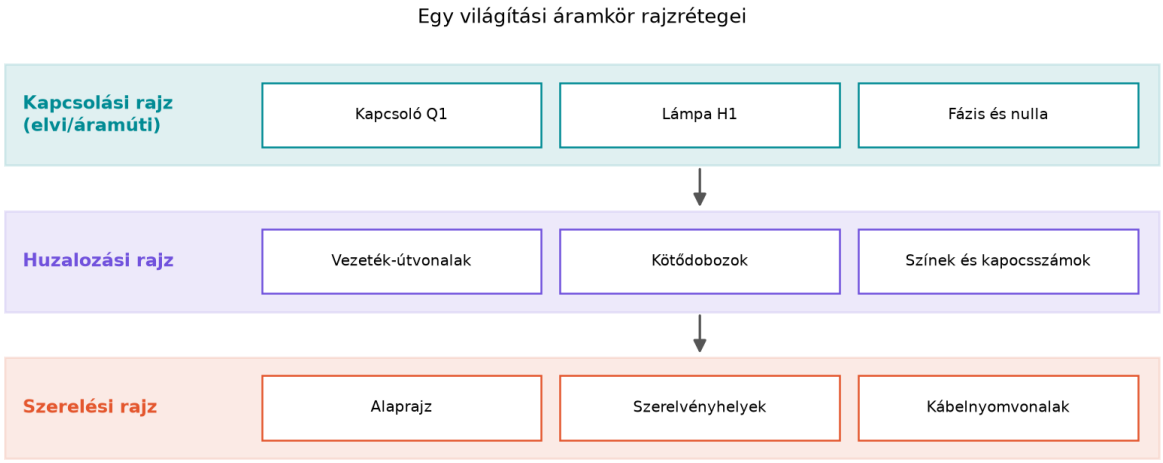
Definíció. Az **áramúti rajz** – a gyakorlatban gyakran **kapcsolási rajznak** is nevezzük – a készülékek és vezetékek villamos kapcsolatát mutatja, a fizikai elrendezéstől függetlenül. Arra ad választ, hogyan halad az áram az áramkörben. Lehet **egyvonalas**, amikor több vezetőt egyetlen vonal jelöl, és **többvonalas**, amikor minden áramköri vezetőt külön-külön rajzolnak meg.

Definíció. A **huzalozási rajz** – más néven **bekötési rajz** – a tényleges vezeték-összekötéseket, kábelszámokat, kapocsszámokat, színeket és kötődobozos elosztásokat mutatja. Ez a dokumentum a hibakeresés és a bekötés során a leggyakorlatibb munkatérkép.

Definíció. A **szerelési rajz** – vagy telepítési terv – az épület alaprajzán vagy szerkezeti rajzán ábrázolja, hogy a kapcsolók, lámpák, kötődobozok, kábelnyomvonalak hol helyezkednek el. A szerelési rajz a kivitelezéshez kell: hova fúrjuk a dobozt, hova vésünk vagy vezetünk kábelcsatornát.

Szabvány. Az ábrázolási módokra a rajzjeleket az **MSZ EN 60617** sorozat, a dokumentációk szerkezetét pedig az **MSZ EN 61082** sorozat írja le (ellenőrizendő: az aktuális kiadás). A feszültségmentesítés és a szerelés biztonsági követelményei a villamos berendezések szabványában, például az **MSZ HD 60364** sorozatban találhatók.

Az alábbi rétegábra azt mutatja, hogy egy világítási áramkör dokumentálásánál milyen rétegek épülnek egymásra:



12.3. ábra. Egy világítási áramkör rajzrétegei - A kapcsolási rajz a működést, a huzalozási rajz a vezetékek útját, a szerelési rajz a szerelvények helyét mutatja.

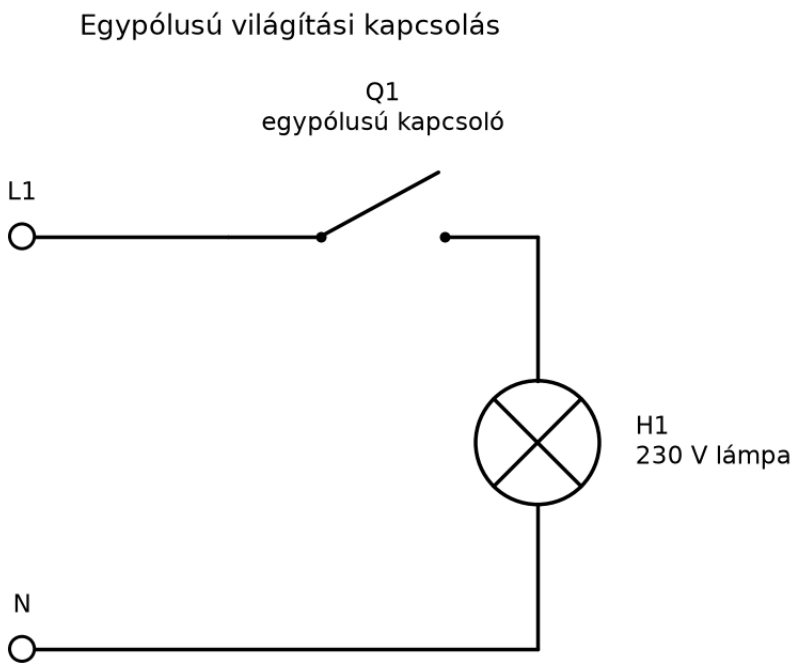
Az ábrán jól látható, hogy egyetlen lámpakapcsolást három különböző szinten is meg kell tudni rajzolni. A kapcsolási rajz nélkül a működést érted, a huzalozási rajz nélkül nem tudod bekötni, a szerelési rajz nélkül pedig nem tudod, mit hová szerelj.

12.2.2. Az egypólusú világítási kapcsolás rajza

A legegyszerűbb világítási áramkör az **egypólusú kapcsolás**: egy kapcsolóval működtetünk egy lámpát vagy egy lámpacsoportot. Villamos szempontból a kapcsoló a fázisvezetőt szakítja meg, a nullavezető közvetlenül a lámpához megy.

Szabály. Világítási áramköröknél a kapcsolót a **fázisvezetőbe** kell kötni, a nullavezetőt nem kapcsoljuk. Ha a nullát szakítanánk meg, a lámpa ugyan kialudna, de a foglalat fázisoldali csatlakozója feszültség alatt maradhat, ami áramütésveszélyes.

A kapcsolási rajz így néz ki:



12.4. ábra. Egypólusú világítási kapcsolás - A fázist (L1) a Q1 kapcsoló szakítja meg, a nulla (N) közvetlenül a lámpára megy.

A rajzról leolvasható áramút: `L1 → Q1 → H1 → N`. A kapcsoló nyitott állásában nincs zárt áramkör, a lámpa nem ég. Zárt állásában a fázis eljut a lámpához, az áram a nullán visszafolyik, a lámpa világít.

A huzalozási rajz ebből úgy lesz, hogy a kábelek tényleges útját, az erek színét és a kapcsokat is bejelöljük. Tegyük fel, hogy a lakáselosztóból a kötődobozba érkezik egy `NYM-J 3×1,5` kábel, a kapcsolóhoz megy egy `NYM-J 3×1,5` kábel, a lámpához pedig ugyancsak `NYM-J 3×1,5` kábel.

Kidolgozott példa (egypólusú kapcsolás kötődobozos huzalozása). Az alábbi táblázat azt mutatja, hogy egy központi kötődobozos szerelésnél melyik ér milyen funkciót kap.

Kábel	Érszín	Jelölés	Kötődobozban csatlakozik
Elosztó felől	barna	L1 (fázis)	sorkapocs: fázis-gyűjtő
Elosztó felől	kék	N (nulla)	sorkapocs: nulla-gyűjtő
Elosztó felől	zöld-sárga	PE	PE-gyűjtő
Kapcsolóhoz	barna	fázis le	fázis-gyűjtővel összekötve
Kapcsolóhoz	kék, a végein barna jelöléssel	kapcsolt fázis vissza	lámpa felé menő fázis
Kapcsolóhoz	zöld-sárga	PE	PE-gyűjtő
Lámpához	barna	kapcsolt fázis	kapcsoló visszatérője

Kábel	Érszín	Jelölés	Kötődobozban csatlakozik
Lámpához	kék	N	nulla-gyűjtő
Lámpához	zöld-sárga	PE	PE-gyűjtő

A bekötés során tehát a kapcsolóhoz lemenő barna ér viszi a fázist, a kék ér hozza vissza a kapcsolt fázist, a lámpa felé pedig a barna ér adja a kapcsolt fázist, a kék pedig a nullát.

Megjegyzés. A háromerű (3G, -J) kábelben nincs fekete ér: a kapcsolóhoz menő kábel kék erét fázisként használjuk, ezért mindkét végén tartósan meg kell jelölni (barna jelölőgyűrű, szigetelőcső; ellenőrizendő: MSZ EN 60445, MSZ HD 60364-5-51); a zöld-sárga eret más célra használni tilos. Ha fekete ér kell, négy- vagy ötérű kábelt használunk (4G: barna, fekete, szürke, zöld-sárga; 5G: barna, fekete, szürke, kék, zöld-sárga – ellenőrizendő: MSZ EN 60445 és a kábel-termékszabvány). A kötődobozban minden csoport külön sorkapocsba kerül, így a bekötés áttekinthető és mérhető.

12.2.3. Kétpólusú kapcsoló, váltó kapcsolás

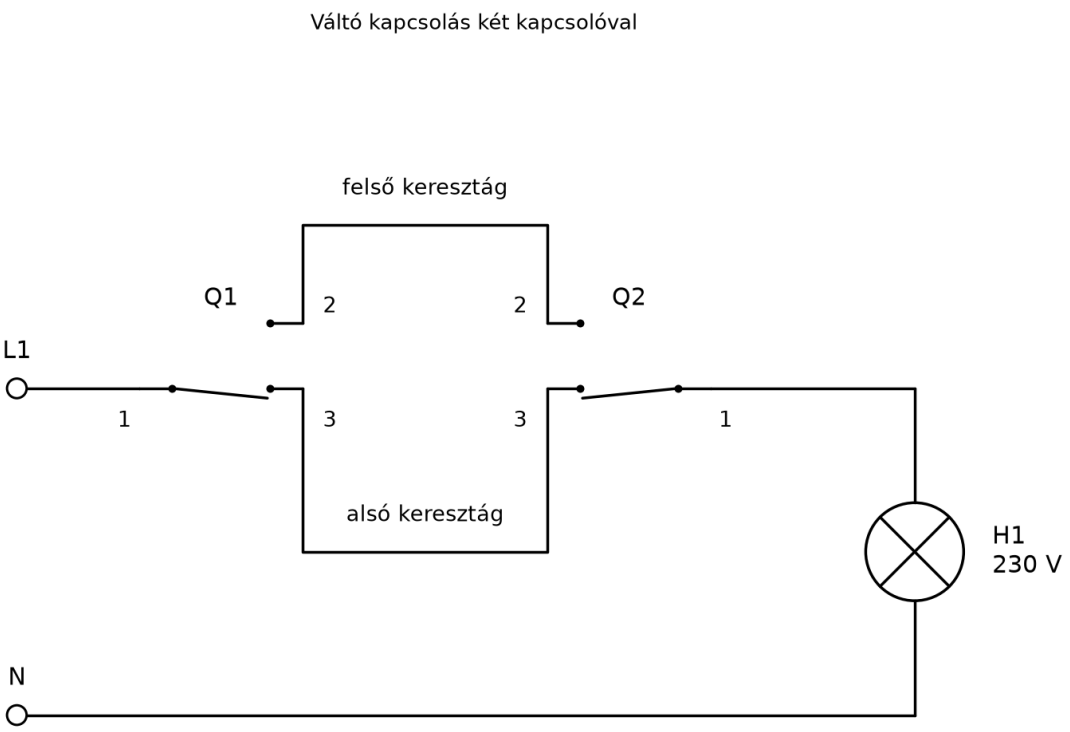
A **soros (csillár)kapcsoló** egy közös bemenettel (fázis) és két kimenettel két lámpacsoportot kapcsol, a két billentyűvel külön-külön. A **kétpólusú kapcsoló** ettől eltérő: egy karral a fázist és a nullát is megszakítja.

A soros kapcsolás áramútja szövegesen: `L1 → Q1 (közös bemenet)` → az egyik billentyű kimenete → `H1 lámpacsoport → N`, a másik billentyű kimenete → `H2 lámpacsoport → N`; a két lámpacsoport nullája közös. A kapcsolást a Világítási áramkörök: egypólusú, soros, váltó és kereszt alfejezet tárgyalja részletesen.

Megjegyzés. A kétpólusú kapcsoló érintkezői a fázis- és a nullavezetékben is megszakítanak; nem keverendő össze a soros (csillár)kapcsolóval. Nedves vagy kültéri környezetben, illetve bizonyos fogyasztóknál követelmény lehet, hogy a kapcsoló mindkét pólust leválassza. A rajzon két kapcsolóérintkezőt rajzolnak, amelyeket egy szaggatott vonal köt össze, jelezve, hogy egyetlen mechanikus kar működteti őket.

A **váltó kapcsolás** két kapcsolóval vezérel egy lámpát, például egy lépcső alsó és felső végén. A váltó kapcsoló egy közös érintkezővel és két váltóérintkezővel rendelkezik. A két kapcsoló váltóérintkezőit keresztben összekötjük, és a lámpa akkor ég, ha a két közös érintkező ugyanarra a keresztágra kapcsolódik.

A kapcsolási rajz a következő:



12.5. ábra. Váltó kapcsolás két kapcsolóval - A Q1 és Q2 váltó kapcsoló egy-egy váltóérintkező: a közös kapocs (1) a kapcsoló külső oldalán van, a 2-es (záró) kapocs a felső, a 3-as (bontó) kapocs az alsó keresztágra csatlakozik. Az L1 a Q1 közös kapcsára, a H1 lámpa a Q2 közös kapcsára kapcsolódik, a lámpa másik vége az N. Alaphelyzetben mindkét közös kapocs az alsó ágon van (a lámpa ég). A lámpatest PE-bekötését a huzalozási rajz mutatja.

A rajzon a váltó kapcsolókat itt egy közös pontból induló váltóérintkezőkkel ábrázoltuk. A valódi szerelvényeken a kapocsjelölés gyártófüggő; gyakran a közös kapocs `L`, a két váltóér `1` és `2`, vagy `COM`, `NO`, `NC` jelölést kap. A bekötés előtt mindig a szerelvény kapocstábláját kell ellenőrizni.

A kapcsolás logikája egyszerű:

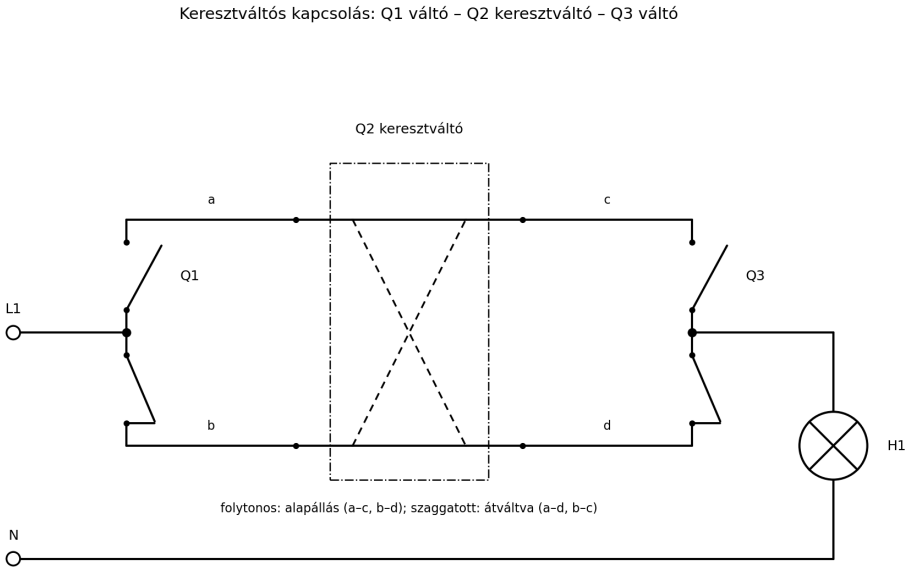
Q1 közös kapcsolás	Q2 közös kapcsolás	Lámpa
Felső ág	Felső ág	ég
Felső ág	Alsó ág	nem ég
Alsó ág	Felső ág	nem ég
Alsó ág	Alsó ág	ég

Kidolgozott példa (hibakeresés váltó kapcsolásnál). Egy panasz szerint a lámpa csak az egyik kapcsolóról kapcsolható ki. A huzalozási rajz alapján először a kapcsolók kapcsait kell lemérni. Feszültségmentesítés után multiméterrel ellenőrizzük a két kapcsoló közötti két keresztág folytonosságát. A keresztágak egymás közötti felcserélése nem hiba: a váltókapcsolás működését nem rontja el, csak az „ég/nem ég” állás-párosítást fordítja meg. Ha az egyik kapcsolóról nem kapcsolható a lámpa, a tipikus ok, hogy valamelyik kapcsolón a közös kapocsra keresztág, a váltókapocsra pedig a fázis vagy a lámpa felé menő vezeték került, vagy az egyik keresztág szakadt.

Mérés (feszültségmentesen, az öt szabály után): 1) a két keresztág folytonossága kapcsolótól kapcsolóig; 2) az elosztó felőli fázisér azonosítása a Q1 közös kapcsán; 3) a lámpa felé menő ér azonosítása a Q2 közös kapcsán. A javítás: feszültségmentes állapotban a vezetékeket a kapocstábla szerint visszakötni, majd működéspróbát végezni.

12.2.4. Keresztváltó és lépcsőházi világítás rajza

Kettőnél több kapcsolási hely esetén a két váltó kapcsoló közé **keresztváltó kapcsolókat** építünk. A keresztváltó négy csatlakozóponttal rendelkezik, és a két bejövő vezeték párosítását cseréli fel. A rajzon a keresztváltót is szaggatott vonallal összekötött érintkezőkkel ábrázolják. Bekötésénél mindig a kapocstáblán jelölt párokat kell követni; a hibás párosítás miatt a váltókapcsoló logika felborul.



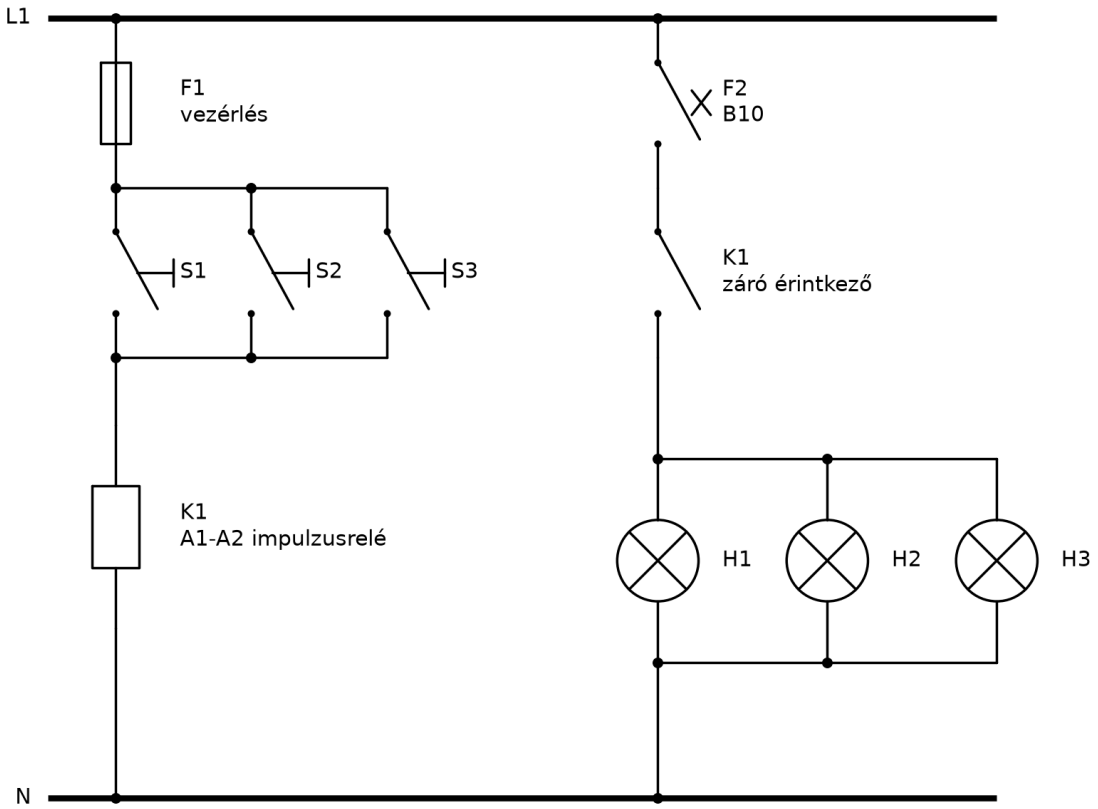
12.6. ábra. Keresztváltós kapcsolás három kapcsolási helyről: Q1 váltó, Q2 keresztváltó, Q3 váltó

Az ábrán a Q2 keresztváltó négy kapcsa közül a bal oldali kettőre az a és b, a jobb oldali kettőre a c és d keresztág csatlakozik. Alapállásban a keresztváltó egyenesen köt (a–c, b–d, folytonos vonal), átváltva keresztben (a–d, b–c, szaggatott vonal). Így bármelyik kapcsoló átváltása megfordítja a lámpa állapotát; a HTML-változatban a kapcsolókra kattintva ez ki is próbálható, és a keresztváltó kikapcsolásával a fenti váltókapcsolás táblázata is ellenőrizhető.

A **lépcsőházi világítás** rajza több szempontból is eltér. A cél az, hogy a folyosón vagy lépcsőházban elhelyezett több nyomógomb ugyanazt a lámpakört vezérelje. Ezt ma általában **impulzusrelével** vagy **lépcsőházi időrelével** oldják meg.

Az impulzusrelé tekercsére párhuzamosan kötött nyomógombok adják a vezérlőjelet. Minden lenyomás egy impulzust ad, a relé érintkezője átbillen, a lámpa be- vagy kikapcsol. A rajzon a nyomógombok jele nyitott érintkező, a relé tekercse `K1`, a munkaérintkezője pedig `K1` jelölést kap. A lépcsőházi időrelé hasonló, de a bekapcsolás után egy beállított idő leteltével önműködően kikapcsol. Ez energiamegtakarítást és biztonságot ad a közlekedőterületeken.

Az alábbi kapcsolási rajz a vezérlő- és a főáramkört egymás mellett mutatja:



12.7. ábra. Lépcsőházi világítás impulzusrelével - Bal oldal, vezérlőáramkör: L1 – F1 – az S1, S2, S3 záró nyomógomb párhuzamosan – K1 impulzusrelé tekercse (A1-A2) – N. Jobb oldal, főáramkör: L1 – F2 kismegszakító – K1 záró érintkező – a párhuzamos H1, H2, H3 lámpák – N. Minden gombnyomás átbillenti a K1 érintkezőjét. Kapocsjelölés gyártófüggő (ellenőrizendő).

A rajzról leolvasható: bármelyik nyomógomb megnyomása ugyanazt a K1 tekercset kapcsolja feszültségre, ezért a lámpák mindhárom helyről be- és kikapcsolhatók; a lámpák árama nem a nyomógombokon, hanem a K1 érintkezőjén folyik.

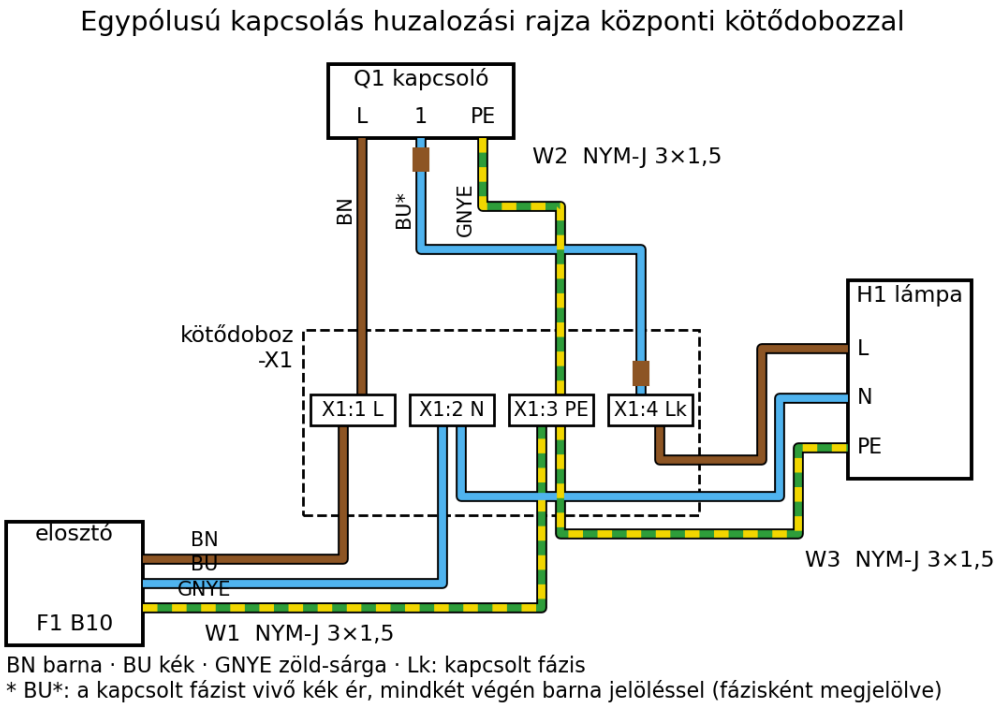
Figyelem. A lépcsőházi automata nyomógombjai többnyire 230 V-os hálózati feszültségen működnek, ugyanúgy, mint a lámpakör; törpefeszültségű (pl. 12/24 V) nyomógombkör csak akkor van, ha a terv így írja elő, és ezt a terven egyértelműen jelölni kell. A rajzolásnál külön választjuk a **főáramkört** (lámpa, megszakító, reléérintkező) és a **vezérlőáramkört** (nyomógombok, relétekercs).

12.2.5. Rajz és valóság: vezetékszám, kötődoboz, kapocsazonosítás

A huzalozási rajz akkor jó, ha a rajzból egyértelműen azonosítható minden vezeték és kapocs. A gyakorlatban ehhez három adatot kell megadnunk:

1. **Kábelszám** – például `W1`, `W2`, amely a kábelnyomvonallal együtt megmondja, melyik kábelről beszélünk.
2. **Érszám vagy érszín** – például `W2/1`, vagy a rajzjel mellett a szín: `barna`, `kék`, `zöld-sárga`.
3. **Kapocsazonosító** – például `-Q1:1`, `-H1:PE`, amely megmondja, hogy a vezeték a készülék melyik kapcsára kerül.

Példa. Ha egy huzalozási rajzon a `W2` kábel barna erét a `-Q1:L` kapocshoz, kék (barnával jelölt) erét a `-Q1:1` kapocshoz rendeljük, akkor a szerelés során a kapcsolóhoz menő kábel barna erét a Q1 kapcsoló L, a jelölt kék erét az 1-es kapcsára kell csatlakoztatni (lásd az alábbi huzalozási rajzot). Ha a későbbi mérésnél a `-X1:4` és a lámpafoglalat fázispontja között szakadást mérünk, azonnal tudjuk, hol keressük a hibát.



12.8. ábra. Egypólusú kapcsolás huzalozási rajza központi kötődobozzal: W1, W2, W3 kábel, -X1 sorkapcsok

Az ábra az egypólusú kapcsolás huzalozási rajza egy központi kötődobozzal. Minden érnél leolvasható a kábelszám (W1, W2, W3), az érszín (betűkóddal is: BN barna, BU kék, GNYE zöld-sárga) és a sorkapocs (-X1:1…-X1:4). A háromerű kábelben nincs fekete ér, ezért a kapcsolóhoz menő W2 kábel kék ere viszi vissza a kapcsolt fázist; ezt az eret mindkét végén tartósan fázisként (barna jelöléssel) meg kell jelölni (ellenőrizendő: MSZ EN 60445). A HTML-változatban egy érre kattintva a kapcsolási rajz megfelelő szakasza kiemelődik.

A rajzok olvasásánál mindig a **rajz–valóság–mérés** hármast használjuk. Először a rajz alapján megállapítjuk, minek hová kellene kötve lennie. Ezután a valós szerelésben megnézzük, hogy a színek, kapocsszámok és kábelek tényleg ott vannak-e. Végül a feszültségmentesen végzett folytonosság- vagy szigetelési méréssel igazoljuk, hogy a vezetékek a rajz szerint összeköttetésben vannak.

12.2.6. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy társasházi lakásban a felújítás során a villanyszerelő a régi kötődobozokban nem talált kapocsfeliratokat. A lakástulajdonos kérte, hogy a lépcsőfeljáró fölötti lámpát két helyről lehessen kapcsolni. A szerelő először a kapcsolási rajzot készítette el, majd a huzalozási rajzon berajzolta a meglévő kábelnyomvonalakat. Feszültségmentesítés után minden vezetéket multiméterrel beazonosított, és a kötődobozban feliratozta a kapcsokat. A beszerelés után a váltó kapcsolás mindkét kapcsolóról jól működött. A tanulság: ha a szerelés közben dokumentáljuk a kapcsokat, a jövőbeni hibakeresés percek alatt elvégezhető.

12.2.7. Gyakorlati útmutató

12.2.7.1. Kapcsolási rajzból huzalozási rajz készítése váltó kapcsoláshoz

Biztonsági korlát. Az alábbi feladat dokumentáció-készítésre vonatkozik. Ha a kapcsolást tanműhelyi környezetben meg is építed, azt legfeljebb törpefeszültségen, jogosult oktató felügyeletével végezd. Hálózati feszültségen önállóan ne dolgozz!

Ha mégis feszültségmentes, valós szerelést készítesz, mindig a **feszültségmentesítés öt biztonsági szabálya** szerint járj el:

1. lekapcsolás,
2. visszakapcsolás elleni biztosítás,
3. feszültségmentesség ellenőrzése,
4. földelés és rövidre zárás,
5. szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.

Eszközök, anyagok: ceruza, radír, vonalzó, villamos rajzsablon, színes ceruzák vagy szoftver, kábelcímkék, sorkapocsterv-táblázat.

Lépések:

1. Rajzold fel az elvi kapcsolási rajzot a váltó kapcsolók, lámpa, L1, N és PE jelölésével.
2. Válaszd ki a szerelési módot, például központi kötődobozos kialakítást.
3. Rajzold meg a szerelési rajzot az alaprajzon: hova kerül a két kapcsoló, a lámpa, a kötődoboz, és milyen kábelnyomvonal vezet köztük.
4. Rajzold be a huzalozási rajzot: az elosztó felől érkező kábel, a lámpához menő kábel, és mindkét kapcsolóhoz menő kábel.
5. Adj minden kábelnek sorszámot, például `W1`, `W2`, `W3`, `W4`.
6. Jelöld minden érnél a színt és a kapocs-azonosítót, például `W2 / kék (barnával jelölve, kapcsolt fázis) / -Q2:1`.
7. Készíts sorkapocstáblázatot a kötődobozhoz: melyik kábelér melyik sorkapocsra kerül.
8. Ellenőrizd a kapcsolási logikát: a közös kapcsok és a keresztágak bekötése a rajz szerint működőképes-e.
9. Ha a kapcsolást tanműhelyben megépíted, **feszültségmentes állapotban** multiméterrel végezz folytonosságmérést a rajz és a tényleges szerelés összevetésére.
10. Dokumentáld az eltéréseket: ami a rajzhoz képest a helyszínen másképp került bekötésre, azt javítsd a rajzon.

Ellenőrzési pont. A huzalozási rajz akkor megfelelő, ha minden vezetéknek van azonosítója, minden kapocs meg van nevezve, és a kapcsolási rajzról egyértelműen leolvasható a kapcsolólogika.

12.2.8. Tipikus hibák

1. **A nullát kapcsolják a fázis helyett.** A lámpa kikapcsol, de a foglalat fázisoldala továbbra is feszültség alatt maradhat. Helyes: a kapcsoló mindig a fázisvezetőt szakítja meg.
2. **Váltó kapcsolónál felcserélik a közös és a váltóér szerepét.** A lámpa csak bizonyos kapcsolóállás-párosításokban kapcsolható, az egyik kapcsolóról esetleg egyáltalán nem. (Rövidzárlat itt nem keletkezik, mert a kapcsolókhoz nulla nem jut; ha a kismegszakító old, a kapcsolódobozban N vagy PE is rossz helyre került.) Helyes: a bekötés előtt ellenőrizni a kapocstáblát.
3. **Keresztváltó kapcsolónál rossz párosításba kötik a két váltóágat.** A kapcsolás nem a várt logika szerint működik. Helyes: a kapcsoló kapocstábláján jelölt párokat követni.
4. **A huzalozási rajzon csak a színeket tüntetik fel, kapocsazonosítók nélkül.** Későbbi hibakeresésnél nem lehet egyértelműen beazonosítani a vezetéket. Helyes: kábelszám, érszám és kapocsazonosító együtt szerepeljen.
5. **A kötődobozban a sorkapcsok nincsenek feliratozva.** A kivitelezés idején kényelmes, később zavart okoz. Helyes: a dobozban is jelölni kell a csoportokat.

12.2.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A kapcsolási rajz a szerelvények fizikai helyét mutatja az épület alaprajzán.
2. Egy egypólusú kapcsolásnál a kapcsolót a nullavezetőbe kötjük. Igaz vagy hamis?
3. Rajzolj le egy egyszerű váltó kapcsolást, és jelöld be a közös kapcsokat, a keresztágakat és a lámpa fázisoldalát.
4. Mi a különbség a huzalozási rajz és a szerelési rajz között?
5. Egy lépcsőházi világításnál miért használunk impulzusrelét vagy időrelét több nyomógombbal?
6. Sorold fel, milyen három adat kell egy huzalozási rajzon a vezeték egyértelmű azonosításához!

12.2.10. Feladatok

1. feladat (A) Rajzold fel az egypólusú világítási kapcsolás kapcsolási rajzát: jelölj L1, N, Q1 és H1 elemeket, és írd le az áramutat bekapcsolt állapotban.

2. feladat (A) Melyik rajzfajtát használod ahhoz, hogy megtudd, hol kell a falon a kapcsoló, és melyiket ahhoz, hogy megtudd, hány ér megy a kapcsolóhoz?

3. feladat (B) Egy váltó kapcsolásnál a fázis az első kapcsoló közösére érkezik, a második kapcsoló közöse pedig a lámpa fáziscsatlakozójára megy. Rajzold le a huzalozási kapcsolatot, és jelöld be a kapcsok egy lehetséges azonosítását!

4. feladat (B) Egy huzalozási rajzon az látható, hogy a lámpához `W3` kábel megy, a barna ér az `-X1:4` sorkapocsra, a kék ér az `-H1:N`, a zöld-sárga ér az `-H1:PE` kapocsra csatlakozik. Milyen funkciójú mérést végeznél feszültségmentesen annak ellenőrzésére, hogy a barna ér valóban a lámpa fázispontjára megy?

5. feladat (C) Egy lépcsőházi világítási kapcsolásban három nyomógomb működtet egy impulzusrelét. Rajzold le a vezérlőáramkör elvi rajzát, és jelöld a párhuzamos kapcsolatot a nyomógomboknál. Mi történik, ha az egyik nyomógomb beragad?

6. feladat (D) Egy váltó kapcsolás hibás: a lámpa az egyik kapcsolóról bekapcsolható, a másikról nem. Milyen huzalozási hibára utalhat? Írd le a hibakeresési lépéseket feszültségmentes mérésekkel.

12.2.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A szerelvények fizikai helyét a szerelési rajz mutatja; a kapcsolási rajz a villamos kapcsolatokat ábrázolja.
2. Hamis. A kapcsolót a fázisvezetőbe kötjük, a nullát nem kapcsoljuk.
3. A váltó kapcsolásban a fázis az egyik kapcsoló közös kapcsára megy, a másik kapcsoló közös kapcsa a lámpához, a két váltóér páronként össze van kötve.
4. A huzalozási rajz a vezetékek tényleges útját, kábelszámait, színeit és kapcsait mutatja; a szerelési rajz az alaprajzon a szerelvények és kábelnyomvonalak helyét.
5. Az impulzusrelé vagy időrelé teszi lehetővé, hogy több nyomógomb párhuzamosan kapcsoljon egyetlen világítási áramkört; az időrelé megtakarítás miatt magától lekapcsol.
6. Kábelszám, érszám vagy érszín, kapocsazonosító.

Feladatok megoldása

1. megoldás. A kapcsolási rajzon `L1` a fázis, `Q1` a kapcsoló, `H1` a lámpa, `N` a nulla. Bekapcsolt állapotban az áramút: `L1 → Q1 → H1 → N`.

2. megoldás. A szerelvények fizikai helyét a **szerelési rajz**, a kapcsolóhoz menő erek számát és bekötését a **huzalozási rajz** mutatja.

3. megoldás. Egy lehetséges ábrázolás: az első kapcsoló `Q1:1` közös kapcsára kötjük az L1 fázist, a `Q1:2` és `Q1:3` váltóérintkezőket összekötjük a második kapcsoló `Q2:2` és `Q2:3` váltóérintkezőivel, majd a második kapcsoló `Q2:1` közös kapcsát a lámpa fáziscsatlakozójához vezetjük. A lámpa másik csatlakozója az N; a fém lámpatest a PE-re csatlakozik.

4. megoldás. Feszültségmentes állapotban a multiméterrel **folytonosságmérést** végeznék: az `-X1:4` sorkapocs és a lámpafoglalat fázispontja között kis ellenállást kell kapni, miközben a nulla és a PE ága más kapcsokra azonosítható.

5. megoldás. A három nyomógomb egymással párhuzamosan van kötve, mindegyik az impulzusrelé tekercsére ad jelet. Ha egy nyomógomb beragad, a K1 impulzusrelé tekercse tartósan feszültséget kap: a relé az utolsó állapotában marad, a többi gomb hatástalan, és a nem tartós üzemre méretezett tekercs túlmelegedhet (ellenőrizendő: gyártói adatlap). Tünet: egyik gombbal sem kapcsolható a világítás, a relé melegszik vagy zümmög. Javítás: feszültségmentesítés (öt szabály) után a hibás gomb cseréje; az időrelés változatoknál gyakori a beragadt-gomb-figyelés funkció.

6. megoldás. Ha a lámpa csak az egyik kapcsolóról kapcsolható, akkor valószínűleg az egyik váltó kapcsolón a közös kapocs és egy keresztág fel van cserélve, vagy az egyik keresztág szakadt (a keresztágak egymás közötti felcserélése nem hiba). Feszültségmentesítés után ellenőrizni kell a kapcsolók kapocstábláját, majd folytonosságméréssel azonosítani a `Q1` és `Q2` közötti keresztágakat. Ezután vissza kell kötni a kapocstábla szerint, és működéspróbát végezni.

12.2.12. Rövid összefoglaló

A villamos rajzok olvasása a villanyszerelő napi munkája. A **kapcsolási rajz** a villamos működést, az **áramutat** és a kapcsolólogikát mutatja; a **huzalozási rajz** a vezetékek tényleges útját, kábelszámait, érszámait, színeit és kapocsazonosítóit; a **szerelési rajz** a szerelvények és nyomvonalak fizikai helyét. A világítási alapkapcsolások: egypólusú, soros (csillár), váltó, keresztváltó és lépcsőházi; a kétpólusú kapcsoló (fázist és nullát is megszakít) ettől külön fogalom. A kapcsoló mindig a fázist szakítja meg, a nullát nem kapcsoljuk. A huzalozási rajz

minden vezetéknél legalább három adatot tartalmazzon: kábelszám, érszám vagy érszín, és kapocsazonosító. A rajz–valóság–mérés hármas a hibakeresés alapja: először a rajz, majd a valódi bekötés, végül a feszültségmentes mérés. A bemutatott kapcsolási rajzokat a későbbi alfejezetek használják a tervrajzokon és a gyakorlati bekötéseknél, különösen az Alaprajzok, fővezetéki terv és egyvonalas rajz és a Világítási áramkörök: egypólusú, soros, váltó és kereszt fejezetekben.

12.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet a magyarországi és európai gyakorlat szerint készült. A rajzjelek az **MSZ EN 60617**, a dokumentációk szerkezete az **MSZ EN 61082** sorozat alapján hivatkozott; a pontos szakasz- és táblázatszámokat, valamint a gyártóspecifikus kapocsjelöléseket a kiadás előtt ellenőrizni kell. A feszültségmentesítés és a szerelési szabályok a **MSZ HD 60364** sorozat szerint érvényesek, de konkrét határértékeket ez az alfejezet nem ad meg.

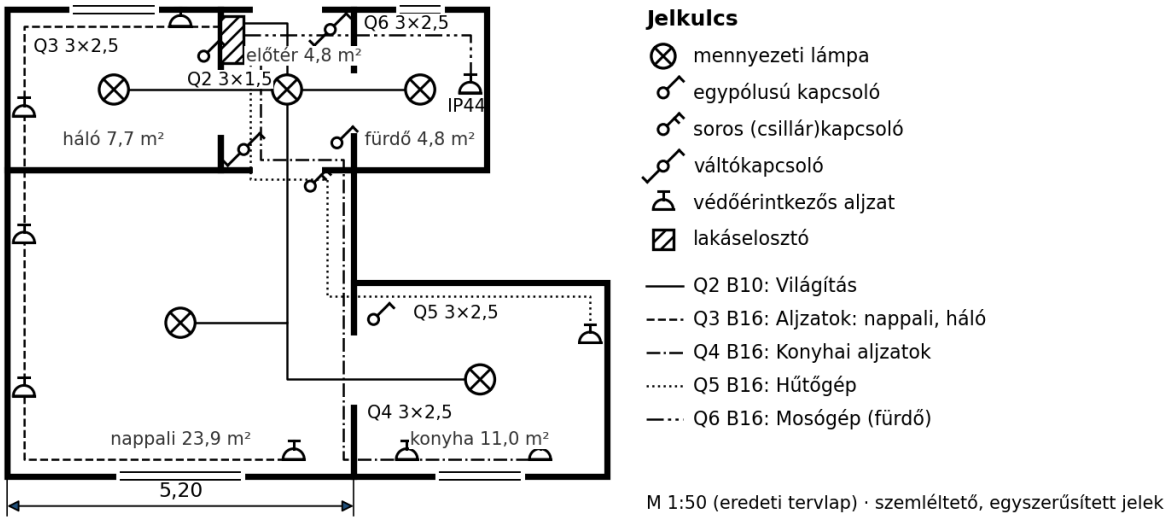
12.3. Alaprajzok, fővezetéki terv és egyvonalas rajz

12.3.1. Motiváció: miért kell ezt tudnod a munkahelyen?

Egy lakásfelújítás vagy egy kisebb társasházi elosztócsere során a szerelő ritkán dolgozik előre gyártott, színezett, háromdimenziós látványtervből. Általában építész-alaprajzot és villamos tervet kap, amelyen a falakat vonalak, a kapcsolókat apró jelek, az áramköröket számok és nyomvonalak mutatják. Ha a terven rosszul azonosítod a váltókapcsoló és a dugaszoló aljzat jelét, rossz dobozt vésel a falba, és a szerelés végén szét kell bontani a vakolatot. Ha viszont érted a méretarányt, a jelkulcsot és az egyvonalas rajzot, akkor a terv alapján pontosan meg tudod mondani, hová kerül a lámpa, melyik áramkörről táplálod, és mekkora védelmet kell beépítened. Ez az alfejezet arra tanít, hogyan olvass és rajzolj lakásvillamossági tervet, fővezetéki sémát és elosztó-egyvonalas rajzot.

12.3.2. Szemléletes kép: egy lakás villamos terve

Képzelj el egy 54 m²-es lakást. A terv 1:50 méretarányban készült. A szobák mennyezetén X-es körök jelölik a lámpákat, a falakra rajzolt vonalak a kapcsolókat, a padlószint közelébe rajzolt félkörök jelölik a dugaszoló aljzatokat. A szobából egy vonal (a világítási körnél folytonos, az aljzatkörnél szaggatott) fut a lakáselosztóhoz, mellette `Q2 – 3×1,5 mm²` felirat áll. Ez a rajz egyszerre mutatja az épület geometriáját és a villamos hálózat kiépítését.



12.9. ábra. Lakás villamos tervének részlete (szemléltető, az eredeti tervlapon 1:50)

Az ábrán a falak vastag, az ablakok kettős vékony vonallal látszanak, az ajtók a falak hézagai. A mennyezeti lámpák körben X-szel, a kapcsolók kis körrel és ferde vonallal (a soros kapcsolón két, a váltókapcsolón két irányban egy-egy jelzővonás), a védőérintkezős aljzatok félkörrel jelöltek; a fürdőszobai aljzat mellett az IP44 védettség áll. Az előtérben lévő lakáselosztótól (vonalkázott téglalap) induló nyomvonalak áramkörönként más vonaltípusúak, mellettük az áramkörjel és a kábel keresztmetszete (pl. „Q2 3×1,5”); a nappali alatt az 5,20 m-es méretvonal az 1:50-es tervlapon 10,4 cm. A jelkulcs a jobb oldalon van. A HTML-változatban a rétegek (építész-alaprajz, világítás, aljzatok, nyomvonalak) ki-be kapcsolhatók, egy nyomvonalra kattintva kiemelődik az áramkör és a hozzá tartozó kismegszakító, a méretarány-mérővel pedig két pont rajzi és valós távolsága olvasható le.

12.3.3. Épületrajz, méretarány, villamos tervjelek

A villamos terv mindig egy építész-alaprajzból indul. Az építész terv mutatja a falakat, nyílászárókat, méretvonalakat, helyiségek megnevezését és a padlóburkolat szintmagasságát. A villamos szakág erre helyezi rá a lámpákat, kapcsolókat, aljzatokat, elosztókat és a vezetékek nyomvonalát.

Definíció. Az alaprajz egy vízszintes metszet, amely az épületet kb. 1,0–1,2 m magasságban metszve mutatja. A metszet az épületen függőlegesen átvett nézet, amelyen látszik a helyiségek magassága, a födémek és a berendezési magasságok.

A méretarány az arány a rajzon mért hossz és a valóságos hossz között. A gyakori méretarányok:

- 1:100 – átnézeti, elhelyezési terv; 1 cm a rajzon = 1 m a valóságban.
- 1:50 – lakás alaprajza, részletes szereléshez; 2 cm a rajzon = 1 m a valóságban.
- 1:20, 1:10 – csomópontok, kapcsolószekrény belső elrendezése.

Számítás. Ha a nappali valós hossza $L_{\text{valós}} = 4{,}8\,\text{m}$, és a rajz 1:50 méretarányú, akkor a rajzi hossz:

$$L_{\text{rajz}} = \frac{L_{\text{valós}}}{50} = \frac{4{,}8\,\text{m}}{50} = 0{,}096\,\text{m} = 9{,}6\,\text{cm}.$$

A tervolvasás során ezt visszafelé is el kell tudni végezni: ha a rajzon 3,2 cm-t mérsz, a valóságos hossz $3{,}2\,\text{cm} \times 50 = 160\,\text{cm} = 1{,}6\,\text{m}$.

A villamos tervjeleket a rajz jelkulcsa vagy az MSZ EN 60617 szabványrajzok határozzák meg. A gyakorlatban minden tervlapon megtalálod:

- lámpatest – kör, esetleg a fényforrás típusával;
- kapcsoló – rövid ferde vagy vízszintes vonal a kapcsolási ponton;
- váltókapcsoló és keresztkapcsoló – kapcsolójel kiegészítő jelöléssel;
- dugaszoló aljzat – félkört vagy háromszöget formáló jel;
- elosztó – sraffozott téglalap vagy kötődoboz-jel;
- áramkörjel – a védelmi szervre utaló jel, pl. `Q2`, `Q3` (ugyanaz, mint az egyvonalas rajzon és az áramkörlistán).

A tervjelek pontos megjelenését a terven szereplő jelkulcsból kell ellenőrizni; a fejezet ábráin a magyar gyakorlat szerinti, egyszerűsített jeleket használjuk.

Szabvány. Az MSZ EN 60617 sorozat az IEC villamosipari rajzjeleket tartalmazza. A kapcsolási rajzokon, alaprajzokon és egyvonalas rajzokon használt jeleket ehhez kell igazítani. A tervlapnak tartalmaznia kell a jelkulcsot, a méretarányt, a rajzszámot, a beruházó és tervező adatait, valamint a dátumot és a méretarány szerinti feliratot. **(ellenőrizendő: a szabványsorozat aktuális tagjai és a vonatkozó rajzszámok.)**

12.3.4. Lakásvilágítási és aljzat-terv rajzolása

A lakásvillamossági terv a szerelhetőség szempontjából két fő részből áll:

- **Világítási terv:** mennyezeti lámpák, fali lámpák, kapcsolók, mozgásérzékelők, lépcsőházi automaták.
- **Aljzatterv:** dugaszoló aljzatok, kötődobozok, konyhai és fürdőszobai fogyasztói csatlakozások.

A rajzolás elsődleges célja nem a kábelek nyomvonalának minden részlet szerinti ábrázolása, hanem a **telepítési pontok, áramkörök és védelmek** egyértelmű megadása.

12.3.4.1. Lépéssor: lakás villamos tervének olvasása

1. Nézd meg a jelkulcsot, és azonosítsd a falak, nyílászárók, lámpák, kapcsolók, aljzatok és elosztó jeleit.
2. Olvasd le a méretarányt, és mérj a rajzon: hova kerül a kapcsoló, milyen távolságra van az elosztótól.
3. Azonosítsd a helyiségek funkcióját (nappali, konyha, fürdőszoba, háló), mert ettől függ a védelmi mód (pl. fürdőszobában FI-védelem, nedves helyiségben IP-védelem).
4. Keresd meg az áramkörök számozását: az elosztó egyvonalas rajza fogja megmondani, melyik megszakítóhoz tartozik az adott nyomvonal.
5. Ellenőrizd a vezetékek típusát és keresztmetszetét a nyomvonal felirata alapján (pl. `NYM-J 3×1,5 mm²`).

A terven a vezeték nyomvonalát szaggatott vagy folyamatos vonal jelöli, és gyakran csak az elosztó és a fogyasztó közötti útvonal látszik. A mennyezeti lámpákhoz a fal síkjában függőlegesen leforduló vezetékeket nem mindig rajzolják be, mert a szerelő a szerelési zónákból tudja, hol futhat a vezeték.

12.3.5. Fővezetéki terv

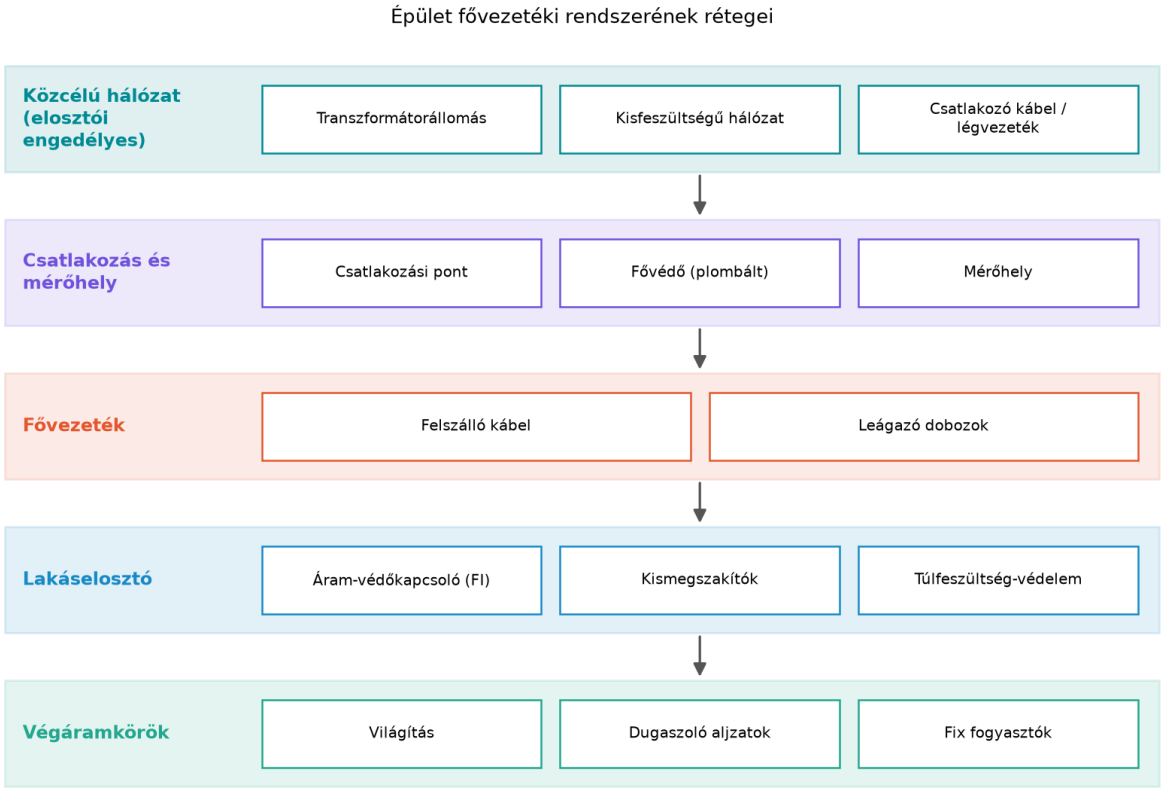
A lakásvillamossági terv csak a végáramköröket mutatja. Egy társasházban vagy kisebb üzemi épületben a fővezetéki terv mutatja meg, hogyan jut el a villamos energia a közcélú hálózattól a mérőhelyig, majd onnan a lakáselosztókig.

A fővezetéki terv jellemző elemei:

- csatlakozó (bekötő) kábel nyomvonala;
- fogyasztásmérő-hely, mérőóra;
- főelosztó vagy lakáselosztó;
- fővezeték (felszálló) és leágazások;
- fővédőberendezés (pl. kismegszakító vagy olvadóbiztosító) és túlfeszültség-védelmi eszközök.

A fővezetéki terv gyakran egyvonalas séma formájában is megjelenik, de alaprajzon is jelölik a kábelnyomvonalat. A fővezeték keresztmetszetét a terhelés, a feszültségesés és a zárlati viszonyok határozzák meg.

Példa fővezetéki hierarchiára. Réteges ábrán jól áttekinthető:



12.10. ábra. Épület fővezetéki rendszerének rétegei - Szemléltető hierarchia, nem konkrét műszaki terv. A közcélú hálózat a hálózati engedélyesé; a csatlakozási ponttól kezdődik a fogyasztói (csatlakozó) berendezés a mérőhellyel és a fővédővel (a határ és a plombálás rendje: az elosztói engedélyes előírása szerint, ellenőrizendő).

Az ábra mutatja az energia útját: a közcélú hálózattól a végáramkörökig. A szerelő ebből tudja, melyik fogyasztói áramkör melyik elosztó alá tartozik, és hol kell a védelmet beépíteni.

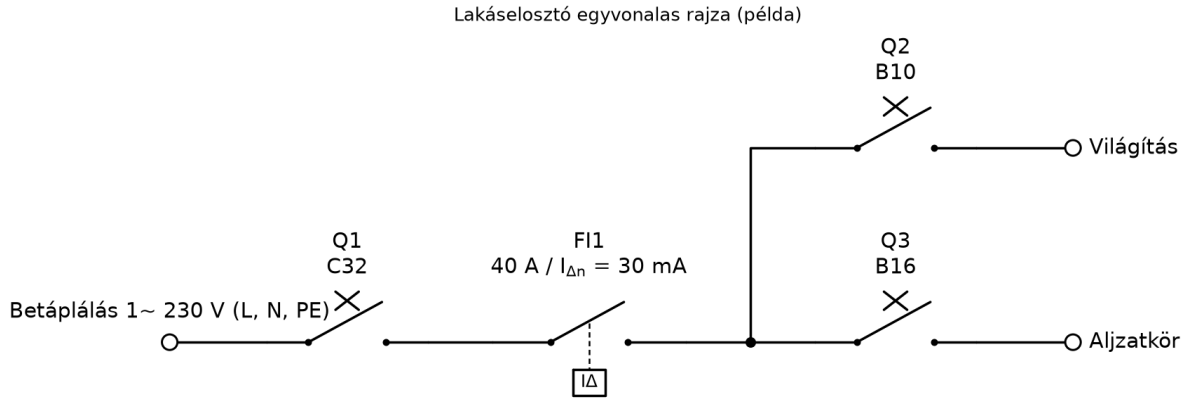
12.3.6. Elosztóberendezés egyvonalas rajza

Definíció. Az egyvonalas rajz egy olyan kapcsolási rajz, amely a háromfázisú (vagy egyfázisú) hálózat mindhárom fázisát egyetlen vonallal ábrázolja, és csak az áramkörök sorrendjét, a védelmi és kapcsolóeszközöket, valamint a fogyasztó megnevezését tünteti fel. A nulla- és védővezetőt általában külön nem részletezik, vagy jelképesen jelölik.

Az elosztó egyvonalas rajza a kivitelezés és a felülvizsgálat egyik legfontosabb dokumentuma. Ebből derül ki:

- mi a betáplálás (egyfázisú vagy háromfázisú, 230/400 V);
- milyen a főkapcsoló, a főmegszakító, a FI-relé;
- milyen kismegszakítók vannak, mekkora névleges árammal és kioldási jelleggörbével;
- melyik megszakítóhoz melyik fogyasztó vagy helyiség tartozik;
- van-e túlfeszültség-védelmi fokozat;
- hol van az EPH vagy a PEN szétválasztás.

Az alábbi kapcsolási rajz egy lakáselosztó egyszerű egyvonalas sémáját mutatja:



12.11. ábra. Lakáselosztó egyvonalas rajza (példa) - Szemléltető egyvonalas séma: 1 fázis, Q1 főmegszakító, FI1 áram-védőkapcsoló, utána két párhuzamos leágazás kismegszakítóval. A nulla- és védővezetőket itt nem részletezzük; a gyakorlatban a teljes tervnek tartalmaznia kell a N/PE gyűjtősínt és a védővezetőt. Az FI1 névleges árama (40 A) a C32-es főmegszakítóhoz illesztett tanulási példa (ellenőrizendő).

A rajzon a betáplálás fázisa balról érkezik. A Q1 főmegszakító után a FI1 védi az egész elosztót. A FI1 (40 A névleges áram, 30 mA névleges differenciaáram) kimenetéről egy csomópontból két párhuzamos leágazás indul: Q2 B10 a világításhoz, Q3 B16 az aljzatkörhöz (ugyanazok a jelek, mint az alaprajzon és az áramkörlistán). A valóságban a nulla- és védővezetőket is be kell kötni, de az egyvonalas rajzon az áramkör sorrendjét mutatjuk meg.

12.3.7. Érintésvédelmi, szabadvezetéki és kábelhálózati rajzjelek

A villamos terven nemcsak fogyasztók és kapcsolók, hanem védelmi és hálózati elemek is megjelennek:

- **EPH (egyenpotenciálra hozás):** csíkozott vagy háromszögű jel, a fő-földelőkapocs, a víz-, fűtés- és gázvezetékekre vezető bekötések;

- **földelővezető, földelőszonda:** függőleges vonal és vízszintes talppal ábrázolt földelő;
- **szabadvezeték:** oszlopon futó légvezeték jele, általában szabadvezetéki csatlakozásnál;
- **kábelhálózat:** föld alatti kábelnyomvonal, árokban fektetett kábel, kábeldoboz, kábelvég;
- **túlfeszültség-védelmi eszköz (SPD):** villámvédelmi és túlfeszültség-védelmi zónák jelölése.

A hálózati nyomvonalrajz a kábel vagy légvezeték tényleges nyomvonalát mutatja az utca vagy a telek alaprajzán, méretadatokkal, kábelkereszteződésekkel és a környező közművekkel. A felmérés során ezt használjuk arra, hogy meghatározzuk a csatlakozó kábel hosszát, a mérőhely és a főelosztó helyét. A gyakorlatban ezt a rajzot a hálózati engedélyes az áramszolgáltatói követelmények szerint készíti; a szerelő csak ellenőrzi a csatlakozási pontot, a nyomvonalat és a szükséges építési, bontási munkákat.

12.3.8. Kidolgozott példa: méretarány és rajzolvasás

Példa (1). Egy lakás nappalijának valós mérete: $5{,}2\,\mathrm{m} \times 4{,}6\,\mathrm{m}$. A terv 1:50 méretarányú. Mekkora a helyiség rajzi mérete? Visszafelé: a rajzon a konyha hossza $9{,}8\,\mathrm{cm}$. Mekkora a valós hossza?

Számítás. A rajzi méretek:

$$L_{\text{rajz, hossz}} = \frac{5{,}2\,\mathrm{m}}{50} = 0{,}104\,\mathrm{m} = 10{,}4\,\mathrm{cm};$$

$$L_{\text{rajz, széles}} = \frac{4{,}6\,\mathrm{m}}{50} = 0{,}092\,\mathrm{m} = 9{,}2\,\mathrm{cm}.$$

Visszafelé: ha a rajzon a konyha hosszát $9{,}8\,\mathrm{cm}$-nek mérjük, a valóságos hossz:

$$L_{\text{valós}} = 9{,}8\,\mathrm{cm} \times 50 = 490\,\mathrm{cm} = 4{,}9\,\mathrm{m}.$$

Ellenőrzés: ha a terven méretvonal is szerepel (4,90), a két érték egyezik – ha nem, a rajz nem méretarányos (pl. fénymásolat kicsinyítése), és csak a méretszámnak hihetünk (méretszám > lemért hossz). A tervolvasásnál mindig ellenőrizzük a méretarányt a berajzolt méretvonallal is.

12.3.9. Kidolgozott példa: elosztó egyvonalas rajza

Példa (2). Rajzoljuk fel egy 3 szobás lakás elosztójának egyvonalas rajzát. Az áramkörök és védelmek:

- Q2 – világítás (3 mennyezeti kör) – B10;
- Q3 – aljzatok nappali és háló – B16;
- Q4 – konyhai aljzatok – B16;
- Q5 – hűtőgép – B16;
- Q6 – mosógép – B16;
- Q7 – bojler – B16;
- FI1 – 30 mA, védi a Q2 és Q3 köröket (világítás, nappali és háló aljzatok); FI2 – 30 mA, védi a Q4–Q7 köröket (konyha, hűtő, mosógép, bojler);
- főmegszakító – C32, 1 fázis 230 V.

A szöveges feldolgozás után a kapcsolási rajzlapon a következő kell: betáplálás, Q1 főmegszakító, FI1 és FI2 30 mA, majd a hat kismegszakító (Q2–Q3 az FI1 alatt, Q4–Q7 az FI2 alatt) és a fogyasztói csatlakozások. A gyakorlatban az áramköröket több áram-védőkapcsoló között osztjuk meg, hogy egy hiba vagy szivárgás ne sötétítse el az egész lakást, és ne kapcsolja le a hűtőt és a világítást egyszerre (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-1); a fenti egyszerűsített egyvonalas rajz külön példa: oktatási célból egyetlen FI1-et és csak a Q2, Q3 kört mutatja. Az áramköri rajzon az egyes fogyasztókat téglalappal vagy körrel jelöljük.

A szerelői gyakorlatban minden egyvonalas rajzhoz tartozik egy **áramkörlista**:

Jel	Védelmi eszköz	Fogyasztó	Vezeték (példa)
Q2	B10	Világítás	NYM-J 3×1,5 mm²
Q3	B16	Aljzatok nappali, háló	NYM-J 3×2,5 mm²
Q4	B16	Konyhai aljzatok	NYM-J 3×2,5 mm²
Q5	B16	Hűtőgép	NYM-J 3×2,5 mm²
Q6	B16	Mosógép	NYM-J 3×2,5 mm²
Q7	B16	Bojler	NYM-J 3×2,5 mm²

A pontos keresztmetszetet és védelmi értékeket a tervező méretezi; a táblázat csak példa.

12.3.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasházi felújítás során a szerelő kapott egy régi, jelkulcs nélküli tervet. A tervrajzon a kapcsolójelek helyén többféle szimbólumot látott, és a szerelő az aljzatkörök nyomvonalát a világítási áramkörrel keverte. A szerelés közben kiderült, hogy a konyhai aljzatokra nem jutott FI-védelem, és a bojler a világítási kismegszakítóról táplálkozott volna. A hibás értelmezés miatt a szerelő újra kellett nyissa a falat, hogy a megfelelő áramkört kialakítsa. Tanulság: **jelkulcs és egyvonalas rajz nélkül ne kezdj szerelésbe**. Ha a terv nem egyértelmű, kérdezd meg a tervezőt, és a kivitelezés előtt ellenőrizd az áramkörök számozását.

12.3.11. Gyakorlati útmutató: lakáselosztó egyvonalas rajzának elkészítése

Cél: adott áramkörlista alapján készítsd el a lakáselosztó egyvonalas rajzát.

Eszközök, anyagok: papír, ceruza, vonalzó, rajzsablon vagy számítógépes rajzprogram; az áramkörlista és az elosztó típusa.

Biztonsági korlát. Ez a feladat rajzolási feladat, de ha élő, hálózati feszültségű elosztóról készítesz rajzot, a munkát csak feszültségmentesítés után, jogosult személy felügyeletével végezheted. A feladatok tanműhelyi környezetre vagy oktatói felügyeletre vonatkoznak; hálózati feszültségen önállóan ne dolgozz.

Az **öt biztonsági szabály** akkor is érvényes, ha a rajz kedvéért meg kell nézned egy meglévő elosztót: 1. lekapcsolás; 2. visszakapcsolás elleni biztosítás; 3. feszültségmentesség ellenőrzése; 4. földelés és rövidre zárás; 5. szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

Lépések:

1. Gyűjtsd össze a védelmi eszközöket: főmegszakító, túlfeszültség-védő (SPD), FI-relé, kismegszakítók.

2. Határozd meg a sorrendet: betáplálás → főkapcsoló/főmegszakító → túlfeszültség-védő (SPD) → áram-védőkapcsoló(k) → kismegszakítók. Ha az SPD az áram-védőkapcsoló után kerül, a gyártó és a szabvány előírásait kell követni (pl. S típusú RCD) – ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-534. (Az SPD levezetett árama az RCD után elhelyezve differenciaáramként jelentkezhet, és nem kívánt kioldást okozhat.)
3. Rajzold be a betáplálást: `L1` fázis (és ha háromfázisú, akkor `L1–L2–L3`), nulla-, védővezető.
4. Helyezd el a gyűjtősínt, majd a védelmi eszközöket balról jobbra.
5. Írd be a feliratokat: a védelmi eszköz jele (`Q1`, `FI1`, `Q2`…), névleges árama (`B16`, `C32`) és a fogyasztói kör megnevezése.
6. Csatold a végáramkörökhöz az áramköri számot és a helyiség nevét.
7. Ellenőrizd, hogy minden aljzatkör FI-védelem alatt áll, és a vezeték-keresztmetszet illeszkedik a védelemhez.

Ellenőrző pontok:

- A rajzon szerepel-e a főmegszakító és a FI-relé?
- A FI-relé névleges differenciaárama 30 mA, ha aljzatok védelmét is ellátja?
- A kismegszakítók kioldási görbéje (B, C) illeszkedik-e a fogyasztó indítási áramához?
- A rajz másolata bekerült-e a tervdokumentációba?

Dokumentálás: a rajzon tüntesd fel a rajzszámot, a dátumot, a tervező nevét és a változatot. A kész rajzot az elosztó ajtajában is elhelyezik.

12.3.12. Tipikus hibák

1. **Jelkulcs nélküli rajz használata.** A szerelő azt hiszi, hogy az aljzatjel kapcsolójel, és rossz dobozt vés. Mindig ellenőrizd a jelkulcsot, és ha hiányzik, kérdezz rá.
2. **A méretarány figyelmen kívül hagyása.** Az 1:100-as tervről megszokott „1 cm = 1 m” átváltást alkalmazzák egy 1:50-es terven is; ott 1 cm = 0,5 m, így minden távolság kétszeresére adódik. Mindig olvasd le a méretarányt a feliratmezőből, és ellenőrizd egy berajzolt méretvonallal.
3. **FI-védelem kihagyása.** A régi terven csak kismegszakítók szerepelnek, és a szerelő nem épít be FI-relét. A fürdőszoba és kültéri aljzatoknál ez életveszélyes lehet. A mai szabályok szerint a kiegészítő védelemhez 30 mA-es FI-védelem szükséges.
4. **Áramkörök összekeverése.** A világítási és aljzatkört egyazon kismegszakítóra kötik. A hiba miatt egy aljzat zárlata lekapcsolná a világítást, és nehézzé válik a hibakeresés.
5. **Elosztó egyvonalas rajzán a nulla- és védővezető elhagyása.** A rajz egyszerűsödik, de a kivitelező nem tudja, hogyan kösse az N és PE gyűjtősínt.

12.3.13. Önellenőrzés

1. Mit jelent az 1:50 méretarány? Ha a rajzon egy fal hossza 7,0 cm, mekkora a valóságos hossza?
2. Milyen jeleket tartalmaz egy lakás villamos alaprajza?
3. Mi a különbség a világítási terv és a fővezetéki terv között?
4. Milyen védelmi eszközöknek kell szerepelniük egy korszerű lakáselosztó egyvonalas rajzán?
5. Rajzolj le egyszerűen egy EPH-jelet és egy dugaszoló aljzat jelet!

12.3.14. Feladatok

1. feladat (A). Számítsd át 1:100 méretarányra a nappali méretét: valós hossz 5,4 m, szélesség 4,2 m. Mekkora lesz a rajzi méret centiméterben?

2. feladat (A). Sorold fel, milyen villamos tervjeleket találsz egy lakás alaprajzán, és mondd el, miért fontos a jelkulcs.

3. feladat (B). Rajzold fel a lakáselosztó egyvonalas rajzát: Q1 C32 főmegszakító, FI1 30 mA, Q2 B10 világítás, Q3 B16 aljzatok nappali, Q4 B16 hűtő, Q5 B16 mosógép. Jelöld a fogyasztói csatlakozásokat.

4. feladat (B). Egy konyha valós mérete 3,8 m × 2,9 m. A terv 1:50 méretarányú. Mekkora a rajzi méret? Ha a rajzon a konyhapult 6,4 cm hosszú, mekkora a valós hossz?

5. feladat (C). Adott elektromos terv: a fürdőszobai aljzatoknál FI-védelem nincs, csak B16-os megszakító védi az áramkört. A terven nincs EPH a fürdőszobában. Milyen hibák vannak? Javítsd ki az egyvonalas rajzot: FI-relé beépítése és EPH jelölése.

6. feladat (D). Hibakeresés: az elosztó egyvonalas rajza szerint a bojler a világítási körre van kötve (B10), a konyha aljzatai FI nélkül, a mosógép védővezetője nincs bekötve. Mi a probléma? Módosítsd a rajzot: a bojler kerüljön külön B16-os körre, a konyha és a mosógép FI-védelem alá, a védővezetőt jelöld be.

12.3.15. Megoldások

12.3.15.1. Önellenőrzés – válaszok

1. 1:50 azt jelenti, hogy 1 egység a rajzon 50 egység a valóságban. Rajz 7,0 cm → valós hossz = 7,0 × 50 = 350 cm = 3,5 m.
2. Lámpatest, kapcsoló, váltókapcsoló, keresztkapcsoló, dugaszoló aljzat, elosztó, EPH, vezeték-nyomvonal, áramkörjel, kábel.
3. A világítási terv a helyiségben lévő végáramköröket mutatja; a fővezetéki terv a mérőhely és főelosztó közötti hálózatot, a fővezetékek és fővédelmek nyomvonalát.
4. Főmegszakító, FI-relé, kismegszakítók, EPH, túlfeszültség-védelmi eszköz.
5. Az EPH jelét a terv jelkulcsa adja (a fent leírt csíkozott vagy háromszögű jel); az aljzat: félkör, a védőérintkezőt jelző vonallal.

12.3.15.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A) megoldása.
1:100 méretarány mellett a rajzi méret a valós méret 1/100-a.

$$L_{\text{rajz, hossz}} = \frac{5{,}4\,\text{m}}{100} = 0{,}054\,\text{m} = 5{,}4\,\text{cm};$$

$$L_{\text{rajz, széles}} = \frac{4{,}2\,\text{m}}{100} = 0{,}042\,\text{m} = 4{,}2\,\text{cm}.$$

A nappali rajzi mérete 5,4 cm × 4,2 cm.

2. feladat (A) megoldása.
A tervjelek: lámpatest, kapcsoló, váltókapcsoló, keresztkapcsoló, aljzat, elosztó, EPH, vezeték-nyomvonal. A jelkulcs azért fontos, mert a jelek országonként és tervezőnként kissé eltérhetnek, és csak a jelkulcs ad egyértelmű azonosítást.

3. feladat (B) megoldása.
Szövegesen: betáplálás 230 V → Q1 C32 → FI1 30 mA → majd négy kismegszakító: Q2 B10 (világítás), Q3 B16 (aljzatok nappali), Q4 B16 (hűtő), Q5 B16 (mosógép). A FI1 után a megszakítók fáziscsatlakozásai párhuzamosan vannak a gyűjtősínen. Rajzban a 12.3.6 alszakasz egyvonalas rajzához hasonló, de a fogyasztói neveket külön sorok jelölik.

4. feladat (B) megoldása.
1:50 méretarány:

$$L_{\text{rajz, hossz}} = \frac{3{,}8\,\text{m}}{50} = 0{,}076\,\text{m} = 7{,}6\,\text{cm};$$

$$L_{\text{rajz, széles}} = \frac{2{,}9\,\text{m}}{50} = 0{,}058\,\text{m} = 5{,}8\,\text{cm}.$$

Ha a rajzon 6,4 cm-t mérek, a valós hossz:

$$L_{\text{valós}} = 6{,}4\,\text{cm} \times 50 = 320\,\text{cm} = 3{,}2\,\text{m}.$$

5. feladat (C) megoldása.
Hibák: a fürdőszobai áramkört nem védi 30 mA-es FI-relé. A helyes megoldás: 30 mA-es FI-relé beépítése az elosztóba, a fürdőszobai aljzatokat a FI alá kötni. Az EPH-t a szabvány feltételei szerint kell megítélni: a fő egyenpotenciálra hozás (fő EPH) meglétét mindenképp ellenőrizni kell; a kiegészítő EPH akkor lehet elhagyható, ha minden fürdőszobai áramkör 30 mA-es RCD-vel védett és a fő EPH kiépített, egyébként a fürdőszobában kiépítendő (fémszerkezetek, víz- és fűtésvezetékek EPH-bekötése; ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701 hatályos kiadás).

6. feladat (D) megoldása.
Problémák: a bojler B10-es világítási körön túlterhelhet; a konyha és a mosógép FI nélkül hibavédelmileg hiányos; a mosógép védővezetője hiányzik. Módosítás: a bojler külön B16-os áramkörre, a konyhai aljzatkör és a mosógép 30 mA-es FI alá, a mosógép PE vezetőjét bekötni a védővezető-gyűjtősínbe.

12.3.16. Rövid összefoglaló

Az épületvillamossági terv egy építész-alaprajzra illesztett villamos dokumentáció. A méretarány (1:50, 1:100) határozza meg a rajzi és a valós méretek közötti átszámítást: a valós hosszt a rajzi hossz és a méretarányszám szorzataként kapjuk. A tervjeleket az MSZ EN 60617 szabvány és a terv jelkulcsa adja meg; a lámpatest, kapcsoló, aljzat, elosztó és EPH-jelet mindig a jelkulcs alapján azonosítsd. A lakásvilágítási és aljzatterv a végáramköröket mutatja, a fővezetéki terv a mérőhelytől a lakáselosztóig tartó hálózatot. Az elosztó egyvonalas rajza az áramkör sorrendjét, a védelmi eszközöket (főmegszakító, FI-relé, kismegszakítók) és a fogyasztói köröket tünteti fel. **Továbbvitt eredmény.** Az itt megtanult egyvonalas rajzot használjuk a Kapcsolók és mágneskapcsolók rajzjelei, kapocsjelölések alfejezetben, amikor a jelölések részletesebb olvasására térünk át, valamint a Felmérés, tervértelmezés és szerelési technológia alfejezetben, ahol a terv alapján kivitelezünk. A rajzolvasásnál mindig ellenőrizd a jelkulcsot, a méretarányt és az áramkörök védelmét.

12.3.17. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ EN 60617 – villamos rajzjelek **(ellenőrizendő: aktuális kiadás és alkalmazott tervjelek)**
- MSZ HD 60364 sorozat – kisfeszültségű villamos berendezések dokumentációjára vonatkozó követelmények **(ellenőrizendő: vonatkozó rész)**
- A gyakorlati útmutatóban bemutatott elosztó-értékek (B10, B16, C32, 30 mA FI) példák, éles tervezésnél a hatályos szabvány és a gyártói adatlap szerint kell méretezni.

13 Villamosipari dokumentáció II – gépek és készülékek

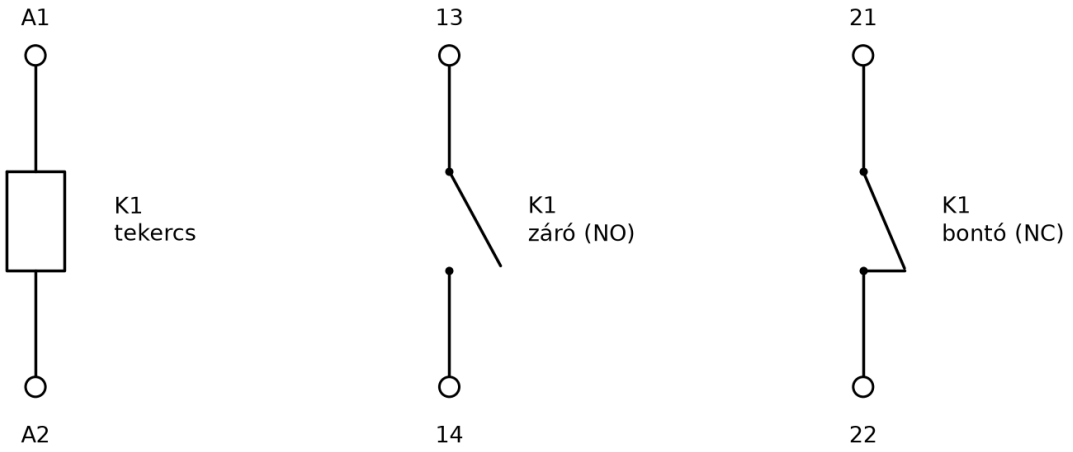
13.1. Kapcsolók és mágneskapcsolók rajzjelei, kapocsjelölések

13.1.1. Miért kell ezt tudnod a munkahelyen?

Amikor egy vezérlőszekrényt bekötünk vagy hibát keresünk benne, a kapcsolási rajzon a mágneskapcsolót nem egy „dobozként” látjuk, hanem szétválasztott rajzjelekkel: külön a tekercs, külön a főérintkezők, külön a segédérintkezők. A fizikai készüléken viszont egyetlen testben van minden. A kapocsjelölés a híd a rajz és a valóság között: ha tudod, hogy az **A1-A2** a tekercs, a **13-14** egy záródó segédérintkező, a **21-22** egy bontó segédérintkező, akkor nem kell „kipróbálgatnod” a bekötést – ami hálózati feszültségen életveszélyes is lehet. Ez a fejezet éppen ezt a kapocsjelölési rendszert tanítja meg, és bemutatja a kapcsolók, mágneskapcsolók, hőkioldók rajzjeleit.

13.1.2. Szemléletes kép: a mágneskapcsoló a kapcsolási rajzon

Egy mágneskapcsoló rajzjele nem egyetlen szimbólum, hanem több, kapocsjelöléssel ellátott elem. Az alábbi rajz a mágneskapcsoló tekercsét és két segédérintkezőjét mutatja.

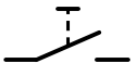
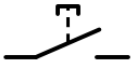
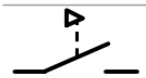
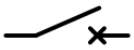


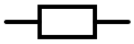
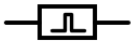
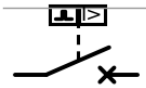
13.1. ábra. Mágneskapcsoló tekercse és segédérintkezői kapocsjelekkel - A K1 mágneskapcsoló tekercse (A1-A2), záródó segédérintkezője (13-14) és bontó segédérintkezője (21-22) alapállapotban, a kapocsszámokkal a rajzjel két végén. A főérintkezők (1-2, 3-4, 5-6) a kapcsolási rajzokon a főáramkörben, külön szerepelnek.

A rajzon jól látszik: a tekercs a kapcsoló működtető jele, a segédérintkező pedig a kapcsoló állapotát jelzi vagy vezérli. A főérintkezők (1-2, 3-4, 5-6) a motort vagy más fogyasztót kapcsolják, és a kapcsolási rajz más részén, a főáramkörben jelennek meg.

13.1.3. Definíciók és rajzjelek

13.1.3.1. Kézi kapcsolók

Rajzjel	Megnevezés	Jel	Kapocs
	Kézi kapcsoló, záró	S	13-14
	Kézi kapcsoló, bontó	S	21-22
	Záró nyomógomb (NO)	S	13-14
	Bontó nyomógomb (NC)	S	21-22
	Záró helyzetkapcsoló	S (B)	13-14
	Bontó helyzetkapcsoló	S (B)	21-22
	Szakaszoló (keresztvonal)	Q	1-2
	Terhelés-szakaszoló kapcsoló	Q	1-2
	Megszakító (× jel)	Q	1-2

Rajzjel	Megnevezés	Jel	Kapocs
	Mágneskapcsoló főérintkező (félkör)	K	1-2, 3-4, 5-6
	Segédérintkező, záró	K	13-14
	Segédérintkező, bontó	K	21-22
	Tekercs (téglalap)	K	A1-A2
	Hőkioldó fűtőeleme (főáram)	F	1-2, 3-4, 5-6
	Hőkioldó bontó érintkezője	F	95-96
	Hőkioldó záró érintkezője	F	97-98
	Motorvédő kapcsoló	Q	1-2, 3-4, 5-6

13.2. ábra. Kapcsolókészülékek rajzjelei a megkülönböztető jelekkel, betűjellel és tipikus kapocsszámmal

A jeltábla minden kapcsolókészüléket a saját rajzjelével mutatja. A **működtetés jele** szaggatott vonallal kapcsolódik a mozgó érintkezőhöz: rövid vízszintes vonal az általános kézi működtetés, lefelé hajló végű vonal a nyomógomb (nyomás), kis háromszög a helyzetkapcsoló mechanikus működtetése, lépcsős „horog” a hőhatás. A **kapcsolási funkció jele** a rögzített érintkezőn ül: keresztvonal a szakaszoló, keresztvonal és kis kör a terhelés-szakaszoló, × a megszakító, félkör a mágneskapcsoló főérintkezője (ellenőrizendő: MSZ EN 60617-7). A HTML-változat kvíz-módjában a nevek elrejthetők.

Definíció. A kézi kapcsoló olyan kapcsolókészülék, amelyet emberi erő működtet, és az érintkezők a működtetés megszűnése után az adott állapotban maradnak (például villanykapcsoló). A **nyomógomb** rugóval visszatérő, azaz a nyomás megszűnése után az érintkezők visszaállnak nyugalmi helyzetükbe. A nyomógomb lehet **záró (NO – normally open)**, amely nyugalmi helyzetben nyitott, megnyomva zárt; és **bontó (NC – normally closed)**, amely nyugalmi helyzetben zárt, megnyomva bont.

A rajzjelekben a kapcsoló érintkezőjét egy ferde vonal jelzi; a záró érintkező a nyugalmi helyzetben nem érintkezik, a bontó pedig érintkezik. A kapcsoló és a nyomógomb a működtetés jelében különbözik: a kézi kapcsolónál az általános kézi működtetés (rövid vonal), a nyomógombnál a nyomás jele (lefelé hajló végű vonal) kapcsolódik szaggatott vonallal a mozgó érintkezőhöz (lásd a jeltáblát).

13.1.3.2. Helyzetkapcsoló és szakaszoló

A **helyzetkapcsoló** olyan, gépi működtetésű kapcsoló, amely egy mozgó alkatrész (például ajtó, tolókar, gépasztal) helyzetét érzékeli. Rajzjelén a mechanikus működtető pálya látható, és a kapcsoló érintkezői gyakran ugyanazokkal a kapocsszámokkal jelöltek, mint a mágneskapcsoló segédérintkezői. A **szakaszoló** terhelésmentes (áram nélküli) állapotban működtethető kapcsolókészülék, amely nyitott helyzetben előírt szigetelési távolságot (leválasztást) biztosít. Terhelés alatt nem szabad nyitni; terhelés kapcsolására a terhelésszakaszoló vagy a megszakító való. Rajzjelén a rögzített érintkezőnél rövid keresztvonal jelöli a szakaszoló funkciót (ellenőrizendő: MSZ EN 60617). A szakaszoló nyitott helyzete a leválasztást biztosítja karbantartáskor, de ez az öt biztonsági szabály közül csak az első lépés: a visszakapcsolás elleni biztosítást, a feszültségmentesség ellenőrzését és a többi lépést ettől függetlenül el kell végezni.

13.1.3.3. Mágneskapcsoló rajzjele

Definíció. A mágneskapcsoló (contactor) olyan, elektromágneses működtetésű kapcsolókészülék, amely a tekercsére adott vezérlőfeszültség hatására behúz, és a főérintkezőivel nagyobb áramú fogyasztót (például motort) kapcsol. Amikor a tekercs feszültségét megszüntetjük, a rugó visszahúzza az érintkezőket.

A kapcsolási rajzon a mágneskapcsoló **tekercse**, **főérintkezői** és **segédérintkezői** külön-külön jelennek meg, de mindegyik rajzjelét a **K1, K2, ...** készülék-betűjel köti össze. A tekercs rajzjele téglalap, kivezetései az **A1** és **A2** kapocs. A főérintkezők nagy terhelhetőségű, motorok kapcsolására alkalmas érintkezők, rajzjelük hasonló a záró érintkezőhöz, de a kapocsjelölésük **1-2, 3-4, 5-6**. A segédérintkezők kisebb áramú vezérlési jelek számára: **13-14** a záródó (NO), **21-22** a bontó (NC) segédérintkező.

13.1.3.4. Termikus relé, motorvédő kapcsoló, kismegszakító rajzjele

A **termikus relé (hőkioldó)** a motor túlterhelését érzékeli. A főáramköri kapcsai a motor névleges áramát vezetik, a segédérintkezői pedig a vezérlést kapcsolják: a **95-96** bontó (NC) érintkező a mágneskapcsoló lekapcsolására szolgál (a túlterhelési kioldást a vezérlőkörben sorosan megszakítja), a **97-98** záró (NO) érintkező jelezhet. A termikus relé rajzjele tartalmazza a hőkioldó jelet (egy fűtőszálat ábrázoló szimbólum) és az érintkezőket.

A **motorvédő kapcsoló** egyesíti a túláramvédelmet (hőkioldó és zárlati kioldó) és a kapcsoló funkciót. Kapocsjelölése a mágneskapcsolóhoz hasonló: a főáramkör 1-2, 3-4, 5-6, a segédérintkezők 13-14, 21-22. A **kismegszakító (MCB)** a túláramvédelem kapcsolója; rajzjelén a kapcsoló és a hő/elektromágneses kioldó jelét együtt tüntetik fel. Készülék-betűjele **Q** (főáramkörben) vagy **F** (védelemként), kapcsai páratlan (1, 3, 5: bejövő) és páros (2, 4, 6: kimenő) számokkal jelöltek.

13.1.4. Szabványok és kapocsjelölési rendszer

Továbbvitt eredmény. Az itt bemutatott kapocsjelöléseket – **1-2, 3-4, 5-6, 13-14, 21-22, A1-A2, 95-96, 97-98** – használjuk a Motorok és transzformátorok rajzjelei, kapocstáblák alfejezetben a motor és transzformátor kapcsainak, valamint a Mágneskapcsolók és relék alfejezetben a mágneskapcsolók gyakorlati bekötésénél.

Szabvány. A kapcsolókészülékek rajzjeleit az **MSZ EN 60617** sorozat határozza meg; a kapocsjelölés és a készülékek általános követelményei az **MSZ EN 60947-1** és az **MSZ EN 60947-4-1** (mágneskapcsolók) szabványokban találhatók. A kapocsjelölés a készülék gyártójának dokumentációjában is szerepel, és a szabványos jelölés betartása szakmai elvárás; a szabványokra a jogszabályok hivatkozhatnak (ellenőrizendő: a hivatkozó jogszabály). A segédérintkezők számozását az MSZ EN 60947-1 melléklete és az EN 50005/EN 50012 adja, a csatlakozók és vezetők azonosítását az MSZ EN 60445 (ellenőrizendő: aktuális kiadás, honosítás). Az aktuális szabványkiadást mindig ellenőrizd: **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás, kapocsjelölési változások)**.

A kapocsjelölési rendszer logikája:

- **A1, A2** – a mágneskapcsoló tekercsének kivezetései. A vezérlőfeszültség (pl. 24 V DC, 230 V AC) ezekre kapcsolódik. Váltakozóáramú tekercsnél a polaritás közömbös, egyenáramnál a gyártói adatlap szerinti polaritást kell követni.
- **1, 2, 3, 4, 5, 6** – a főérintkezők. Az **1, 3, 5** a bejövő (táp), a **2, 4, 6** a kimenő (motor) oldal. A főérintkezők párokba rendeződnek: **1-2**, **3-4**, **5-6**. Háromfázisú motornál ez a három fázist kapcsolja.
- **Segédérintkezők számozása.** A kétjegyű kapocsszámban az első számjegy az érintkező sorszáma, a második a funkciója: …1–…2 bontó (NC), …3–…4 záró (NO), …5–…6 és …7–…8 különleges (például késleltetett vagy túlterhelés-relé) érintkező. Így a 13-14 az 1. záró, a 21-22 a 2. bontó, a 31-32 a 3. bontó, a 43-44 a 4. záró érintkező (ellenőrizendő: MSZ EN 60947-1, EN 50005). Egy egyszerű érintkezőnek nincs „közös” kapcsa: a két szám az érintkező két végét jelöli.
- **13, 14** – záródó (NO) segédérintkező az 1. sorszámmal. A készülék behúzott állapotában a 13 és 14 között záródik az áramkör. Öntartásra, visszajelzésre, reteszelésre használjuk.
- **21, 22** – bontó (NC) segédérintkező a 2. sorszámmal. Nyugalmi helyzetben zárt, behúzáskor nyit.
- **31-32, 33-34, 41-42, 43-44** – további segédérintkezők; az első számjegy a sorszám, a második pár adja a funkciót (…1-…2 bontó, …3-…4 záró), tehát pl. 33-34 záró, 41-42 bontó is létezik. A konkrét kiosztás a gyártói adatlap szerint változhat.
- **95, 96** – a termikus relé bontó (NC) érintkezője (a 9-es sorszám a túlterhelés-relé saját érintkezője, az 5-6 a bontó funkciójel). Ezt sorosan kötjük a mágneskapcsoló tekercsével, hogy túlterheléskor megszakítsa a vezérlést.
- **97, 98** – a termikus relé záró (NO) érintkezője (7-8 záró funkciójel). Túlterheléskor zár, jelzőlámpát vagy más áramkört kapcsolhat.

A készülékeken a kapocsjelölést gyakran a sorkapocs mellé nyomtatják, a kapocsdoboz fedelén vagy a beépített feliraton tüntetik fel. A rajzokon a kapocsjeleket a rajzjel mellett vagy a vezetékvég-jelölésben adják meg.

13.1.5. Kapocsjelölés azonosítása – lépéssor

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi, feszültségmentes környezetre vonatkozik, vagy jogosult oktató felügyeletére. Hálózati feszültségen önállóan ne végezz munkát. A munkavégzés

előtt mindig alkalmazd az öt biztonsági szabályt: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

1. **Feszültségmentesítsd az öt szabály szerint.** Kapcsold le a vezérlőszekrény betáplálását, biztosítsd visszakapcsolás ellen (lakat, figyelmeztető tábla), kétpólusú feszültségvizsgálóval ellenőrizd a feszültségmentességet (a vizsgálót előtte és utána ismert forráson próbáld ki; fázisceruza nem elég), ahol előírt, földelj és zárj rövidre, a szomszédos feszültség alatti részeket fedd le.
2. **Vedd elő a kapcsolási rajzot.** Azonosítsd a rajzon a mágneskapcsoló tekercsét (K1, A1-A2), a főérintkezőket (1-2, 3-4, 5-6) és a segédérintkezőket (13-14, 21-22).
3. **Keresd meg a fizikai mágneskapcsolót.** Nézd meg a készülék oldalán vagy a sorkapocstáblán a kapocsjelöléseket.
4. **Párosítsd a rajzbeli kapocsjeleket a fizikai kapcsokkal.** Kezdd a tekercs A1-A2 kapcsaival, majd a főérintkezőkkel, végül a segédérintkezőkkel.
5. **Kösd be a vezetékeket a rajz szerint.** A vezetékvégeket érvéghüvellyel készítsd elő, és a csavart a gyártó által megadott nyomatékkal húzd meg.
6. **Ellenőrizd a bekötést.** Többször hasonlítsd össze a kapocsjelöléseket a rajzzal. Különösen a NO és NC érintkezők felcserélésére figyelj.
7. **Dokumentáld az elvégzett munkát.** Rögzítsd a bekötés időpontját, az ellenőrzés módját és az esetleges eltéréseket.

13.1.6. Kidolgozott példák

13.1.6.1. 1. példa: Kapocsjelölés azonosítása

Adott: Egy K1 mágneskapcsoló, rajzán a következő kapcsok szerepelnek: **A1, A2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 13, 14, 21, 22**. **Kérdés:** Milyen funkciót látnak el az egyes kapcsok?

Megoldás: - **A1, A2** – tekercs (vezérlőfeszültség). - **1-2, 3-4, 5-6** – főérintkezők, a háromfázisú motor kapcsolására. - **13-14** – záródó (NO) segédérintkező, öntartásra. - **21-22** – bontó (NC) segédérintkező, például reteszelésre vagy jelzésre.

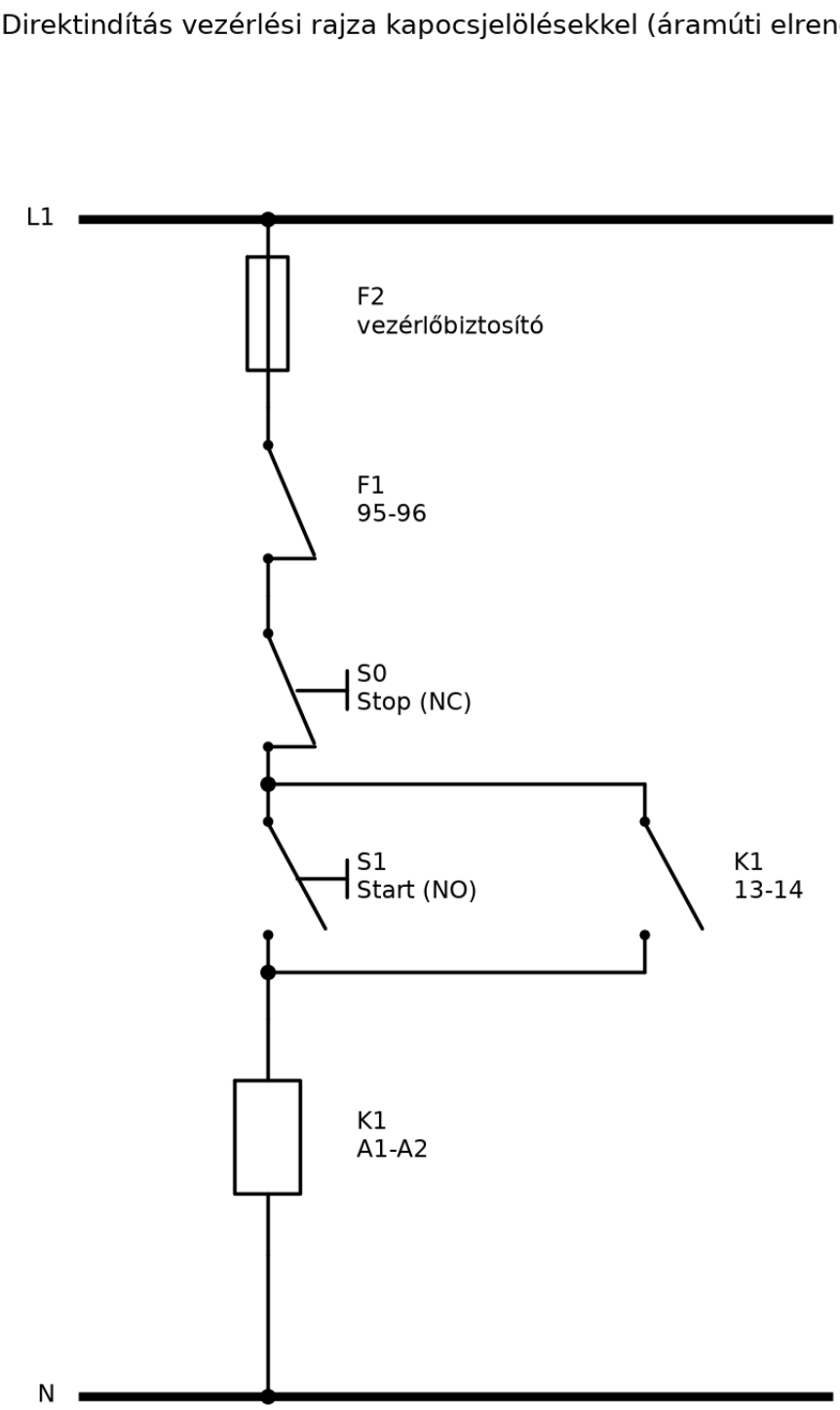
Ellenőrzés: A kapocsjelölés logikája alapján a párok száma és a kezdő számok (1, 3, 5; 13, 21) megerősítik a besorolást. A gyártói adatlap a kapocsjelölés pontos kiosztását tartalmazza.

13.1.6.2. 2. példa: Vezérlési rajz bekötése kapocsjelekkel

Adott: Egy motor direktindítás vezérlési rajza: S1 start nyomógomb (NO), S0 stop nyomógomb (NC), F1 hőkioldó NC érintkezője (95-96), K1 mágneskapcsoló tekercse (A1-A2), K1 öntartó NO segédérintkezője (13-14). A vezérlőfeszültség 230 V AC. **Kérdés:** Hogyan kössük be a vezérlőáramkört a kapocsjelölésekkel?

Megoldás: - A vezérlőfeszültség L1 fázisa (az F2 vezérlőbiztosító után) sorosan megy: F1 hőkioldó 95-96 (NC) → S0 stop (NC) → S1 start (NO) → K1 tekercs A1 → A2 → N nulla. (A soros elemek sorrendje a működést nem változtatja meg; a védelmi érintkező szokás szerint a kör elején áll.) - Az S1 start nyomógombbal párhuzamosan kötjük a K1 öntartó 13-14 érintkezőjét. Így a start megnyomásakor a K1 behúz, a 13-14 zár, és a start felengedése után is tartja a vezérlést. - A motor főáramkörét a K1 főérintkezői (1-2, 3-4, 5-6) kapcsolják.

Ellenőrzés: A kapcsolás áramúti rajza alább látható; a bekötésnél minden kapocsjelölést ellenőrzünk. A hőkioldó 95-96 bontó érintkezője túlterheléskor megszakítja a tekercs áramkörét, tehát a motor leáll.



13.3. ábra. Direktindítás vezérlési rajza kapocsjelölésekkel (áramúti elrendezés) - Felül az L1, alul az N gyűjtővezeték; az áramút felülről lefelé: F2 vezérlőbiztosító, F1 hőkioldó 95-96 (NC), S0 Stop (NC), S1 Start (NO) és vele párhuzamosan a K1 13-14 öntartó (NO), K1 tekercs A1-A2. A főáramkör a K1 főérintkezőivel (1-2, 3-4, 5-6) kapcsolja a motort (nincs rajzolva).

13.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy tanműhelyi gyakorlaton a tanuló egy direktindítású motorvezérlést épített. A vezérlőfeszültség bekapcsolásakor a mágneskapcsoló a start gomb megnyomása nélkül berregni kezdett, a motor nem indult tisztán. Feszültségmentesítés után kiderült, hogy az öntartó 13-14 érintkező helyett a 21-22 bontó érintkezőt kötötték a start gombbal párhuzamosan. A bontó érintkező nyugalmi helyzetben zárt, ezért a tekercs azonnal áramot kapott és behúzott; behúzáskor a 21-22 nyitott, a tekercs elengedett, az érintkező újra zárt – ez ismétlődött, a mágneskapcsoló rezgett (oszcillált). A hiba felismerését a kapocsjelölés ellenőrzése tette lehetővé: a 21-22 bontó érintkező nem lehet öntartó. A javítás után a vezérlés megfelelően működött.

Tanulság: A kapcsolási rajz és a kapocsjelölés pontos egyeztetése nélkülözhetetlen. A NO és NC érintkezők felcserélése a legtöbb vezérlési hibát okozza.

13.1.8. Tipikus hibák

1. **A tekercs és a segédérintkező kapcsainak összekeverése.** Az A1-A2 a tekercs, nem érintkező; a 13-14, 21-22 érintkezők pedig nem a vezérlőfeszültség közvetlen bemenetei. Ha a tekercsre érintkezőt, az érintkezőre tekercset kötünk, a kapcsolás nem működik, és a készülék károsodhat.
2. **A NO és NC érintkezők felcserélése.** Az öntartás csak záródó (NO) érintkezővel működik. Bontó (NC) érintkezővel a mágneskapcsoló a start megnyomása nélkül behúz, majd azonnal elenged, és ez ismétlődik (berregés). A tünet a start gombra nem reagáló, rángatózó meghúzás, a motor nem indul tisztán.
3. **A termikus relé 95-96 és 97-98 érintkezőinek felcserélése.** A 95-96 bontó érintkezőt sorosan kell kötni a vezérléssel; a 97-98 záró érintkezőt jelzésre. Ha a 97-98 záró érintkező kerül a tekercs körébe, a motor nem indítható; ha pedig a 95-96 kimarad vagy át van hidalva, túlterheléskor a vezérlés nem kapcsol le, ami motorégéshez vezethet.
4. **A kapocsjelölés ellenőrzésének elmulasztása.** A kapocsjelölések gyártónként kissé eltérhetnek, de a szabványos rendszer egységes. A bekötés előtt mindig a rajzot és a gyártói adatlapot kell összevetni.

13.1.9. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** Az A1-A2 kapcsok mindig a mágneskapcsoló főérintkezői. Indokold röviden.
2. Melyik kapocsjelölés jelöli a mágneskapcsoló záródó segédérintkezőjét? a) 21-22 b) 13-14 c) 95-96 d) A1-A2
3. Mi a 95-96 érintkező funkciója és hová kell kötni a motorvezérlésben?
4. Egy mágneskapcsoló főérintkezőinek kapocsjelölése 1-2, 3-4, 5-6. Melyik oldal a bejövő (táp)?
5. Rajzolj fel fejből egy mágneskapcsolót, amelynek van egy tekercse, egy főérintkezője és egy NO segédérintkezője. Add meg a kapocsjelöléseket.
6. **Tipikus hiba:** egy tanuló az öntartást a 21-22 érintkezővel köti (a start gombbal párhuzamosan). Mi történik a vezérlőfeszültség bekapcsolásakor?

13.1.10. Válaszok az önellenőrzéshez

1. Hamis. Az A1-A2 a tekercs kivezetése, nem a főérintkezők. A főérintkezők 1-2, 3-4, 5-6.
2. b) 13-14.

3. A 95-96 a termikus relé bontó (NC) érintkezője; a vezérlőkörben sorosan kell kötni a mágneskapcsoló tekercsével (szokás szerint a kör elején), így túlterheléskor megszakítja a tekercs áramát és a motor leáll. A hibajelzésre a 97-98 záró érintkező szolgál.
4. Az 1, 3, 5 a bejövő oldal, a 2, 4, 6 a kimenő.
5. A rajzon a tekercs A1-A2, a főérintkező 1-2, a NO segéd 13-14. (Szövegesen leírva: tekercs téglalap két kivezetéssel; főérintkező záró; segéd NO.)
6. A 21-22 bontó érintkező nyugalmi helyzetben zárt, ezért a tekercs a start megnyomása nélkül áramot kap és behúz; behúzáskor a 21-22 nyit, a tekercs elenged, az érintkező újra zár. A mágneskapcsoló berreg (oszcillál), a motor nem járhat folyamatosan.

13.1.11. Feladatok

13.1.11.1. 1. feladat (A)

Nevezd meg a mágneskapcsoló alábbi kapocsjelöléseit: **A1, A2, 1-2, 3-4, 5-6, 13-14, 21-22**.

13.1.11.2. 2. feladat (A)

Magyarázd meg, mi a különbség a záró (NO) és a bontó (NC) érintkező rajzjele és kapocsjelölése között.

13.1.11.3. 3. feladat (B)

Egy mágneskapcsoló kapocsjelölése: **A1-A2, 1-2, 3-4, 5-6, 13-14, 21-22**. Rajzold le a kapcsolási rajzot egy direktindítású motorhoz, ahol a vezérlésben az F1 hőkioldó 95-96 (NC) érintkezője, az S1 start (NO), S0 stop (NC), a K1 tekercs és az öntartó 13-14 érintkező szerepel.

13.1.11.4. 4. feladat (B)

A termelésben a hőkioldó 97-98 érintkezőjét jelzőlámpa működtetésére használják. Magyarázd meg, miért záródó (NO) érintkezőre van szükség, és mi történik túlterheléskor.

13.1.11.5. 5. feladat (C)

Egy vezérlőszekrényben a hőkioldó túlterhelés miatt kiold (a jelzőablak vagy kar kioldott állást mutat), de a 97-98 jelzőérintkezője nem zár. A mérések szerint az érintkező nem zár. Milyen okot keresnél először? Hogyan ellenőriznéd a hiba helyét?

13.1.11.6. 6. feladat (D)

Tanműhelyi panelen feszültségmentesen azonosítsd a K1 mágneskapcsoló kapcsait. Kösd be a vezérlőkört a 2. példa áramúti rajza szerint (F2 → F1 95-96 → S0 → S1, vele párhuzamosan K1 13-14 → K1 A1, A2 → N), a 21-22 érintkezőt pedig egy jelzőáramkörhöz. Az öt biztonsági szabályt alkalmazd, és dokumentáld a bekötést.

13.1.12. Megoldások

13.1.12.1. 1. feladat megoldása

- **A1, A2** – tekercs kivezetés.
- **1-2, 3-4, 5-6** – főérintkezők (bejövő oldal: 1, 3, 5; kimenő: 2, 4, 6).
- **13-14** – záródó (NO) segédérintkező.
- **21-22** – bontó (NC) segédérintkező.

13.1.12.2. 2. feladat megoldása

A záró (NO) érintkező nyugalmi helyzetben nyitott, működtetésre zár; kapocsjelölése a funkciót mutató második számjeggyel **...3-...4** (például 13-14). A bontó (NC) érintkező nyugalmi helyzetben zárt, működtetésre nyit; kapocsjelölése **...1-...2** (például 21-22). A rajzjelekben a záró érintkező nem érintkezik, a bontó érintkezik nyugalmi helyzetben.

13.1.12.3. 3. feladat megoldása

A vezérlési rajz: - Fázis (L1) → F1 hőkioldó 95-96 (NC) → S0 stop (NC) → S1 start (NO) → K1 tekercs (A1-A2) → nulla (N). - Az S1 start kapcsolóval párhuzamosan K1 öntartó 13-14. - A főáramkör: L1, L2, L3 → Q1 (zárlatvédelemre: F3 olvadóbiztosítók vagy zárlati kioldású motorvédő megszakító; ha a Q1 túlterhelés-védelmet is ad, az F1 hőkioldó elmaradhat, és a vezérlőkörbe a Q1 segédérintkezője kerül) → K1 főérintkezők (1-2, 3-4, 5-6) → F1 hőkioldó fűtőelemei (1-2, 3-4, 5-6) → motor U1, V1, W1; a motor háza PE-re kötve. - A vezérlőkör: L1 → F2 vezérlőbiztosító → F1 95-96 → S0 stop → S1 start ‖ K1 13-14 → K1 A1-A2 → N. A vezérlőkör rajza a 2. példa áramúti rajza.

13.1.12.4. 4. feladat megoldása

A 97-98 záró (NO) érintkező túlterheléskor zár, így a jelzőlámpa világít. Ha bontó érintkező lenne, a lámpa nyugalmi állapotban világítana, és túlterheléskor kialudna – ez nem megfelelő a hiba jelzésére.

13.1.12.5. 5. feladat megoldása

Először ellenőrizd, hogy a hőkioldó valóban kioldott állásban van-e (jelzőablak, kar), és nem csak a mágneskapcsoló engedett-e el más okból (S0, kézi lekapcsolás). Ha a készülék motorvédő kapcsoló, a zárlati (mágneses) kioldás egyes típusoknál más segédérintkezőt működtet – ezt a gyártói adatlap mutatja. Ezután az öt szabály szerint feszültségmentesített állapotban a hőkioldó TEST gombjával kioldva mérj folytonosságot a 97-98 között, majd RESET után ismét. Ha a próbakioldásnál nincs átmenet, az érintkező hibás, a készüléket cserélni kell; ha van, a jelzőkör vezetékét és a lámpát vizsgáld.

13.1.12.6. 6. feladat megoldása

A megoldás a gyakorlati útmutató lépéseit követi: először az öt szabály szerinti feszültségmentesítés, a kapocsazonosítás a gyártói adatlap és a rajz alapján. Bekötési tábla: L1 (F2 után) → F1 95 | F1 96 → S0 11 | S0 12 → S1 13 és K1 13 | S1 14 és K1 14 → K1 A1 | K1 A2 → N; jelzőkör: L1 (F2 után) → K1 21 | K1 22 → H1 → N. A H1 akkor világít, ha a K1 nincs behúzva (motor áll); behúzáskor kialszik. Feszültségmentes folytonossági próba: a K1 kézi benyomásakor a 13-14 zár, a 21-22 bont.

13.1.13. Rövid összefoglaló

A kapcsolók és mágneskapcsolók rajzjelei és kapocsjelölései nélkülözhetetlenek a vezérlési rajzok olvasásához és a fizikai bekötéshez. A mágneskapcsoló tekercse az **A1-A2**, főérintkezői az **1-2, 3-4, 5-6**, záródó segédérintkezője a **13-14**, bontó segédérintkezője a **21-22**. A termikus relé bontó érintkezője a **95-96**, záró érintkezője a **97-98**. A kézi kapcsolók, nyomógombok, helyzetkapcsolók és szakaszolók rajzjelei a készülék működését és kapcsolási helyét mutatják. A kapocsjelölés a rajz és a valóság közötti egyértelmű kapcsolat, amelyet a szabványos jelölésrendszer (MSZ EN 60617, MSZ EN 60947) határoz meg. A leggyakoribb szerelői hiba a NO és NC érintkezők felcserélése, ezért bekötés előtt mindig ellenőrizni kell a kapocsjelölést a rajz és a gyártói adatlap alapján. A továbbvitt eredmény: a kapocsjeleket a Motorok és transzformátorok rajzjelei, kapocstáblák és a Mágneskapcsolók és relék alfejezetekben használjuk a motor és mágneskapcsoló bekötésénél.

13.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ EN 60617 – Villamos rajzjelek és jelölések. **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**
- MSZ EN 60947-1 – Kisfeszültségű kapcsoló- és vezérlőkészülékek: általános követelmények, kapocsjelölés. **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**
- MSZ EN 60947-4-1 – Elektromechanikus mágneskapcsolók és motorindítók. **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**
- Gyártói adatlapok a kapocsjelölések pontos kiosztásához. **(ellenőrizendő: konkrét gyártó dokumentációja)**

13.2. Motorok és transzformátorok rajzjelei, kapocstáblák

13.2.1. Motiváció: miért a kapocstábla és a rajzjel az első állomás?

Amikor a műhelyben egy háromfázisú motor bekötésére készülsz, a gépen két „nyelv” beszél hozzád: a tervrajz rajzjele és a gép kapocstáblájának felirata. Ha ezeket félreolvasod, a motor rossz irányba foroghat, túlmelegedhet, vagy azonnal zárlatot okozhat. Ugyanez igaz a transzformátorokra is: a rajzon lévő kapcsolási jelölésből kell kiderülnie, hogyan van kialakítva a primer és a szekunder oldal, és mekkora fáziseltolódás van köztük. Ebben az alfejezetben a motorok és transzformátorok rajzjeleit, kapocsjelöléseit és a kapocstábla híd-kiosztását tanuljuk meg úgy, hogy a rajz, a valós gép és a mérés ugyanazt a képet adja.

13.2.2. Szemléletes helyzet: hat kapocs, két lehetséges híd

Képzelj el egy aszinkron motort, amelynek kapocstábláján hat csavaros kapocs van. A kapcsok mellett az alábbi jelölés látható:

- felső sor: **U1, V1, W1**
- alsó sor: **W2, U2, V2** (a fizikai elrendezés gyártónként eltérhet)

A kapocstáblán lévő hidak határozzák meg, hogy a három fázistekercs csillagba vagy deltába van-e kapcsolva. A motort névleges feszültségén kell járatni, ezért a helyes híd kiválasztása nem „erősebb vagy gyengébb” beállítás, hanem biztonsági kérdés. Ugyanez a logika jelenik meg a rajzokon: a motor, a transzformátor és a kapcsok eggyé válnak a kapcsolási rajzon.

13.2.3. Rajzjelek és kapocsjelölések

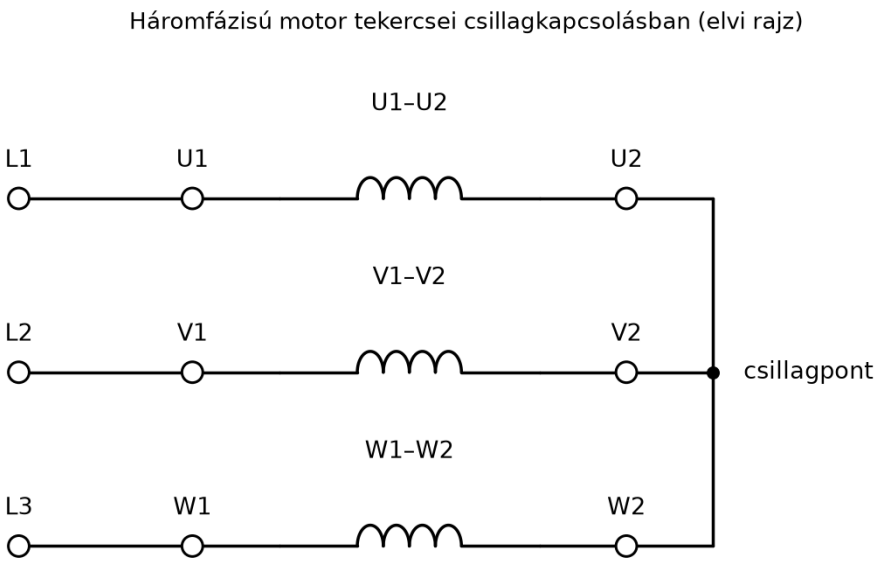
13.2.3.1. Motorok rajzjelei

A motorokat általában nem bontjuk ki tekercsenként a kapcsolási rajzon, hanem egyszerűsített jelképet használunk. A háromfázisú motor rajzjele kör, benne **M** és alatta **3~**, az egyfázisúé **M 1~**, az egyenáramúé **M** és egyenáram-jel **(ellenőrizendő: MSZ EN 60617)**. Az egyenáramú motor jelölésében gyakran a forgórészt és a gerjesztést is elkülönített rajzjelen látod **(ellenőrizendő: az aktuális MSZ EN 60617 jelképkészlet)**.

A kapcsolási rajzon a motornál feltüntetett **U1, V1, W1, U2, V2, W2** jelölések a tekercskezdeteket és tekercsvégeket jelentik. A kapocstáblán ugyanezeket a betűjeleket találod. Ez a **U1–V1–W1** jelölés a mai harmonizált jelölés szerint a három fázistekercs kezdetét, a **U2–V2–W2** pedig a három fázistekercs végét jelöli. A tekercskezdet és tekercsvég nem önkényes: azonos híd-kiosztásnál biztosítja, hogy a három tekercs mágneses tere 120°-os fáziseltolással összegződjön.

Régi terveken és gépeken a tekercskezdet **U, V, W**, a tekercsvég **X, Y, Z** (az U–X, V–Y, W–Z párok); egyes régi hazai gépeken más betűk is előfordulhatnak **(ellenőrizendő: régi MSZ-jelölés)**. A régi jelölést mindig csak úgy kezeld, mint egy „régi terven ezt láthatod” jelzést; a tekercspárokat ilyenkor is mérd ki, mert a régi kapocstáblák kiosztása gyártónként és korszakonként eltérhet **(ellenőrizendő: régi MSZ-jelölés aktuális megfeleltetése)**.

A motorok rajzjelénél a fázisbekötés iránya is lényeges: a kapcsolási rajzon a **L1, L2, L3** hálózati fázisok sorrendje adja meg a forgó mágneses mező irányát. Ha a kapocstáblán a hálózati fázisokat felcseréled, a háromfázisú motor forgásiránya megfordul.



13.4. ábra. Háromfázisú motor tekercsei csillagkapcsolásban (elvi rajz) - Az L1, L2, L3 fázis külön vezetéken az U1, V1, W1 tekercskezdetre csatlakozik; az U2, V2, W2 tekercsvégeket a jobb oldalon a csillagpont köti össze.

A fenti ábra **elvi kapcsolást** mutat: a hálózati fázisok a tekercskezdetekre, a tekercsvégek pedig közös csillagpontba csatlakoznak. A kapocstábla fizikai elrendezése ezektől eltérhet, de a kapocsjelölés és a hidak logikája ugyanez.

13.2.3.2. Csillag és delta kapocshidak a kapocstáblán

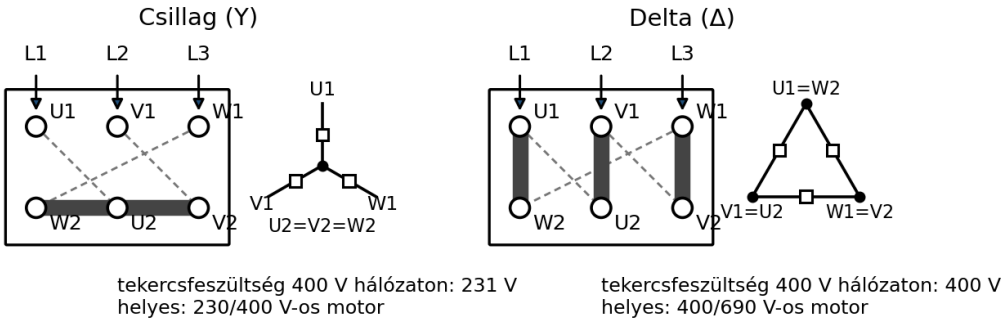
A kapocstáblán a három tekercspár hat kapoccsal jelenik meg: **U1–U2**, **V1–V2**, **W1–W2**. Az, hogy ezekből csillag vagy delta legyen, kizárólag a hidak elhelyezésén múlik.

Csillagkapcsolásban a három tekercsvéget (**U2, V2, W2**) egy közös pontba kötjük össze. A három fázist a tekercskezdetekre (**U1, V1, W1**) csatlakoztatjuk. A kapocstáblán ez általában egyetlen, három csavarkapcsot összekötő sínnel vagy két-három rövid híddal valósul meg.

Deltakapcsolásban a három tekercs zárt háromszöget alkot. A hídkapcsolat:

- **U1–W2**
- **V1–U2**
- **W1–V2**

Ezt a három hidat kell elhelyezni a kapocstáblán. A hálózati fázisok továbbra is a **U1, V1, W1** kapcsokra jönnek, de a delta hidak miatt minden tekercsre a teljes vonali feszültség jut.



13.5. ábra. A motor kapocstáblája csillag és delta hidakkal, mellette a tekercsek elvi kapcsolása

Az ábra a kapocstábla fizikai képét és a tekercsek elvi kapcsolását egymás mellett mutatja. A szokásos elrendezésben a felső sor U1, V1, W1, az alsó sor W2, U2, V2, így a tekercsvég mindig a következő tekercs kezdete alatt van. Csillagban az alsó sort két vízszintes híd közösíti (ez a csillagpont), deltában három függőleges híd (U1–W2, V1–U2, W1–V2) zárja a háromszöget (ellenőrizendő: MSZ EN 60034-8, gyártói kapocsdoboz-rajz). 400 V-os hálózaton csillagban $400/\sqrt{3} \approx 231\,\mathrm{V}$, deltában 400 V jut egy tekercsre. A HTML-változatban a hidak a kapcsolás és az adattábla választásakor átrendeződnek, és az oldal kiírja, hogy a választás helyes-e.

13.2.3.3. Feszültség-kiosztás és a helyes híd kiválasztása

A motor adattáblája gyakran kettős feszültségjelölést ad, például **230/400 V**, **400/690 V**, ritkábban **230/400 V Δ/Y** vagy **400/690 V Δ/Y**. Ez azt mondja meg, hogy a motor fázistekercse mekkora feszültségre készült, és melyik kapcsolás melyik hálózati feszültséghez illik.

A csillag és delta kapcsolásból korábban megismert összefüggés:

- csillagban $U_f = \frac{U_v}{\sqrt{3}}$
- deltában $U_f = U_v$

ahol U_f a fázistekercsre jutó feszültség, U_v a hálózat vonali feszültsége.

Ha egy motor adattáblája **230/400 V Δ/Y**, akkor a fázistekercse 230 V-os. Delta kapcsolásban a tekercsre a hálózat vonali feszültsége jut, ezért delta kapcsolás 230 V vonali feszültségű hálózathoz való. Csillagkapcsolásban a tekercsre $400/\sqrt{3} \approx 230\,\mathrm{V}$ jut, ezért csillag kapcsolás 400 V-os hálózathoz való.

Ha egy motor adattáblája **400/690 V Δ/Y**, akkor a fázistekercse 400 V-os. Delta kapcsolásban 400 V-os hálózathoz, csillagban 690 V-os hálózathoz kell kötni. Ezt a logikát mutatja a következő két számítási példa is.

13.2.4. Kidolgozott számítási példák

Példa 1. Adott: **230/400 V Δ/Y** motor, hálózati feszültség **400 V**. Keresett: milyen hidat kell a kapocstáblán kialakítani?

Adott: $U_v = 400\,\mathrm{V}$, a motor fázistekercse 230 V-os. Keresett: kapcsolási mód.

Számítás:

Csillagban a tekercsfeszültség:

$$U_f = \frac{U_v}{\sqrt{3}} = \frac{400}{1{,}732} \approx 231\,\mathrm{V}$$

Deltában a tekercsfeszültség:

$$U_f = U_v = 400\,\mathrm{V}$$

Mivel a motor tekercse 230 V-os, a csillagkapcsolás adja a helyes fázistekercs-feszültséget, a delta kapcsolás 400 V-ot adna, ami a tekercset túlterhelné. **Helyes megoldás: csillag híd.**

Ellenőrzés: csillagban a három tekercs fázisfeszültsége egyenlő a hálózat fázisfeszültségével, tehát a motor névleges feszültségén üzemel.

Példa 2. Adott: **400/690 V Δ/Y** motor, hálózati feszültség **400 V**. Keresett: helyes kapcsolás és a tekercsfeszültség.

Adott: $U_v = 400\,\mathrm{V}$, a motor fázistekercse 400 V-os. Keresett: U_f csillagban és deltában, valamint a helyes híd.

Számítás:

Csillagban:

$$U_f = \frac{400}{\sqrt{3}} \approx 231\,\mathrm{V}$$

Deltában:

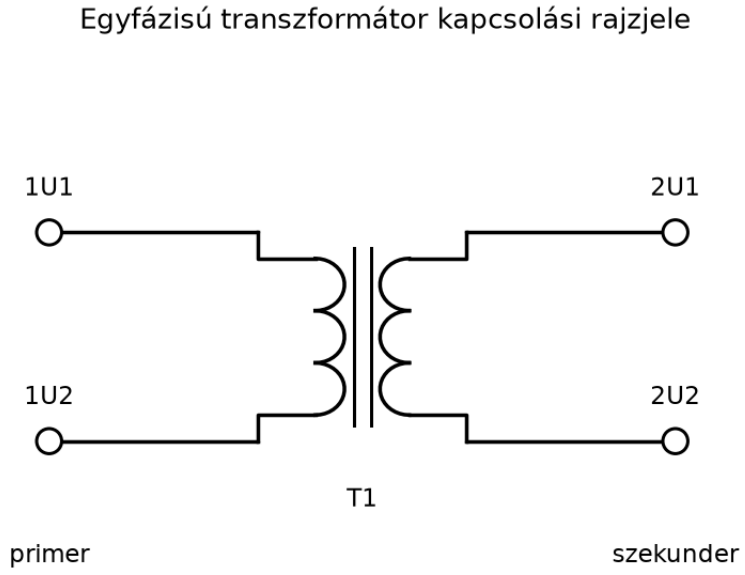
$$U_f = 400\,\mathrm{V}$$

A motor fázistekercse 400 V-os, így **delta híd** szükséges, mert abban a tekercsfeszültség 400 V. A csillagkapcsolás csak 231 V-ot adna, ami alulfeszültség, kisebb indítási nyomaték és nagy szlip, hosszabb távon melegedés forrása lenne.

Ellenőrzés: csillagban a tekercsfeszültség a névlegesnek csak $1/\sqrt{3}$-a, a nyomaték ($\propto U^2$) kb. harmadára esik, ezért névleges terhelésnél a motor lelassul, árama megnő, túlmelegszik; folyamatos névleges üzem csak deltában lehetséges.

13.2.5. Transzformátor rajzjelei és kapcsolási jelölése

A transzformátor rajzjele két, egymáshoz közel rajzolt tekercs, amelyek közös vasmagot jelölnek. A kapcsolási rajzon a primer oldal a bal, a szekunder oldal a jobb oldalon látható. A tekercsek mellett megjelenő kapocsjelölések a bekötést mutatják: például egyfázisú kistranszformátornál a primer **1U1**–**1U2**, a szekunder **2U1**–**2U2** lehet **(ellenőrizendő: MSZ EN 60076-1 szerinti aktuális kapocsjelölés)**, a régebbi rajzokon azonban más betűjelölés is előfordul.



13.6. ábra. Egyfázisú transzformátor kapcsolási rajzjele - A bal oldali primer tekercs az 1U1–1U2 kapcsokra, a jobb oldali szekunder a 2U1–2U2 kapcsokra van kivezetve. A két tekercs között nincs vezetékes összeköttetés: csak a közös vasmag mágneses tere csatolja őket.

A háromfázisú transzformátoroknál a rajzon gyakran nem elegendő a két tekercs, hanem a kapcsolási jelölést is értelmezni kell. A kapcsolási jelölés például **Dyn5**, **Yzn11**, **Dd0** lehet. Az első betű a **nagyfeszültségű** oldal kapcsolását, a második betű a **kisfeszültségű** oldal kapcsolását mutatja:

- **D** (nagyfeszültségű oldal delta), **d** (kisfeszültségű oldal delta)
- **Y** (nagyfeszültségű oldal csillag), **y** (kisfeszültségű oldal csillag)
- **Z** (nagyfeszültségű oldal cikcakk), **z** (kisfeszültségű oldal cikcakk)
- **N** vagy **n** a kivezetett nullavezetőt jelöli
- az utolsó szám az **óraszám**, amely megadja, hogy a kisfeszültségű oldal fázorfeszültsége hányszor 30°-kal késik a nagyfeszültségű oldaléhoz képest (Dyn5: 150° késés; Yzn11: 330° késés, azaz 30° sietés)

Példa 3. Adott: **Dyn5** kapcsolási jelölés. Értelmezd a jelölést.

Adott: Dyn5. Keresett: kapcsolások, nullavezető és fáziseltolódás.

Értelmezés:

- **D**: nagyfeszültségű (elosztótranszformátornál primer) oldal delta
- **y**: szekunder oldal csillag
- **n**: a szekunder oldalon kivezetett nullavezető
- **5**: az óraszám, tehát a fáziseltolódás $5 \cdot 30^\circ = 150^\circ$

A kapcsolási jelölésből tehát tudjuk, hogy a transzformátor nagyfeszültségű oldala deltába, a kisfeszültségű oldala csillagba van kapcsolva, és a kisfeszültségű oldalon elérhető a nullavezető. A fáziseltolódás iránya a definíció szerint késés (Dyn5: a kisfeszültségű oldal 150°-kal késik); a kapcsolási csoport ábrája ezt fázorábrán mutatja **(ellenőrizendő: MSZ EN 60076-1)**.

13.2.6. Szabványi háttér és a jelölések egységessége

Szabvány. A villamos gépek és transzformátorok rajzjeleit az **MSZ EN 60617** rajzjel-szabvány, a motorok kapocsjelöléseit és forgásirányát pedig az **MSZ EN 60034-8** (Forgó villamos gépek. Kapocsjelölések és forgásirány; ellenőrizendő: aktuális kiadás) szabályozza. A transzformátorok kapcsolási jelölése az **MSZ EN 60076-1** szerinti jelölésrendszerbe tartozik. Az aktuális kiadást és a gyártói adatlapot mindig ellenőrizni kell, mert a számozás és a jelölés változhat.

A szabványos jelölés célja, hogy a rajz, a kapocstábla és a mérési pont ugyanazt a kapcsot jelentse. Ezért a modern motoron a tekercskezdeteket **U1, V1, W1**, a tekercsvégeket **U2, V2, W2** jelölik. A régi jelölést már nem használjuk új tervekben, de a felújításoknál találkozhatsz vele.

13.2.7. Kapocstábla-azonosítási és bekötési recept

Lépéssor. A motor kapocstábla bekötésénél mindig ugyanabban a sorrendben járj el. A lépések célja, hogy a hidak, a feszültség és a fázissorrend egyszerre legyen helyes.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A bekötés előtt mindig tartsd be a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

1. Feszültségmentesítsd a motor leágazását az öt szabály szerint: kapcsold le, biztosítsd visszakapcsolás ellen (lakat, „Ne kapcsolj be!” tábla), kétpólusú feszültségvizsgálóval ellenőrizd a feszültségmentességet a kapocstáblán (L1–L2, L2–L3, L1–L3, Lx–PE; a vizsgálót előtte és utána ismert forráson próbáld ki), szükség szerint földelj és zárj rövidre, a szomszédos feszültség alatti részeket fedd le.
2. Olvasd le a motor adattábláját, és írd ki a feszültségjelölést (például **400/690 V Δ/Y**).
3. A kapocstáblán azonosítsd a kapocsjelöléseket: **U1, V1, W1, U2, V2, W2**.
4. Ha a jelölés hiányos vagy régi típusú, mérd ki a három tekercspárt folytonosság- vagy ellenállásméréssel, és jelöld meg azokat saját jelölővel.
5. Döntsd el a hidat az adattábla és a hálózati feszültség alapján:
   - csillag híd: **U2–V2–W2** egyesítése
   - delta híd: **U1–W2**, **V1–U2**, **W1–V2**
6. Helyezd el a gyártó által előírt hidakat, és húzd meg a csavarokat az előírt nyomatékkal.
7. Ellenőrizd a bekötést a kapcsolási rajz alapján: a hálózati fázisok **L1, L2, L3** a **U1, V1, W1** kapcsokra kerüljenek.
8. Ellenőrizd a fázissorrendet és a forgásirányt próbaindításnál, mielőtt a hajtást terhelésre kapcsolod.
9. Dokumentáld a bekötést és a kapocstábla végleges állapotát.

13.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy üzemben a karbantartó kapott egy régi, lemosott jelölésű motort. Az adattábla hiányos volt, a kapocstáblán a régi jelölések egy része olvashatatlan. A szerelő a kapocstáblán lévő hidakat nem ellenőrizte, hanem a megszokott delta hidat tette fel, a tekercsfeszültséget pedig nem állapította meg. Indításkor a gép erősen zúgott, és a motorvédő kapcsoló késleltetve leoldott. A hiba az volt, hogy a tekercspárokat nem azonosították: az egyik fázistekercs saját magára lett hidalva, a másik kettő pedig csak két fázis közé került, így a motor egyfázisú táplálást kapott. A javítás után a tekercspárokat multiméterrel kimérték, a motor típusából és a gyártói adatból megállapították a tekercsfeszültséget (400/690 V), ezért 400 V-os hálózaton a delta kapcsolás volt a helyes, és a hidakat ennek megfelelően, a szabványos kapocstábla-elrendezés szerint helyezték el (ha a tekercsfeszültség nem állapítható meg, a motor nem köthető be). A motor névleges árammal, megfelelő forgásiránnyal indult. A tanulság: a kapocstábla jelölése nélkül nem szabad hidat szerelni.

13.2.9. Tipikus hibák

1. hiba: 230/400 V-os motort 400 V-os hálózaton deltába kötnek. A delta kapcsolásban a tekercsre 400 V jut, miközben a tekercs 230 V-os. A motor túlmelegszik, a szigetelés károsodik. **Helyes:** csillag híd.

2. hiba: 400/690 V-os motort 400 V-os hálózaton csillagba kötnek. A csillag híddal a tekercsre csak 231 V jut, a motor nem ad le névleges nyomatékot, terhelés alatt melegszik. **Helyes:** delta híd.

3. hiba: A delta hidak sorrendjét összekeverik, például U1–U2, V1–V2, W1–W2 hidakat tesznek fel. Ezek a hidak minden tekercs két végét önmagával kötik össze: a tekercsekre nem jut feszültség, a hálózatból nem folyik áram. A motor bekapcsoláskor néma, nem zúg, a védelem sem old le – a hiba éppen ezért alattomos. **Helyes:** mindig a tekercskezdet–másik tekercsvég párokat kösd össze: **U1–W2**, **V1–U2**, **W1–V2**.

4. hiba: A transzformátor kapcsolási jelölésben az óraszámot figyelmen kívül hagyja a szerelő. A **Dyn5** nem ugyanaz, mint a **Dyn0** vagy **Yyn0**. A fáziseltolódás eltérő, ezért párhuzamos üzemnél a hibás kapcsolási csoport zárlatot okozhat. **Helyes:** a kapcsolási csoportot mindig a gyártói adatlap szerint kell ellenőrizni.

13.2.10. Önellenőrzés

1. kérdés. Igaz-e, hogy a motor kapocstábláján a **U2, V2, W2** jelölések a tekercskezdeteket jelölik? Indokold.

2. kérdés. Egy motor adattáblája **400/690 V Δ/Y**. Milyen hidat kell választani 400 V-os hálózaton? Miért?

3. kérdés. Rajzolvasás: A kapocstábla-ábrán csillag híd látható. Hogyan alakítanád át a hidakat delta kapcsolásra?

4. kérdés. Mit jelent a **Dyn5** kapcsolási jelölésben az **n** és az **5**?

5. kérdés. Miért veszélyes a **230/400 V Δ/Y** motort deltában 400 V-os hálózatra kötni?

6. kérdés. Milyen méréssel ellenőrizheted, hogy a kapocstábla jelölése nélkül mely kapcsok tartoznak ugyanahhoz a tekercshez?

13.2.11. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a motor kapocstáblán a tekercskezdet és tekercsvég jelöléseket, és írd le a régi jelölés jellemzőit.

2. feladat (A). Írd le a delta kapocshidak pontos kapcsolatait.

3. feladat (B). Egy motor adattáblája: **400/690 V, Δ/Y**. A rendelkezésre álló hálózat **400 V** vonali feszültségű. Számítsd ki a fázistekercsre jutó feszültséget csillag és delta kapcsolásban, és add meg a helyes hidat.

4. feladat (B). Egy transzformátor kapcsolási jelölése **Yzn11**. Értelmezd a jelölést, és add meg a fáziseltolódást fokban.

5. feladat (C). A fenti csillag kapocstábla ábrája alapján mondd el, hogyan kell a hidakat átalakítani delta kapcsolásra. Sorold fel, mely kapcsok közt lesznek hidak.

6. feladat (D). Hibakereső feladat: Egy motor kapocstábláján a hidak **U1–U2**, **V1–V2**, **W1–W2** állásban vannak. A motor nem indul, nem is zúg, a védelem nem old le. Mi a hiba valószínű oka, hogyan mérnéd meg a tekercspárokat, és hogyan javítanád a bekötést?

13.2.12. Megoldások

13.2.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. válasz. Hamis. A **U1, V1, W1** a tekercskezdet, a **U2, V2, W2** a tekercsvég. A jelölés a harmonizált motor-kapocsjelölés szerint alakul **(ellenőrizendő: MSZ EN 60034-8)**.

2. válasz. 400 V-os hálózaton **delta** hidat kell választani, mert a **400/690 V Δ/Y** motor fázistekercse 400 V-os, és deltában $U_f = U_v = 400\,\mathrm{V}$. Csillagban csak $400/\sqrt{3} \approx 231\,\mathrm{V}$ jutna a tekercsre.

3. válasz. A csillag hidat meg kell szüntetni (U2–V2–W2 közös pont), majd három hidat kell készíteni: **U1–W2**, **V1–U2**, **W1–V2**.

4. válasz. Az **n** azt jelenti, hogy a kisfeszültségű oldalon kivezetett nullavezető van; az **5** azt jelenti, hogy a fáziseltolódás $5 \cdot 30^\circ = 150^\circ$.

5. válasz. A **230/400 V Δ/Y** motor fázistekercse 230 V-os. Deltában $U_f = 400\,\mathrm{V}$, ami a tekercset túlfeszültséggel terheli, telítést, nagy áramot és túlmelegedést okoz. Csillagban $U_f = 400/\sqrt{3} \approx 230\,\mathrm{V}$ lenne a helyes.

6. válasz. Folytonosságméréssel (kis ellenállású tekercspáronként) vagy ellenállásméréssel azonosíthatod, mely kapcsok tartoznak ugyanahhoz a fázistekercshez. A három tekercspár ellenállása közel azonos kell legyen.

13.2.12.2. Feladatok megoldása

1. feladat megoldása. A mai jelölés szerint a tekercskezdetek **U1, V1, W1**, a tekercsvégek **U2, V2, W2**. A régi hazai rajzokon és gépeken a mai **U1, V1, W1** helyett a régi **U, V, W / X, Y, Z** (tekercskezdet / tekercsvég) jelölés jelenhet meg **(ellenőrizendő: régi MSZ-jelölés)**. A régi jelölés nem mindig azonos sorrendet jelöl, ezért a tekercspárokat mindig ki kell mérni. **(ellenőrizendő: régi MSZ-jelölés pontos megfeleltetése)**.

2. feladat megoldása. Delta kapocshidak:

- **U1 – W2**
- **V1 – U2**
- **W1 – V2**

(A szabványos kapocstáblán – MSZ EN 60034-8 – a tekercsvégek eltolva állnak: U1 alatt W2, V1 alatt U2, W1 alatt V2, ezért a delta hídjai függőlegesek. Más párosítás, például U1–V2, villamosan szintén deltát adhat, de egyenes híddal nem valósítható meg, és a könyv nem használja.) A hálózati fázisok így a **U1, V1, W1** kapcsokra csatlakoznak, és minden tekercsre a teljes vonali feszültség jut.

3. feladat megoldása.

Adott: $U_v = 400\,\mathrm{V}$, motor fázistekercs = 400 V, jelölés 400/690 V Δ/Y.

Csillag fázisfeszültség:

$$U_f = \frac{400}{\sqrt{3}} \approx 231\,\mathrm{V}$$

Delta fázisfeszültség:

$$U_f = 400\,\mathrm{V}$$

Mivel a motor fázistekercse 400 V-os, a **delta híd** a helyes. A delta hidak: **U1–W2, V1–U2, W1–V2**.

Ellenőrzés: csillagban 231 V, ami alacsony lenne; a motor nyomatéka a feszültség négyzetével arányos, ezért a csillag üzem nyomatéka is csökkenne.

4. feladat megoldása. A **Yzn11** jelölés:

- **Y**: nagyfeszültségű oldal csillag
- **z**: kisfeszültségű oldal cikcakk
- **n**: kisfeszültségű oldalon kivezetett nullavezető
- **11**: óraszám, tehát $11 \cdot 30^\circ = 330^\circ$ fáziseltolódás

Ellenőrzés: a 11 óraszám azt jelenti, hogy a kisfeszültségű oldal fázorfeszültsége a nagyfeszültségűhöz képest 11 óra irányába mutat, azaz a kisfeszültségű oldal 330°-kal késik (ez egyenértékű 30° sietéssel) **(kvantitatív jelentését a kapcsolási csoport ábrája rögzíti, ellenőrizendő: MSZ EN 60076-1)**.

5. feladat megoldása. A csillag ábrán a **U2, V2, W2** kapcsok közötti hidat el kell távolítani. Ezután három hidat kell elhelyezni:

- **U1–W2**
- **V1–U2**
- **W1–V2**

A hálózati fázisok bekötése változatlan marad: **L1–U1**, **L2–V1**, **L3–W1**.

6. feladat megoldása. A **U1–U2, V1–V2, W1–W2** hidak a tekercsek két végét önmagukkal kötik össze. Minden tekercs két vége össze van kötve, a fázisok között nincs áramút, ezért egyik tekercsre sem jut feszültség; áram nem folyik, a védelemnek nincs mire kioldania.

Mérés: az öt biztonsági szabály szerinti feszültségmentesítés után (lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, szükség szerint földelés és rövidre zárás, a

szomszédos feszültség alatti részek lefedése) vedd le a hidakat és a hálózati vezetékeket a kapocstábláról, mert a hidak 0 Ω-ot mutatnának, a hálózat felőli ágak pedig összekötnék a tekercseket. Ezután multiméterrel ellenállást vagy folytonosságot mérj kapocspáronként. Az azonos tekercshez tartozó párok **U1–U2**, **V1–V2**, **W1–W2** kell legyenek, de hidaknak soha nem ezeket a párokat kötjük össze.

Javítás: a hibás hidakat eltávolítjuk, és a megfelelő delta hidakat helyezzük fel: **U1–W2**, **V1–U2**, **W1–V2**. Megelőzés: a bekötési recept szerint dolgozzunk, és indítás előtt mindig ellenőrizzük a hidat, a fázissorrendet és a feszültségmentes állapotot.

13.2.13. Rövid összefoglaló

A motorok rajzjeleit és kapocstábláját egységes jelölésrendszer kapcsolja össze. A háromfázisú motor tekercskezdetei a **U1, V1, W1**, tekercsvégei a **U2, V2, W2** jelölést kapják; a régi gépeken az **U–X, V–Y, W–Z** jelölés is előfordulhat, amit mindig méréssel kell ellenőrizni. Csillagkapcsolásban a **U2–V2–W2** kapcsokat közösítjük, deltában a **U1–W2**, **V1–U2**, **W1–V2** hidakat helyezzük el. A motor adattáblájának kettős feszültségjelölése (például 400/690 V Δ/Y) megmutatja, hogy a fázistekercse milyen feszültségre készült. Csillagban $U_f = U_v/\sqrt{3}$, deltában $U_f = U_v$. A transzformátor rajzjele két közös vasmagú tekercs, kapcsolási jelölése a nagy- és kisfeszültségű oldal kapcsolását (D, Y, Z stb.), a nullavezetőt (n), és az óraszámot adja meg, ahol minden óra 30° fáziseltolódást jelent. **Továbbvitt eredmény.** A kapocstábla hidak és jelölések azonosítását használjuk a Vezérlési rajzok olvasása és rajzolása és a Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány alfejezetekben.

13.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

A levezetések és a motor kapcsolási logikája stabil elektrotechnikai ismeret. A kapocsjelöléseket az **MSZ EN 60034-8**, a rajzjeleket az **MSZ EN 60617**, a transzformátorok kapcsolási jelölését az **MSZ EN 60076-1** tartalmazza; az aktuális kiadásokat és a gyártói adatlapokat a felhasználás előtt ellenőrizni kell. A régi **U, V, W / X, Y, Z** jelölés és az egyes régi hazai gépek eltérő betűinek megfeleltetését szintén az aktuális, illetve korabeli szabványok és a gépek dokumentációja szerint kell ellenőrizni (ellenőrizendő).

13.3. Vezérlési rajzok olvasása és rajzolása

13.3.1. Motiváció

Egy ipari üzem hibaelhárításakor a szerelő gyakran csak a kapcsolási rajz alapján tudja megkeresni, miért nem indul egy motor. A rajzon a teljesítményt szállító főáramkör és a logikát adó vezérlőáramkör két külön világban él: a vastag vezetékes főáramkör a motort táplálja, a vékony szálú vezérlőáramkör pedig a mágneskapcsoló tekercsét kapcsolgatja. Ebben az alfejezetben a motorvezérlések rajzainak olvasását és rajzolását tanuljuk meg, a legegyszerűbb direktindítástól a forgásirányváltás és a csillag–delta indítás alaprajzáig.

Biztonsági korlát. A fejezetben szereplő kapcsolások betanítása tanműhelyi, törpefeszültségű környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

13.3.2. Főáramkör és vezérlőáramkör szétválasztása, sorszámozás

A motorvezérlési rajz két jól elkülöníthető részből áll, és ez a szétválasztás a rajzolvasás első állomása.

Definíció. A **főáramkör** az az áramkörrész, amely a fogyasztó (motor, fűtőbetét, transzformátor) energiáját szállítja. Ide tartoznak a megszakítók, mágneskapcsoló főérintkezők, hőkioldók és a motor kapocslécéhez menő vezetékek. A **vezérlőáramkör** az az áramkörrész, amely a mágneskapcsoló tekercsét, reléket, nyomógombokat, jelzőlámpákat, időreléket és a reteszeléseket tartalmazza; feladata a főáramkör kapcsolása egy biztonságos logikai sorrend szerint.

A vezérlőkört gyakran vezérléstranszformátorról, a főáramkörtől leválasztva tápláljuk (például 24 V, 110 V vagy 230 V). Ennek oka: a vezérlőkör földzárlata ne okozhasson önműködő indulást vagy a leállítás elmaradását, és kisebb feszültségnél kisebb az áramütés kockázata; törpefeszültség (például 24 V) esetén a kezelőszervek érintése is kisebb veszéllyel jár. A vezérlőkört külön túláramvédelem (F2) védi (ellenőrizendő: MSZ EN 60204-1).

Szabvány. A rajzjeleket az MSZ EN 60617 sorozat, a gépek villamos berendezéseire vonatkozó követelményeket pedig az MSZ EN 60204-1 tartalmazza (ellenőrizendő: aktuális kiadás). Mindkét területen az európai CENELEC/IEC jelölésrendszer érvényes.

A rajzokon minden készülék kap egy **betűjelet** és egy **sorszámot**. A betűjel a készülék típusát adja meg (Q = megszakító, F = hőkioldó vagy biztosító, K = mágneskapcsoló vagy relé, S = kapcsoló/nyomógomb, H = jelzőlámpa, M = motor). A sorszám a készülék egyedi azonosítója: Q1, K1, K2, F1, S1, S2 stb. Egy készülék több érintkezővel rendelkezhet, ezeket a betűjel és a kapocsjelölés együtt azonosítja: például K1 a mágneskapcsoló, a K1 13–14 a segéd NO érintkezője, a K1 A1–A2 a tekercs.

A vezetékek sorszámozása a vezérlőáramkörben jellemzően 1, 2, 3… a rajzolvasás megkönnyítésére; a főáramkörben L1, L2, L3, N, PE jelölik a hálózati csatlakozást. A kapocsjelöléseknél a tekercs A1/A2, a segédérintkezők 13/14 (NO) és 21/22 (NC), a hőkioldó érintkezője 95/96 (NC) és 97/98 (NO). A régi, MSZ szerinti jelöléseket a régi terveknél találhatjuk; a mai gyakorlatban az IEC szerinti jelölés a mérvadó.

13.3.3. Indítás–leállítás önfenntartással, jelzőlámpák

A legtöbb motorvezérlés alapja a direktindítású kapcsolás önfenntartással. Az önfenntartás azt jelenti, hogy a start nyomógomb elengedése után is behúzva marad a mágneskapcsoló, amíg egy leállító gomb vagy egy védelmi érintkező meg nem szakítja a kört.

A vezérlőáramkör elemei: - **F1** hőkioldó NC érintkezője (95–96): túlterheléskor kinyit, - **S0** leállító nyomógomb (NC): alaphelyzetben zárt, megnyomásra szakad a kör, - **S1** indító nyomógomb (NO): alaphelyzetben nyitott, megnyomásra zár, - **K1** az önfenntartó segédérintkező (13–14): párhuzamosan kötve az S1-gyel, - **K1** mágneskapcsoló tekercse (A1–A2), - **H1** üzemjelző lámpa: egy K1 segédérintkezővel sorban, párhuzamosan a tekercs körrel.

A működés röviden: az S1 megnyomásakor a tekercs feszültséget kap, a mágneskapcsoló behúz, a főérintkezők záródnak, és a K1 13–14 segédérintkező is zár. Az S1 elengedése után az áram a párhuzamos segédérintkezőn keresztül folyik tovább, így a tekercs behúzva marad. Az S0 megnyomásával a kör megszakad, a mágneskapcsoló elenged. Túlterhelésnél az F1 hőkioldó kinyit, és a vezérlőáramkör ugyanúgy megszakad.

A jelzőlámpa H1 a K1 segédérintkezőjével sorban, a tekercs körrel párhuzamosan van bekötve: amikor a mágneskapcsoló behúzott, a lámpa világít, jelezve az üzemet. Gyakran egy második lámpa (H2) a készenlétet mutatja: az F1 95–96 után a K1 21–22 bontó segédérintkezőjén át

kapja a táplálást, így akkor világít, ha a vezérlés feszültség alatt van, a hőkioldó nem oldott ki és a K1 nincs behúzva; a K1 behúzásakor kialszik. (A jelzőlámpák színét az MSZ EN 60204-1 rendeli a jelentéshez, ellenőrizendő: aktuális kiadás.)

13.3.4. Forgásirányváltás rajza

A forgásirányváltáshoz a motor tápláló fázisainak sorrendjét kell felcserélni. Ezt két mágneskapcsolóval oldják meg: - **K1** – előre forgási irány, - **K2** – hátra forgási irány.

A főáramkörben a K1 főérintkezői a motorra közvetlenül csatlakoznak L1–L2–L3 sorrendben, a K2 főérintkezői pedig a motorra úgy vannak kötve, hogy két fázist (például L1 és L3) fölcserélnek. A két mágneskapcsoló egyszerre soha nem húzhat be, mert akkor a felcserélt két fázis (itt L1 és L3) között a mágneskapcsolók főérintkezőin át zárlat (vonalak közötti, kétfázisú zárlat) keletkezne. Ezt a vezérlőáramkörben **elektromos reteszeléssel** akadályozzák meg.

Szabály. A reverzáló vezérlésben mindkét mágneskapcsoló tekercsének áramkörébe be kell iktatni a másik mágneskapcsoló egy NC segédérintkezőjét. Például a K2 tekercs körébe K1 NC érintkezője kerül, és a K1 tekercs körébe K2 NC érintkezője. Ezáltal ha K1 behúzott, a K2 tekercse nem kaphat feszültséget, és fordítva. Ezt a reteszelést gyakran kiegészíti a nyomógombos reteszelés (a start gombok kettős működésűek, a másik irány NC érintkezőjét is működtetik), valamint a mechanikus reteszelés a mágneskapcsolókon.

A rajzon a K1 és K2 tekercsek külön sorokban találhatók. A start gombok (S1 előre, S2 hátra) NO érintkezők, a stop S0 NC, a hőkioldó F1 NC mindkét sor elején közös. Az önfenntartó érintkező mindkét irányhoz külön tartozik (K1 13–14 és K2 13–14), és az ellenirányú NC érintkező a másik tekercs sorában található. A rajzolvasás során ez a kereszthivatkozás az egyik legfontosabb ellenőrzési pont.

13.3.5. Csillag–delta indítás rajza

Nagyobb teljesítményű motorok közvetlen indítása nagy áramlökést okoz. A csillag–delta (Y–Δ) indítás lényege, hogy a motort először csillag kapcsolásban indítják, így a tekercsekre csak a vonali feszültség $1/\sqrt{3}$-szorosa jut, és az indítási áram harmadára csökken. A motor felgyorsulása után időrelé átvált delta kapcsolásra, amelyben a teljes vonali feszültséget kapja.

A kapcsoláshoz három mágneskapcsoló kell: - **K1** – hálózati mágneskapcsoló: a hálózatot a motor kapcsaira köti, - **K2** – delta mágneskapcsoló: a motor tekercseit delta kapcsolásba köti, - **K3** – csillag mágneskapcsoló: a motor tekercseinek csillagpontját rövidre zárja.

A vezérlés sorrendje: indításkor K1 és K3 behúz, a motor csillagban indul; az időrelé lejárta után K3 elenged, majd K2 behúz, és a motor delta kapcsolásban működik tovább. A K2 és K3 egymással reteszelve vannak, mert együttes behúzásuk zárlatot okozna. Az időrelé késleltetett átváltását a vezérlőáramkörben egy időrelé (K4) és annak érintkezői vezérlik.

13.3.6. Rajzolvasási módszer: jelútkövetés, hiba a rajzban

A vezérlési rajzok olvasása tanulható, lépésről lépésre haladó módszerrel. A következő **lépéssor** a rajzolvasás általános sémáját adja:

Lépéssor: vezérlési rajz olvasásának lépései

1. Olvasd el a rajz címét, a rajzszámot és a készülékjegyzéket; azonosítsd a rajz típusát (főáramkör, vezérlőáramkör, kapcsolási rajz, huzalozási rajz).

2. Válaszd szét a főáramkört és a vezérlőáramkört; keressük meg a feszültségforrásokat (L1, L2, L3, N, PE; vagy a vezérléstranszformátor kimenete).
3. A főáramkörben azonosítsd a fogyasztót, majd haladj a forrástól a fogyasztóig: milyen megszakító, mágneskapcsoló főérintkező, hőkioldó van sorban.
4. A vezérlőáramkörben keresd meg a tekercseket (K1, K2, K3…). Minden tekercshez keress egy áramkört a feszültségforrástól a visszavezetésig.
5. Kövesd a **jelutat**: az áramkör táppontjából (L1 vagy a vezérléstranszformátor kimenete) indulva haladj végig az érintkezőkön, és írd fel, milyen feltételek mellett kap áramot a tekercs.
6. Ellenőrizd a sorrendet: a védelmi érintkezők (hőkioldó, vészleállító) mindig a kör elején, a start gombok és önfenntartó érintkezők ezután, a tekercs a végén legyen.
7. Nézd meg az önfenntartó érintkezőt: párhuzamosan van-e a start gombbal, és a leállító gomb NC, az indító NO típusú-e.
8. Ellenőrizd a reteszeléseket: reverzálásnál a két tekercs kölcsönösen NC érintkezőkkel reteszelt-e; Y–Δ indításnál a K2 és K3 egymással reteszelt-e.
9. Keresd meg a rajzhibákat: hiányzó reteszelés, rossz kapocs, rövidzár, önfenntartás hiánya, hibás érintkezőtípus.

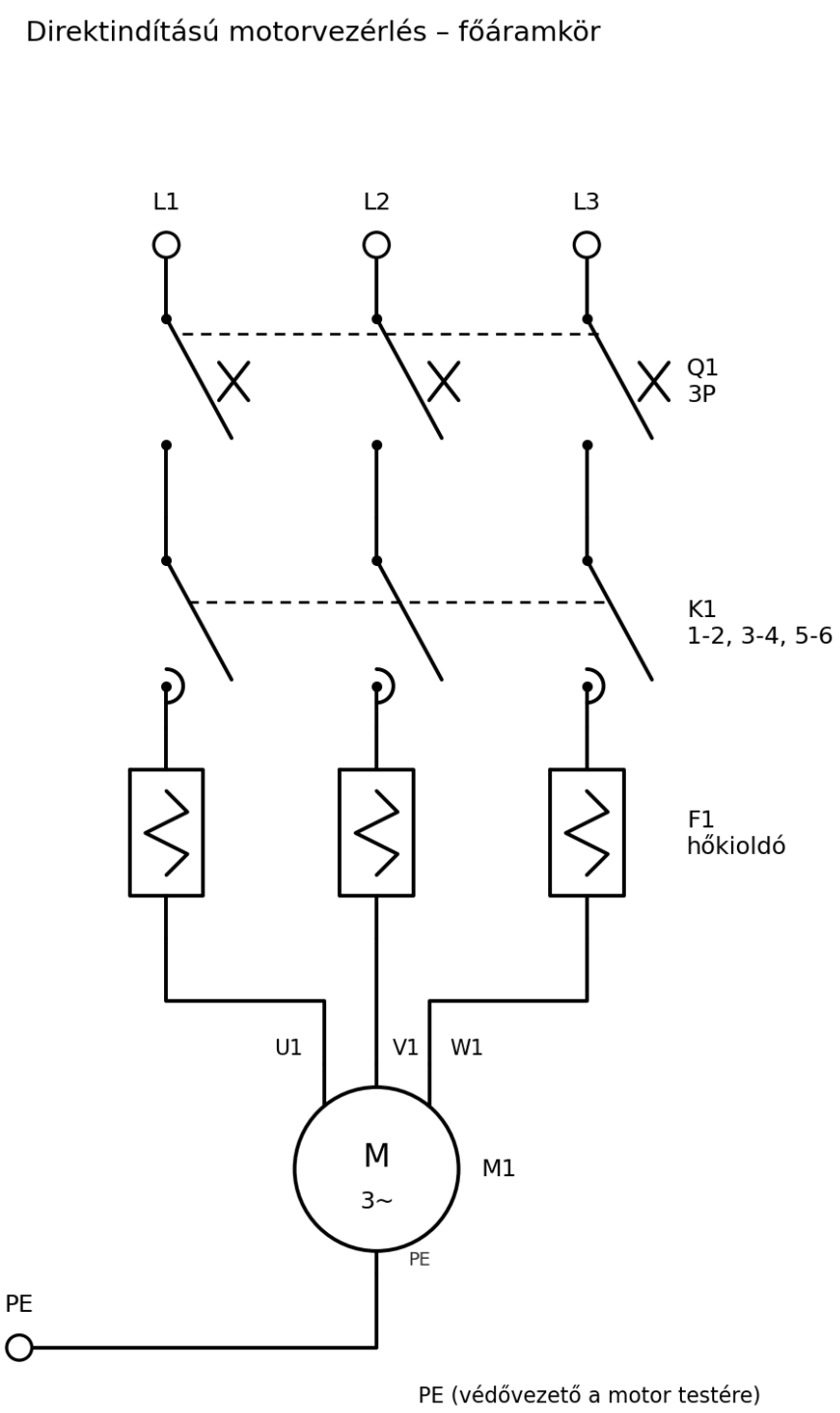
A rajzhibák felismerése a szerelői munka része. A leggyakoribb rajzhiba az önfenntartás hiánya, a reteszelő érintkezők elhagyása, vagy az érintkezőtípus felcserélése (NO helyett NC). A rajzolvasásnál mindig kérdezzük meg: mi történik, ha megnyomom a start gombot, és mi történik, ha elengedem? Mi történik, ha mindkét irány startját egyszerre nyomom meg? A válasz a rajzból kiolvasható.

13.3.7. Kidolgozott példa: direktindítás önfenntartással

Az alábbi kapcsolási rajz egy háromfázisú motor direktindítását mutatja önfenntartással. Először a főáramkört, majd a vezérlőáramkört rajzoljuk meg.

13.3.7.1. Főáramkör

A főáramkör a háromfázisú hálózat L1, L2, L3 fázisáról indul, fázisonként külön ágban. A fázisvezetőkben Q1 hárompólusú megszakító, K1 mágneskapcsoló három főérintkezője és F1 hőkioldó található. A motor M1 háromfázisú aszinkron motor, tekercsei csillag vagy delta kapcsolásban lehetnek; a rajzjel a kapcsolást nem részletezi, azt a kapocsléc kötése mutatja.



13.7. ábra. Direktindítású motorvezérlés – főáramkör

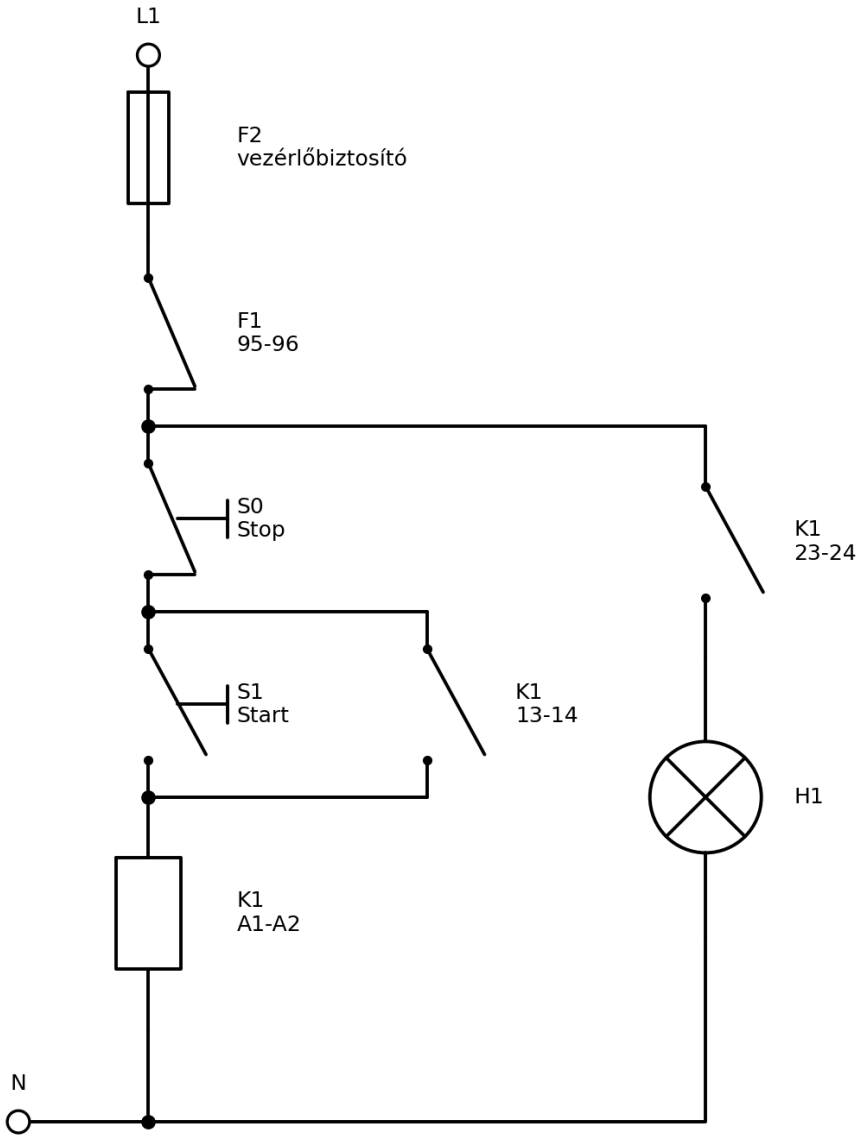
Az ábra leírása: a három fázis (L1, L2, L3) külön kapocsról indul, és mindegyik ágban sorosan a Q1 hárompólusú megszakító egy pólusa, a K1 mágneskapcsoló egy főérintkezője és az F1 hőkioldó egy fűtőeleme következik; a három ág a motor U1, V1, W1 kapcsára fut, a motor fém testét a zöld-sárga PE védővezető köti a védőföldeléshez. A HTML-változatban a Start/Stop gombokkal

a K1 behúzása és az áramút is követhető.

13.3.7.2. Vezérlőáramkör

A vezérlőáramkör L1 és N között van, az F2 vezérlőbiztosító (vagy kismegszakító) után. Az F1 hőkioldó NC érintkezője, az S0 stop nyomógomb, az S1 start nyomógomb, a K1 tekercs és az N sín alkotja a fő ágat. A K1 önfenntartó segédérintkezője párhuzamosan van az S1-gyel. A H1 üzemjelző lámpa egy K1 segédérintkezővel sorban, párhuzamosan a tekercs körrel.

Direktindítású motorvezérlés – vezérlőáramkör



13.8. ábra. Direktindítású motorvezérlés – vezérlőáramkör

Az ábra leírása: az áramút felülről (L1) lefelé (N) olvasandó: F2 vezérlőbiztosító → F1 95-96 bontó → S0 Stop (bontó) → S1 Start (záró), vele párhuzamosan a K1 13-14 öntartó érintkező → K1 A1-A2 tekercs → N. A jobb oldali ágban a K1 23-24 záró segédérintkező és a H1 üzemjelző lámpa az F1 utáni ponttól az N-ig, a tekerccsel párhuzamosan kapcsolódik.

Működés ellenőrzése. Ha megnyomjuk az S1-et, az L1 fázis árama az F1–S0–S1–K1 tekercs–N útvonalon folyik. A K1 behúz, és a K1 13–14 önfenntartó érintkező zár. Az S1 elengedése után az áram az önfenntartó érintkezőn keresztül folyik tovább, így a tekercs behúzva marad. Az S0 megnyomásával a kör megszakad. Túlterhelésnél az F1 NC kinyit, és a kör szintén megszakad. A H1 lámpa a K1 23–24 érintkezőn keresztül párhuzamosan kap táplálást, tehát akkor világít, ha a mágneskapcsoló behúzott.

13.3.8. Szabványi követelmények és a rajzok készítése

Szabvány. A vezérlési rajzokon a készülékek szabványos betűjeleit és kapocsjelöléseit kell feltüntetni. Az MSZ EN 60617 (IEC 60617) szerinti rajzjeleket használjuk: a tekercs rajzjele téglalap (A1, A2 kivezetéssel); a záró (NO) érintkező nyugalmi helyzetben nyitott ferde vonal, a bontó (NC) érintkező a rögzített érintkezőhöz felfekvő mozgó érintkező. Figyelem: amerikai (NEMA) dokumentációban a NO érintkezőt két párhuzamos vonal, az NC-t áthúzott párhuzamos vonalak jelölik – ez nálunk nem használatos. A mágneskapcsoló főérintkezői és segédérintkezői ugyanazt a betűjelet viselik, mint a tekercs. A kapcsolási rajzon feltüntetjük a vezetékek számozását és a készülékek kapocsjelöléseit, hogy a kivitelezés és a hibakeresés egyértelmű legyen.

A rajzolás során a főáramkört vastagabb vonallal, a vezérlőáramkört vékonyabb vonallal jelöljük. Az áramúti rajzon az áramutak függőlegesek: felülről (L) lefelé (N) követjük őket, az áramutakat pedig balról jobbra sorszámozzuk. Az érintkezők rajzán mindig a készülék alaphelyzetét (tekercs feszültségmentes, nyomógomb nyugalmi állapot) tüntetjük fel.

13.3.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy ipari pékségben a dagasztógép motorvezérlése hibásan működött: a motor indult, de a start gomb elengedése után azonnal leállt. A szerelő kinyitotta a kapcsolószekrényt, és a kapcsolási rajz alapján az önfenntartó érintkezőt kereste. Kiderült, hogy az önfenntartó segédérintkező vezetéke egy másik kapocsra került, ezért az áramkör nem tudta fenntartani a mágneskapcsoló behúzott állapotát. A rajzon a K1 13–14 jelű érintkező párhuzamosan volt jelölve az S1 start gombbal. A valós szerelésben a 13-as kapocs az S1 felső pontjához, a 14-es az alsóhoz csatlakozott volna; a hibás bekötésnél a 14-es a 21-es kapocsra került, ami egy NC érintkező volt. Az áramkör így nem záródott az önfenntartáshoz. A javítás a rajz szerinti visszakötés volt. A tanulság: a rajzolvasásnál mindig a kapocsjelöléseket is ellenőrizni kell, nem csak a készülék típusát.

13.3.10. Gyakorlati útmutató

Cél: Tanműhelyben, törpefeszültségű környezetben egy direktindítású motorvezérlés rajzának elkészítése és bekötése a kapcsolási rajz alapján.

Eszközök és anyagok: kapcsolási rajz, mágneskapcsoló, nyomógombok (NC és NO), hőkioldó, jelzőlámpa, kapocssínek, vezetékek, szerszámok, mérőműszer.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A 230/400 V-os munkát csak jogosult, arra képesített személy végezheti.

Feszültségmentesítés öt szabálya (a bekötés megkezdése előtt mindig): 1. Kapcsold le a feszültséget. 2. Biztosítsd a visszakapcsolás ellen. 3. Ellenőrizd a feszültségmentességet (kétpólusú feszültségvizsgálóval). 4. Földelj és rövidre zárj. 5. Fedd le vagy kerítsd el a szomszédos feszültség alatti részeket.

Lépések:

1. Tanulmányozd a kapcsolási rajzot: azonosítsd a főáramköri és vezérlőáramköri részeket.
2. Készítsd elő a készülékeket: mágneskapcsoló, hőkioldó, nyomógombok, jelzőlámpa, kapocssín.
3. A vezérlőáramkört kösd meg a kapcsolási rajz szerint: az F2 vezérlőbiztosítón át, a hőkioldó NC érintkezőt (95–96) a stop gomb NC érintkezőjével sorbakötni, majd a start gomb NO érintkezőjéhez, onnan a mágneskapcsoló tekercs A1 kapcsára. A tekercs A2 kapcsát az N sínre.
4. Az önfenntartó érintkezőt (K1 13–14) párhuzamosan kösd a start gombbal: a 13 a start gomb felső pontjához, a 14 az alsóhoz.
5. A jelzőlámpát a K1 23–24 érintkezővel sorba kösd, párhuzamosan a tekercs körrel.
6. Ellenőrizd a vezérlőáramkört feszültségmentes állapotban: multiméterrel folytonosságot mérj az egyes ágakon; a start gomb megnyomásakor a tekercs kapcsain a megfelelő áramkörnek zártnak kell lennie.
7. A főáramkört kösd a rajz szerint: a fázisok L1–L2–L3 a megszakítón, a mágneskapcsoló főérintkezőkön és a hőkioldón át a motor kapcsaira kerülnek.
8. A kész bekötést vizsgáld felül: vesd össze a rajzzal, ellenőrizd a kapocsjelöléseket és a vezetékek színét (fázis barna/fekete/szürke, nulla világoskék, védővezető zöld-sárga).
9. Feszültség alatt (oktató felügyeletével) próbáld ki: indítás, önfenntartás, leállítás, hőkioldó próba.
10. Dokumentáld a méréseket és a bekötést a jegyzőkönyvben.

Ellenőrzési pontok: - A start gomb megnyomásakor a tekercs behúz, és az önfenntartó érintkező fenntartja. - A stop gomb megnyomásakor a mágneskapcsoló elenged. - A hőkioldó tesztelésekor a vezérlőáramkör megszakad. - A jelzőlámpa csak behúzott állapotban világít.

Tipikus hibák: - Az önfenntartó érintkezőt sorba kötik a start gombbal: a tekercs a start megnyomására sem kap feszültséget (két nyitott NO sorban), a motor nem indul. - Az önfenntartó ág hiányzik vagy szakadt: a motor csak addig jár, amíg a start gombot nyomva tartják. - A stop gombot NO típusúra cserélik, így a leállítás nem működik. - A hőkioldó érintkezőt kihagyják, vagy rossz kapocspárra kötik. - A jelzőlámpát sorba kötik a tekerccsel, ezzel megváltoztatják a tekercs áramkörét.

Dokumentálás: a bekötés elvégzése után a rajzon jelölni kell a beépített készülékeket és a vezetékek számozását, és a jegyzőkönyvben fel kell tüntetni a feszültségmentességi ellenőrzés és a működési próbák eredményét.

13.3.11. Tipikus hibák

1. **Az önfenntartó érintkező kihagyása vagy szakadása.** A motor csak addig jár, amíg a start gombot nyomva tartják. A rajzon fel kell ismerni, hogy a K1 13–14 érintkezőt párhuzamosan kell kötni az S1-gyel.

2. **A reteszelő érintkezők elhagyása a reverzálásnál.** Ha a K1 és K2 tekercsek kölcsönösen nem reteszeltek, egyszerre behúzhatnak, ami két fázis közötti zárlatot okoz. A rajzon minden tekercs sorában ellenőrizni kell az ellenirányú NC érintkező jelenlétét.
3. **Az érintkezőtípus felcserélése.** Ha a stop gombhoz NO érintkezőt rajzolnak, a leállítás nem működik; ha az önfenntartóhoz NC érintkezőt rajzolnak, a mágneskapcsoló a start nélkül meghúz, majd azonnal elenged, és ez ismétlődik (berregés). A rajzolvasásnál mindig figyeljünk a NO/NC jelölésre.
4. **Rossz kapocsjelölés.** A 13–14 (NO) és 21–22 (NC) felcserélése a rajzon hibás bekötéshez vezet. A kapocsjelöléseknek pontosan meg kell egyezniük a készülék valós kapcsaival.

13.3.12. Önellenőrzés

1. Igaz/hamis: A főáramkör a mágneskapcsoló tekercsét tartalmazza. Indokold!
2. Rajzolj le egy direktindítású vezérlést önfenntartással: nevezd meg az elemeket (F1, S0, S1, K1, H1).
3. Mi a reteszelés célja a reverzáló vezérlésben, és melyik érintkezőkkel valósítjuk meg?
4. Milyen kapocsjelölésű érintkező az önfenntartó érintkező?
5. Mi a hiba abban a rajzban, ahol a stop gomb NO érintkező, és a start gombbal sorba van kötve az önfenntartó érintkező?

Válaszok: 1. Hamis: a főáramkör a fogyasztó energiáját szállítja, a tekercs a vezérlőáramkörben van. 2. Soros sorrend: F1 NC → S0 NC → S1 NO → K1 tekercs; K1 13–14 önfenntartó párhuzamosan az S1-gyel; H1 lámpa K1 23–24-gyel sorosan, párhuzamosan a tekercs körrel. 3. A reteszelés megakadályozza, hogy egyszerre két irány mágneskapcsolója behúzzon; K1 NC érintkező a K2 tekercs körébe, és K2 NC a K1 tekercs körébe kerül. 4. 13–14 (NO). 5. A stop gombnak NC típusúnak kell lennie; ha NO, az áramkör alaphelyzetben szakadt, és a leállítás nem lehetséges. Az önfenntartót párhuzamosan kell kötni a start gombbal, nem sorosan.

13.3.13. Feladatok

1. feladat (A) Rajzold le egy jelzőlámpa nélküli direktindítású vezérlőáramkör kapcsolási rajzát: F1 NC, S0 NC, S1 NO, K1 tekercs, K1 önfenntartó NO. Jelöld a kapocsjelöléseket.

2. feladat (A) Sorold fel, milyen betűjeleket kapnak a következő készülékek: megszakító, mágneskapcsoló, hőkioldó, nyomógomb, jelzőlámpa.

3. feladat (B) Egy reverzáló vezérlésben a K1 tekercs sora így néz ki: F1 NC → S0 NC → S1 NO → K2 NC → K1 tekercs. Rajzold be a K1 önfenntartó érintkezőt, és írd le, miért szükséges itt a K2 NC.

4. feladat (B) Y–Δ indításnál sorold fel a három mágneskapcsoló (K1, K2, K3) funkcióját, és rajzold le a vezérlés blokkvázlatát az időrelével.

5. feladat (C) Adott az alábbi hibás vezérlőáramkör: L1 → F1 NC → S0 NC → S1 NO → K1 tekercs → N. Az önfenntartó érintkező (K1 13–14) sorba van kötve az S1-gyel. Mi a hiba, és mit tapasztalsz a start gomb megnyomásakor? Hogyan javítanád?

6. feladat (D) Tanműhelyi gyakorlatban mérőműszerrel ellenőrzöd a bekötött direktindítást. Feszültségmentes állapotban a vezérlőkör bemenő kapcsa (az F2 után) és az N kapocs között mérsz. Alaphelyzetben végtelen ellenállást, a start gomb megnyomásakor kb. 120 Ω-ot mérsz (a K1 tekercsének ellenállása). Jó-e?

13.3.14. Megoldások

1. feladat megoldása. A kapcsolási rajz: L1 fázis sín → F1 95–96 → S0 11–12 (NC) → S1 13–14 (NO) → K1 tekercs A1, majd A2 → N sín. A K1 13–14 önfenntartó érintkező párhuzamosan az S1 13–14-gyel. A kapocsjelölések: F1: 95–96; S0: 11–12; S1: 13–14; K1 tekercs: A1–A2; önfenntartó: K1 13–14.

2. feladat megoldása. Megszakító: Q; mágneskapcsoló: K; hőkioldó: F; nyomógomb: S; jelzőlámpa: H.

3. feladat megoldása. A K1 önfenntartó érintkező párhuzamosan az S1-gyel. A K2 NC érintkező sorosan a K1 tekercs előtt van, ez a reteszelés: ha K2 behúzott, a K2 NC kinyit, így a K1 tekercse nem kap feszültséget, amíg K2 el nem enged. Ez megakadályozza a két irány egyidejű behúzását.

4. feladat megoldása. K1 = hálózati mágneskapcsoló: a hálózatot a motorra köti. K2 = delta mágneskapcsoló: a motor tekercseit delta kapcsolásba köti. K3 = csillag mágneskapcsoló: a tekercsek csillagpontját rövidre zárja. Vezérlőkör (L1-től N-ig): F2 → F1 95–96 → S0 → S1 ∥ K1 13–14 → K1 tekercs; ezzel párhuzamosan a K4 időrelé tekercse (K1 13–14 után). K3 ág: K4 késleltetve bontó érintkezője → K2 21–22 (retesz) → K3 tekercs. K2 ág: K4 késleltetve záró érintkezője → K3 21–22 (retesz) → K2 tekercs. Indításkor K1, K4 és K3 behúz (csillag); a beállított idő után a K4 bontója nyit (K3 elenged), záródója zár (K2 behúz, delta). A pontos kapcsolást a Csillag–delta indítás vezérlése alfejezet részletezi.

5. feladat megoldása. A hiba: az önfenntartó érintkezőt sorba kötötték a start gombbal. Nyugalomban a 13–14 nyitott, ezért a start megnyomásakor is nyitott marad: a tekercs egyáltalán nem kap feszültséget, a motor nem indul (két nyitott NO érintkező sorban). Javítás: a K1 13–14 érintkezőt párhuzamosan kell kötni az S1 NO érintkezővel.

6. feladat megoldása. Jó. Alaphelyzetben a start gomb nyitott, a kör szakadt; megnyomva a műszer a K1 tekercs ellenállását látja (értékét a gyártói adatlap adja – ellenőrizendő). Az A1–A2 kapcsokon közvetlenül mérve mindig a tekercs ellenállása látszik, a start gombtól függetlenül: 0 Ω zárlatot (áthidalást, zárlatos tekercset), végtelen szakadást (stop, F1 95–96, vezeték vagy tekercs) jelentene. A K1 kézi benyomásával az önfenntartó ág is ellenőrizhető.

13.3.15. Rövid összefoglaló

A motorvezérlési rajzokat két részre osztjuk: a **főáramkörre**, amely a fogyasztó (motor) energiáját szállítja, és a **vezérlőáramkörre**, amely a mágneskapcsoló tekercsét, nyomógombokat, reteszeléseket és jelzőlámpákat tartalmazza. A készülékeket betűjellel (Q, F, K, S, H) és sorszámmal azonosítjuk, a kapocsjelölések A1/A2 (tekercs), 13/14 (NO), 21/22 (NC), 95/96 (hőkioldó NC). A direktindításnál az önfenntartó K1 13–14 érintkező párhuzamosan van a start gombbal; a leállító gomb NC, az indító NO. A forgásirányváltásnál a K1 és K2 tekercsek kölcsönösen reteszeltek, az egyik NC érintkezője a másik tekercs körébe van kötve. A csillag–delta indításnál három mágneskapcsoló (K1 hálózati, K2 delta, K3 csillag) és időrelé vezérli a csillagból delta átváltást. A rajzolvasás módszere a **jelútkövetés**: a feszültségforrástól a tekercsig haladva ellenőrizzük az érintkezőket, a sorrendet és a reteszeléseket. **Továbbvitt eredmények:** ezt a rajzolvasási és rajzolási módszert használjuk a Szerelési dokumentáció, referenciajelölés és átadás alfejezetben, valamint a konkrét kapcsolást építjük meg a Direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek alfejezetben.

13.3.16. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ EN 60617: Villamos rajzjelek – ellenőrizendő az aktuális kiadás.
- MSZ EN 60204-1: Gépek villamos berendezései – ellenőrizendő az aktuális kiadás.
- A kapocsjelölések és a rajzjelek a jelenlegi európai gyakorlat szerint szerepelnek; a konkrét szabványszakaszok és táblázatok ellenőrzése a kiadás előtt szükséges.

13.4. Szerelési dokumentáció, referenciajelölés és átadás

13.4.1. Miért kell dokumentálni?

Egy villanyszerelő sokszor egyedül készít el egy elosztót, egy motorvezérlést vagy egy teljes lakáshálózatot. A munka végeztével azonban nem elég, hogy a berendezés működik: a következő szerelőnek, a felülvizsgálónak, a karbantartónak és a megrendelőnek is értenie kell, mit lát. A dokumentáció nélküli berendezés olyan, mint egy könyv tartalomjegyzék és oldalszámok nélkül: lehet benne keresni, de drága és balesetveszélyes. A rosszul feliratozott kismegszakító vagy a hiányzó kapcsolási rajz miatt a hibakeresés órákig tarthat, egy tévesen feltételezett bekötés pedig komoly baleset forrása lehet.

Motiváló helyzet. Egy társasház lépcsőházi elosztójában időrelé hibát kell keresni. A régi szerelő nem hagyott rajzot, a vezetékek színe vegyes, a sorkapcsokon nincs felirat. A hibakeresés három órát vesz igénybe, mert a szerelő minden áramkört feszültségmentesítés után kézzel követ végig. Ugyanez a munka friss, pontos dokumentációval kb. fél óra lett volna.

13.4.2. A szerelői dokumentáció elemei

Definíció. A **szerelési dokumentáció** azoknak a rajzoknak, jegyzékeknek, utasításoknak és jegyzőkönyveknek az összessége, amelyek leírják egy villamos berendezés felépítését, bekötését, működését, valamint az üzembe helyezés, ellenőrzés és karbantartás során végzett munkákat.

A gyakorlatban a következő elemeket kell megkülönböztetni:

1. **Terv** – a kivitelezés alapjául szolgáló, a tervező által készített rajz és leírás. A szerelő ezt kapja meg, de munkája során módosulhat.
2. **Kiviteli rajz** – a megvalósult állapotot rögzítő rajz. Ide kell rávezetni minden változást: ha a vezeték más útvonalon halad, ha a megszakító típusa más, ha a kapocs más pozícióba kerül. Ez a rajz az átadás egyik legfontosabb dokumentuma.
3. **Kapcsolási rajz** – a készülékek villamos kapcsolatát logikai sorrendben mutatja, nem a tényleges elrendezésben. A vezérlési rajz a kapcsolási rajz egy speciális fajtája, amely a vezérlés logikáját mutatja.
4. **Kezelési utasítás** – rövid, a felhasználónak szóló leírás: mit hogyan kapcsoljon, mit ne érintsen, mit jelent a jelzőlámpa, kinek szóljon, ha hiba van.
5. **Feliratok** – a készülékeken, sorkapcsokon, vezetékeken lévő azonosítók. A felirat nélküli kapocs nem azonosítható, ezért a feliratozás a szerelői munka kötelező része.

Összefüggés. A tervező kapcsolási és elrendezési rajzaiból dolgozik a szerelő; a szerelés közbeni változásokat ezekre vezeti rá, így áll elő a kiviteli (megvalósulási) dokumentáció. A feliratok a rajzok jelöléseire utalnak, a kezelési utasítás pedig a feliratokhoz kapcsolódik. Ha bármelyik hiányzik, a lánc megszakad.

13.4.3. Referenciajelölés alapjai

A villamos berendezés elemeinek egyértelmű azonosítására nem elég a „bal oldali mágneskapcsoló” vagy „az a biztosíték” megnevezés. **Referenciajelölésnek** nevezzük azt a szabványos kódrendszert, amely a berendezés minden elemét egyedi azonosítóval látja el.

Szabály. A termékjelölés egy betűkódból (az elem fajtája: Q kapcsoló, F védelem, K mágneskapcsoló, M motor, T transzformátor, S vezérlőkapcsoló, H jelzőlámpa, X sorkapocs) és sorszámból áll (K1, Q2); a készülék egy kapcsát kettősponttal fűzzük hozzá (-K1:A1, -K1:13). A könyvben rövidített írásmódként a `K1 / 13-14` alak is szerepel: ez a K1 13-as és 14-es kapcsa közötti érintkezőt jelenti (a szabványos alakban -K1:13 és -K1:14, ellenőrizendő: MSZ EN IEC 81346-1). A teljes referencia az áramkörben egyértelmű.

Példa:

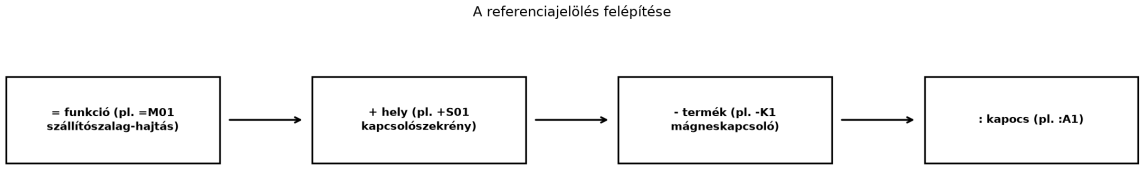
- `K1` – az első mágneskapcsoló
- `K1 / A1-A2` – a K1 tekercs kapcsai
- `K1 / 13-14` – a K1 egyik záró segédérintkezője
- `Q2` – a második megszakító
- `F3` – a harmadik biztosító

Megjegyzés. A referenciajelölés nemcsak a rajzon, hanem a készüléken lévő feliraton is megjelenik. A szerelőnek a rajzot és a valóságot össze kell tudnia kapcsolni: ha a rajzon `K1` szerepel, a szekrényben is meg kell találni a `K1` feliratú készüléket.

Rajz – valóság – mérés hármas. A referenciajelölés a kapocsjelöléssel együtt éppen ezt a hármast teszi ellenőrizhetővé: a rajzon látod a bekötést, a készüléken látod a feliratot, a mérőpontot a felirat alapján azonosítod.

A referenciajelölés részletes rendszerét az MSZ EN 81346 szabványsorozat írja le. Három nézőpontot különböztet meg: = funkció-orientált (mit csinál), + hely-orientált (hol van), - termék-orientált (mi az); a kapocs jele :. A három nézőpont egymás mellett is szerepelhet. **(ellenőrizendő: MSZ EN IEC 81346-1 aktuális kiadás és magyar jelölési változatok)**

Megjegyzés a betűjelekről. A könyv a hazai gyakorlatban elterjedt betűjeleket használja (K mágneskapcsoló, H jelzőlámpa). Az MSZ EN 81346-2 újabb osztályozása szerint a főáramkört kapcsoló mágneskapcsoló jele Q (QA), a jelzőlámpáé P (PF); a terven mindig a rajzjegyzék/készülékjegyzék a mérvadó **(ellenőrizendő: MSZ EN IEC 81346-2 aktuális kiadás)**.



13.9. ábra. A referenciajelölés felépítése - A három nézőpont (funkció, hely, termék) egymás mellett is szerepelhet, pl. =M01+S01-K1:A1; a kapocs jele a kettőspont. A szerelőnek ezt a kódot kell tudnia a rajzon és a valóságban is olvasni.

13.4.4. Építési napló és e-napló

A kivitelezés során a munkafolyamatokat és az ellenőrzéseket nyomon kell követni. Az építési napló a kivitelezés hivatalos dokumentuma, amelybe a kivitelező, a műszaki ellenőr és az építtető bejegyzéseket tehet. A napló vezetésének pontos szabályait jogszabályok írják elő, és a gyakorlatban már elektronikus építési napló (e-napló) is használatos.

Figyelem. Az építési napló vezetése nem adminisztrációs teher, hanem a minőségbiztosítás eszköze. Ha egy hiba később peres üggyé válik, a napló bejegyzései bizonyítják, hogy a szerelő mit mikor végzett el, és milyen ellenőrzések történtek. A villanyszerelő saját munkájának bejegyzésével védi magát: „feszültségmentesítés megtörtént, a kötések meghúzva, a szigetelési ellenállás mérése megtörtént”.

Szabály. Az építési naplóba be kell jegyezni legalább: a munkavégzés helyét és idejét, a munkavégzés tartalmát, az ellenőrzések eredményét, az észrevételeket és a védelmi intézkedéseket. A pontos formai követelményeket a hatályos építésügyi jogszabályok tartalmazzák. **(ellenőrizendő: aktuális jogszabály)**

13.4.5. Átadás-átvétel, megfelelőségi nyilatkozat, mérési jegyzőkönyvek

A munka befejezésekor a berendezést át kell adni a megrendelőnek. Az átadás-átvétel nem egyetlen aláírás, hanem folyamat:

1. A szerelő összeállítja a **dokumentációs csomagot**: kiviteli rajz, kapcsolási rajz, feliratok listája, kezelési utasítás, mérési jegyzőkönyvek, kivitelezői nyilatkozat, a beépített termékek gyártói megfelelőségi nyilatkozatai és adatlapjai.
2. A **kivitelezői nyilatkozat** a vonatkozó építésügyi jogszabály szerint igazolja a munka szabványos kivitelezését; az **első ellenőrzés jegyzőkönyve** (MSZ HD 60364-6) a vizsgálatok eredményeit rögzíti; a beépített termékek (például az MSZ EN 61439 szerinti elosztó) **gyártói megfelelőségi nyilatkozata** külön irat (ellenőrizendő: hatályos jogszabály és szabvány).
3. A **mérési jegyzőkönyv** tartalmazza a védelmi és működési mérések eredményeit: szigetelési ellenállás, hurokimpedancia, áram-védőkapcsoló (RCD) kioldási vizsgálata (kioldási idő és kioldóáram), folytonossági vizsgálat, működési próbák.
4. Az **átadás-átvételi jegyzőkönyvben** a felek rögzítik, hogy a berendezést átadták és átvették, a működést bemutatták, az esetleges hibákat vagy hiányosságokat és azok javítási határidejét feltüntetik.
5. A jegyzőkönyvek egy példánya a megrendelőhöz, egy a kivitelezőhöz kerül.

Továbbvitt eredmény. A mérési jegyzőkönyv azonos logikáját és formai elemeit használjuk a Minőségbiztosítás és szerelői ellenőrzés, az Elosztó szerelése, kapcsolási rajz és feliratozás és a Jegyzőkönyv, szabványossági felülvizsgálat és hibakeresés alfejezetekben. Az ipari fogyasztói berendezések csatlakoztatásakor a csatlakozási dokumentációt a Csatlakozási hely és ipari fogyasztói berendezés kialakítása alfejezetben tárgyaljuk.

13.4.6. Gyakorlati útmutató: Átadási dokumentáció összeállítása (ellenőrzőlista)

Cél: a kész berendezéshez hiánytalan dokumentációs csomag összeállítása.

Biztonsági korlát. A dokumentáció összeállításához szükséges helyszíni ellenőrzés (feliratok, bekötés összevetése) feszültségmentesítés után, az öt biztonsági szabály szerint végezhető; feszültség alatti mérést csak jogosult személy végezhet.

A dokumentációs csomag ellenőrzőlistája:

1. **Rajzok ellenőrzése:** a kiviteli rajz a megvalósult állapotot mutatja-e? A kapcsolási rajz egyetlen kapcsolást sem hagy ki?
2. **Referenciajelölések és feliratok:** a készülékeken lévő feliratok megegyeznek a rajzokkal? Minden sorkapocs, kismegszakító, jelzőlámpa feliratozva van?
3. **Mérési jegyzőkönyv:** minden szükséges védelmi mérés el lett végezve, az eredmények a határértéken belül vannak?
4. **Kezelési utasítás:** tartalmazza a működtetés módját, a tiltott beavatkozásokat, a hibajelzések magyarázatát?
5. **Kivitelezői nyilatkozat, első ellenőrzési jegyzőkönyv, gyártói megfelelőségi nyilatkozatok:** aláírt, dátumozott, a berendezés azonosítására alkalmas adatokat tartalmaznak?
6. **Átadás-átvételi jegyzőkönyv:** a felek aláírták, a működési próbák dokumentálva vannak?
7. **E-napló / építési napló:** minden bejegyzés lezárult, a dokumentáció hiteles?
8. **Mentés és tárolás:** a dokumentumokat papír alapon és elektronikusan is megőrizték? A megrendelő kapott példányt?

13.4.7. Szabványi háttér

Szabvány. A villamosipari dokumentációk és rajzok készítésére vonatkozó szabályokat az MSZ EN 61082 szabványsorozat, a rajzjeleket az MSZ EN 60617, a referenciajelölést az MSZ EN 81346 szabványsorozat tárgyalja. A mérési jegyzőkönyvek tartalmát a hibavédelem és az ellenőrzés fejezetek szabványai határozzák meg. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és pontos szám)** A kivitelezői nyilatkozatban a kivitelező kijelenti, hogy a munkát a vonatkozó MSZ HD 60364 és egyéb előírások szerint végezték (ellenőrizendő: hatályos jogszabály).

13.4.8. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy felújított irodaház elosztószekrénye hibátlanul működött, de a kivitelező elmulasztotta feliratozni a kismegszakítókat. Két héttel az átadás után az egyik iroda aljzatkörén zárlat keletkezett. A karbantartó a felirat nélküli elosztóban nem tudta azonosítani az adott kismegszakítót, ezért a főmegszakítót kapcsolta le, ami az egész irodaházat áramtalanította. A javítás során kiderült, hogy a kismegszakítók feliratozásán kívül a kiviteli rajz sem készült el. A tanulság: a feliratok és a kiviteli rajz nem kényelmi, hanem biztonsági elem. Az ilyen esetek elkerülése miatt kell a dokumentációs csomagot már a szerelés során, nem utólag összeállítani.

13.4.9. Tipikus hibák

Hiba 1: A kiviteli rajzot nem vezetik. A szerelő a tervben szereplő vezetékutat megváltoztatja, de a rajzon nem jelöli. A későbbi javítás során a szerelő rossz helyen fúr, mert a rajz szerint ott nincs vezeték. **Helyes gyakorlat:** minden változást azonnal rávezetni a rajzra, és a módosított rajzot az átadási dokumentációhoz csatolni.

Hiba 2: A feliratok és a rajz nem egyeznek. A rajz szerint a Q2 kismegszakító védi a bojlerkört, a valóságban a Q3. A hibakeresés során a szerelő tévesen kapcsol le. **Helyes gyakorlat:** a feliratozást a rajz alapján kell elkészíteni, és az átadás előtt tételesen ellenőrizni.

Hiba 3: A mérési jegyzőkönyvet nem töltik ki teljesen. A szerelő elvégzi a mérést, de az eredményt nem rögzíti, vagy a határértéket nem ellenőrzi. Később egy hiba esetén nem lehet

bizonyítani, hogy a berendezés az átadáskor megfelelt. **Helyes gyakorlat:** minden mérést azonnal, olvashatóan, a dátumozott jegyzőkönyvben rögzíteni, és a határértékkel összevetni.

13.4.10. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A kiviteli rajz azonos a tervező által készített tervvel. Indokold.
2. Mit jelent a `K1 / 13-14` referencia?
3. Sorold fel az átadási dokumentáció legalább öt elemét.
4. Miért fontos az építési napló bejegyzése a szerelő számára?
5. Milyen mérést kell dokumentálni az átadás előtt? Nevezz meg legalább három mérést.

13.4.11. Feladatok

13.4.11.1. 1. feladat (A)

Sorold fel a szerelői dokumentáció elemeit, és írd le mindegyiknek egy-egy mondatban a funkcióját.

13.4.11.2. 2. feladat (A)

Magyarázd el, mi a különbség a terv és a kiviteli rajz között. Adj példát arra, hogy mi kerülhet a kiviteli rajzra a tervhez képest.

13.4.11.3. 3. feladat (B)

Egy motorvezérlésben a rajz szerint `K1` mágneskapcsoló, `Q1` megszakító, `F1` hőkioldó, `M1` motor van. Hogyan jelölnéd a `K1` tekercsét és egyik záró segédérintkezőjét? Rajzold le szövegesen a referencia-hierarchiát.

13.4.11.4. 4. feladat (B)

Egy átadási jegyzőkönyvben a szerelő azt írta: „Minden rendben.” Milyen hiányosságok vannak ebben a bejegyzésben? Mit kellene tartalmaznia egy szakszerű jegyzőkönyvnek?

13.4.11.5. 5. feladat (C)

Egy lakáselosztó átadása előtt a megrendelő kéri, hogy „ne kelljen papírmunka, csak adjuk át a kulcsot”. Hogyan érvelnél amellett, hogy a dokumentáció a megrendelő biztonságát szolgálja? Fogalmazz meg három konkrét érvet.

13.4.11.6. 6. feladat (D – gyakorlati)

Egy kész elosztószekrényben a kismegszakítók feliratai hiányoznak. Írj egy ellenőrzőlistát, amely alapján a feliratozást elvégzed. Hogyan ellenőriznéd, hogy a feliratok megfelelnek a kiviteli rajznak?

13.4.12. Megoldások

13.4.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A kiviteli rajz a megvalósult állapotot rögzíti, a terv a tervezett állapotot. A kiviteli rajz tartalmazhatja a kivitelezés során bekövetkezett változásokat.
2. A `K1` az első mágneskapcsoló, a `13-14` pedig annak záró (NO) segédérintkezője. Tehát a rajzon a K1 mágneskapcsoló 13–14 kapcsai közötti érintkezőt jelenti.
3. Kiviteli rajz, kapcsolási rajz, feliratok listája, kezelési utasítás, mérési jegyzőkönyv, kivitelezői nyilatkozat (gyártói megfelelőségi nyilatkozatokkal), átadás-átvételi jegyzőkönyv.
4. A bejegyzéssel a szerelő bizonyítani tudja, hogy a munka az előírások szerint történt; vitás esetben ez védi őt. A napló a munka időrendjét és az ellenőrzéseket is rögzíti.
5. Szigetelési ellenállás mérése, hurokimpedancia mérése, áram-védőkapcsoló (RCD) kioldási vizsgálata (kioldási idő és kioldóáram), folytonossági vizsgálat, működési próbák.

13.4.12.2. Feladatok megoldásai

1. feladat
A szerelői dokumentáció elemei:
- **Terv:** a tervezett állapotot rögzíti, a kivitelezés alapja.
- **Kiviteli rajz:** a megvalósult állapotot rögzíti, tartalmazza a változásokat.
- **Kapcsolási rajz:** a készülékek villamos kapcsolatát mutatja.
- **Kezelési utasítás:** a felhasználónak szóló működtetési leírás.
- **Feliratok:** a készülékek azonosítását szolgálják.
- **Mérési jegyzőkönyv:** a védelmi mérések eredményeit tartalmazza.
- **Kivitelezői nyilatkozat és első ellenőrzési jegyzőkönyv:** a szabványos kivitelezést és a vizsgálatok eredményét igazolja; a termékek gyártói megfelelőségi nyilatkozata külön irat (ellenőrizendő: hatályos jogszabály).
- **Átadás-átvételi jegyzőkönyv:** a felek általi átadást és az esetleges hibákat rögzíti.

2. feladat
A terv a tervező által készített, a jövőbeli állapotot mutató rajz. A kiviteli rajz a munka befejezése után a ténylegesen megvalósult állapotot mutatja, és tartalmazza mindazt, ami a tervhez képest változott. Például: ha a vezeték más útvonalon halad, ha a kismegszakító típusa más, ha egy kapocs más pozícióba került, ezt a kiviteli rajzon fel kell tüntetni.

3. feladat
`K1 / A1-A2` a tekercs, `K1 / 13-14` a záró segédérintkező. A referencia-hierarchia szöveges leírása: funkció `=`, hely `+`, termék `-`, kapocs `:` – a három nézőpont egymás mellett szerepel.
A konkrét esetben: `=M01+S01-K1:A1` (a K1 tekercsének A1 kapcsa; a K1 a +S01 kapcsolószekrényben, az =M01 hajtás funkciójához tartozik). A záró segédérintkező két kapcsa teljes referenciával: `=M01+S01-K1:13` és `=M01+S01-K1:14`.

4. feladat
A „Minden rendben” bejegyzés túl szubjektív, nem tartalmaz konkrét mérési eredményeket, dátumot, a berendezés azonosítását, az ellenőrzött elemeket, a határértékeket, és nem derül ki, hogy ki és mikor végezte a munkát. Szakszerű jegyzőkönyvben fel kell tüntetni a mérések típusát, a mért értékeket, a határértéket, az eredményt (megfelel/nem felel meg), a dátumot, az aláírást és a berendezés azonosítását.

5. feladat
Három érv:
- A feliratok nélkül a későbbi hibakeresés és karbantartás balesetveszélyes, mert a szerelő tévesen

kapcsolhat le más áramkört.
- A mérési jegyzőkönyv bizonyítja, hogy a berendezés a szabványok szerint készült, és a megrendelő vitás esetben jogosult arra hivatkozni.
- A kezelési utasítás nélkül a felhasználó nem tudja biztonságosan működtetni a berendezést, és egy hiba esetén nem tudja, kit hívjon. A dokumentáció tehát nem papírmunka, hanem a biztonságos üzemeltetés része.

6. feladat
Ellenőrzőlista a kismegszakítók feliratozásához:
1. Azonosítom a kismegszakító Q-jelét a kiviteli rajzon.
2. Megnézem, melyik áramkört védi (pl. Q2 → Mosogatógép aljzat).
3. Felírattal vagy címkével megjelölöm a kismegszakítót a rajz szerint.
4. Ellenőrzöm, hogy a felirat egyezik a rajz jelölésével.
5. Meggyőződöm arról, hogy a felirat a későbbi hibakereséshez is értelmezhető (pl. ne csak „Q2” legyen, hanem „Q2 – Mosogatógép”).
6. A feliratozás után a rajzot frissítem, ha változott.

Azonosítás méréssel (jogosult személy vagy oktató felügyelete mellett): az öt szabály szerint egyenként kikapcsolom a kismegszakítókat, és a kör végpontjain (aljzat, lámpahely) kétpólusú feszültségvizsgálóval ellenőrzöm, hogy valóban feszültségmentes lett-e; a vizsgálót előtte és utána ismert feszültségen kipróbálom (fázisceruza nem alkalmas). Ahol az eredmény eltér a kiviteli rajztól, a rajzot javítom, nem a feliratot igazítom a rajzhoz. Feszültségmentes állapotban a gyűjtősínt és a kimenő vezetékeket folytonosságméréssel is összevethetem. Így a rajz–valóság–mérés hármas zárul.

13.4.13. Rövid összefoglaló

A szerelői dokumentáció nem adminisztráció, hanem a biztonságos üzemeltetés és a későbbi hibakeresés alapja. A kiviteli rajz a megvalósult állapotot rögzíti; minden változást ide kell rávezetni. A kapcsolási rajz a logikai kapcsolatot mutatja, a feliratok a készülékek és kapcsok egyértelmű azonosítását szolgálják. A referenciajelölés (pl. `K1 / 13-14`) a rajz, a valóság és a mérés összekapcsolását teszi lehetővé; rendszerét az MSZ EN 81346 szabványsorozat írja le. Az építési napló vagy e-napló a kivitelezés hiteles dokumentuma, amely a szerelő munkáját is védi. Az átadás-átvétel során a mérési jegyzőkönyv, a kivitelezői nyilatkozat és a kezelési utasítás együttesen igazolják a berendezés szabványosságát. A dokumentáció hiánya vagy pontatlansága balesetveszélyes hibakereséshez és jogvitákhoz vezethet, ezért a dokumentációs csomagot már a szerelés során, folyamatosan kell készíteni. **Továbbvitt eredmény:** a mérési jegyzőkönyv és a dokumentációs ellenőrzőlista a Minőségbiztosítás és szerelői ellenőrzés, az Elosztó szerelése, kapcsolási rajz és feliratozás, a Jegyzőkönyv, szabványossági felülvizsgálat és hibakeresés és a Csatlakozási hely és ipari fogyasztói berendezés kialakítása alfejezetekben tér vissza.

13.4.14. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg elsősorban a vonatkozó magyar és európai szabványok együttesére, valamint a kivitelezési gyakorlatra épül. A konkrét szabványszámok (MSZ EN 81346, MSZ EN 61082, MSZ HD 60364 sorozat) és a jogszabályi előírások (e-napló, építési napló) a kiadás előtt ellenőrizendők. A referenciajelölés részletes kódrendszerét és a mérési jegyzőkönyv formai követelményeit az aktuális szabványkiadások és a hatályos jogszabályok szerint kell pontosítani.

14 Minőségbiztosítás, munkaszervezés és informatika

14.1. Minőségbiztosítás és szerelői ellenőrzés

14.1.1. Motiváció: miért dönti el a minőség a villanyszerelő megélhetését?

Képzeld el, hogy elkészült egy lakásfelújítás villanyszerelése. A megrendelő kifizeti a számlát, a lakás elkészül, majd három hónap múlva visszahív a megrendelő: „a konvektor bekapcsolásakor lekapcsol a kismegszakító”, vagy „szikrázott a dugaszolóaljzat”. Ha a hibát a szerelőnek garanciában kell javítania, akkor az eredeti nyereség nagy részét felemésztheti a visszajárás, a bontás, az anyag és az utazás költsége. Ha ugyanezt a hibát az átadás előtti ellenőrzésen találja meg, akkor csak a műhelyben javít, olcsón és gyorsan.

A minőségbiztosítás ezért nem irodai papírmunka, hanem a szerelői túlélés eszköze: **az ellenőrzést akkor végzed el, amikor a javítás még olcsó, nem akkor, amikor már garanciális kár lett belőle.** Ebben az alfejezetben azt tanulod meg, hogyan építs fel egy egyszerű szerelői ellenőrzőlistát, hogyan becsüld meg a hibák költségét, és hogyan dokumentáld az önellenőrzésedet úgy, hogy az később a garanciális vitában is védjen.

14.1.2. Szemléletes kép: egy szerelés életciklusa és a hibaköltség növekedése

Vegyünk egy tipikus példát: egy új lakáselosztó szerelése közben a szerelő rosszul húzza meg az egyik sorkapocs csavarját. A hiba különböző időpontokban más költséggel jár.

- **Szerelés közben észreveszi:** azonnal utánhúzza a csavart. Költség: nulla, vagy csak néhány másodperc.
- **Önellenőrzésen észreveszi:** megméri a kötést, hibát talál, kijavítja. Költség: néhány perc.
- **Átadás után észreveszi a megrendelő:** kiszáll a szerelő, kibontja az elosztó fedelét, megkeresi a hibát, javítja. Költség: utazás, munkaidő, ügyfél bosszúsága.
- **Üzem közben meghibásodáshoz vezet:** a laza kötés melegszik, szigetelés károsodik, esetleg füst, leégett kapocs. Költség: anyagcsere, sürgős kiszállás, akár tűzkár.

A lecke egyszerű: **a hiba minél később derül ki, annál drágább.** A minőségbiztosítás célja, hogy a hibákat a folyamat minél korábbi szakaszára hozza előre.

14.1.3. A minőség és a minőségbiztosítás alapfogalmai

Definíció. A **minőség** egy termék vagy szolgáltatás jellemzőinek azon összessége, amelyek kielégítik a megrendelő és a műszaki előírások elvárásait. Villanyszerelésben a minőség nemcsak azt jelenti, hogy „működik”, hanem azt is, hogy szabványos, biztonságos, tartós, dokumentált és esztétikus.

Definíció. A **minőségbiztosítás** olyan szervezett tevékenység, amely bizalmat ad abban, hogy a termék vagy szolgáltatás megfelel a követelményeknek. A minőségbiztosítás nem mérés, hanem egy **rendszer**: előre megmondja, mit kell ellenőrizni, mikor, kinek, mivel, és mi legyen az elfogadási feltétel.

Szabvány. A leggyakrabban hivatkozott minőségirányítási szabvány az **MSZ EN ISO 9001** (ISO 9001), amely a szervezeti folyamatok szabályozásáról szól. A 9001-es tanúsítás azt jelenti, hogy a cégnek van minőségirányítási rendszere, nem azt, hogy minden terméke hibátlan. A villanyszerelő számára nem a tanúsítás a lényeg, hanem a mögötte lévő gondolkodásmód: **tervezd meg, dokumentáld, ellenőrizd, javítsd, és tanulj a hibából.** A konkrét szabványszám, kiadás és követelmény az aktuális kiadványban ellenőrizendő.

Összefüggés. A minőségirányítás szokásos modellje a **PDCA-ciklus**, azaz:

- **Plan / Tervezés:** mi a feladat, milyen anyag, milyen terv, milyen vizsgálat kell?
- **Do / Végrehajtás:** a szerelés a terv és a szabvány szerint.
- **Check / Ellenőrzés:** önellenőrzés, mérés, szemrevételezés.
- **Act / Beavatkozás:** hiba javítása, a folyamat vagy a lista javítása, hogy a hiba ne ismétlődjön.

Ezt a ciklust egyetlen szerelő is tudja használni: egy lakáselosztó szerelésénél nem szükséges bonyolult minőségügyi osztály, elég egy ellenőrző lista és egy lelkiismeretes kör.

14.1.4. Ellenőrző lista a szerelés fázisaihoz

A villanyszerelés nem egyetlen művelet, hanem több fázis. Minden fázisnak más a tipikus hibája, ezért az ellenőrző lista fázisonként épüljön fel.

Definíció. A **szerelői ellenőrző lista** olyan rövid, tételes dokumentum, amely felsorolja az adott munkafázisban elvégzendő ellenőrzéseket, azok elfogadási feltételét és az eredményt.

Az alábbi lista egy fiktív tanműhelyi példa; éles munkában a lista bővíthető, de a logikája ugyanaz:

1. **Szállítás és anyagátvétel:** Megvan-e minden anyag? A kábel keresztmetszete, a kismegszakító értéke és görbéje, a szerelvények típusa egyezik-e a tervvel? Sérült-e szigetelés, készülék?
2. **Szerelés előtti ellenőrzés:** Az öt biztonsági szabály szerint feszültségmentesítve van-e a munkaterület: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás (lakat, tábla), a feszültségmentesség megállapítása kétpólusú feszültségvizsgálóval (előtte–utána ellenőrzött műszerrel), földelés és rövidre zárás, ha előírt, a közeli feszültség alatti részek letakarása? A munkaterület tiszta, megfelelő megvilágítású? A szerszámok ellenőrzöttek?
3. **Szerelés közben:** A vezetékek hajlítási sugara, a lehúzott szigetelés hossza, az érvéghüvely mérete és préselése, a csavarok meghúzása megfelelő-e? A színjelölés és a feliratozás rendben van-e?
4. **Szerelés utáni műszaki ellenőrzés:** Folytonosság, szigetelési ellenállás, hurokimpedancia, FI-vizsgálat; a kapcsolási rajz és a tényleges bekötés egyezik-e?
5. **Átadás előtti ellenőrzés:** Minden áramkör működik? A dokumentáció, a feliratok és a használati tájékoztatás átadásra kész? A munkaterület takarított, a felesleges anyag elszállítva?

Példa. Egy lakáselosztó cseréjénél a szerelő a lista 3. pontjában (szerelés közben, munkafázisként) ellenőrzi a nullavezető sorkapcsát. Laza a kötés. A lista segít abban, hogy ne ugorja át ezt a lépést pusztán azért, mert „úgyis működik”. A hiba javítása itt még percek kérdése.

14.1.5. Hibaköltség és garancia

Definíció. A **hibaköltség** mindaz a költség, amely egy hiba keletkezése, észlelése és javítása miatt keletkezik. Két nagy csoportja van:

- **Belső hibaköltség:** a hiba az átadás előtt derül ki; ilyenkor a javítás a cégen vagy a szerelőn belül marad (anyagcsere, munkaidő, újraellenőrzés).
- **Külső hibaköltség:** a hiba az átadás után, a megrendelőnél vagy az üzemeltetőnél derül ki; ilyenkor a javításhoz utazás, bontás, helyreállítás, esetleg leállás, ügyfélbizalom-vesztés és kártérítés is társul.

A garancia szempontjából a külső hibaköltség a veszélyesebb. A garancia nem azt jelenti, hogy a szerelő minden hibát ingyen javít, hanem azt, hogy a szerződésben vagy a jogszabályban meghatározott ideig és feltételekkel helytáll a munkájáért. A pontos garanciális idő és a szavatossági szabály jogszabálytól és szerződéstől függ: **(ellenőrizendő: aktuális fogyasztói és vállalkozási szerződéses szabályok)**.

A hibaköltség becslésére elég egy egyszerű sémát használni.

Számítás. Tegyük fel, hogy egy lakáselosztóban egy rossz csatlakozás miatt a szerelőt visszahívják.

- Kiszállás: 2 × 1 óra utazás, 6 000 Ft/óra munkadíjjal számolva = **12 000 Ft**
- A hiba megkeresése és javítása: 1,5 óra, azaz **9 000 Ft**
- Anyag, amit cserélni kell (sorkapocs, esetleg kábelvég): **2 000 Ft**
- A munka újraellenőrzése: **3 000 Ft**

Összesen: **26 000 Ft**, és ehhez jön a hírnévvesztés, a megrendelő idegeskedése és az a kieső idő, amit más munkán lehetett volna tölteni. Ha ugyanezt a hibát az átadás előtt veszi észre, akkor a javítás anyag nélkül, esetleg anyaggal együtt is csak néhány ezer forint.

A számok és az óradíjak tanulási példák, nem ajánlott vállalkozói árak.

14.1.6. Szerelői önellenőrzés és dokumentálása

Az önellenőrzés nem egyszerűen „ránézek, hogy jó-e”, hanem **mérhető, dokumentálható** lépéssor. A cél nem az, hogy mindent megmérjünk, hanem az, hogy a kritikus pontokat ellenőrizzük, és azokról bizonyítékunk maradjon.

Alapszabály. A szerelői önellenőrzésnek legalább három pillért kell érintenie: **rajz–valóság–mérés**.

- **Rajz:** a kapcsolási és huzalozási rajzot összevetem a megvalósult szereléssel.
- **Valóság:** szemrevételezéssel ellenőrzöm a mechanikai és esztétikai jellemzőket (csavarmeghúzás, vezetékelhelyezés, színjelölés, feliratok).
- **Mérés:** műszerrel ellenőrzöm a jellemző villamos értékeket (feszültség, áram, ellenállás, szigetelés, védővezető, kioldás).

A mérési eredményeket mindig dokumentálni kell. A dokumentálás minimális adatai:

- a helyszín, az áramkör vagy készülék azonosítója;
- a mérés időpontja;
- a használt műszer típusa és gyári száma;
- a mért érték és a mértékegység;
- az elfogadási határ;

- a döntés: megfelel / nem felel meg;
- intézkedés, ha hiba van;
- a szerelő aláírása.

Ha később vita van arról, hogy a munka hibás volt-e, a jegyzőkönyv a szerelő védelme. Emellett a hibaköltséget is csökkenti, mert nem kell újra megkeresni, mit mértél korábban.

Szabály. A villamos berendezések ellenőrzése és felülvizsgálata során a méréseket a hatályos szabványok szerint kell elvégezni (például védővezető-folytonosság, szigetelési ellenállás, hurokimpedancia, FI-vizsgálat). Az első ellenőrzés vizsgálatait és határértékeit az MSZ HD 60364-6, a hozzájuk használt mérőműszerek követelményeit az MSZ EN 61557 sorozat adja **(ellenőrizendő: aktuális kiadások és határértékek)**.

14.1.7. Gyakorlati útmutató: szerelői ellenőrző lista építése

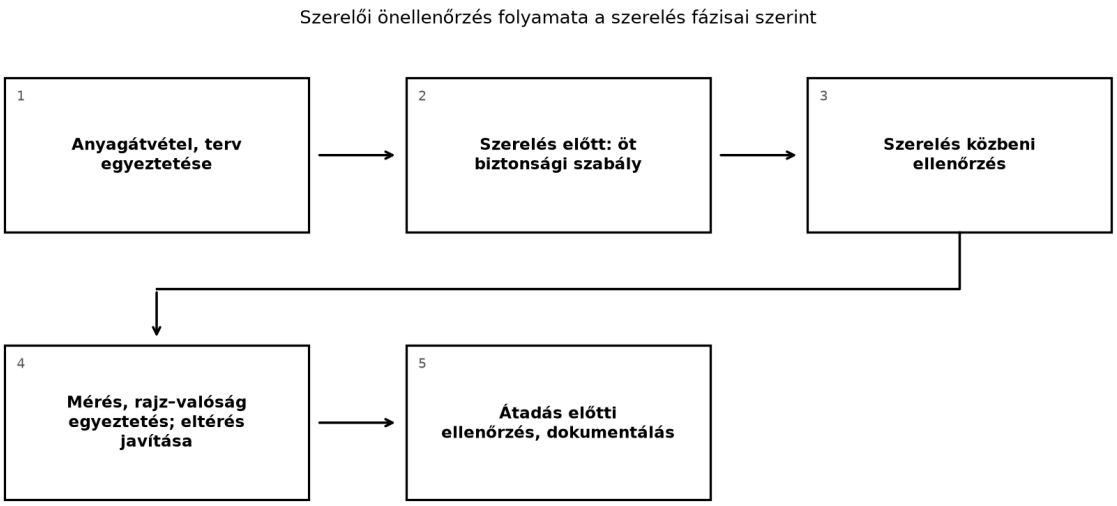
Cél. Készíts egyszerű, saját munkádhoz használható ellenőrző listát, és gyakorold a dokumentált önellenőrzést.

Eszközök és anyagok: papír vagy táblázatkezelő, toll, az adott szerelési feladat terve, mérőműszer.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

1. Válassz egy konkrét szerelési feladatot, például **egy dugaszoló aljzat bekötése**.
2. Sorold fel a feladat fázisait: előkészítés, szerelés, bekötés, műszeres ellenőrzés, dokumentálás.
3. Minden fázishoz írj 2–3 ellenőrzési pontot. Például bekötésnél:
   - a barna fázis az L kapocsra, a kék nulla az N kapocsra, a zöld-sárga a PE kapocsra kerül;
   - a csavarok meghúzottak;
   - a szigetelés nem lóg ki, és nem szorul be a kapocsba.
4. Jelöld meg, melyik ellenőrzés **szemrevételezés**, melyik **mérés**, és melyik **rajz-egyezés**.
5. Végezd el az öt biztonsági szabályt (lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség megállapítása kétpólusú feszültségvizsgálóval, földelés és rövidre zárás ha előírt, szomszédos részek lefedése), majd végezd el a gyakorlati feladatot (tanműhelyben), és minden sor után írd be az eredményt: megfelelt, vagy mit javítottál.
6. Ha hibát találtál, írd le, mi volt a hiba oka, és mit kell tenni, hogy többé ne forduljon elő.
7. Zárd le a listát dátummal és aláírással.

Az alfejezet későbbi részében ezt a listát a gyakorlati feladatban is használni fogod.



14.1. ábra. Szerelői önellenőrzés folyamata a szerelés fázisai szerint - Az ellenőrző lista öt fázisát követi: anyagátvétel, szerelés előtti feszültségmentesítés (öt szabály), szerelés közbeni, szerelés utáni műszeres ellenőrzés, átadás előtti ellenőrzés; a talált eltérést javítjuk és újra ellenőrizzük. A hibát mindig a lehető legkorábbi fázisban keressük, mert ott olcsó a javítás.

14.1.8. Valós életbeli alkalmazás: a terv és a valóság eltérése

Egy tanuló egy felújított lakásban dolgozik. A terv szerint a konyhai sütő külön áramkört kap 2,5 mm²-es rézvezetékkel és B16-os kismegszakítóval. A szerelés során azonban kifogy a megfelelő kábelből, ezért a szerelő 1,5 mm²-es vezetéket húz be, arra hivatkozva, hogy „a sütő úgysem megy teljes terhelésen”. Az önellenőrzéskor a szerelő megnézi a rajzot, és látja, hogy a vezeték keresztmetszete nem egyezik a tervvel. A B16-os kismegszakítóval az 1,5 mm²-es vezeték terhelhetősége bizonyos szerelési feltételek mellett nem elegendő, ezért a szerelés nem felel meg a tervnek és a vezetékvédelem követelményének **(a pontos terhelhetőségi értékek a szerelési módtól függnek: ellenőrizendő az aktuális szabvány)**. A hibát még a falazás előtt javítják, ezért a költség csak a kábelcsere. Ha ez a hiba az átadás után derül ki, a falfelületet is meg kell bontani, és a költség sokszorosára nő.

A tanulság: **a rajz–valóság–mérés hármas nem formalitás, hanem a legolcsóbb hibamegelőzés.** A tervtől való eltérést nem szabad csendben megvalósítani, mert a későbbi ellenőrzés, felújítás vagy bővítés a tervet tekinti kiindulási pontnak.

14.1.9. Tipikus hibák

1. **„Jó lesz az, majd a mérés úgyis kimutatja.”** A mérés csak azt méri, amit megmérünk. Egy rosszul meghúzott csavar átmeneti ellenállása hideg állapotban lehet, hogy nem látszik, terhelés alatt viszont melegszik. Helyes gyakorlat: a mechanikai kötéseket nem a műszerre bízzuk, hanem szerelés közben, nyomatékkal vagy előírt módszerrel ellenőrizzük.
2. **„A tervet nem nézem meg, mert én már sokszor szereltem ilyet.”** A gyakorlat nem mentesít a terv alól. A terv a megrendelő és a tervező közös szándéka; a szerelői rutin nem pótolhatja az egyedi követelményeket.
3. **„A hibát az átadásnál megbeszéljük a megrendelővel, majd meglátjuk.”** A megrendelő nem mérnök; nem tőle várjuk el, hogy szakmai hibát fogadjon el. Aki az átadásnál titkol egy hibát, az a garanciális időszakban nagyobb költséggel fogja visszakapni.

4. **„Nem írom fel a mérési eredményt, mert most sietünk.”** Dokumentálás nélkül a mérés meg nem történt. Egy későbbi vitában a szerelő nem tudja bizonyítani, hogy a munka átadáskor megfelelő volt.

14.1.10. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a minőség és a minőségbiztosítás között?

2. Miért drágább egy hiba az átadás után, mint az átadás előtt?

3. Nevezz meg legalább három elemet, amelyet egy lakáselosztó szerelésénél az önellenőrző listának tartalmaznia kell.

4. Igaz vagy hamis: az ISO 9001 tanúsítás azt jelenti, hogy minden termék hibátlan. Indokold!

5. Mi a PDCA-ciklus négy lépése?

6. Miért fontos a mérési eredmények dokumentálása akkor is, ha minden érték megfelel?

14.1.11. Önellenőrzés – válaszok

1. A minőség a termék/szolgáltatás jellemzőinek az összessége, amely kielégíti a követelményeket; a minőségbiztosítás egy szervezett rendszer, amely bizalmat ad abban, hogy a követelmények teljesülnek.

2. Az átadás után a javításhoz utazás, bontás, ügyfél- és hírnévvesztés, leállás is tartozik; a hiba észlelése és javítása időben és költségben is megnő.

3. Például: keresztmetszet, kismegszakító érték és görbe; színjelölés, feliratok; csavarkötések meghúzása; folytonosság, szigetelési ellenállás, hurokimpedancia, FI-vizsgálat.

4. Hamis. Az ISO 9001 a minőségirányítási folyamatok szabályozásáról szól, nem garantálja minden termék hibátlanságát.

5. Tervezés, végrehajtás, ellenőrzés, beavatkozás.

6. Mert később bizonyítani kell az átadáskori jellemzőket, és egy garanciális vita során a dokumentum a szerelőt védi; emellett ismételt mérés nélkül is tudható, mi volt az állapot.

14.1.12. Feladatok

1. feladat (A)
Sorold fel a szerelői önellenőrzés három pillérét, és mindegyikhez adj egy konkrét példát!

2. feladat (A)
Igaz vagy hamis? Indokold!
a) A minőségbiztosítás lényege, hogy minden hibát a vásárló észleljen.
b) A hibaköltség lehet belső és külső.
c) A szerelői ellenőrző listát csak a művezető készítheti el.

3. feladat (B)
Egy hibás érvéghüvelypréselés miatt a kötés üzem közben melegszik. Az átadás utáni javítás adatai: kiszállás 1,5 óra 7 000 Ft/óra; hibakeresés és bontás 2 óra 6 500 Ft/óra; anyag 3 500 Ft; újraellenőrzés 5 000 Ft. Becsüld meg a külső hibaköltséget! Mennyi lett volna a költség, ha az átadás előtti önellenőrzésen veszik észre, és a javítás 15 percet vesz igénybe?

4. feladat (B)
Tervezz egyszerű ellenőrző listát öt sorból egy **dugaszoló aljzat bekötésének** szerelés közbeni fázisához! Minden sorhoz jelöld, hogy szemrevételezés, mérés vagy rajz-egyezés-e.

5. feladat (C)
Egy szerelés átadás előtt van. A szerelő nem találja a hurokimpedancia-mérés jegyzőkönyvét. Milyen hibaköltség-növelő következményei lehetnek ennek, és hogyan előzhető meg?

6. feladat (D)
Használd a gyakorlati útmutatóban bemutatott listakészítő módszert egy **világítási váltókapcsolás** ellenőrzésére. Írd le, milyen eredményt írnál a listába, ha a mérés azt mutatja, hogy az egyik kapcsoló nem működik, és a kapcsoló közös kapcsára (L) nem a fázis-, hanem az egyik váltóvezeték van kötve.

14.1.13. Megoldások

1. feladat (A)
A három pillér: **rajz, valóság, mérés.** Például rajz-egyezés: a kapcsolási rajzon szereplő nyomvonalak és a tényleges bekötés azonosak. Valóság: a csavarkötések meghúzottak, a szigetelés nem sérült. Mérés: a védővezető folytonossága megfelelő, a szigetelési ellenállás a megadott határ felett van.

2. feladat (A)
a) Hamis. A minőségbiztosítás célja, hogy a hibákat a lehető legkorábban, lehetőleg a cégen belül tárja fel.
b) Igaz. A belső hibaköltség átadás előtt, a külső hibaköltség átadás után jelentkezik.
c) Hamis. A szerelői ellenőrző listát maga a szerelő is elkészítheti; éppen ez a szemlélet lényege.

3. feladat (B)
Külső hibaköltség:
kiszállás $= 1{,}5\,\text{h} \cdot 7\,000\,\text{Ft/h} = 10\,500\,\text{Ft}$
hibakeresés-bontás $= 2\,\text{h} \cdot 6\,500\,\text{Ft/h} = 13\,000\,\text{Ft}$
anyag $= 3\,500\,\text{Ft}$
újraellenőrzés $= 5\,000\,\text{Ft}$
összesen: $10\,500 + 13\,000 + 3\,500 + 5\,000 = 32\,000\,\text{Ft}$

Ha az átadás előtt, 15 perc alatt javítják:
$0{,}25\,\text{h} \cdot 6\,500\,\text{Ft/h} = 1\,625\,\text{Ft}$
anyag és külön kiszállás nélkül. A különbség tehát nagyon nagy, ezért éri meg az önellenőrzés.

4. feladat (B)
Például:
1. A fázis barna vezeték az L kapocsba van bekötve. (szemrevételezés)
2. A kék nulla az N kapocsba kerül, a zöld-sárga védővezető a PE kapocsba. (szemrevételezés)
3. A csavarok meg vannak húzva, a vezeték nem mozog. (szemrevételezés)
4. A kapcsolási rajzon szereplő jelölés egyezik a valósággal. (rajz-egyezés)
5. A védővezető folytonossága mérőműszerrel ellenőrizve megfelelő. (mérés)

5. feladat (C)
Ha nincs jegyzőkönyv, akkor az átadónak és a megrendelőnek nincs bizonyítéka arról, hogy a védelmi mérést elvégezték. Ez garanciális vitában hátrány, a hatósági felülvizsgálatnál hiányosság, és előfordulhat, hogy a mérést újra el kell végezni. Megelőzés: a mérést a helyszínen, a mérési jegyzőkönyvet azonnal ki kell tölteni, dátummal, aláírással, műszeradatokkal; a jegyzőkönyvet a dokumentációval együtt tárolni, és másolatot a megrendelőnek is adni.

6. feladat (D)
Egy váltókapcsolásnál a lista szerint ellenőrzöd: a kapcsolási rajz és a huzalozás egyezését, a kapcsolók kapocsbekötését, a fázisvezető helyét, a váltóvezetékek párját, a lámpa működését, a védővezető folytonosságát. Ha a mérés azt mutatja, hogy az egyik kapcsoló nem működik, és a kapcsoló közös kapcsára (L) nem a fázis-, hanem az egyik váltóvezeték van kötve, akkor a listában rögzíted: **nem felel meg**. Leírod a hibát: a közös kapocs és egy váltóvezeték fel van cserélve. (Megjegyzés: a két váltóvezeték egymással való felcserélése nem hiba, a kapcsolás működik, csak a kapcsolóállás–lámpaállapot hozzárendelés fordul meg.) Intézkedés: feszültségmentesítés az öt szabály szerint, a közös kapocs bekötésének javítása, majd működési próba mind a négy állásban és a lista újra ellenőrzése. A javítás után a lista kimenete: **megfelel**.

14.1.14. Rövid összefoglaló

A minőség a villanyszerelésben azt jelenti, hogy a munka biztonságos, szabványos, tartós, dokumentált és a tervnek megfelelő. A minőségbiztosítás nem papírmunka, hanem annak eszköze, hogy a hibák a lehető legkorábban kiderüljenek, mert a hiba költsége az idő előrehaladtával nő. Az ISO 9001 gondolkodásmódja a PDCA-ciklus: tervezz, hajts végre, ellenőrizz, avatkozz be. A szerelői ellenőrző lista fázisonként sorolja fel a kritikus pontokat, és a rajz–valóság–mérés hármasra épül. A hibaköltséget belső és külső csoportra bontjuk; a külső hibaköltség az átadás után jelentkezik, és sokkal magasabb, mert utazással, bontással, sürgősséggel és bizalomvesztéssel jár. A dokumentált önellenőrzés bizonyíték, garanciális védelmet ad, és előkészíti a későbbi irodai dokumentációt. **Továbbvitt eredmény.** A minőségbiztosításban használt ellenőrzőlista, dokumentálási igény és hibaköltség-szemlélet közvetlenül hasznosul a(z) Irodai alkalmazások a szakmában alfejezetben, ahol a mérési jegyzőkönyveket, gyártói adatlapokat és szerelési dokumentációkat számítógépes formában kezeljük.

14.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

- ISO 9001: az aktuális minőségirányítási szabvány pontos kiadása, szakaszai és követelményei ellenőrizendők.
- Garanciális idő, szavatossági szabályok: a hatályos magyar polgári jogi és fogyasztóvédelmi előírások szerint pontosan ellenőrizendők.
- Villamos berendezések ellenőrzési határértékei: MSZ HD 60364 sorozat, MSZ EN 61557 sorozat aktuális kiadások szerint ellenőrizendők.
- Az óradíjakat, anyagköltségeket és hibaköltség-számokat a könyv tanulási példaként, nem árajánlatként közli.

14.2. Irodai alkalmazások a szakmában

14.2.1. Motiváció

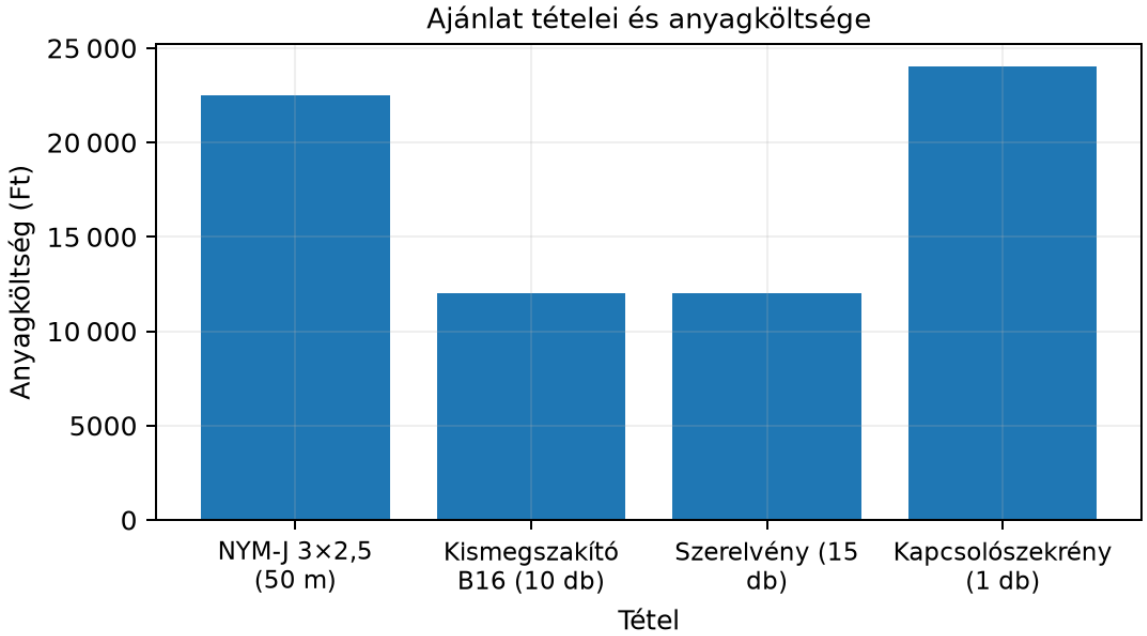
A villanyszerelő munka közben nemcsak vezetékeket köt és elosztókat szerel, hanem dokumentációt is készít. Az árajánlat, az anyaglista, a mérési jegyzőkönyv, az átadási dokumentáció mind a minőségi munka része. Ha ezeket kézzel, papíron számoljuk, könnyen elírunk egy szorzást, rosszul összegzünk, és a vevőnek átláthatatlan, javított lapot adunk át. Az irodai alkalmazások – elsősorban a táblázatkezelő és a szövegszerkesztő – arra valók, hogy a számolást megbízhatóvá, a dokumentumokat pedig rendezetté és újra felhasználhatóvá tegyék.

Ebben az alfejezetben megtanulod, hogyan készíts a táblázatkezelőben vezetékméretezési számítást és anyagköltség-listát, hogyan építs fel egy árajánlatot és egy jegyzőkönyv-sablont a szövegszerkesztőben, és hogyan kezeld a fájljaidat úgy, hogy azok később is megtalálhatók, módosíthatók és biztonságban legyenek.

14.2.2. Szemléletes kép: egy táblázat, ami számol helyetted

Képzelj el egy anyaglistát, amelyben a mennyiség és az egységár oszlop mellett van egy tételösszeg oszlop. Ha a tételösszeget képlettel írjuk be, akkor a mennyiség vagy az egységár módosításakor az összeg automatikusan frissül. Ugyanezt a logikát alkalmazzuk a vezetékméretezésnél is: a táblázatban megadott áram, hossz és megengedett feszültségesés alapján a program kiszámolja a szükséges keresztmetszetet, mi pedig ellenőrizzük az eredményt.

Az alábbi diagram egy árajánlat tételeinek anyagköltségét szemlélteti oszlopdiagramon, ahogyan azt a táblázatkezelő a táblázat adataiból elkészítené:



14.2. ábra. Ajánlat tételei és anyagköltsége - Szemléltető, kitalált adatok; az első három oszlop a gyakorlati útmutató mintaadataiból számolt tételösszeg (50 m · 450 Ft/m = 22 500 Ft; 10 db · 1 200 Ft = 12 000 Ft; 15 db · 800 Ft = 12 000 Ft), a kapcsolószekrény ára feltételezett. A táblázatkezelő diagramkészítő képességét mutatja be.

A diagram célja, hogy a vevő azonnal lássa, melyik tétel viszi el a költség jelentős részét. A táblázatkezelő ezt néhány kattintással elkészíti a már bevitt adatokból.

14.2.3. A táblázatkezelő alapfogalmai

Definíció. A táblázatkezelő program egy olyan alkalmazás, amely adatokat cellákba rendez, és a cellák tartalmát képletekkel, függvényekkel összekapcsolja. A munkalap oszlopai betűjelöléssel (A, B, C, …), sorai számozással (1, 2, 3, …) rendelkeznek. Egy cella hivatkozása az oszlopbetűből és a sorszámból áll, például a B2 cella a B oszlop 2. sorában van.

Definíció. A cellahivatkozás lehet relatív vagy abszolút. A relatív hivatkozás (például `B2`) másoláskor a célcellához képest eltolódik. Az abszolút hivatkozás (például `$B$2`) másoláskor mindig ugyanarra a cellára mutat. A vegyes hivatkozás (például `$B2` vagy `B$2`) csak az egyik irányban rögzít.

Szabály. A táblázatkezelőben minden képlet egyenlőségjellel kezdődik (`=`). A képletben használhatunk alapműveleteket (`+`, `-`, `*`, `/`, `^`), zárójeleket és beépített függvényeket, például magyar nyelvű programban `=SZUM(A1:A10)`, angol nyelvűben `=SUM(A1:A10)`. Magyar beállításnál a függvényparamétereket pontosvessző választja el, a tizedesjel vessző.

Összefüggés. A feszültségesésből számolt minimális keresztmetszet egyfázisú váltakozó áramú körben, ha a meddő feszültségesést elhanyagoljuk:

$$A_{\min} = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot \Delta U_{\text{meg}}}$$

ahol $A_{\min}$ a vezető minimális keresztmetszete, I az áram, l a vezeték hossza, γ a réz fajlagos vezetőképessége ($\gamma \approx 56\,\text{m}/(\Omega\cdot\text{mm}^2)$ réz esetén; a gyakorlatban szokásos, kissé melegebb vezetőre kerekített érték, 20 °C-on kb. 57–58 – ellenőrizendő: anyagminőségtől és hőmérséklettől függ), ΔU_{meg} a megengedett feszültségesés. A táblázatban ezt a képletet cellahivatkozásokkal valósítjuk meg.

14.2.4. Kidolgozott példa: vezetékméretezési táblázat

Egy világítási áramkört tervezünk. Az üzemi áram $I = 10\,\text{A}$, a vezeték hossza $l = 30\,\text{m}$, megengedett feszültségesés 3% (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 tájékoztató értéke, tervezői előírás) a névleges 230 V-ból, tehát $\Delta U_{\text{meg}} = 0{,}03 \cdot 230 = 6{,}9\,\text{V}$. Kiszámítjuk a minimális keresztmetszetet:

$$A_{\min} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 30}{56 \cdot 6{,}9} \approx 1{,}55\,\text{mm}^2$$

A szabványos keresztmetszetek közül a következő nagyobbat, $2{,}5\,\text{mm}^2$-t választunk. A táblázatkezelőben ez a számítás így épül fel:

- A2 cellába beírjuk az áramot: `10`
- B2 cellába a hosszt: `30`
- C2 cellába a megengedett feszültségesést: `6,9`
- D2 cellába a fajlagos vezetőképességet: `56`
- E2 cellába a képletet: `= (2 * A2 * B2) / (D2 * C2)`

Az E2 cella eredményül `1,552...`-t ad. Ez a minimális keresztmetszet. Ezután az F2 cellában egy segédtáblázatból (vagy `=HA(E2<=1,5;1,5;HA(E2<=2,5;2,5;...))` típusú képlettel) kiválasztjuk a szabványos méretet. **Figyelem.** Ez csak a feszültségesés-feltétel. A végleges keresztmetszethez a terhelhetőségi feltételt ($I_b \le I_n \le I_z$ a szerelési mód szerint) és a védelem kioldási feltételét is ellenőrizni kell – ezt a Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők és a Feszültségesés és a vezeték méretezése alfejezet tárgyalja (a szerelési mód kiválasztását a Vezetékek és kábelek szerelési módjai alfejezet; a kioldási feltételt a hibavédelmi fejezet); a táblázatba ezért érdemes egy I_z-oszlopot is felvenni (rövid, nagy áramú körnél a melegedés nagyobb keresztmetszetet követelhet, mint a feszültségesés). A táblázatkezelőben tehát nem csak egyszer, hanem több áramkörre is gyorsan elvégezhető a számítás, ha a képletet lefelé másoljuk.

14.2.5. Anyaglista és árajánlat táblázatban

Az árajánlathoz olyan táblázatot készítünk, amely tartalmazza a tétel megnevezését, a mennyiséget, az egységárat és a tételösszeget. A tételösszeg képlete: `=C2*D2`, ha a C oszlop a mennyiség, a D az egységár. Ezt a képletet lefelé másolva az összes tételnél automatikusan megkapjuk az eredményt.

Az anyagköltség végösszegét `=SZUM(E2:E20)` függvénnyel számoljuk. Ehhez hozzáadjuk a munkadíjat (E22) és a kiszállási költséget (E23); ezek is áfaköteles tételek, ezért a nettó összesen (`E24: =SZUM(E21:E23)`) a teljes áfaalap. Ha az áfakulcs egy külön cellában van (például B22-ben 27%), akkor az áfa összegét `=E24*$B$22` képlettel számoljuk, a bruttó végösszeget pedig `=E24+E25` adja (az alanyi adómentes vállalkozónál áfa nincs; ellenőrizendő: hatályos áfaszabályok). Például 46 500 Ft anyag és 40 000 Ft munkadíj esetén az áfa $0{,}27 \cdot 86\,500 = 23\,355$ Ft; ha csak az anyagra számolnánk, 12 555 Ft jönne ki, tehát 10 800 Ft hiányozna. Ha az áfát tételenként is kiírjuk (`=E2*$B$22`, lefelé másolva), a hivatkozásnak minden sorban ugyanarra a B22-re kell mutatnia – ez az abszolút hivatkozás tipikus alkalmazása.

Példa. Egy anyaglista sora:

- Megnevezés: NYM-J 3×2,5 mm²
- Mennyiség: 50 m
- Egységár: 450 Ft/m
- Tételösszeg: `= 50 * 450 = 22 500 Ft`

A táblázatkezelőben a tételösszeg cella képlete `=C2*D2`, és az eredmény `22500` (vagy formázottan `22 500 Ft`). A végösszeg a tételösszegek összege, majd a munkadíjjal és az áfával növelve.

14.2.6. Szövegszerkesztő: sablon, táblázat, fejléc

Definíció. A sablon olyan előre elkészített dokumentum, amely a céges arculatot, a fejlécet, a láblécet és a gyakran használt táblázatokat tartalmazza. A sablonból minden új ajánlat vagy jegyzőkönyv gyorsan, egységes formában készül el.

Szabály. A szövegszerkesztőben a fejléc és lábléc a dokumentum minden oldalán megjelenő terület. A fejlécbe általában a cég neve, címe, adószáma és a dokumentum típusa kerül, a láblécbe pedig az oldalszám és az elérhetőség.

Árajánlat-sablon felépítése:

- Fejléc: cégnév, székhely, adószám, telefonszám, e-mail-cím
- Cím: „Árajánlat” és egyedi azonosító (például AJ-2025-001)
- Ügyféladatok blokk: név, cím, kapcsolattartó, projekt címe

- Dátum és érvényességi idő
- Tételes táblázat: sorszám, megnevezés, mennyiség, egységár, tételösszeg
- Összesítés: nettó anyagköltség, munkadíj, áfa, bruttó végösszeg
- Fizetési feltételek, garanciavállalás, átfutási idő
- Aláírás és pecsét helye

Jegyzőkönyv-sablon felépítése:

- Fejléc: a felülvizsgálatot végző neve, cége, jogosultsági azonosítója
- Helyszín, berendezés azonosítója, mérés dátuma
- Mérési táblázat: mért mennyiség, előírt határérték, mért érték, minősítés (megfelel/nem felel meg)
- Megjegyzések, javítási javaslatok
- Aláírás és keltezés

A szövegszerkesztőben a táblázat eszközzel készíthetünk sorokat és oszlopokat, a cellákat egyesíthetjük, a szegélyeket formázhatjuk. A fejléc és lábléc a `Beszúrás → Fejléc` menüpontból érhető el a legtöbb programban (a pontos elérés a program verziójától függ – ellenőrizendő).

14.2.7. Fájlkezelés, mentés, adatbiztonság

A dokumentumok akkor érnek valamit, ha később is megtalálhatók, megnyithatók és hitelesek maradnak. A szerelői gyakorlatban érdemes projektenként mappastruktúrát kialakítani:

```
Projekt_2025_Elosztocsere/
├── 01_Ajanlat/
├── 02_Meresi_jegyzokonyv/
├── 03_Rajzok/
├── 04_Fenykepek/
└── 05_Atadasi_dok/
```

A fájlnevek legyenek beszédesek, tartalmazzák a projekt rövid nevét, a dátumot és a verziót: `Elosztocsere_ajanlat_2025-03-15_v1.0.pdf`. A verziószám emelése (v1.0, v1.1, v2.0) segít nyomon követni, melyik az utolsó jóváhagyott változat.

Szabály. A fontos dokumentumokból készíts legalább egy külső biztonsági másolatot, például felhőszolgáltatásba vagy külső merevlemezre. A felhőszolgáltatás beállításakor ellenőrizd a jogosultságokat, és ne tölts fel személyes ügyféladatokat jelszó nélkül védett mappába (ellenőrizendő: az adatvédelmi előírások pontos követelményei). A PDF exportálás megóvja a dokumentumot a véletlen módosítástól és a formátum elcsúszásától.

Továbbvitt eredmény. A fájlkezelés, a mappastruktúra, a mentési szabályok és az e-mailben való kommunikáció alapfogalmai a Számítógépes hálózatok és adatkommunikáció alfejezetben épülnek tovább: ott tanulod meg, hogyan oszthatók meg a fájlok hálózaton, mik azok a felhőszolgáltatások, és hogyan védhetők a hálózati kapcsolatok.

14.2.8. Recept: árajánlat készítése táblázatból és szövegszerkesztőből

Lépéssor. Az alábbi lépések egy egyszerű árajánlat elkészítését mutatják:

1. Nyisd meg a táblázatkezelőt, és hozz létre egy új munkalapot.
2. Az első sorba írd az oszlopfejléceket: `Sorszám`, `Megnevezés`, `Mennyiség`, `Egységár (Ft)`, `Tételösszeg (Ft)`.
3. Vidd be az anyaglistát.

4. A tételösszeg első sorában írd be a képletet: `=C2*D2`.
5. Másold lefelé a képletet minden tételre.
6. A tételösszeg oszlop alá írd be a végösszeget: `=SZUM(E2:E20)`.
7. Egy külön cellában add meg a munkadíjat és az áfakulcsot, majd a munkadíjat és a kiszállást is hozzáadva képezd a nettó összesent (`=SZUM(E21:E23)` az E24 cellában), az áfát pedig erre számold: `=E24*$B$22`; a bruttó `=E24+E25`.
8. Nyisd meg a szövegszerkesztőt, és töltsd be az árajánlat-sablont.
9. Másold át a táblázatot, vagy írd be az adatokat a sablon táblázatába.
10. Ellenőrizd a fejlécet, az ügyféladatokat, a dátumot és az összesítést.
11. Exportáld PDF-fájlba, és mentsd el a projekthez tartozó mappába.

14.2.9. Gyakorlati útmutató: árajánlat- és jegyzőkönyv-sablon készítése

Cél. Készíts saját, újra használható árajánlat- és jegyzőkönyv-sablont, amely tartalmazza a céges fejlécet, a tételes táblázatot és az összesítő képleteket.

Eszközök és anyagok. Számítógép, táblázatkezelő program (például LibreOffice Calc, Microsoft Excel vagy Google Sheets – a pontos lépések a programtól függenek), szövegszerkesztő (például LibreOffice Writer, Microsoft Word vagy Google Docs), minta adatok: egy kisebb lakáselosztó anyaglistája.

Biztonsági korlát. A gyakorlat irodai szoftverhasználat, nem villamos hálózati munkavégzés. A dokumentumokba csak olyan mérési és szerelési adatokat írj, amelyek valósak és ellenőrzöttek; a személyes ügyféladatok kezelésekor a hatályos adatvédelmi előírások szerint járj el (ellenőrizendő: aktuális adatvédelmi szabályzat).

A villamos munka során mindig a feszültségmentesítés öt szabályát alkalmazzuk; a jegyzőkönyvben szereplő mérési értékek dokumentálásakor is rögzíteni kell, hogy a mérés feszültségmentes állapotban vagy feszültség alatt, megfelelő jogosultsággal történt. Ezt a jegyzőkönyv megjegyzés rovatában tüntesd fel.

Számozott lépések:

1. Hozd létre a mappastruktúrát: `Projekt_Vakolat_2025/01_Ajanlat`, `02_Jegyzokonyv`.
2. Nyisd meg a táblázatkezelőt, és készítsd el az anyaglista fejlécét a fenti lépéssor szerint.
3. Vidd be a minta adatokat: NYM-J 3×2,5 mm², 50 m, 450 Ft/m; kismegszakító B16, 10 db, 1 200 Ft/db; szerelvény, 15 db, 800 Ft/db.
4. Írd be a tételösszeg képletét, és másold le.
5. Számold ki a végösszeget, a munkadíjat és az áfát.
6. Nyisd meg a szövegszerkesztőt, és készítsd el az árajánlat-sablont: fejlécben a saját (gyakorló) adataidat használd, a törzsbe illeszd be a táblázatot.
7. Készítsd el a jegyzőkönyv-sablont is: fejléc, helyszín adatok, mérési táblázat, megjegyzés rovat.
8. Mentsd el mindkét fájlt a projekt mappába verziószámmal: `Ajanlat_sablon_v1.0.docx`, `Jegyzokonyv_sablon_v1.0.docx`.
9. Exportáld PDF-formátumba, és ellenőrizd, hogy a fejléc és a táblázat helyesen jelenik meg.

Ellenőrzési pontok. A táblázatban a képletek automatikusan kiszámolódnak; ha módosítod a mennyiséget, a tételösszeg és a végösszeg frissül. A szövegszerkesztőben a fejléc minden oldalon megjelenik. A PDF-fájl nem tartalmaz szerkeszthető mezőket, és a formázás nem csúszik el.

Tipikus hibák. Ha a képlet másolásakor a hivatkozás rosszul tolódik el, az összeg hibás lesz; ha a munkadíjat a tételösszegbe kevered, a végösszeg nem egyezik a vevőnek adott számmal; ha a fájlnevekből hiányzik a verziószám, nem tudod, melyik az utolsó változat.

Dokumentálás. A kész fájlokat mentsd el, a PDF-verziót küldd el gyakorló e-mail-címre, és írd le egy jegyzetben, hogy melyik programmal és verzióval készült.

14.2.10. Tipikus hibák

1. **Rossz hivatkozástípus a képletben.** Ha a másolandó képletben abszolút hivatkozás kellene, de relatív marad, a képlet másoláskor rossz cellákból olvas. Például az áfakulcs `$B$22` helyett `B22` hivatkozással az összes sorban különböző cellákra mutat. A helyes gyakorlat: az áfakulcsot mindig abszolút hivatkozással, vagy nevesített cellával használjuk.
2. **Kézi számolás a táblázatkezelőben.** A szerelő kiszámolja a tételösszeget, és beírja az eredményt képlet nélkül. Így a táblázat nem frissül, és később nehéz ellenőrizni a hibát. A helyes gyakorlat: mindig képlettel dolgozunk, a program végzi a számolást.
3. **Elfelejtett mentés és biztonsági másolat.** A szoftver összeomlása vagy áramszünet miatt elveszhet a dokumentum. A helyes gyakorlat: gyakori mentés, verziószámozás, és legalább egy külső biztonsági másolat.
4. **Védetlen ügyféladatok e-mailben vagy felhőben.** Az árajánlat személyes adatokat tartalmazhat; ha jelszó nélküli felhőbe töltöd, illetéktelenek is hozzáférhetnek. A helyes gyakorlat: jelszavas védelem, titkosított csatorna, és csak a szükséges adatokat küldd el (ellenőrizendő: a vonatkozó adatvédelmi szabályok).

14.2.11. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a relatív és az abszolút cellahivatkozás között? Adj példát.
2. Mi a hibás ebben a képletben, ha az áfakulcs a B22 cellában van, és a képletet lefelé másoljuk: `=E2*B22`?
3. Egy anyaglista sorában a mennyiség 12 m, az egységár 850 Ft/m. Mennyi a tételösszeg? Írd fel a képletet is.
4. Melyik dokumentumtípushoz tartozik a mérési táblázat: árajánlathoz vagy jegyzőkönyvhöz?
5. Miért ajánlott PDF-formátumba exportálni az árajánlatot?
6. Milyen mappanevekkel szerveznéd egy „motorvezérlés csere” projektet?

14.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Magyarázd el saját szavakkal, mit jelent a relatív és az abszolút cellahivatkozás a táblázatkezelőben.

2. feladat (A). Számold ki a táblázatban egy tétel anyagköltségét, ha a mennyiség 12, az egységár 850 Ft. Írd le a cellahivatkozást, ha a mennyiség a C4, az egységár a D4 cellában van.

3. feladat (B). Vezetékméretezési táblázatot készítesz három áramkörre. Mindegyikhez adott: $I_1 = 10\,\mathrm{A}$, $l_1 = 30\,\mathrm{m}$; $I_2 = 16\,\mathrm{A}$, $l_2 = 25\,\mathrm{m}$; $I_3 = 6\,\mathrm{A}$, $l_3 = 40\,\mathrm{m}$. A megengedett feszültségesés mindenhol 6,9 V, réz vezetőképesség $\gamma = 56\,\mathrm{m}/(\Omega \cdot \mathrm{mm}^2)$. Számold ki a minimális keresztmetszeteket, és válaszd ki a szabványos értékeket (1,5, 2,5, 4, 6 mm^2).

4. feladat (B). Tervezd meg egy árajánlat-sablon felépítését a szövegszerkesztőben: sorold fel a fejléc elemeit, a táblázat oszlopait, az összesítés sorait és az aláírási blokk tartalmát. Írd le, hogyan számolnád a bruttó végösszeget a táblázatkezelőben, ha az áfa 27%.

5. feladat (C). Egy táblázatban a B oszlop a mennyiség, a C az egységár, a D a tételösszeg. A D2 cella képlete `=B2*C2`, és lefelé másolva a D5 cellában `=B5*C3` jelenik meg. Mi lehet a hiba? Hogyan javítanád?

6. feladat (D). Gyakorlati feladat: hozz létre egy mappastruktúrát egy lakáselosztó-csere projekthez, adj neki beszédes mappaneveket, és tervezd meg a fájlneveket az árajánlathoz, a jegyzőkönyvhöz és a fényképekhez. Milyen verziózási szabályt alkalmazol? Hová mented a biztonsági másolatot?

14.2.13. Megoldások

1. feladat (A) megoldása. A relatív hivatkozás másoláskor a célcellához képest eltolódik, például `B2`-ből lefelé másolva `B3` lesz. Az abszolút hivatkozás mindig ugyanarra a cellára mutat, például `$B$2`. Vegyes esetben csak az oszlop vagy csak a sor rögzített.

2. feladat (A) megoldása. Tételösszeg = mennyiség × egységár $= 12 \cdot 850 = 10\,200\,\text{Ft}$. A cellahivatkozással: `=C4*D4`.

3. feladat (B) megoldása. Az $A_{\min} = \frac{2Il}{\gamma \Delta U_{\text{meg}}}$ képletbe behelyettesítünk:

$$A_1 = \frac{2 \cdot 10 \cdot 30}{56 \cdot 6{,}9} \approx 1{,}55\,\text{mm}^2 \Rightarrow 2{,}5\,\text{mm}^2$$

$$A_2 = \frac{2 \cdot 16 \cdot 25}{56 \cdot 6{,}9} \approx 2{,}07\,\text{mm}^2 \Rightarrow 2{,}5\,\text{mm}^2$$

$$A_3 = \frac{2 \cdot 6 \cdot 40}{56 \cdot 6{,}9} \approx 1{,}24\,\text{mm}^2 \Rightarrow 1{,}5\,\text{mm}^2$$

Mindhárom esetben a szabványos sor következő nagyobb eleme a feszültségesés szerint választandó keresztmetszet; ezt még a terhelhetőségi és kioldási feltétellel is ellenőrizni kell (Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők, Feszültségesés és a vezeték méretezése; a szerelési mód: Vezetékek és kábelek szerelési módjai).

4. feladat (B) megoldása. Árajánlat-sablon fejléc: cégnév, cím, adószám, telefonszám, e-mail, logó. Táblázat oszlopai: sorszám, megnevezés, mennyiség, egységár, tételösszeg. Összesítés: nettó anyagköltség (`=SZUM(E2:E20)`), munkadíj, nettó összesen (E24: `=SZUM(E21:E23)`, ahol E22 a munkadíj, E23 a kiszállás), áfa (az egész nettó összegre: `=E24*$B$22`), bruttó végösszeg (`=E24+E25`). Aláírás: keltezés, vállalkozó aláírása, bélyegző. Az áfakulcs abszolút hivatkozással szerepel.

5. feladat (C) megoldása. A D5 cellában szereplő `=B5*C3` hibás, mert a C oszlop hivatkozása nem tolódott el helyesen: a C3 cellára mutat C5 helyett. Ennek oka valószínűleg az, hogy a D2 cella képletét nem normál módon másolták, hanem kézzel írták át, vagy a másolás előtt a C oszlop hivatkozása vegyes vagy abszolút volt. Javítás: a D5 cellába a helyes képlet `=B5*C5`, majd a teljes oszlopot ellenőrizni kell, hogy minden sorban a megfelelő B és C cellákra hivatkozzon.

6. feladat (D) megoldása. Mappastruktúra:

```
Projekt_Lakaselosztocsere_2025/
├── 01_Ajanlat/
├── 02_Meresi_jegyzokonyv/
├── 03_Fenykepek/
└── 04_Atadasi_dok/
```

Fájlnevek: `Lakaselosztocsere_ajanlat_2025-03-15_v1.0.pdf`, `Lakaselosztocsere_jegyzokonyv_2025-03-20_v1.0.pdf`, a fényképeknél `IMG_20250315_101.jpg` stb. Verziózási szabály: a jóváhagyott változat `v1.0`, kisebb javítás `v1.1`, nagyobb módosítás `v2.0`. Biztonsági másolat: külső merevlemez vagy jelszóval védett felhőmappa, hetente frissítve.

14.2.14. Önellenőrzés – válaszok

1. Relatív: másoláskor eltolódik (B2 → B3); abszolút: rögzített (`$B$2`).
2. A B22 relatív, lefelé másolva B23, B24… lesz, üres cellára mutat, így az áfa 0; helyesen `=E2*$B$22`.
3. `=C2*D2` → $12 \cdot 850 = 10\,200$ Ft.
4. A mérési táblázat a jegyzőkönyvhöz tartozik.
5. A PDF nem módosítható véletlenül, és formázása minden gépen azonos.
6. Például `01_Ajanlat`, `02_Rajzok`, `03_Meresi_jegyzokonyv`, `04_Fenykepek`, `05_Atadasi_dok`.

14.2.15. Rövid összefoglaló

Az irodai alkalmazások a szerelő számára nem felesleges adminisztrációt, hanem a minőségi munka eszközét jelentik. A táblázatkezelő lehetővé teszi, hogy a vezetékméretezés és az anyagköltség-számítás képletekkel, automatikusan frissülő módon történjen. A relatív hivatkozás másoláskor eltolódik, az abszolút hivatkozás rögzített cellára mutat; ezt a különbséget minden képletmásolásnál ellenőrizni kell. Az anyaglista tételösszege `=mennyiség*egységár`, a végösszeg `=SZUM(tartomány)`, az áfa `=végösszeg*áfakulcs` abszolút hivatkozással. A szövegszerkesztőben sablonok biztosítják, hogy az árajánlat és a mérési jegyzőkönyv egységes, professzionális formában készüljön; a fejléc, a táblázat és az aláírási blokk minden dokumentumban azonos. A fájlokat beszédes névvel, verziószámmal és projektenkénti mappastruktúrában kell menteni; a fontos dokumentumokból PDF-export és külső biztonsági másolat készüljön. Az ügyféladatok kezelésekor a jelszavas védelem és a titkosított csatorna elengedhetetlen (ellenőrizendő: adatvédelmi előírások). A fájlkezelés, a mentési rutin és az e-mail használat alapjai a Számítógépes hálózatok és adatkommunikáció alfejezetben folytatódnak.

14.3. Számítógépes hálózatok és adatkommunikáció

14.3.1. Motiváció

Az irodai alkalmazások mellett a mai villanyszerelő egyre gyakrabban találkozik számítógép-hálózatokkal: egy lakásfelújításnál a megszokott erősáramú körök mellé UTP-kábelt húznak az IP-kamera, a Wi-Fi átjátszó, az okosmérő vagy a klímavezérlő számára. Egy ipari csarnokban a PLC, a frekvenciaváltó és a karbantartó laptopja gyakran ugyanazon a hálózaton, de más-más hálózati szegmensben kommunikál. Aki tudja, mi a különbség egy router és egy switch között, hogyan kell bekötni egy RJ45-csatlakozót, és miért nem éri el az eszköz az átjárót, az nemcsak hibát talál, hanem a gyengeáramú rendszert is úgy tervezi, hogy az ne zavarja, és ne őt hívják vissza.

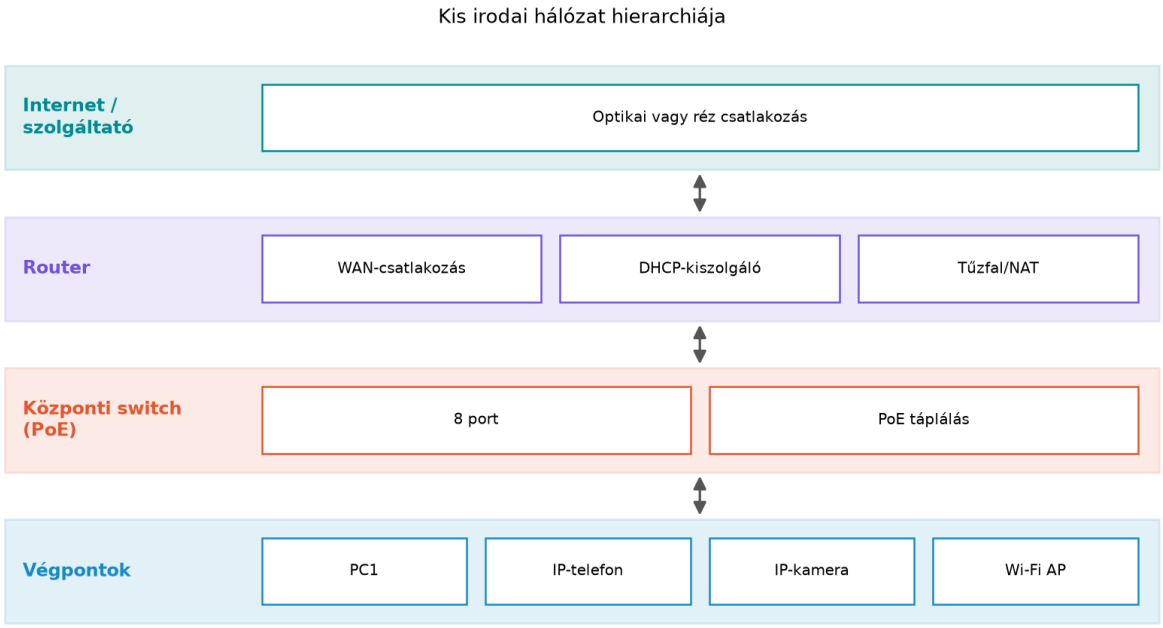
Ebben az alfejezetben a hálózati alapfogalmakat, a kábelezést és az épületautomatikai összefüggést tanuljuk meg. A fizikai elvek, a csatlakozók és a címzés ismerete később is előjön, amikor KNX- vagy DALI-rendszert telepítünk, illetve amikor egy vezérlőberendezés HMI-kijelzőjét hálózatra kötjük.

14.3.2. Hálózati topológiák

A gyakorlatban szinte mindig csillag topológiát látunk: a végpontok (PC, nyomtató, kamera, access point) külön-külön kábelen csatlakoznak egy központi kapcsolóhoz (switch), a switch pedig a routerhez. A régebbi busz- és gyűrűs topológiák ma már legfeljebb ipari redundáns hálózatokban vagy régi dokumentációkban érdekesek, de a megértésük hasznos: busz esetén az eszközök egyetlen közös kábelre csatlakoznak, gyűrű esetén az utolsó eszköz visszacsatlakozik az elsőhöz.

Definíció. A hálózati topológia az eszközök logikai és fizikai összekapcsolásának elrendezése. A nagyméretű hálózatokban a csillag topológiákat hierarchikusan egymás fölé épített **fa topológia** alkotja: munkahelyi aljzatok → emeleti elosztó switch → épületközi gerinchálózat → központi router.

Az alábbi rétegábra egy kis iroda tipikus hálózati hierarchiáját szemlélteti.



14.3. ábra. Kis irodai hálózat hierarchiája - Szemléltető topológia: a router, a switch és a végpontok rétegei egymásra épülnek.

A fa topológia előnye, hogy egyetlen kábel meghibásodása általában csak egy végpontot érint, és a hibakeresés rétegről rétegre haladhat.

14.3.3. IP-cím, maszk, kapu

Amikor egy készülék csatlakozik a hálózathoz, általában automatikusan kap IP-címet egy **DHCP-kiszolgálótól**. A villanyszerelőnek mégis ismernie kell a statikus címzés alapjait, mert az épületautomatikai eszközök, kamerák, PLC-k és frekvenciaváltók gyakran fix IP-címet igényelnek.

Definíció. Az **IPv4-cím** egy 32 bites szám, amelyet négy, ponttal elválasztott, 0 és 255 közötti decimális számként írunk, például `192.168.1.37`. Az IP-cím két részre oszlik: a **hálózati cím** azonosítja a hálózatot, a **hosztcím** az egyes készüléket ezen a hálózaton.

Definíció. A **hálózati maszk** (subnet mask) azt mondja meg, hogy az IP-címből hány bit tartozik a hálózat azonosításához. Az írásmód lehet hagyományos, például `255.255.255.0`, vagy rövidített, például `/24`. A `/24` azt jelenti, hogy a balról számított első 24 bit a hálózat, a maradék 8 bit a hoszt.

Szabály. Egy IP-címből a hálózati címet az IP-cím és a maszk **bitenkénti logikai ÉS** műveletével kapjuk meg. Az **alapértelmezett átjáró (gateway)** az a készülék, általában router, amelyen keresztül az adott hálózat gépei a más hálózatok felé forgalmaznak. Egy hálózatnak minden eszköze ugyanabban a hálózati tartományban kell legyen, és az átjárónak is ebben a tartományban kell lennie.

Példa. Legyen a készülék IP-címe `192.168.1.37/24`, az átjáró `192.168.1.1`. A maszk `255.255.255.0`. A bitenkénti ÉS művelet:

- `192.168.1.37` → `11000000.10101000.00000001.00100101`
- `255.255.255.0` → `11111111.11111111.11111111.00000000`
- eredmény → `11000000.10101000.00000001.00000000` = `192.168.1.0`

Tehát a hálózati cím `192.168.1.0`. A hálózatban a hosztok a `192.168.1.1` – `192.168.1.254` tartományt használhatják, a `192.168.1.255` a **broadcast-cím**, amely minden készülékhez szól. A használható hosztok számát a maszk határozza meg:

$$\text{használható hosztok száma} = 2^{32-p} - 2,$$

ahol p a maszk hossza, például `/24` esetén $2^8 - 2 = 254$. A kettőt a hálózati cím és a broadcast-cím miatt vonjuk le.

Szabály. A magánhálózatokban gyakran használt tartományok: `10.0.0.0/8`, `172.16.0.0/12` és `192.168.0.0/16`. A nyilvános interneten ezek a címek nem útválaszthatók, ezért a router **NAT**-ot (hálózati címfordítás) végez, amikor a magánhálózati készülék az internethez fordul.

A **DNS-kiszolgáló** a neveket (például `www.iroda.hu`) IP-címre fordítja; az átjáró mellett a DNS-t is be kell állítani, ha nem DHCP-t használunk.

14.3.4. UTP-kábelezés és RJ45-csatlakozó

A lokalizált hálózati kábelezés leggyakrabban csavart réz érpárokat használ. A **UTP** (árnyékolatlan csavart érpár) 4 párt, összesen 8 eret tartalmaz; a párok csavarása a külső zavarokkal szembeni védelmet szolgálja. Az **FTP** kábel ezen felül fóliaárnyékolást is kap. A kategóriák a sebességet és a maximális hosszt befolyásolják: a Cat5e általában 1 Gbit/s sebességig, a Cat6 rövid távon 10 Gbit/s-ig, a Cat6a 100 méteren is 10 Gbit/s-ig alkalmas. **(ellenőrizendő: aktuális szabvány/gyártói adatlap)**

Szabvány. A strukturált hálózati kábelezésre az ISO/IEC 11801 sorozat és az ezzel harmonizált európai szabvány vonatkozik **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**. Az állandó link (permanent link, a patchpanel és a fali aljzat közötti fix kábel) legfeljebb 90 m, a csatorna (channel) a két patchkábellel együtt legfeljebb 100 m. A szerelőnek ezt a hosszat nem szabad túllépnie, és a kábelre ható húzóerőt, hajlítási sugarat a gyártó adatai szerint kell betartani.

Szabály. Az erősáramú (230/400 V) és az adatkábeleket egymástól elválasztva vezetjük: közös kábelcsatornában csak elválasztó fallal, közös szerelvénydobozban csak elválasztott rekeszben; a minimális elválasztási távolság a kábelek típusától és az elválasztás módjától függ (ellenőrizendő: MSZ EN 50174-2, gyártói adatlap). Erősáramú vezeték nem kerülhet az adataljzat dobozába; ez biztonsági kérdés is (eltérő szigetelési szint), nem csak zavarvédelem. A 8 eres kábelt a 8P8C

moduláris csatlakozóba (**RJ45**) kell bekötni. A gyakorlatban Magyarországon is a **T568B** színsorrend terjedt el. A színsorrend a csatlakozó érintkezői szerint, balról jobbra:

1. narancs-fehér
2. narancs
3. zöld-fehér
4. kék
5. kék-fehér
6. zöld
7. barna-fehér
8. barna

A T568A variáns az 1–2 és a 3–6 párokat cseréli fel; a hibaelhárítás során mindig azt kell ellenőrizni, hogy a kábel két végén ugyanazt a szabványt követik-e.

Eljárás. RJ45-csatlakozó bekötése T568B szerint:

1. Készítsd elő az UTP-kábelt, a csatlakozót, a lehúzót, a krimpelő fogót és a kábeltesztert.
2. A kábel végéről óvatosan, 25–30 mm hosszan távolítsd el a külső köpenyt úgy, hogy az erek szigetelése sértetlen maradjon.
3. Válaszd szét a négy párt, és az ereket a T568B sorrend szerint rendezd el.
4. Fogd össze az ereket, és egyenesre vágd őket úgy, hogy a köpenytől mérve körülbelül 13–15 mm hosszú, párhuzamos síkfelületet kapj.
5. Told be a sorba rendezett ereket az RJ45-csatlakozóba; a kilincs (retesz) lefelé nézzen, a köpeny pedig nyúljon be a csatlakozó tehermentesítő részéig.
6. Mielőtt krimpelsz, vizsgáld meg a csatlakozó elejét: mind a 8 érnek el kell érnie az érintkezők vonalát, és a színsorrend nem csúszhatott el.
7. Helyezd a csatlakozót a krimpelő fogó 8P/RJ45 nyílásába, és nyomd össze határozottan; a fém tüskék benyomódnak az erekbe.
8. Kábelteszterrel ellenőrizd a kész kábelt: az 1–8 LED-ek mindkét oldalon sorban, párban villanjanak. Ha szakadást, zárlatot vagy sorrendhibát mutat, vágd le a csatlakozót, és készítsd el újra.

14.3.5. Router, switch, Wi-Fi, PoE

A hálózati eszközök feladatát gyakran keverik, ezért érdemes pontosan meghatározni.

Definíció. A **switch** (kapcsoló) az azonos hálózaton belüli eszközöket kapcsolja össze, és a forgalmat a cél **MAC-cím** alapján portról portra irányítja. A switch nem végez útválasztást; a végpontok ugyanabba az IP-hálózatba tartoznak.

Definíció. A **router** (útválasztó) különböző hálózatok között irányítja a csomagokat, általában a helyi hálózat és az internet, vagy a helyi hálózat és egy felügyeleti hálózat között. A routeren fut a DHCP-kiszolgáló, a NAT és gyakran a tűzfal.

Definíció. A **Wi-Fi** vezeték nélküli helyi hálózatot hoz létre az IEEE 802.11 szabványcsalád alapján. A Wi-Fi AP (access point) általában egy routerbe vagy külön dobozba épül; az AP-t hálózati kábelen a switchhez kell kötni, ha nagyobb területet akarunk lefedni.

Definíció. A **PoE** (Power over Ethernet) tápellátást biztosít a hálózati kábelen keresztül az eszköznek. A szabványos típusok: IEEE 802.3af körülbelül 15,4 W, 802.3at körülbelül 30 W, 802.3bt körülbelül 60 W (Type 3) és 90 W (Type 4) a switch portján; a fogyasztóhoz a kábelveszteség után kevesebb jut (kb. 13 W, 25,5 W, 51 W, 71 W). **(ellenőrizendő: IEEE**

802.3, gyártói adatlap) A PoE feszültsége jellemzően 48 V egyenfeszültség; a tényleges teljesítményt a kábel hossza, a kategória és az eszköz igénye egyaránt befolyásolja.

Gyakorlati elv: a router WAN-portjára a szolgáltatótól érkező kábel kerül, a LAN-portjaira switch, PC vagy AP. Ha a hálózatban PoE kamera, IP-telefon vagy vezeték nélküli AP is van, célszerű PoE-képes switch-et választani, hogy ne kelljen külön tápegységet szerelni minden eszközhöz.

14.3.6. Hálózat és épületautomatika kapcsolata

Az épületautomatikai rendszerek egy része önálló buszon működik (például KNX TP, DALI vagy Modbus RTU), de a felügyeletük, programozásuk és az egyes rendszerek közötti adatcsere egyre inkább IP-alapú hálózaton történik. A KNX IP-interfészen, a DALI hálózati átjárón, a PLC pedig Ethernet-porton keresztül kapcsolódik az épületfelügyelethez. A szerelőnek ugyanazt kell tudnia: IP-cím beállítás, hálózati kábel bekötése, hibakeresés a switch LED-jeivel és a parancssoros `ping` ellenőrzéssel.

Továbbvitt eredmény. Az itt tanult hálózati ismereteket a KNX, DALI és más épületautomatikai rendszerek és a Vezérlőberendezések informatikai hálózatai és HMI alfejezetek használják fel: ugyanazt az IP-címzést, kábelezést és csillag topológiát látjuk vissza a buszos rendszerek felügyeleti oldalán.

14.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy kis irodában a megrendelő IP-kamerát szeretett volna a bejárathoz. A szerelő behúzott egy 60 m hosszú UTP-kábelt, és a végét az irodában lévő PoE switchbe kötötte. A kamera nem indult el; a switch portján a LED világított, de a PoE-visszajelzés nem jött létre. A kábelteszter azt mutatta, hogy a 4. és 5. ér (a kék pár) megszakadt. A krimpeléskor az egyik ér a tehermentesítőnél megtört, és a feszes kötegelés a kábelt ennél a pontnál tovább húzta. 100 Mbit/s-os kapcsolatnál az adat az 1-2 és 3-6 érpáron halad, ezért a link LED világított; a switch azonban a kék és barna páron (B mód) adta volna a PoE-táplálást, így a kamera nem indult (ellenőrizendő: a switch PoE-módja). A csatlakozó ismételt elkészítése után a kamera megfelelően működött. A tanulság: a gyengeáramú hálózati hibák leggyakrabban nem az IP-címben, hanem a fizikai rétegben – a kábelben vagy a csatlakozóban – vannak.

14.3.8. Gyakorlati útmutató

Cél: Készítsünk egy 5 m hosszú UTP-kábelt RJ45-csatlakozóval a T568B szabvány szerint, és ellenőrizzük kábelteszterrel.

Eszközök és anyagok: UTP Cat5e vagy jobb minőségű kábel, RJ45-csatlakozó (csavart érpárhoz), lehúzó, krimpelő fogó, kábelteszter, jelölőcímke.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Ha a hálózati eszköz 230 V-os táplálásához nyúlsz, azt csak jogosult személy kötheti le, a hatályos előírások szerint.

Az öt biztonsági szabályt itt is be kell tartani, ha a hálózati készülékek tápellátását vagy a környező erősáramú szerelést érintjük:

1. Lekapcsolás: a környezetben lévő hálózati feszültségű áramköröket és a PoE-tápláló eszközöket lekapcsoljuk.

2. Visszakapcsolás elleni biztosítás: a leválasztókat letiltjuk, hogy senki se kapcsolhassa vissza.
3. Feszültségmentesség ellenőrzése: megfelelő feszültségvizsgálóval győződjünk meg arról, hogy a hálózati részeken nincs feszültség.
4. Földelés és rövidre zárás: csak hálózati feszültségű berendezésen, ott is szabályosan.
5. Szomszédos, feszültség alatt maradt részek lefedése: a feszültség alatt lévő kapcsokat, síneket takarjuk le.

Lépések:

1. Mérd ki a szükséges kábelhosszt, hagyva 10–15 cm tartalékot a csatlakozók kialakításához.
2. A kábel mindkét végéről óvatosan, 25–30 mm hosszan távolítsd el a külső köpenyt; a belső erek szigetelése sértetlen maradjon.
3. Rendezd az ereket T568B sorrendbe: narancs-fehér, narancs, zöld-fehér, kék, kék-fehér, zöld, barna-fehér, barna.
4. Vágd egyenesre a sorba rendezett ereket úgy, hogy a köpenytől mérve 13–15 mm hosszúak legyenek.
5. Told be az ereket az RJ45-csatlakozóba; a kilincs lefelé nézzen, a köpeny érjen be a tehermentesítőig.
6. Ellenőrizd a csatlakozó elejét: mind a 8 ér elérje az érintkezőt, és a színsorrend ne csússzon el.
7. Krimpeld meg a csatlakozót az erre való fogóval, majd ugyanezt végezd el a kábel másik végén.
8. Teszteld a kábelt: a kábeltesztert a két végére csatlakoztatva az 1–8 LED-ek sorban világítsanak. A főegység és a távadó oldalán azonos sorszámnak kell világítania.

Ellenőrzési pontok:

- A T568B színsorrend mindkét végén azonos.
- A kábelköpeny beér a csatlakozó tehermentesítő részébe.
- A krimpelés után nincs szabadon kilógó ér, és a csatlakozó nem mozog.
- A teszter nem mutat szakadást, zárlatot vagy párkeresztezést.

Tipikus hibák a bekötés során:

- Túl hosszúra lecsupaszított kábel miatt a párok nem érnek el az érintkezőkig.
- A párok sorrendje elcsúszik, például a kék és a zöld pár felcserélődik.
- A csatlakozót rossz irányból krimpelve az érintkezők nem hatolnak a szigetelésbe.
- Az erek a csatlakozó tövében eltörnek, ha a kábelt élesen visszahajtják.

Dokumentálás: A kész kábel mindkét végére azonos jelölőcímkét helyezzünk el, például `NET-001`. A patchpanel és a munkahelyi aljzat bekötésekor a rajzon tüntessük fel a kábel azonosítóját és a hálózati eszköz portját.

14.3.9. Tipikus hibák

1. **T568A és T568B keverése.** Ha az egyik vég T568A, a másik T568B, a kábel nem egyenes, hanem keresztezett. A mai eszközök egy része automatikusan kezeli, de a legrosszabb az, ha csak időszakosan működik. Mindig ellenőrizzük a két vég azonosságát.

2. **Ipari hálózaton az eszköz IP-címe ütközik.** Ha két PLC vagy kamera ugyanazt a statikus IP-címet kapja, a hálózat kiszámíthatatlanul viselkedik. A javítás: minden eszközhöz egyedi, a hálózati tartományba illeszkedő címet adjunk, és vezessünk címzési táblázatot.

3. **90 m-nél hosszabb szakasz kábelből.** A megrendelő spórol, és 110 m kábelt húzat be; az átvitel hibás vagy lassú lesz. A szabvány szerinti csatornahosszt be kell tartani, vagy aktív eszközt, optikai átalakítót kell beépíteni.
4. **UTP a 230 V-os vezetékkel egy védőcsőben vagy közös dobozban.** Elválasztás nélkül tilos; lásd az erősáramú és adatkábelek elválasztásáról szóló szabályt.
5. **PoE eszköz túl nagy teljesítményt igényel.** Egy 30 W-ot igénylő kamera egy 15,4 W-os PoE switch portra kötve nem fog indulni. A switch és a fogyasztó adatlapját mindig egyeztetni kell.

14.3.10. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a router és a switch feladata között?
2. Sorold fel a T568B színsorrendet a kábel 1–8 erei szerint.
3. Mi a hálózati cím és a broadcast-cím a `192.168.1.37/24` IP-cím esetén, és hány hoszt használható?
4. Mire való a PoE, és miért kell ismerni a fogyasztó teljesítményigényét?
5. Mi a maximális engedélyezett hossza egy UTP-alapú állandó linknek (fix szakasznak)?

14.3.11. Feladatok

1. feladat (A) Sorolj fel legalább három hálózati topológiát, és mondd meg, melyik a legelterjedtebb a modern Ethernet-hálózatokban.

2. feladat (A) Milyen eszközt használunk az azonos hálózaton belüli eszközök összekapcsolására, és melyik irányítja a hálózatok közötti forgalmat?

3. feladat (B) Egy eszköz IP-címe `172.16.5.100/20`. Számítsd ki a hálózati címet, a broadcast-címet, és határozd meg a használható hosztok számát.

4. feladat (B) Rajzold le vagy írd le egy kis iroda hálózatának bekötési tervét: szolgáltatói csatlakozás, router, 8 portos PoE switch, két PC, egy Wi-Fi AP és egy PoE IP-kamera.

5. feladat (C) Egy 8 portos PoE switch minden portja legfeljebb 15,4 W-tal táplál. A portokra csatlakoztatott eszközök: 4 kamera egyenként 7 W, 1 Wi-Fi AP 10 W, 3 IP-telefon egyenként 3 W. A switch teljes PoE-kerete 65 W. Elfér-e a rendszer a switch teljesítménykeretén belül? Indokold számítással, osztály szerinti foglalással is (IEEE 802.3af: 1. osztály 4,0 W, 2. osztály 7,0 W, 3. osztály 15,4 W a switch oldalán; a készüléknek 3,84 W, 6,49 W, illetve 12,95 W áll rendelkezésére).

6. feladat (D) Egy kábelteszter az 1–8 LED-ek közül a 3–6 párokat fordított sorrendben mutatja. Mi lehet a hiba, és hogyan javítanád?

14.3.12. Önellenőrzés – válaszok

1. Switch: hálózaton belül MAC-cím alapján kapcsol; router: hálózatok között IP-cím alapján irányít (DHCP, NAT).
2. Fehér-narancs, narancs, fehér-zöld, kék, fehér-kék, zöld, fehér-barna, barna.
3. Hálózati cím 192.168.1.0, broadcast 192.168.1.255, 254 használható hoszt.
4. Adat és táp egy kábelen; ha az igény meghaladja a port vagy a switch keretét, az eszköz nem indul vagy újraindul.
5. 90 m (a csatorna a patchkábelekkel együtt 100 m).

14.3.13. Megoldások

1. feladat

Busz, gyűrű, csillag és fa topológia. A modern Ethernet-hálózatokban a **csillag topológia** a legelterjedtebb, amelyet nagyobb hálózatok esetén **fa topológiává** bővítenek.

2. feladat

Az azonos hálózaton belüli eszközöket **switch** köti össze; a hálózatok közötti forgalmat **router** irányítja.

3. feladat

Adott: IP-cím `172.16.5.100`, maszk `/20`, azaz `255.255.240.0`.

A maszkból: az első 20 bit hálózat, a maradék 12 bit hoszt. Az IP-cím binárisan:

- `172.16.5.100` → `10101100.00010000.00000101.01100100`
- maszk → `11111111.11111111.11110000.00000000`
- bitenkénti ÉS → `10101100.00010000.00000000.00000000`

Visszaalakítva: `172.16.0.0`, ez a **hálózati cím**.

A broadcast-címhez a hosztbiteket 1-re állítjuk. A harmadik oktettben a maszk utolsó 4 bitje a hoszt része: `0000` → `1111`, tehát `172.16.15.255`. A **broadcast-cím**: `172.16.15.255`.

A használható hosztok száma:

$$2^{32-20} - 2 = 2^{12} - 2 = 4096 - 2 = 4094.$$

Tehát a tartomány `172.16.0.1` – `172.16.15.254`.

4. feladat

A kapcsolási terv leírása:

- A szolgáltatói csatlakozás a router **WAN-portjára** csatlakozik.
- A router **LAN-portjára** egy 8 portos PoE switch csatlakozik.
- A switch portjaira: PC1, PC2, Wi-Fi AP és IP-kamera.
- Az IP-kamera PoE-t kap a switch portjától, ezért külön tápegység nem kell.
- A Wi-Fi AP-t is a switchre kötjük UTP-kábellel; a tápellátás vagy PoE-ből, vagy külön adapterből történik.
- Az IP-címzést a router DHCP-kiszolgálója osztja ki, kivéve, ha a kamerának fix címet adunk.

5. feladat

A fogyasztók teljes igénye:

$$4 \times 7\,\mathrm{W} + 1 \times 10\,\mathrm{W} + 3 \times 3\,\mathrm{W} = 28 + 10 + 9 = 47\,\mathrm{W}.$$

A switch teljes PoE-kerete 65 W, ez kisebb, mint a nyolc port névleges összege ($8 \cdot 15{,}4 = 123{,}2$ W), tehát a keretet kell a fogyasztók igényével összevetni.

Tényleges igény szerint a fogyasztók összesen 47 W-ot vesznek fel (kábelveszteséggel ennél kicsit többet). Osztály szerinti foglalásnál a switch a készülék PoE-osztályához rendel teljesítményt: a 7 W-ot igénylő kamera meghaladja a 2. osztály 6,49 W-os fogyasztói határát, ezért 3. osztályú,

és 15,4 W-ot foglal; az AP is 3. osztályú (15,4 W); a 3 W-os telefon 1. osztályú (4,0 W). Az osztályos foglalás:

$$4 \cdot 15{,}4 + 15{,}4 + 3 \cdot 4{,}0 = 61{,}6 + 15{,}4 + 12{,}0 = 89{,}0\,\mathrm{W} > 65\,\mathrm{W}.$$

Válasz: osztály szerinti foglalással a rendszer nem fér el a 65 W-os keretben. Ha a switch és az eszközök LLDP-alapú (a tényleges igény szerinti) teljesítmény-egyeztetést támogatnak, a kb. 47 W igény és a kábelveszteség elférhet **(ellenőrizendő: switch adatlapja, IEEE 802.3 osztályok)**. A példa azt tanítja, hogy nemcsak a portonkénti teljesítményt, hanem a készülék teljes PoE-keretét és a foglalási módot is ellenőrizni kell.

6. feladat

Ha a teszter 3→6 és 6→3 kapcsolatot mutat, az egyik végen a zöld pár két ere (zöld-fehér és zöld) fel van cserélve. T568A/B keveredésnél ezzel szemben az 1↔3 és 2↔6 keresztezés látszik (két pár cseréje). Javítás: bontsuk le a hibás csatlakozót, rendezzük az ereket mindkét végén **T568B** szerint, krimpeljük újra, és teszterrel ellenőrizzük, hogy az 1–8 LED-ek sorban, párban világítanak.

14.3.14. Rövid összefoglaló

A számítógépes hálózatok a villanyszerelő munkájában a gyengeáramú kábelezés, a felügyeleti rendszerek és az épületautomatika miatt jelennek meg. A modern Ethernet-hálózatok csillag topológiájúak; az eszközöket switch köti össze, a hálózatok közötti forgalmat router irányítja. Az IPv4-cím a hálózati és hoszt részre oszlik; a maszk (`/24`, `255.255.255.0`) mutatja, hány bit a hálózati rész. A hálózati címet IP-cím és maszk bitenkénti ÉS műveletével kapjuk, a broadcast az összes hosztbitet 1-re állítva; a használható hosztok száma $2^{32-p} - 2$. A UTP-kábel 4 csavart érpárból áll, az RJ45-csatlakozót leggyakrabban **T568B** szerint krimpeljük. A PoE a hálózati kábelen keresztül táplál készülékeket, ezért ellenőrizni kell a fogyasztó és a switch teljesítményigényét. A hálózati ismeretek a KNX, DALI és más épületautomatikai rendszerek és a Vezérlőberendezések informatikai hálózatai és HMI alfejezetekben térnek vissza. Hálózati feszültségű hálózati készülék táplálását csak jogosult személy végezheti; a szerelés előtt mindig tartsuk be az öt biztonsági szabályt.

IV. RÉSZ – Épületvillamosság (közös ismeretek)

15 Szerelési technológia és felmérés

15.1. Felmérés, tervértelmezés és szerelési technológia

15.1.1. Motiváció: miért kezdődik minden jó szerelés a helyszínen?

Egy villanyszerelői munka ritkán indul azzal, hogy a tanuló kap egy tökéletesen pontos tervet, és csak „végigszereli a vonalakat”. A valóságban a helyszínen állva kell eldönteni, hogy a kivitelezhető-e az a nyomvonal, ahová a tervező berajzolta, hogy a meglévő elosztóban van-e elég hely, milyen a fal anyaga, és hová lehet egyáltalán biztonságosan rögzíteni a védőcsövet vagy kábeltálcát. A **felmérés** az a tevékenység, amellyel a szerelő összeveti a tervet a valósággal, rögzíti az eltéréseket, és meghatározza a szerelés technológiáját. Ha ez a lépés kimarad vagy felületes, akkor a munka közben derül ki, hogy nincs elég anyag, rossz a sorrend, nem fér a helyére a szerelvény, vagy a kész szerelést utólag kell szétszedni.

Továbbvitt eredmény. A felmérés, a tervértelmezés és a technológiaválasztás eredménye közvetlenül az Anyag- és eszközkiválasztás, árajánlat alfejezetbe megy tovább: a felmért mennyiségekből, nyomvonalakból és szerelési módokból lehet elkészíteni az anyagjegyzéket, eszközlistát és a reális árajánlatot. Amit itt rögzítesz, az később a szerelés ellenőrzési pontjainak is az alapja.

15.1.2. Szemléletes helyzetkép: egy világítási kör felújítása

Képzeld el, hogy egy régi lakásban kell kicserélni egy világítási áramkört, és a tervező rajza szerint a kapcsoló a bejárati ajtó mellett, az áramkör pedig a mennyezet alatt, védőcsőben fut a folyosóról a szobába. A helyszínen viszont azt tapasztalod, hogy:

- a fal nem tégla, hanem vékony gipszkarton és mögötte acél vázszerkezet,
- a tervező által megadott nyomvonalon keresztben mennek a meglévő rejtett védőcsövek,
- a kapcsoló tervezett helyén a falban rejtett vezeték fut, amely nem a szerelési sávban halad,
- a mennyezet alatt vízszintes kábelcsatornát nem lehet esztétikusan elrejteni.

Ezeket a helyszíni feltételeket a terv önmagában nem mutatja. A felmérés során a szerelő megállapítja, hogy a csőnyomvonalat el kell tolni, a kapcsolót az ajtó másik oldalára kell helyezni, és a gipszkarton mögé rugós rögzítésű kábeltartozék vagy megfelelően rögzített védőcső kerüljön. Ezt jegyzőkönyvbe írja, és egyezteti a megrendelővel vagy a tervezővel.

15.1.3. A szerelési technológia fogalma és célja

Definíció. A **szerelési technológia** a villamos berendezés kivitelezéséhez tartozó műveletek, eljárások, eszközök és ellenőrzések összessége, amelyet a szerelő az adott helyszíni viszonyok, a tervdokumentáció és a szabványok alapján választ meg.

A technológia célja három szempont szerint foglalható össze:

- **Minőség:** a kész szerelés feleljen meg a tervnek és a szabványos követelményeknek, maradandó, hibamentes és felülvizsgálható legyen.

- **Biztonság:** a kivitelezés és a kész berendezés is védje a dolgozót, a felhasználót és az épületet az áramütéstől, a túlmelegedéstől, a zárlattól és a tűztől.
- **Gazdaságosság:** az anyag-, idő- és munkaerő-felhasználás a megfelelő műszaki szinthez igazodjon; ne legyen se túlméretezett, se alulméretezett.

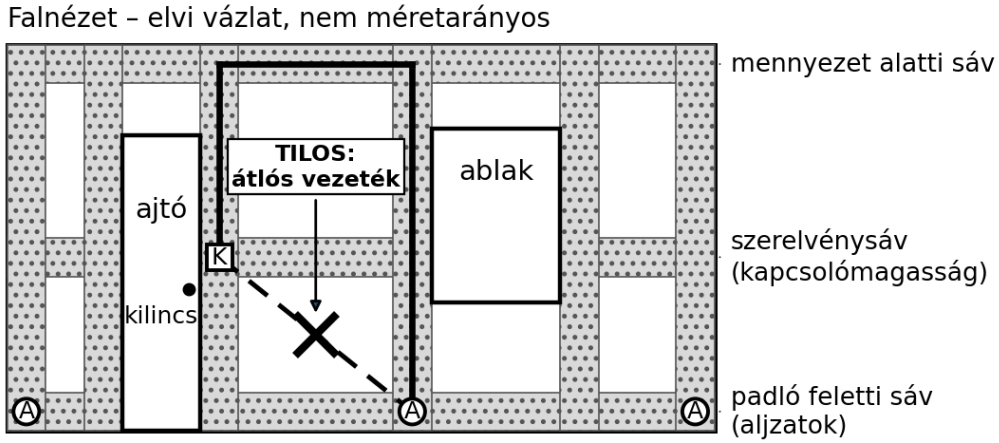
Gyakorlati példa: egy vezetéknyomvonal lehet rögzítetten falba süllyesztett védőcső, fali kábeltálca vagy vakolat alá közvetlenül fektetett kábel. A technológiaválasztás nem ízlés kérdése, hanem a szerelési környezet és a védelmi követelmények függvénye. Nedves pincében például a közvetlen vakolat alá fektetett kábel helyett a megfelelő szerelési módot és védettséget biztosító megoldást kell választani, ellenőrizve a szabvány szerinti szerelési módot **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 szerelési mód táblázatai)**.

15.1.4. Helyszíni felmérés: mit kell megnézni és rögzíteni?

A felmérés nem azt jelenti, hogy a szerelő „körülnéz”, hanem hogy célirányosan gyűjti azokat az adatokat, amelyek a szerelés technológiájához és az anyagrendeléshez kellenek. A felmérési lista praktikusan a következő csoportokra bontható.

15.1.4.1. 1. Méretek, helyszíni geometria

Szabály. Szerelési sávok (szerelőzónák). Rejtett vezetéket csak vízszintesen vagy függőlegesen, kijelölt sávokban vezetünk, ferdén soha: a vízszintes sávok a mennyezet alatt és a padló felett, illetve a szerelvények (kapcsolók, aljzatok) magassága körül futnak; a függőleges sávok a nyílászárók és a falsarkok mellett futnak, a szerelvények a sávokban vagy a sávok metszéspontjában ülnek. A sávok szélessége és a faltól mért távolságuk hozzávetőleg néhány tíz centiméter (tájékoztató érték, ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 szerinti előírt sávok és a hazai gyakorlatban használt sávszabály; a pontos méretek forrásellenőrzést igényelnek). A rejtett vezeték helyének kiszámíthatósága fúrásnál, rögzítésnél életvédelmi kérdés.



Függőleges sávok: a falsarkoknál és a nyílászárók két oldalán.
K = kapcsoló, A = aljzat: szerelvény a sávban vagy a sávok metszéspontjában.
Folytonos vonal: helyes nyomvonal (sávban); szaggatott, X-szel áthúzva: tilos.
Sávszélesség és távolság: kb. néhány tíz cm (tájékoztató, ellenőrizendő:
MSZ HD 60364-5-52 és a hazai gyakorlat).

15.1. ábra. Szerelési sávok egy szobafalon (elvi, nem méretarányos vázlat)

Az ábrán a pontozott sávok a falon: vízszintesen a mennyezet alatt, a kapcsolómagasság körül és a padló felett, függőlegesen a két falsaroknál, valamint az ajtó és az ablak két oldalán. A kapcsoló (K) az ajtó kilincsoldali függőleges sávjának és a kapcsolómagasságú sávnak a metszéspontjában ül, az aljzatok (A) a padló feletti sávban; a helyes nyomvonalak (folytonos vonal) a mennyezet alatti sávból függőlegesen ereszkednek le, az átlósan futó (szaggatott, áthúzott) vezeték tilos, mert fúráskor senki nem számít rá. A sávok méreteit az ábra szándékosan nem adja meg (lásd a szabály ellenőrizendő méreteit). Az interaktív változatban egy fúrási pontot mozgatva azt is kipróbálhatod, mikor esik a pont szerelési sávba.

- A helyiségek méretei, belmagassága, ajtó-ablaknyílások helye.
- A nyomvonal hossza, helye, keresztezési pontjai, faláttörések.
- A szabad szerelési zóna: a fal mely részein lehet a szerelési sávokban (szerelőzónákban) vezetéket fektetni és szerelvényt elhelyezni (lásd a fenti szabályt és az ábrát).
- A távolság a csatlakozási ponttól az elosztóig, az elosztótól a fogyasztókig.

15.1.4.2. 2. Meglévő hálózat és csatlakozási pont

- A meglévő hálózat állapota, rendszere (TN, TT, IT), névleges feszültsége, zárlati viszonyai.
- Az elosztó, a mérőhely és a csatlakozó vezeték helye.
- A meglévő kötések, elosztódobozok, szerelvények állapota.
- A meglévő védelmek típusa, értékei, jelölései.

15.1.4.3. 3. Épületszerkezeti viszonyok és falazat

- A falazat anyaga: tégla, beton, pórusbeton, gipszkarton, fa, fém vázszerkezet.
- A szerelés szempontjából meghatározó, hogy a falba lehet-e hornyot vágni, vagy a szerelés csak felületszerelt lehet.
- Az aljzat, a mennyezet, a padlószerkezet típusa.
- A tűzvédelmi szempontból meghatározó fal- és födémáttörések.

15.1.4.4. 4. Védettségi és környezeti igény

- A helyiség nedvesség, por, mechanikai hatás, hőmérséklet, vegyi anyag jelenléte.
- A szükséges IP-védettség meghatározása a környezeti besorolás alapján (pl. WC, fürdő, pince, udvar).
- A robbanásbiztos, csúszó-, láng- és hősugárzásnak kitett területek jellege.

15.1.4.5. 5. Tűzszakaszok és a kábelek keresztmetszése

- A tűzszakaszok határai, ahol a kábelek áttörnek.
- A tűzgátló rendszerek, a kábelcsatorna tűzállósági követelményei.
- A kábelek elhelyezhetősége, a gyújtóforrásoktól és hőszigeteléstől mért távolsága.

A fenti öt csoport egyben a helyszíni felmérési ellenőrzőlista váza: csoportonként egy-egy kitöltőmezővel (megállapítás, mért vagy leolvasott érték) és jelölőnégyzettel („rendben / eltérés / további vizsgálat kell”) papíron vagy táblázatban is vezethető.

15.1.5. Terv és helyszín eltéréseinek kezelése

A terv a kivitelezés alapja, de nem helyettesíti a helyszíni valóságot. A villanyszerelőnek mindig fel kell tennie a kérdést: a terv minden eleme megvalósítható-e az adott helyszínen, és megfelel-e a szabványoknak?

Gyakori eltérések:

- A tervezett szerelvény helyén a fal nem tömör (gipszkarton vagy fa), ezért a tervezett kapcsolódobozt nem lehet stabilan rögzíteni.
- A tervezett kábelnyomvonal keresztezi a gázcsövet, vízcsövet vagy más blokkoló szerkezetet.
- A meglévő elosztóban nincs elég hely a tervezett új kismegszakítónak és áramvédőkapcsolónak.
- A tervezett szerelési mód nem engedélyezett az adott épületszerkezetben (pl. vakolat alá fektetés tilos bizonyos gipszkarton rendszerekben).
- A terv nem számol az épület adottságaival: nem jelöli a tűzszakasz-áttörést, a beépített bútort vagy a konyhai páraelszívó mögötti teret.

Szabály. A terv és a helyszín eltérését nem szabad önkényesen, szóban elintézni. A kivitelező szerelő az eltérést rögzíti, egyezteti a megbízóval vagy a tervezővel, és a változtatást bevezeti a kiviteli dokumentációba. A felmérési jegyzőkönyvben rögzíteni kell a módosítás pontos helyét, okát és a megoldást.

Példa. A terv szerint a fürdőszobai mosógép-áramkör a mennyezet alatti süllyesztett szerelőzónában fut, de a helyszínen kiderül, hogy a zóna egy része nem hozzáférhető, mert a felette lévő gépészeti térben vízelvezető csövek futnak keresztben. A szerelő a felmérési jegyzőkönyvben rögzíti, hogy a nyomvonalat a mennyezet másik oldalára kell vinni, a változást a megbízó jóváhagyja, majd a módosított kiviteli tervre rárajzolják a tényleges nyomvonalat. Így a későbbi felülvizsgálat is pontosan tudja, mi készült.

Szabály. A felmérés során készült módosításokat elvileg a **kivitelezési terv** részeként kell kezelni. A kivitelező nem módosíthatja a tervezett védelmi koncepciót (pl. megszakító értékét, vezeték keresztmetszetét) anélkül, hogy a tervezői felelősséget ne tisztázná.

15.1.6. A munka szakaszai: a felméréstől az átadásig

A felmérés nem egyszeri esemény, hanem a technológiai folyamat első állomása. Egy teljes szerelés során a következő szakaszokra lehet tagolni a munkát:

15.1.6.1. 1. Előkészítés

- A terv és a kivitelezői feladat értelmezése.
- A helyszíni bejárás, felmérés, méretek és szerelési módok rögzítése.
- A munkahely biztonsági feltételeinek ellenőrzése: feszültségmentes állapot biztosítása, munkaterület lehatárolása.
- A szükséges anyagok, eszközök és védőfelszerelések összegyűjtése.

15.1.6.2. 2. Nyomvonalak és szerelési módok kijelölése

- A falon való nyomvonal-meghatározás, a szerelőzónák betartásával.
- A rögzítési pontok távolságának meghatározása a kábel- és csőfektetéshez.
- A nyomvonalon a szerelvény- és szerelődobozok helyének kijelölése.
- A mélyített ívek, hornyok, áttörések ellenőrzése.

15.1.6.3. 3. Szerelés és bekötés

- Védőcső, kábelcsatorna, tálca vagy egyéb szerelési rendszer fektetése.
- Vezeték, kábel behúzása, rögzítése, hajlítása.
- Szerelvények, elosztók, kapcsolók felszerelése.
- A kötések, csavaros sorkapcsok, érvéghüvelyek és kábelsaruk elkészítése.
- A folytonossági és feszültségmentes ellenőrzések.

15.1.6.4. 4. Ellenőrzés

- Szemrevételezés: a szerelés tényleges nyomvonalának, rögzítéseinek, jelölésének ellenőrzése.
- Folytonossági és szigetelési mérések.
- A védelmi és üzemviteli beállítások ellenőrzése.
- A tervtől való eltérések dokumentálása.

15.1.6.5. 5. Átadás

- A kész szerelés átadása a megrendelőnek vagy a felügyeleti szervnek.
- A mérési jegyzőkönyv, a módosítási lista és az átadási dokumentáció átadása.
- A helyszín takarítása, a munkahelyi rend betartása.

Gyakorlat. A munkafolyamat során a szerelő minden szakaszban ellenőrzi, hogy az adott művelet az előző lépéssel összhangban van-e. Ha például a falba süllyesztett szerelésnél a csővezetést korábban a tervezett nyomvonaltól eltérően fektették, akkor a szerelvénydobozok és a vezetékek hossza is változik; ezt a következő szakaszban már nem lehet hibátlanul korrigálni.

15.1.7. A felmérési adatlap és a dokumentálás

A felmérés eredményét rögzíteni kell, hogy a későbbi szakaszokban minden szerelő ugyanazokat az adatokat használja. A legjobb egy **felmérési adatlap** (checklist), amely tartalmazza:

- a munkaterület azonosítását,
- a tervrajz számát és verzióját,
- a mérés időpontját és a feltüntetett méreteket,
- a mért és tapasztalt eltéréseket,
- a szerelési módokat,
- a védelmi intézkedéseket,
- a nyomvonal és szerelvény helyszínrajzát,
- a felhasznált, illetve a később módosított adatokat.

Szabály. A felmérési adatlap a kiviteli dokumentáció része. Ha később reklamáció vagy bővítés ügye felmerül, ezzel igazolható, hogy a szerelő mit látott, milyen adatok alapján dolgozott. A jó dokumentálás nem utólagos adminisztráció, hanem a helyes kivitelezés része.

15.1.8. Gyakorlati útmutató: felmérés és szerelési technológia rögzítése

Cél. Tanműhelyi vagy jogosult oktató felügyelete mellett végzett gyakorlat számára a szemlélet kialakítása: a helyszíni felmérés, tervértelmezés és technológiaválasztás lépéseinek begyakorlása.

Eszközök és anyagok:

- kiviteli terv (világítási és aljzatkör)
- felmérési adatlap
- mérőszalag, lézeres távolságmérő
- ceruza, fényképezőgép vagy mobiltelefon a dokumentáláshoz
- szükség esetén alapterv, cső- és szerelvénylista
- védőfelszerelés (munkavédelmi cipő, kesztyű, védőszemüveg)

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A felmérés során a meglévő feszültség alatti hálózatot csak feszültségmentesített állapotban, a megfelelő biztonsági eljárások után szabad megközelíteni.

Lépések:

1. **Lekapcsolás** – ha a felmérés során meglévő elosztót vagy vezetéket kell megvizsgálni, először minden érintett áramkört feszültségmentesíts.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás** – a lekapcsoló szervet zárold és jelöld, hogy senki ne kapcsolhassa vissza.
3. **Feszültségmentesség ellenőrzése** – kétpólusú feszültségvizsgálóval, a műszer előtte-utána ellenőrzésével győződj meg róla, hogy a mérendő pont nincs feszültség alatt.
4. **Földelés és rövidre zárás** – ha a munka jellege előírja (kisfeszültségű lakáselosztónál általában nem szükséges; ellenőrizendő: helyi munkautasítás).
5. **Szomszédos részek lefedése** – a közeli, feszültség alatt maradó részeket (például a mérő előtti kapcsokat, a főkapcsoló bejövő oldalát) takard le, kerítsd el.
6. **Tervbejárás** – a tervezői terv alapján járd végig a helyszínt: hol vannak a szerelvények, a nyomvonalak, az elosztó?
7. **Mérések és rögzítés** – mérd meg a nyomvonalhosszakat, szerelvénytávolságokat, belmagasságot, és írd be az adatlapra.
8. **Eltérések rögzítése** – hasonlítsd össze a tervet a helyszínnel; minden eltérést jegyezz fel, fotózd le.
9. **Technológiaválasztás** – minden nyomvonalhoz döntsd el a szerelési módot (süllyesztett cső, felületszerelt csatorna, tálca, kábelfektetés). Ellenőrizd, hogy a szerelési mód a környezeti követelményeknek megfelel-e.
10. **Jegyzőkönyv készítése** – a felmérési adatlapot töltsd ki, a módosításokat jelöld rajzon, és a megbízóval/oktatóval egyeztesd.
11. **Ellenőrzés** – nézd át, hogy minden adat helyes-e, a méretek egységesen, azonos egységben szerepelnek-e.

Ellenőrzési pontok:

- A felmért méretadatok a rajzon és a helyszínen megegyeznek.
- A szerelőzónák be vannak tartva (a nyomvonal nem fut szabványon kívüli függőleges vagy vízszintes zónában).
- A kiválasztott szerelési mód a környezeti besorolásnak megfelel.
- A felmérési adatlap kitöltött, a módosítások rajzon jelölve.

Tipikus hibák:

- A szerelő nem méri le pontosan a nyomvonal hosszát, hanem becsül; később az anyagrendelésnél hiány vagy felesleg keletkezik.
- A szerelő a tervtől való eltérést nem dokumentálja; később vitatható, hogy miért lett másképp szerelve.
- A szerelő a meglévő, feszültség alatt lévő elosztót előkészítés nélkül nyitja ki.

15.1.9. Valós életbeli alkalmazás: felújított lakás fénypontjainak felmérése

Egy felújított lakásban a tervező a folyosói kapcsolót a bejárati ajtó mellé, a villanyórától mért 12 méter hosszú kábelnyomvonalra tervezte. A szerelő a helyszínen azt találta, hogy a fal nem tégla, hanem gipszkarton, és a tervezett függőleges szerelőzóna az ajtó mellett keresztezi a meglévő elektromos csővezetéket, valamint a bejárati ajtó mögötti térben acél pillér van. A felmérés során mérőszalaggal ellenőrizte a zónát, és megállapította, hogy a kapcsolót az ajtó másik oldalán, a gipszkartonra rögzíthető, falon kívüli szerelődobozba lehet tenni. A kábelnyomvonalat a mennyezet alatt eltolták, hogy a meglévő csőhöz képest 20 cm-rel odébb fusson. A módosítást fotóval és vázlattal rögzítette, a megbízóval egyeztette, majd a kivitelezési tervre rárajzolta a tényleges nyomvonalat. A felmérési jegyzőkönyvben bejegyezte a fal anyagát, a szerelési módot (felületszerelt, gipszkarton-dübellel csavarozott kábelcsatornával), és a nyomvonalhossz változását. Ennek köszönhetően a későbbi anyagrendelés pontos volt: nem kellett pótolni a kábelt, és a kivitelezők egyértelműen látták, mi készül.

Tanulság: A felmérés során a tervet nem szabad szó szerint, mechanikusan követni. A helyszíni viszonyok felmérése és a dokumentált eltérés lehetővé teszi a biztonságosabb, gazdaságosabb és minőségi szerelést.

15.1.10. Tipikus hibák a felmérésben és a technológiában

Hiba 1: A szerelési módot nem a helyszíni környezethez választják. Valaki a nedves pincébe a lakószobai falba süllyesztett, egyszerű kötődobozos technológiát választ. A pince párás, esetleg vízpermetnek kitett; a dobozok nem megfelelő IP-védettségűek, a kötések hamar korrodálnak. Helyes gyakorlat: a környezeti besorolás alapján IP-védettségű, nedvességálló szerelvényeket és kötődobozokat, valamint megfelelő vezetékeket kell választani, és a dobozokat vízcsepegés-álló módon kell elhelyezni.

Hiba 2: A szerelő nem rögzíti a tervtől való eltérést. A tervezett nyomvonalat a szerelő észrevétlenül eltolta, mert az eredeti útkereszteződésben villany- és gázcső volt. Később a felmérési jegyzőkönyv nem mutatja, hogy a tényleges nyomvonal máshol fut. A következő szerelő a régi tervet nézi, és nem tudja, miért nem ott van a vezeték. Helyes gyakorlat: az eltérést mindig rögzíteni, a rajzot módosítani, és a dokumentációt az átadáskor frissíteni.

Hiba 3: A szerelő a szerelőzónát megsérti. A felmérés során nem ellenőrzi, hol húzódnak a falban a védőzónák, és a nyomvonalat átlósan a falon vezette. Ez a szerelési mód nemcsak szabványosan kifogásolható, hanem később fúrásnál is veszélyes. Helyes gyakorlat: a nyomvonalat a szerelőzónákban kell tartani, a felmérésnél ellenőrizni kell a fal anyagát és a zónákat, és a nyomvonalat rajzzal egyeztetni.

Hiba 4: A meglévő hálózatot úgy ellenőrzik, hogy nem feszültségmentesítenek. A felméréshez a szerelő kinyitja a meglévő elosztót, és az ujjaival nyúl a sorkapcsokhoz. Ez súlyos áramütést okozhat. Helyes gyakorlat: mindig alkalmazd az öt biztonsági szabályt, és a meglévő hálózatot csak feszültségmentes állapotban vizsgáld.

15.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a felmérés csak a tervrajz olvasásából áll?
2. Milyen három fő célt szolgál a szerelési technológia?
3. A tervtől való eltérést elegendő szóban jelezni a segédmunkásnak?
4. Mi a különbség a felületszerelt csatorna és a süllyesztett védőcső között a technológiai választás szempontjából?
5. Miért fontos a szerelőzónák betartása?
6. Mi az öt biztonsági szabály első három lépése?

15.1.12. Megoldások – Önellenőrzés

1. Hamis. A felmérés a helyszíni állapot és a terv összevetésének, a méréseknek és a szerelési feltételek rögzítésének folyamata.
2. Minőség, biztonság, gazdaságosság.
3. Nem. A tervtől való eltérést dokumentálni kell, a módosításokat a kivitelezési dokumentációban rögzíteni, és a megbízóval/tervezővel egyeztetni.
4. A felületszerelt csatorna a falon kívül halad, és gyorsan hozzáférhető, a süllyesztett védőcső a falba süllyesztve rejtett szerelést tesz lehetővé, de a fal anyaga és a szerelőzónák korlátozzák, és a kivitelezéskor hornyolást igényelhet. A technológiát a fal anyaga, a védettség és az esztétika együttesen határozza meg.
5. A szerelőzónák betartásával a vezetékek és szerelvények a későbbi fúrásoknál, rögzítéseknél kiszámítható helyen futnak, így elkerülhető a vezeték megsértése és a baleset.
6. Lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése.

15.1.13. Feladatok

1. feladat (A) Definiáld a szerelési technológiát, és sorold fel a céljait egy-egy mondatban.

2. feladat (A) Sorolj fel legalább öt dolgot, amit egy helyszíni felméréskor rögzíteni kell.

3. feladat (B) A kiviteli terv szerint egy kábel nyomvonala a falban, a padlótól 1,2 méter magasan halad 6 méter hosszan. A helyszínen a fal gipszkarton, mögötte acél vázszerkezet, a zóna pedig 0,3 m-rel eltér a tervezettől, mert a falban egy meglévő villanycső akadályozza. Mi a helyes szerelői eljárás? Fogalmazd meg a felmérés, az egyeztetés és dokumentálás lépéseit.

4. feladat (B) A helyszínen a felmért falazat: nedves pince, poros, mechanikai behatásnak kitett rész. Melyik szerelési módot részesíted előnyben, és milyen védettségi szempontokat veszel figyelembe? Az IP-kód fogalmát felhasználva válaszolj.

5. feladat (C) Egy felmérés során az alábbi eltéréseket találod: - a tervezett konyhai aljzatkör a hűtő mögött fut, - a kapcsolóhely a bejárati ajtó mögött, ahol az ajtólap nyitáskor eltakarja, - a tervezett kábelnyomvonal a gázcsőtől 10 cm-re párhuzamosan fut. Vizsgáld meg, melyik elfogadható, és melyik nem. Melyiket kell egyeztetni, és milyen dokumentáció készüljön?

6. feladat (D) Gyakorlati feladat: készíts felmérési adatlapot egy tanműhelyi világítási áramkörhöz. A lap tartalmazzon: helyiség neve, méretek, szerelési mód, nyomvonalhossz, szerelvénytípus, megjegyzés az eltérésekről. Töltsd ki egy elképzelt tanműhelyi szerelésre (pl. 6 m hosszú fal, 2,2 m belmagasság, felületszerelt kábelcsatorna, 2 darab váltókapcsoló egy lámpatesthez; a nyomvonalszakaszok: az 1. váltókapcsolóig 1 m, a két váltókapcsoló között 1,5 m, a 2. váltókapcsolótól a lámpatestig 2 m). Az adatlapon szakaszonként és összesen is add meg a nyomvonalhosszat.

15.1.14. Megoldások – Feladatok

1. feladat (A) A szerelési technológia a villamos berendezés kivitelezésének műveleteiből, eljárásaiból, eszközeiből és ellenőrzéseiből áll, amelyet a helyszíni viszonyok, a tervdokumentáció és a szabványok alapján választunk meg. Céljai: minőség, biztonság, gazdaságosság.

2. feladat (A) Rögzítendő például: a helyiség méretei, a fal anyaga, a meglévő hálózat rendszere, a nyomvonal hossza, a szerelőzóna, a védettségi követelmény, a csatlakozási pont helye.

3. feladat (B) A kivitelező a helyszínen észleli, hogy a tervezett nyomvonal nem tartható, mert a fal gipszkarton, acél vázszerkezettel, és a zóna 0,3 m-rel eltér. A helyes eljárás: 1. A helyszíni felmérés dokumentálása: fénykép, méretfelvétel, eltérés rögzítése. 2. Egyeztetés a megbízóval vagy tervezővel. 3. A módosított nyomvonal kijelölése a szerelőzónán belül, a fal anyagához igazodó rögzítéssel (pl. gipszkartonba való szerelődoboz, felületszerelt csatorna). 4. A kiviteli rajzon a tényleges nyomvonal feltüntetése. 5. A felmérési jegyzőkönyv frissítése.

4. feladat (B) Nedves, poros, mechanikai behatásnak kitett pincében a felületszerelt, fémből vagy erős műanyagból készült, megfelelő IP-védettségű (legalább IP54: porvédett és fröccsenő víz ellen védett; erősebb vízhatásnál IP55/IP65) kábelcsatorna, illetve védőcsöves szerelés javasolt. Az IP-kód első számjegye a szilárd idegen testek elleni védelmet jelöli (4 = 1 mm-nél nagyobb testek, 5 = porvédett, 6 = portömör), a második a víz elleni védelmet; mechanikai igénybevételnél az ütésállóságot az IK-kód adja (ellenőrizendő: MSZ EN 60529, MSZ EN 62262, gyártói adatlap). A szerelési módnak biztosítania kell a mechanikai védelmet és a környezeti igénybevételnek megfelelő védettséget. Az elosztódobozok, kötődobozok és lámpatestek is azonos védettségűek legyenek. (A pontos IP-értéket a vonatkozó szabvány és gyártói adatlap alapján kell kiválasztani – **ellenőrizendő: MSZ EN 60529**.)

5. feladat (C) - Konyhai aljzatkör a hűtő mögött: elfogadható, ha az aljzat a szerelési sávban van, a készülék elmozdításával hozzáférhető, és nincs kitéve a hűtő hátoldali hőleadásának; ellenkező esetben az aljzatot a szomszédos szekrénybe vagy a munkalap fölé kell helyezni. Az eltérést egyeztetni és rögzíteni kell. - Kapcsolóhely a bejárati ajtó mögött: nem megfelelő, mert az ajtó nyitáskor a kapcsolót eltakarja, használhatatlan. A kapcsolóból a használati oldalra kell helyezni, az eltérést egyeztetni. - Kábelnyomvonal a gázcsőtől 10 cm-re párhuzamosan: a gázcsőtől való távolság minimális követelménye általában nagyobb; párhuzamos nyomvonalnál meg kell tartani a vonatkozó előírást (a pontos szám ellenőrizendő: gázipari és villamos szerelési előírások). Az eltérést egyeztetni kell, és a nyomvonalat a biztonsági távolságra el kell húzni.

Dokumentáció: felmérési jegyzőkönyv, módosított kiviteli terv, fotók, egyeztetési feljegyzés.

6. feladat (D) Felmérési adatlap minta:

Megnevezés	Adat
Helyiség neve	Tanműhely 1.
Méretek	6 m hosszú, 2,2 m belmagasság
Szerelési mód	Felületszerelt műanyag kábelcsatorna
Nyomvonalhossz	1. váltókapcsolóig 1 m; a két váltókapcsoló között 1,5 m (háromeres váltóvezeték); a 2. váltókapcsolótól a lámpatestig 2 m; összesen 4,5 m
Szerelvénytípus	2 db falon kívüli váltókapcsoló, 1 db lámpatest (egy lámpa két helyről kapcsolva)
Megjegyzés eltérésről	Eltérés nincs; a felületszerelt csatorna a tanműhelyi falra a terv szerint szerelhető.

A kitöltött adatlapon szerepel a helyszín, a dátum, a felmérést végző és az oktató aláírása. A példa adatai szemléltető jellegűek.

15.1.15. Rövid összefoglaló

A szerelési munka alapja a helyszíni felmérés, amely a tervet a valósággal veti össze, és rögzíti a munkaterület méreteit, a falazatot, a meglévő hálózatot, a védettségi igényeket és a szerelési lehetőségeket. A felmérés során a szerelő célirányos adatlapot használ, a tervtől való eltéréseket pedig dokumentálja és egyezteti. A **szerelési technológia** a kivitelezés műveleteinek, eljárásainak, eszközeinek és ellenőrzéseinek összessége, célja a minőség, biztonság és gazdaságosság. A munka szakaszai: előkészítés, nyomvonalak kijelölése, szerelés, ellenőrzés, átadás. Minden szakaszban meg kell tartani a szerelőzónákat, a kiválasztott védettségi követelményeket és a szerelési módnak a környezeti besoroláshoz igazodó megválasztását. **Továbbvitt eredmény.** A felmért mennyiségek, nyomvonalak, szerelési módok és az esetleges eltérések közvetlenül meghatározzák az Anyag- és eszközkiválasztás, árajánlat alfejezetben készítendő anyagjegyzéket, eszközlistát és árajánlatot; a dokumentált módosítások a későbbi ellenőrzéseknek is alapjai.

15.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

- **MSZ HD 60364-5-52** – kisfeszültségű villamos berendezések, szerelési módok. (A pontos kiadási év és az egyes táblázatokra való hivatkozás ellenőrizendő.)
- **MSZ EN 60529** – IP-védettségi fokozatok. (A pontos kiadási év ellenőrizendő.)
- A szerelőzónákra és a gázcsőtől való távolságra vonatkozó konkrét értékek az aktuális szabványokban és ágazati előírásokban találhatók, ezért a fenti szöveg nem közöl ellenőrzött, általánosan kötelező számot.

15.2. Anyag- és eszközkiválasztás, árajánlat

A felmérés során felvett helyiségek és nyomvonalak önmagukban még nem elegendők a munkához. Az anyag- és eszközkiválasztás dönti el, hogy a kivitelezés időben elkészül, a beépített anyag a helyén marad, és a végső ár sem száll el. Ebben az alfejezetben a terv és a felmérési jegyzőkönyv alapján elkészítjük az anyagkigyűjtést, kiválasztjuk a szerelvényeket, védelmeket és vezetékeket, majd árajánlatot állítunk össze.

15.2.1. Miért fontos ez a szerelőmunkában?

Tipikus lakásfelújítási helyzet: a tulajdonos kéri, hogy a konyhába kerüljön három új aljzat, a fürdőszobába tükörvilágítás, a hálószobába pedig két váltókapcsolós lámpakapcsolás. A szerelő felméri a nyomvonalakat, kiválasztja a szerelési módot, majd anyagot rendel. Ha itt hibázik – például nem számolja fel a függőleges falszakaszokat, vagy a szerelvény IP-védettsége nem megfelelő –, akkor vagy a munka áll le, vagy a kész szerelés nem lesz szabványos. Az anyagkigyűjtés ezért nem papírmunka, hanem a hibamentes kivitelezés első műszaki lépése.

A tervből kigyűjtött anyagokból lesz az árajánlat anyagköltség-része. A hibás árajánlat pedig később félreértés, vita vagy a vállalkozó saját vesztesége lesz. A fejezet módszerét később a Vállalkozási formák, gazdálkodás, árajánlat és számla alfejezetben fogjuk továbbvinni.

15.2.2. Anyagkigyűjtés a tervből

Definíció. Az anyagkigyűjtés az a folyamat, amelynek során a villamos tervből, a felmérési jegyzőkönyvből és a helyszíni megállapodásból összeállítjuk a szükséges anyagok és eszközök tételes, mennyiséggel, típussal és beépítési helyükkel ellátott jegyzékét.

A jó anyagkigyűjtés nem egyszerűen a tervrajzon látható jelek megszámlálása. A kivitelezés során olyan anyagokra is szükség van, amelyek a kapcsolási rajzon nem láthatók önállóan: kötődobozok, rögzítők, dugaszoló csatlakozók, szigetelőszalag, csavarzatok, bilincsek, tömítések, sorkapcsok, feliratok, kábeltálcák vagy védőcsövek. Ezeket gyakran segédanyagként vagy kiegészítő anyagként külön sorban kell felsorolni.

Szabály. Az anyagkigyűjtést mindig két részre kell bontani: a fő anyagok (vezetékek, szerelvények, védelmek, elosztók) és a segédanyagok (kötődobozok, csavarok, tiplik, rögzítő elemek, jelölők, kábelszerelési apróságok) csoportjára. A fő anyagokból pontos darabot és hosszt kell megállapítani, a segédanyagoknál pedig tételenként becslés, darab vagy csomagolási egység alapján adunk mennyiséget.

Mennyiségszámítás vezetékeknél. A vezetékhossz nem egyenlő a tervrajzon vonalzóval kimért hosszal. A falban, védőcsőben vagy kábelcsatornában futó vezetékeknek a nyomvonal hosszán túl szükségük van szerelési ráhagyásra is. Vezetékhossz-számításnál ezért a következő képletet használjuk:

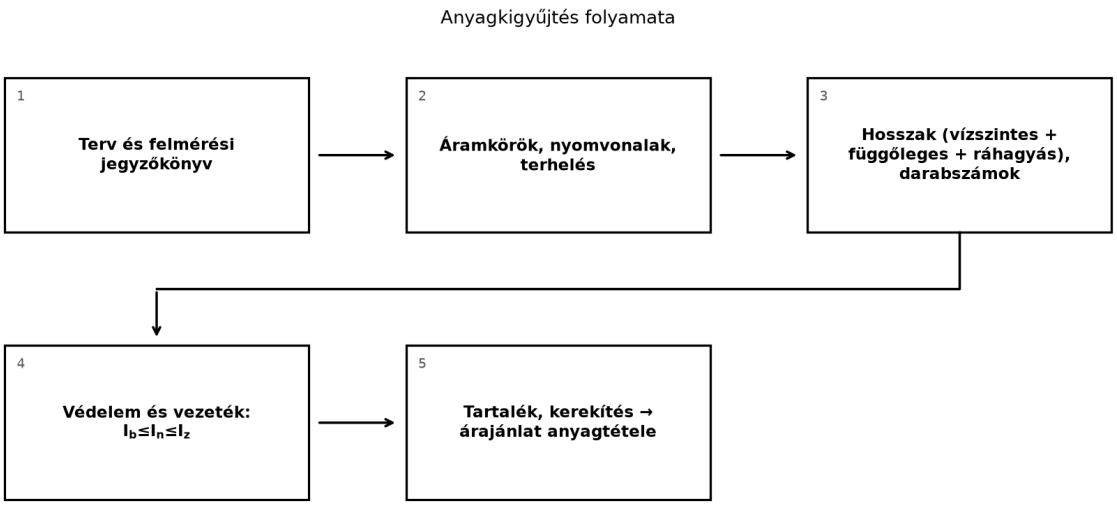
$$L_{\text{kábel}} = \left(\sum L_{\text{vízszintes}} + \sum L_{\text{függőleges}} + n_{\text{doboz}} \cdot l_{\text{ráhagyás}}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_{\text{veszteség}}}{100}\right)$$

Ahol: - $L_{\text{vízszintes}}$ a nyomvonal vízszintes szakaszainak összege, - $L_{\text{függőleges}}$ a szerelési magasságok miatt szükséges függőleges fel- és levezetések összege, - n_{doboz} a bekötési pontok, kötődobozok, szerelvénydobozok száma, - $l_{\text{ráhagyás}}$ az egy pontra jutó bekötési ráhagyás, jellemzően 0,2–0,5 m, - $k_{\text{veszteség}}$ a veszteségi és tartalék százalék, vezetékeknél jellemzően 5–10%.

Megjegyzés. A tervrajzok általában a vízszintes nyomvonalat mutatják, a függőleges szakaszokat nem mindig. A szerelőnek a szerelési magasságokból kell kiszámítania ezeket. Például a padló felett 0,4 m-re szerelt aljzathoz a padlóhoz közeli vízszintes sávból fel kell menni; ez a szakasz anyagigényt és munkát is jelent.

15.2.3. Az anyagkigyűjtés folyamata

Az anyagkigyűjtés lépéseit az alábbi folyamatábra mutatja.



15.2. ábra. Anyagkigyűjtés folyamata - Az anyagkigyűjtési eljárás lépései röviden: a tervből és a felmérésből az áramkörök, a hosszak és darabszámok, a védelem–vezeték ellenőrzés (Ib ≤ In ≤ Iz), végül a tartalék és a kerekítés után az árajánlat anyagköltség-tétele.

Eljárás. Anyagkigyűjtés a tervből.

1. Készíts magadnak tiszta tervmásolatot, és jelöld be az elosztót, az áramköröket, a fogyasztókat és a nyomvonalakat.
2. Csoportosítsd az anyagokat: vezetékek, szerelvények, kötődobozok, védelmek, rögzítőanyagok, feliratok és elosztó-anyagok.
3. Minden áramkörre határozd meg a feszültségszintet, a várható terhelést és a védelmi követelményt.
4. Mérd meg vagy számold ki a nyomvonalhosszakat, és add hozzá a függőleges szakaszokat és a bekötési ráhagyásokat.
5. A szerelvényekből darabjegyzéket készíts, tüntesd fel a típust, színt, IP-védettséget és a gyártói sorozatot.
6. A védelmeknél ellenőrizd az $I_b \le I_n \le I_z$ feltételt, és jegyezd fel a kismegszakító karakterisztikáját (B, C, D).
7. A vezetékhosszhoz számold hozzá a veszteségi tartalékot, és a mennyiséget kerekítsd felfelé, hogy ne kelljen fél méterrel toldani.
8. Az elkészült anyagkigyűjtést ellenőrizd egy tételes lista alapján: van-e minden áramkörhöz védővezető, N-vezető, fázisvezető; van-e minden fogyasztóhoz csatlakozási pont.

9. A kész anyaglistát vidd át az árajánlat anyagköltség-táblájába.

15.2.4. Szerelvények és anyagok kiválasztása

Szabály. Szerelvény kiválasztásakor négy kérdést kötelező tisztázni:

1. Mekkora a névleges feszültség és áram?
2. Milyen a környezet: beltéri, kültéri, nedves, poros, vegyszeres?
3. Milyen IP-védettséget követel meg a beépítési hely?
4. Milyen szerelési módhoz és milyen gyártói sorozathoz kell illeszkednie?

Névleges adatok. A lakásvilágítási kapcsolók jellemzően 10 A névleges áramúak, az aljzatok 16 A-esek, a dugaszoló aljzatok feszültsége 230 V. A nagyobb fogyasztókhoz – villanytűzhely, sütő, mosógép – 16 A-es vagy célirányosabb csatlakozási pont kell. Ipari dugaszoló aljzatoknál 16, 32, 63 vagy 125 A névleges áram és 230/400 V feszültség is szóba jöhet. A készülék névleges árama nem lehet kisebb, mint a tartós üzemi áram, de a védelmi koordinációt is vizsgálni kell.

Szabvány. A villamos szerelvények és készülékek burkolatvédettségét az MSZ EN 60529 szerint IP-kóddal adjuk meg. Az IP-kód első számjegye a szilárd tárgyak és por, a második számjegye a víz behatolása elleni védelemre utal. Például az IP44-es szerelvény védett 1 mm-nél nagyobb szilárd anyag ellen, és minden irányból érkező fröccsenő víz ellen is védett. A konkrét helyiségekben megkívánt IP-fokozatot az adott létesítési előírás és az MSZ HD 60364 sorozat szerint kell meghatározni. **(ellenőrizendő: az aktuális szabványkiadás és a helyiségzónákra vonatkozó követelmények.)**

Tipikus IP-választás a gyakorlatban:

Beépítési hely	Gyakori IP-kód	Indoklás
Száraz lakószoba aljzata	IP20 vagy IP21	normál belső tér, nem zavaró por
Fürdőszoba, zuhanyzó melletti zóna	IP44 vagy magasabb	vízpermet, pára
Kültéri lámpa fedett ereszen	IP44 (poros helyen IP54)	fröccsenő víz; az első 4-es jegy nem porvédelem
Kültéri földbe süllyesztett lámpa	IP67	átmeneti bemerítés
Poros műhely, fafeldolgozó	IP54 vagy magasabb	porvédett (5), fröccsenő víz (4); vízsugárnál IPx5

A fenti értékek tájékoztató jellegűek; a konkrét létesítési előírás mindig a zónáktól és a gyártói adatlaptól függ. **(ellenőrizendő: a helyi előírások és a gyártói adatlapok.)**

Szín és sorozat. A szerelvényeknél a szín és a gyártói sorozat is műszaki-kereskedelmi követelmény. A falra szerelhető kapcsolók, aljzatok és keretek sorozata akkor építhető egységesen, ha azonos gyártói családból származnak. A színmegadásnál az ügyfél elvárása mellett a helyi vagy tervezői előírást is figyelembe kell venni; kültéri szerelvényeknél az UV-álló, törtfehér vagy szürke változat gyakran jobb, mint a tiszta fehér.

Vezetékek kiválasztása. A vezetéket a terhelés, a szerelési mód és a környezeti hőmérséklet alapján választjuk ki. Az előző, Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők alfejezetben tanult módszerrel:

$$I_z = I_{\text{alap}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

A kiválasztott vezető terhelhetőségére és a védőszerv névleges áramára teljesülnie kell:

$$I_b \le I_n \le I_z$$

Például egy új aljzatkörnél a réz vezető 2,5 mm²-es, védőcsőben, 30 °C környezetben jellemzően nagyobb terhelhetőségű, mint a 16 A-es kismegszakító, de ezt a konkrét körülményekkel mindig ellenőrizni kell. Villanytűzhelyhez 3×4 mm², 3 fázisú bekötéshez 5×2,5 mm² vagy 5×4 mm² jöhet

szóba a kialakítástól függően. **(ellenőrizendő: az MSZ HD 60364-5-52 terhelhetőségi táblázatai és a gyártói kábeladatok.)**

Védelmek kiválasztása. Lakóépületben az általános aljzat- és világítási körök védelme jellemzően B karakterisztikájú kismegszakító (például B16, B10); C karakterisztikát nagyobb bekapcsolási áramú fogyasztóknál (motor, transzformátor, LED-meghajtók sokasága) választunk, de ekkor a hurokimpedancia-feltételt ($Zs \leq U0/Ia$) külön ellenőrizni kell (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41, MSZ EN 60898-1); a nagyobb motoros fogyasztókhoz C vagy D karakterisztika választható. Az áram-védőkapcsoló (RCD) névleges differenciaárama lakossági és általános épületvillamossági környezetben 30 mA-es kivitel. A kiválasztáskor ügyelni kell arra is, hogy a kismegszakító és az RCD megszakítóképessége elég legyen a várható zárlati áramhoz. **(ellenőrizendő: a konkrét típusok és az MSZ HD 60364 előírásai.)**

15.2.5. Számítási példák: anyagmennyiség és árajánlat

Kidolgozott példa. Konyhai aljzati és világítási anyagkigyűjtés. Egy konyha-felújításnál a felmérés alapján 6 db süllyesztett dugaszoló aljzatot, 1 db külön tűzhely csatlakozást, 2 db lámpát és 2 db egypólusú kapcsolót kell beépíteni. A szerelés falba süllyesztett, védőcsőben. A vízszintes nyomvonalhosszak:

- Aljzati kör: 18 m vízszintes,
- tűzhely kör: 6 m vízszintes,
- világítási kör: 12 m vízszintes.

A függőleges szakasz a vízszintes sáv és a szerelvény magasságának különbsége: |sáv magassága − szerelvény magassága|. A példában a vízszintes nyomvonal a mennyezet alatti sávban fut (2,6 m belmagasságnál 2,3 m magasan), ezért a függőleges szakaszok:

- aljzatokhoz (munkapult feletti, 1,1 m) 6 db × (2,3 − 1,1) m = 6 × 1,2 m = 7,2 m,
- tűzhelyhez (0,3 m magasan) 1 db × (2,3 − 0,3) m = 2,0 m,
- mennyezeti lámpákhoz 2 db × 0,3 m = 0,6 m,
- kapcsolókhoz (1,1 m) 2 db × (2,3 − 1,1) m = 2,4 m.

A bekötési ráhagyást körönként, csatlakozási pontonként 0,3 m-rel számoljuk: aljzatkör 6 × 0,3 = 1,8 m; tűzhelykör 2 × 0,3 = 0,6 m (a tűzhely-csatlakozó és a kötődoboz); világítási kör 4 × 0,3 = 1,2 m. Összesen 12 csatlakozási pont (a felsorolt 11 szerelvény mellett a tűzhelykör kötődobozát is számoljuk). A veszteségi tartalék 10%.

Számítás. Először a kábelhosszak:

$$I.\quad L_{\text{aljzat}} = (18 + 7{,}2 + 1{,}8) \cdot 1{,}1 = 29{,}7 \text{ m} \rightarrow 30 \text{ m}$$

$$II.\quad L_{\text{tűzhely}} = (6 + 2{,}0 + 0{,}6) \cdot 1{,}1 = 9{,}46 \text{ m} \rightarrow 10 \text{ m}$$

$$III.\quad L_{\text{világítás}} = (12 + 0{,}6 + 2{,}4 + 1{,}2) \cdot 1{,}1 = 17{,}82 \text{ m} \rightarrow 18 \text{ m}$$

A tűzhelykör 9,46 m-es értékét a kábel kiszerelési egységéhez igazodva 10 m-re kerekítjük. A felfelé kerekítés azért szükséges, mert a kábelt nem méterre fogják megvágni a nagykereskedésben, és a túl rövid véghossz miatt toldani kellene, ami többlet hibalehetőség. Az anyagkigyűjtés tehát:

- $3\times2{,}5$ mm² réz vezeték védőcsőben: 30 m,
- 3×4 mm² tűzhely vezeték: 10 m,
- $3\times1{,}5$ mm² világítási vezeték: 18 m,
- 16 A-es védőérintkezős dugaszolóaljzat: 6 db,
- tűzhely csatlakozó aljzat: 1 db,
- egypólusú kapcsoló: 2 db,
- lámpatest: 2 db,
- kötődobozok, tiplik, csavarok, jelölők: tételes jegyzékben.

Kidolgozott példa. Árajánlat anyag-, munka-, rezsiköltsége. A konyhai anyagkigyűjtés alapján az anyagköltség nettó 85 000 Ft. A szerelő a munkát 8 munkaórára becsüli, óradíja 6 000 Ft. A szállítási költség 3 000 Ft, a segédanyag az anyagköltség 5%-a, a rezsi a munkadíj 10%-a. Az áfa mértéke 27%. Készítsük el az árajánlat számítását.

Számítás.

$$\text{Anyag nettó} = 85\,000 \text{ Ft}$$

$$\text{Segédanyag} = 85\,000 \cdot 0{,}05 = 4\,250 \text{ Ft}$$

$$\text{Munkadíj} = 8 \cdot 6\,000 = 48\,000 \text{ Ft}$$

$$\text{Rezsi} = 48\,000 \cdot 0{,}10 = 4\,800 \text{ Ft}$$

$$\text{Szállítás} = 3\,000 \text{ Ft}$$

A teljes nettó alap összeg:

$$85\,000 + 4\,250 + 48\,000 + 4\,800 + 3\,000 = 145\,050 \text{ Ft}$$

Az áfa:

$$145\,050 \cdot 0{,}27 = 39\,163{,}5 \text{ Ft} \to 39\,164 \text{ Ft}$$

A bruttó ajánlati ár:

$$145\,050 + 39\,164 = 184\,214 \text{ Ft}$$

A szerződésben érdemes az anyag-, a munka- és a szállítási költségeket külön soron feltüntetni, mert a későbbi pótmunkák és az áfa-változások így követhetők. A fenti árak tanulási példák; a tényleges árajánlatnál a mindenkori beszerzési árakat és a hatályos adókulcsot kell használni. **(ellenőrizendő: aktuális áfa-mérték és számlázási előírások.)**

15.2.6. Árajánlat szerkezete

Definíció. Az árajánlat olyan ajánlati dokumentum, amelyben a villanyszerelő rögzíti a feladat műszaki tartalmát, az anyag- és munkaár tételeit, a feltételeket, a határidőt és a garanciát.

Szabály. Az árajánlatban mindig tüntessük fel:

- a munka beazonosítását (épület, helyiség, munkaterület),
- a műszaki alapot: terv, felmérési jegyzőkönyv, ajánlatkérés,
- az anyagköltséget tételesen vagy csoportokban,
- a munkadíjat, az óradíjat és a becsült munkaórákat,
- a rezsit, a szállítást, a segédanyagokat,
- a nettó összeget, az alkalmazott áfát és a bruttó összeget,
- a fizetési feltételeket, a teljesítési határidőt és a garanciát,
- az érvényességi időt.

Az árajánlat nem számla, de később a számla alapja lehet. A pontatlan árajánlat gyakran vezet vitához, mert a tényleges mennyiségek nem azonosak a becsült számokkal. A szerelő ezért az anyagmennyiségeket ne csökkentse szándékosan, hanem a veszteségi tartalékot tüntesse fel, és írjon a pótmunka kezelésére is feltételt.

15.2.7. Szállítás, tárolás és anyagellenőrzés

Szállítás. A kábelek és szerelvények szállításakor ügyelni kell a sérülésmentes átvételre. A kábeldobokat a peremükre állítva, ékekkel kitámasztva, rögzítve szállítjuk és tároljuk; fektetni nem szabad. Letekercseléskor a dobot tengelyen forgatjuk, a kábelt nem húzzuk le oldalirányban, és betartjuk a gyártó szerinti legkisebb hajlítási sugarat (ellenőrizendő: gyártói szállítási útmutató). A szerelvényeket, különösen az érzékeny elektronikus eszközöket, az eredeti csomagolásukban vagy jól párnázott ládában kell mozgatni.

Tárolás. A kábelek tárolása száraz, fagymentes helyen történjen. A szigetelőanyagok hosszú távon melegedésre, UV-sugárzásra és olajos szennyeződésre érzékenyek. A dobozokat és kapcsolókat pormentesen, az építkezésen lehetőleg lezárt helyiségben tároljuk. A fém aljzatok és rögzítők nedvességtől rozsdásodhatnak, ezért a tárolóhely legyen fedett és száraz.

Ellenőrzés. A vételnél ellenőrizni kell a szállítólevél, a típus, a mennyiség, a szín és a gyártói jelölés megegyezését. Az MSZ EN 60529 szerinti IP-védettséget a termék felirata, gyártói katalógus vagy csomagolás tartalmazza. A beépítés előtt legalább vizuális ellenőrzést kell végezni: nincs-e törés, behajlott csatlakozó, hibás menet vagy sérült szigetelés. A hibás vagy eltérő anyagot ne építsük be; sokkal olcsóbb cserélni a raktárban, mint a vakolt falban.

Eljárás. Anyagellenőrzés a beépítés előtt.

1. Tételd magad elé az anyagjegyzéket vagy szállítólevelet.
2. Ellenőrizd a dobozok, csomagok sértetlenségét.
3. Ellenőrizd a típust, színt, feszültséget, áramerősséget, IP-kódot.
4. Vizuálisan nézd meg a szerelvények csatlakozóit, a kapcsolódó felületeket és a szigetelést.
5. Kábelnél ellenőrizd a feliratot, a színjelölést és a külső köpeny sérülésmentességét.
6. A nem megfelelő tételeket különítsd el, és jelentsd a megrendelőnek vagy a beszállítónak.
7. Az anyagokat a beépítés sorrendjében tárold, hogy a kivitelező ne keressen feleslegesen.

15.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy családi házban a szerelő a tervrajzon csak a vízszintes falhorony hosszakat nézte, és az árajánlatba kevés kábelt írt be. A szobákban 0,4 m magasságba kerültek az aljzatok, a kapcsolók 1,1 m-re, a mennyezeti lámpák pedig 2,6 m-re; a függőleges szakaszok így összesen több mint 40 m kábelt igényeltek. A kivitelezés közben a megrendelővel kellett jelezni, hogy elfogyott a kábel, és pótanyagot kellett venni. Ez a munka ütemét és az árat is eltolta.

Tanulság. A felmérésből kigyűjtött anyagok csak akkor pontosak, ha a szerelési magasságokat, a függőleges szakaszokat, a kötődobozokra jutó ráhagyásokat és a veszteségi tartalékot is figyelembe veszi. Ugyanez igaz a szerelvényekre: a fürdőszobai aljzatnál nem elegendő az IP20-as beltéri változat, ha a szerelési helyen vízpermet érheti a dobozt.

15.2.9. Gyakorlati útmutató

Cél. Fürdőszobai tükörvilágítás és aljzatkör anyagkigyűjtése, anyagnyilvántartás készítése és árajánlat-tervezet összeállítása.

Eszközök és anyagok. Tervmásolat, felmérési jegyzőkönyv, mérőszalag, katalógus vagy okostelefon, anyagjegyzék-táblázat, számológép, árajánlat-sablon.

Biztonsági korlát. A gyakorlat felmérési és anyagkigyűjtési lépéseket tartalmaz. A tényleges bekötési és szerelési munkát tanműhelyben vagy jogosult oktató felügyelete mellett végezd, hálózati feszültségen önállóan ne.

1. Rajzolj fel egy kis fürdőszobai elrendezést: elosztó a folyosón, tükörlámpa a mosdó felett, egy IP44-es dugaszolóaljzat a 0–2. zónán kívül (a mosdó mellett, a zuhanytól/kádtól mért zónahatáron túl), 30 mA-es áram-védőkapcsolóval védve (lásd az Aljzatkörök és fogyasztói csatlakozások, nedves helyiségek alfejezetet; ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701).
2. Tervezz egy világítási áramkört és egy aljzatkört.
3. Mérj ki egy lehetséges nyomvonalat: vízszintes falszakasz, felmenő szakaszok, dobozok.
4. Számítsd ki a 3×1,5 mm²-es világítási vezeték és a 3×2,5 mm²-es aljzatkör vezeték hosszát a 10%-os veszteségi tartalékkal.
5. Válaszd ki a szerelvényeket: a kapcsolót, az aljzatot, a lámpát, a kismegszakítókat és szükség esetén a 30 mA-es áram-védőkapcsolót.
6. Tölts ki egy anyagjegyzéket, és készíts nettó anyagköltséget.
7. Adj munkadíj-becslést, számold ki a nettó összeget, a 27%-os áfát és a bruttó ajánlati árat: (1,27)-tel szorzott összeg. **(ellenőrizendő: aktuális áfa.)**
8. Ellenőrizd, hogy az aljzatkörre felírt terhelhetőség kielégíti-e az $I_b \le I_n \le I_z$ feltételt.

15.2.10. Tipikus hibák

Hiba 1. A függőleges falszakaszokat kihagyták. A szerelő csak a vízszintes nyomvonalat mérte fel. Emiatt a vezetékhossz és a munkaidő is alábecsült. Helyes gyakorlat: minden aljzathoz, kapcsolóhoz, lámpához adja hozzá a szerelési magasságból adódó le- és felmenőt.

Hiba 2. IP-védettség nélküli szerelvény kiválasztása. A kültéri vagy fürdőszobai szerelvényt a belső térben megszokott IP20-as kivitelből választotta. A kész szerelés víz- és porérzékeny lesz, ami balesetet és meghibásodást okozhat. Helyes: a beépítési hely szerint IP44, IP54 vagy magasabb védettségű kivitelt kell választani.

Hiba 3. Az árajánlatból kihagyták az áfát vagy a segédanyagot. A szerelő csak az anyag és a munkadíj összegét adta meg, és később derült ki a különbség. A megrendelő vitatta a számlát.

Helyes: az ajánlatban a nettó összeget, az áfát és a bruttó összeget egyaránt szerepeltetni kell, és a segédanyagot, szállítást, rezsit külön soron kell feltüntetni.

15.2.11. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a nettó és a bruttó árajánlati összeg között?
2. Mit jelent az IP44-es szerelvény jelölése?
3. Miért kell a vezetékhosszba függőleges szakaszokat is beleszámolni?
4. Melyik egyenlőtlenség írja le a vezeték túlterhelés elleni védelmét?
5. Mi a veszteségi tartalék szerepe az anyagkigyűjtésben?

15.2.12. Megoldások

1. A nettó összeg a tiszta ár; a bruttó összeg a nettó összeg és a felszámított áfa együttes összege.
2. Az IP44 a szilárd anyagok (első 4-es számjegy) és a fröccsenő víz (második 4-es számjegy) elleni védettséget jelenti.
3. Mert a vezeték a vízszintes sávból minden szerelvényhez fel- vagy lefut; ezek a függőleges szakaszok a tervrajzon nem látszanak, de a teljes kábelhossz jelentős részét adják.
4. Az $I_b \le I_n \le I_z$ egyenlőtlenség, ahol I_b az üzemi áram, I_n a védőszerv névleges árama, I_z a vezető korrigált terhelhetősége.
5. A veszteségi tartalék fedezi a vágási veszteséget, a szerelési hibákból adódó hosszcsökkenést és a későbbi apró pótlásokat, így nem áll le a munka hiányzó anyag miatt.

15.2.13. Feladatok

1. feladat (A). Sorolj fel legalább öt anyagcsoportot, amelyeket egy lakáselosztó cseréjénél anyagkigyűjtésben szerepeltetni kell.

2. feladat (A). Milyen IP-védettségű szerelvényt választanál egy fedett erkélyen elhelyezett, fröccsenő víznek kitett dugaszoló aljzathoz? Indokold meg.

3. feladat (B). Egy áramkör üzemi árama 13 A, a védőszerv névleges árama 16 A. A kiválasztott vezető korrigált terhelhetősége 22 A. Ellenőrizd az $I_b \le I_n \le I_z$ feltételt, és mondd meg, hogy a vezető terhelhetősége elégséges-e.

4. feladat (B). Egy kivitelezéshez a nettó anyagköltség 92 000 Ft, a munkadíj 10 óra × 5 500 Ft, a segédanyag 5%, a rezsi a munkadíj 8%-a, a szállítás 4 000 Ft. Számítsd ki a nettó összeget és a 27%-os áfával a bruttó árat. **(ellenőrizendő: aktuális áfa.)**

5. feladat (C). Egy szerelő a kábelszámításnál csak a vízszintes nyomvonalat mérte: 22 m. Feltevés: a vízszintes nyomvonal a padlószinten fut (például aljzatcsatornában), ezért a függőleges szakasz a szerelési magassággal egyenlő. A helyszínen 6 aljzat van 0,4 m-es szerelési magasságon, 3 kapcsoló 1,1 m-en, és 2 mennyezeti lámpa 2,6 m-en. A bekötési pontok száma 11 (6 aljzat, 3 kapcsoló, 2 lámpahely), a ráhagyás 0,3 m/pont. A veszteségi tartalék 10%. Számold ki a ténylegesen szükséges kábelhosszt, és állapítsd meg, mennyi kábel hiányzott a szerelő korábbi becsléséből.

6. feladat (D). Egy leszállított dugaszolóaljzat dobozán az szerepel: „16 A, IP20, 230 V”. A szerelő egy kültéri aljzathoz kapta. A későbbi ellenőrzés szerint a beépítési hely fröccsenő víznek van kitéve. Írd le, mi a helyes anyagellenőrzési folyamat, és mit kell kérni a beszállítótól.

15.2.14. Megoldások

1. feladat. Pl. vezetékek, túláramvédelmi eszközök, elosztódoboz vagy szerelőlap, rögzítőanyagok, kötődobozok, sorkapcsok, jelölők, feliratok, csatlakozók, dugaszoló aljzatok, áramvédőkapcsoló.

2. feladat. IP44 vagy magasabb védettségű: a második 4-es jegy minden irányból fröccsenő víz elleni védelmet jelent; az első 4-es jegy 1 mm-nél nagyobb szilárd testek ellen véd, nem porvédelem – ha por is éri a szerelvényt, legalább IP54 szükséges.

3. feladat. Ellenőrzés:

$$I_b = 13\ \text{A} \le I_n = 16\ \text{A} \le I_z = 22\ \text{A}$$

A feltétel teljesül, tehát a vezető terhelhetősége elégséges, és a védőszerv a túlterhelést meg tudja szakítani a vezető melegedése előtt.

4. feladat.

$$\text{Anyag nettó} = 92\,000\ \text{Ft}$$

$$\text{Munkadíj} = 10 \cdot 5\,500 = 55\,000\ \text{Ft}$$

$$\text{Segédanyag} = 92\,000 \cdot 0{,}05 = 4\,600\ \text{Ft}$$

$$\text{Rezsi} = 55\,000 \cdot 0{,}08 = 4\,400\ \text{Ft}$$

$$\text{Szállítás} = 4\,000\ \text{Ft}$$

$$\text{Nettó összesen} = 92\,000 + 55\,000 + 4\,600 + 4\,400 + 4\,000 = 160\,000\ \text{Ft}$$

$$\text{ÁFA} = 160\,000 \cdot 0{,}27 = 43\,200\ \text{Ft}$$

$$\text{Bruttó} = 160\,000 + 43\,200 = 203\,200\ \text{Ft}$$

5. feladat. A feladat feltevése szerint a vízszintes nyomvonal a padlószinten fut, így a függőleges szakasz a szerelési magassággal egyenlő. A függőleges szakaszok:

$$6 \cdot 0{,}4 + 3 \cdot 1{,}1 + 2 \cdot 2{,}6 = 2{,}4 + 3{,}3 + 5{,}2 = 10{,}9\ \text{m}$$

A bekötési ráhagyás (11 pont, a lámpahelyekkel együtt):

$$11 \cdot 0{,}3 = 3{,}3\ \text{m}$$

A teljes tényleges alaphossz:

$$22 + 10{,}9 + 3{,}3 = 36{,}2 \text{ m}$$

A 10%-os veszteségi tartalékkal:

$$36{,}2 \cdot 1{,}1 = 39{,}82 \text{ m} \rightarrow 40 \text{ m}$$

A szerelő korábbi becslése 22 m volt. A tényleges szükséges hossz 40 m, így a hiányzó mennyiség:

$$40 - 22 = 18 \text{ m}$$

6. feladat. El kell végezni az anyagellenőrzést: szállítólevél, típus, feszültség, áramerősség, IP-kód. Az IP20-as szerelvény nem alkalmas fröccsenő víznek kitett helyre, ezért a beépítés előtt vissza kell küldeni vagy cseréltetni. A beszállítótól IP44 vagy magasabb védettségű, kültéri vagy fröccsenő víznek ellenálló kivitelt kell kérni, és az átvételkor ellenőrizni kell a csomagoláson és a gyártói adatlapon szereplő IP-kódot.

15.2.15. Rövid összefoglaló

Az anyag- és eszközkiválasztás a felmérésből indul, és tételes anyagkigyűjtéssel, szerelvény-kiválasztással, valamint árajánlat-számítással folytatódik. A vezetékhosszhoz a vízszintes szakaszokon túl hozzá kell adni a függőleges szakaszokat, a doboz-ráhagyásokat és a veszteségi tartalékot, ami vezetéknél jellemzően 5–10%. A szerelvény kiválasztásakor a névleges feszültséget, áramerősséget, IP-védettséget és a gyártói sorozatot kell egyeztetni. Az árajánlatban anyagköltség, munkadíj, segédanyag, rezsi, szállítás, nettó összeg, áfa és bruttó ajánlati ár szerepeljen. **Továbbvitt eredmény.** Az anyagkigyűjtés és árajánlat-elemzés módszerét használjuk a szerszámbeszerzés és az eszközkiválasztás során (Kéziszerszámok, gépi szerszámok és a biztonságos használat), valamint a későbbi vállalkozási árajánlat- és számlázási folyamatoknál (Vállalkozási formák, gazdálkodás, árajánlat és számla). Az $I_b \leq I_n \leq I_z$ feltétel minden vezetőkiválasztásnál az ellenőrzés alapja.

15.2.16. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet az MSZ HD 60364 sorozatot és az MSZ EN 60529 szerinti IP-kódot használja. A konkrét IP-osztályok, terhelhetőségi értékek, áfa-mérték, beszerzési árak és munkadíjak tanulási példák; a kivitelezés és az árajánlat készítése előtt az aktuális szabványokat, a gyártói adatlapokat, a helyi előírásokat és a hatályos adózási szabályokat kell ellenőrizni.

15.3. Kéziszerszámok, gépi szerszámok és a biztonságos használat

15.3.1. Motiváció

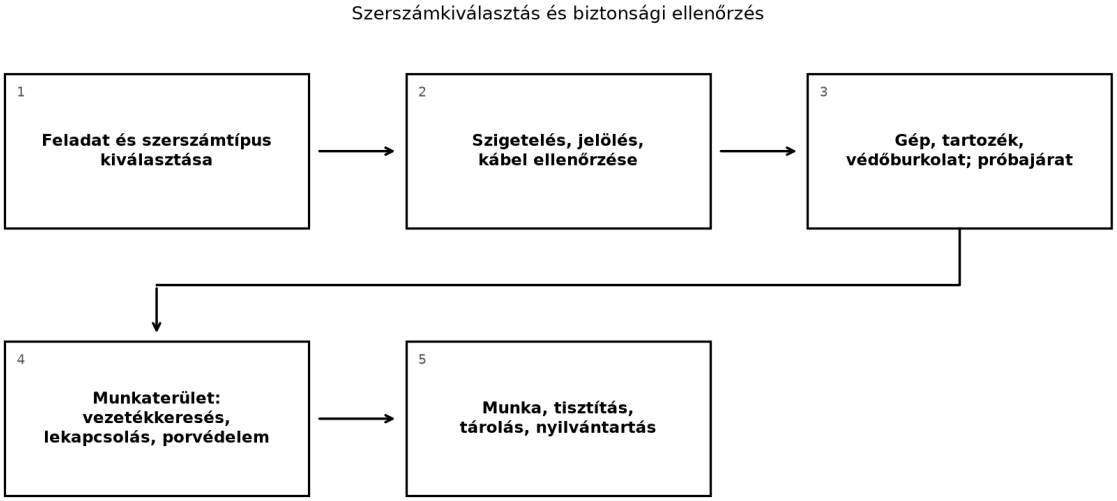
Egy villanyszerelő napjának nagy részét a szerszámai határozzák meg. Ugyanazt a kismegszakítót be lehet kötni egy jól karbantartott, VDE-jelölésű szigetelt csavarhúzóval, és be lehet kötni egy kicsorbult, laza nyelű csavarhúzóval is. A különbség elsőre kényelem kérdése, de feszültség alatti közelben vagy sérült kábelnél a nem megfelelő szerszám baleseti kockázatot hordoz. A gépi szerszámok – fúró-vésőgép, sarokcsiszoló, lyukfúró – úgy növelik a termelékenységet, hogy közben a legnagyobb kézsérülést okozó eszközök is. Az alfejezet célja, hogy a feladathoz illő

szerszámot tudj kiválasztani, azt biztonságosan használd, ellenőrizd és karbantartsd. Ez a tudás a Vezetékek és kábelek szerelési módjai alfejezetben a szerelési műveletekhez, a Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru alfejezetben pedig a vezetékmegmunkáláshoz és érvéghüvelyezéshez kell.

15.3.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy lakásfelújítást: a szerelőnek a falba kell süllyesztenie egy elosztószekrényt, majd behúznia és bekötnie a vezetékeket. A munka során használ fúró-vésőgépet lyukfúróval a dobozok helyének kialakításához, sarokcsiszolót a betonacél levágásához, blankolót a vezetékek csupaszolásához, krimpelő fogót az érvéghüvelyek préseléséhez, és szigetelt csavarhúzókat a kötések elkészítéséhez. Mindegyik eszköz más kockázatot hordoz, ezért előre megtervezett rendszer szerint kell őket ellenőrizni.

A szerszámkiválasztás és -ellenőrzés döntési folyamatát szemlélteti az alábbi folyamatábra:



15.3. ábra. Szerszámkiválasztás és biztonsági ellenőrzés - A villanyszerelői munka előtti döntési és ellenőrzési lépések általános sorrendje; fúrás, vésés előtt a rejtett vezetékek felderítése és az érintett körök lekapcsolása is a munkaterület előkészítéséhez tartozik.

Az ábra azt mutatja, hogy a szerszámhasználat nem egyetlen mozdulat, hanem ellenőrzési lánc: ha egy lépést kihagysz, a hibát a következő művelet már csak komolyabb következménnyel hozza felszínre.

15.3.3. Kézi szerszámok

A kézi szerszámok a villanyszerelő alapfelszerelései. Csak akkor dolgozhatsz velük biztonságosan, ha ismered a rendeltetésüket, és nem használod őket helyettesítőként.

Definíció. Kézi szerszám: olyan szerszám, amelyet a felhasználó izomereje működtet, külső energiaforrás nélkül.

15.3.3.1. Csavarhúzók

A villanyszerelői csavarhúzók jellemzően a következő fajtájúak:

- **Lapos (egyenes) csavarhúzó:** hagyományos, egyenes élű. Csak akkor használd, ha a csavarfej valóban egyenes kialakítású; a nem illeszkedő penge kicsorbul, és megcsúszva sérülést vagy anyagkárt okoz.
- **Phillips (PH) és Pozidriv (PZ) csavarhúzó:** kereszthornyú; a PZ a Phillipshez hasonló, de a hornyok közti kiegészítő bordázat miatt nem cserélhető fel. A PZ2 a leggyakoribb méret a szerelvényezésben.
- **Torx (TX) csavarhúzó:** csillag alakú, elsősorban készülékburkolatok és gépek csavarjaihoz. A rossz méret azonnal kihajtja a hornyot.
- **Beütő (ütve forgató) csavarhúzó:** a csavar meglazításakor kalapáccsal ráütve egyszerre fordít és nyom. Csak gépészeti (például rozsdás rögzítő-) csavarokhoz való; villamos készülék kapcsolatában, sorkapcsoknál nem használható.

A csavarhúzó kiválasztását mindig a csavarfej típusa és mérete határozza meg, nem a kéznél lévő penge.

Szabály. A csavarhúzót soha ne használd vésőként, feszítőrúdként vagy húzószerszámként. A penge nem ilyen igénybevételre készült, és eltörve szilánkos, szúrt sérülést okozhat.

15.3.3.2. Fogók

A villanyszerelői fogók fajtái:

- **Kombinált fogó:** laposfogó és harapófogó egyben; vezeték húzására, rögzítésére, vágására használható. Alapdarab.
- **Csípőfogó (oldalcsípő):** vezetékek vágására; a vágóél keményfémbetétes kivitele rézhez is megfelelő.
- **Hosszúcsőrű fogó:** keskeny, hosszú pofájú; kapcsolószekrényben, sorkapcsok közelében való fogáshoz, hajlításhoz.
- **Csupaszoló fogó (blankoló):** a szigetelés eltávolítására szolgál, a vezeték érsérülése nélkül. A legtöbb típus állítható mélységű, és a keresztmetszetnek megfelelően cserélhető befogóprofillal rendelkezik.
- **Krimpelő fogó:** érvéghüvelyek, kábelsaruk és csatlakozók hidegpréselésére szolgál. A préseléshez mindig a gyártó által előírt szerszámot és présprofilt használd; a rossz profil laza kötést okoz, ami melegedéshez és balesethez vezet.
- **Kábelvágó fogó:** vastag, akár 25 mm^2 feletti réz- vagy alumíniumerek darabolására. A nagy áttétel miatt kisebb kézi erővel vágható.

A fogók pofája, vágóéle és csuklója karbantartást igényel: a sérült vágóél csúszni fog, a laza csukló pedig nem ad egyenletes átvitelt.

15.3.3.3. Mérő- és jelölőeszközök

A villanyszerelői precíziós munkához a következők tartoznak:

- **Mérőszalag:** fal- és kábelnyomvonalak felméréséhez.
- **Vezeték- és fémkereső:** fúrás, vésés előtt a falban futó vezetékek, csövek felderítésére; eredménye tájékoztató, nem helyettesíti a terv és a lekapcsolás szerinti óvatosságot.

- **Vízszintező (libella):** szerelvények és elosztók szintjének beállításához; lézeres változata gyorsabb, de rendszeres kalibrálást igényel.
- **Tolómérő (subler):** csavarátmérő, érvéghüvely-méret, szerelt méretek ellenőrzésére.
- **Keresztmetszet-mérő:** a vezeték átmérőjéből a keresztmetszet meghatározására; a Vezeték- és kábeltípusok, jelölésrendszer alfejezetben ez segít a vezeték azonosításában.
- **Feszültségvizsgáló (kétpólusú):** a feszültségmentesség ellenőrzéséhez. Ez nem tekinthető egyszerű kézi szerszámnak, hanem mérőműszer, ezért mérési kategóriája (CAT) és állapota meghatározó.

Megjegyzés. A szigetelőszalag, zsugorcső, kábelsaru és érvéghüvely nem szerszám, hanem anyag; ezeket a Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru alfejezetben használjuk.

15.3.4. Gépi szerszámok

A gépi szerszámok energiaforrása villamos motor vagy más hajtás. Használatuknál a gyorsaság és az erő a kockázatot is megnöveli.

15.3.4.1. Fúró-vésőgép

A villanyszerelő leggyakoribb gépi eszköze az SDS-típusú tokmányú fúró-vésőgép. Három üzemmódja van: fúrás (csak forgás – fa, fém, csempe), ütvefúrás (forgás + ütés – tégla, beton) és vésés (csak ütés, forgás nélkül – horony, dobozhely). A szerelésben a horonymarás és -vésés, lyukfúrás, dobozhely kialakítása történik vele.

A fúró-vésőgép legfontosabb részei:

- **Tokmány:** SDS-plus vagy SDS-max rendszerű, a fúrószár szerszámgépbe illesztéséhez. Az SDS-plus a kisebb, az SDS-max a nagyobb teljesítményű gépekhez való.
- **Ütőmű:** a szerszámméret és a falazat szerint állítható. Ütve fúrásnál az ütést és a forgást egyszerre kell alkalmazni, tiszta vésésnél viszont a forgást le kell kapcsolni.
- **Mélységütköző:** lyukmélység beállításához, hogy a dobozok egyenletesen süllyedjenek a falba.
- **Porszívó-csatlakozás:** a horizontális fúrásnál a por elszívása céljából. A porelszívás a tüdőt védi; a falban futó vezetékről semmit nem mond.

Szabály. Fúrás, vésés előtt a terv és a vezetékkereső alapján jelöld ki a rejtett vezetékeket, a munkaterületen futó áramköröket kapcsold le és biztosítsd visszakapcsolás ellen; a szerelési sávokban ne fúrj. A gépet RCD-vel védett aljzatról vagy RCD-s hosszabbítóról használd, lehetőleg II. osztályú (kettős vagy megerősített szigetelésű) kivitelben.

Figyelem. A fúró-vésőgép visszarúgását mindig két kézzel, stabil testhelyzettel és a pótfogantyú használatával kell megelőzni. Ha a gép hirtelen elakad, engedd el a kapcsolót, és ne erőltesd.

15.3.4.2. Sarokcsiszoló

A sarokcsiszoló vágó- és csiszolótárcsával használatos. Villanyszerelői munkában betonacél, fém tálca, kábeltálca, cső, profil vágására és sorjázására terjedt el.

A sarokcsiszoló biztonsági szabályai közül a legfontosabbak:

- A vágótárcsa fordulatszám-korlátját soha ne lépd túl; a gép üresjárati fordulatszáma nem lehet nagyobb a tárcsa jelölésénél.
- A védőburkolatot mindig a megfelelő irányba állítsd; szikra- és szilánkvetés ellen véd.
- A tárcsa felszerelése után végezz 10–20 másodperces próbajáratot üresen; ha a gép vibrál, a tárcsa sérült vagy rosszul van felszerelve.
- A munkadarabot soha ne fogd kézzel vágás közben; satuba vagy stabil felületre kell rögzíteni.

15.3.4.3. Lyukfúrók

A lyukfúró korona egy fűrészkoszorú, amelylyel a falba, dobozhátfalba vagy lemezbe kör alakú nyílást készítenek. A fajtái:

- **Korona fúró (betonhoz):** keményfém fogakkal szerelt, gyakran víz- és elszívás-technikával használatos szerelődobozok, kábeláttörések kialakításához.
- **Bimetall korona (fémhez, fához):** vékonyabb falhoz, lemezekhez, kapcsolószekrény-ajtókhoz.
- **Dobozfúró (szerelvénydobozhoz):** jellemzően 68 mm átmérőjű, az aljzat- és kapcsolódobozok fészkének kialakítására.

A lyukfúrót fúró-vésőgéppel, kisebb átmérőnél akkumulátoros fúróval használják. Fontos, hogy a gép ütőfunkcióját a koronafúrónál az anyag szerint kapcsold ki; fémben az ütés tönkreteszi a fűrészkoronát.

15.3.4.4. Drónok

A drónok új eszközként jelentek meg a felmérésben: napelemes tető vizsgálata, homlokzati kábelnyomvonal ellenőrzése, magasban lévő szerelvények állapotának felmérése. Használatukhoz szükséges lehet regisztráció, pilótaképzés és légtér-engedély; ezeket a helyi szabályok szerint kell teljesíteni **(ellenőrizendő: hatályos hazai drónszabályozás)**. A drónfelvétel soha nem helyettesíti a helyszíni ellenőrzést, csak előkészíti.

15.3.5. Szigetelt szerszámok és ellenőrzésük

A hálózati feszültségű rendszer közelében végzett munkához szigetelt szerszámok szükségesek.

Definíció. Szigetelt szerszám: olyan kézi szerszám, amelynek nyele és a munkavégző részét körülvevő szigetelése a névleges feszültségre (általában legfeljebb 1000 V AC / 1500 V DC) nyújt védelmet; az MSZ EN 60900 szerinti szerszámokat feszültség alatti munkára tervezik, és típusvizsgálaton a névlegesnél jóval nagyobb feszültséggel vizsgálják (ellenőrizendő: aktuális kiadás). A jelölés a szigetelés minősítését igazolja.

Szabvány. A szigetelt szerszámok követelményeit az MSZ EN 60900 sorozat határozza meg **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és a pontos szám)**. A jelölésen a gyártó, a szabványszám, a feszültségérték és a védelmi szimbólum szerepel. Az „1000 V” jelölés a névleges (nem a vizsgálati) feszültség. Ettől még a feszültség alatti munka csak külön képesítéssel és engedéllyel végezhető (FAM); a tanuló számára tilos. A szigetelt szerszám feszültségmentesített munkánál is tartalék védelem a véletlen érintés ellen.

A szigetelt szerszámok ellenőrzése munka előtt kötelező:

1. Nézd meg a nyelet: repedés, égésnyom, ragasztás nem lehet rajta.
2. Ellenőrizd a szigetelő bevonat és a fém rész határán, hogy a szigetelés nem vált-e el.

3. A szigetelő réteg nem lehet olajos, szennyezett, mert a vezető szennyeződés csökkenti a védelmet.
4. Ha a szerszám leesett, vagy vegyszer érte, ne használd, amíg meg nem vizsgáltad.
5. A szigetelt szerszámot évente vagy a gyártó által előírt időközönként szigetelésvizsgálattal kell ellenőriztetni; ennek dokumentálása a munkáltató feladata **(ellenőrizendő: pontos vizsgálati időköz és módszer)**.

Tilos. A sérült szigetelésű szerszámot „javítani”, szigetelőszalaggal körbetekerni és tovább használni. Az ilyen szerszám nem szigetelt, hanem csak úgy néz ki.

15.3.6. Szerszám- és eszköztárolás, karbantartás

A szerszámok élettartama és biztonsága a tároláson és karbantartáson múlik.

Szabály. A villanyszerelői szerszámokat száraz, portól és nedvességtől védett helyen, elkülönítve kell tárolni. A mérőműszereket puha bélésű tokban vagy rekeszben, a vágó- és csavarhúzókat feliratozott, zárható szerszámtáskában vagy kocsiban.

A karbantartási lépések:

- Minden munkanap végén tisztítsd meg a szerszámokat: a fémrészekről távolítsd el a port, a szigetelő rétegről az olajat.
- A mozgó alkatrészeket (csukló, befogóprofil) a gyártó által ajánlott, villamosiparban használható kenőanyaggal ápold.
- A csavarhúzó pengéjét és a fogók vágóélét ne engedd rozsdásodni; enyhén olajozd meg, de a szigetelt részt ne érje olaj.
- A gépi szerszámok hajtóművét és tokmányát a gyártói utasítás szerint karbantartani; ez a fúró-vésőgépnél a szár befogófelületének zsírzását jelenti.
- A kábeleket, hosszabbítókat, csatlakozókat minden használat előtt ellenőrizd: a megtört, elvágott, repedt kábel és a sérült dugó azonnal javítandó vagy cserélendő.
- A mérőeszközöket ne tedd ki erős rázkódásnak, mágneses térnek vagy szélsőséges hőmérsékletnek.

Lépéssor: napi szerszámkarbantartás

1. Munka után kapcsold ki a gépi szerszámokat, és húzd ki a hálózati dugót, illetve vedd ki az akkut.
2. Száraz kefével vagy puha ronggyal távolítsd el a durva szennyeződést.
3. A szigetelt részeket nedves, jól kicsavart ronggyal tisztítsd, majd szárazzal áttöröld.
4. Vizsgáld meg a szigetelést, a pengét, a tokmányt, a kábelt és a védőburkolatot.
5. A hibás eszközt ne tedd vissza a táskába; jelöld meg, és tedd a javítandó ládába.
6. A készleteket egészítsd ki: hiányzó vagy sérült betét nem maradhat a táska alján.
7. Vedd fel a szerszámnyilvántartásba a használati eseményt, a sérülést és a javítást.

15.3.7. Szabvány

Szabvány. A kézi, kézi hajtású és gépi villamos szerszámok biztonsági követelményeit európai szabványok (MSZ EN 62841 sorozat kézi villamos szerszámokra, MSZ EN 60900 szigetelt szerszámokra) határozzák meg. A gyártónak a gépen elhelyezett jelölésekkel kell megadnia a névleges feszültséget, teljesítményt, fordulatszámot, védettséget, a szigetelési osztályt, valamint a használatra vonatkozó figyelmeztetéseket. A felhasználó ezeket köteles figyelembe venni. A munkáltató felelőssége a munkavédelmi szempontú időszakos ellenőrzés, különösen a szigetelt szerszámok

és a villamos csatlakozók állapotfelülvizsgálata **(ellenőrizendő: magyar munkavédelmi és szabványalkalmazási részletek)**.

A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy egy új fúró-vésőgépen a jelölésekből tudnod kell: hálózati vagy akkumulátoros, mekkora teljesítményű, milyen tokmányrendszerű, és pormentes megoldáshoz csatlakoztatható-e.

15.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy szerelőcsapat kábeltálcát szerelt egy ipari csarnokban. Az egyik dolgozó a sarokcsiszolóra a gyártó által nem engedélyezett, nagyobb átmérőjű vágótárcsát tett, hogy gyorsabban haladjon. A tárcsa fordulatszám-korlátja kisebb volt a gép fordulatszámánál. A vágás kezdetekor a tárcsa felrobbant, a szilánkok a dolgozó arcvédő nélküli arcát érték. A baleset oka a nem megfelelő szerszám-tartozék párosítás, a védőburkolat eltávolítása és az arcvédő hiánya volt. A sérülések maradandóak lettek. Tanulság: a tárcsa és a gép fordulatszámát mindig össze kell vetni, a burkolatot nem szabad levenni, és a védőfelszerelés nem hagyható el.

Hibakeresési eset. Egy lakáselosztó cseréje közben a szerelő érvéghüvelyt préselt a bekötő 2,5 mm²-es vezetékére, de a kötések egy része a későbbi hőmérés során melegedett.

- **Tünet:** az egyik sorkapocs csatlakozása hőmérsékletkamerával 20–25 °C-kal melegebb, mint a környező kötések.
- **Hipotézis:** a préselés nem volt megfelelő, mert rossz krimpelőprofilt használt, vagy a érvéghüvely mérete nem illett a vezeték keresztmetszetéhez.
- **Mérés/ellenőrzés:** a kötés feszültségmentesítve, nyomatékkulccsal megvizsgálva; a csavar nyomatéka rendben, de az érvéghüvely nem fekszik el a vezeték erein, és a hüvely oldalán a préselés helyén a vezeték nem tölti ki a keresztmetszetet.
- **Ok:** a dolgozó a rendelkezésre álló, de nem megfelelő méretű krimpelőbetétet használta, mert a gyártó által előírt profil nincs a táskában. A kötés laza maradt.
- **Javítás:** a hibás érvéghüvely eltávolítása, új hüvely felhelyezése, a megfelelő profillal való préselés, majd a kötés újbóli meghúzása.
- **Megelőzés:** a krimpelő szerszámhoz mindig a gyártó táblázata szerinti betétet kell használni; a préselés után szemrevételezéssel és próbahúzással kell ellenőrizni a kötést.

15.3.9. Gyakorlati útmutató

15.3.9.1. Cél

Szerszámkészlet összeállítása és biztonságos használata egy épületvillamossági szerelési feladathoz.

15.3.9.2. Eszközök és anyagok

- VDE-jelölésű csavarhúzókészlet (lapos, PZ2, TX)
- Kombinált, csípő-, hosszúcsőrű fogó
- Blankoló és krimpelő fogó a vezeték-keresztmetszetekhez illesztve
- Mérőszalag, vízszintező
- Fúró-vésőgép SDS-plus tokmánnyal, pótfogantyúval, mélységütközővel
- Lyukfúró készlet (dobozfúró, korona) és elszívó
- Sarokcsiszoló védőburkolattal

- Egyéni védőeszközök: védőszemüveg vagy arcvédő, fülvédő, porálarc, kesztyű, biztonsági lábbeli
- Hosszabbító kábel FI-relével (vagy a munkaterület FI-védelme)

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezz. Minden munkavégzés előtt alkalmazd az öt biztonsági szabályt: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése. Ha a gyakorlat során feszültség alatti berendezés közelében kell dolgoznod, a távolsági és védelmi előírásokról a jogosult oktató dönt.

15.3.9.3. Számozott lépések

1. **Munkafeladat meghatározása.** Döntsd el, milyen műveletet kell végezni: vésés, fúrás, vágás, vezetékszerelés, kötések. Ehhez válaszd ki a megfelelő szerszámcsoportot.
2. **Szerszámok kivétele.** Rakd ki a szükséges szerszámokat a munkakocsira vagy a védőlapra. Ne a földre, ahol sérülhetnek, és ne feszültség alatti készülék tetejére.
3. **Állapotellenőrzés.** Nézd végig mindegyik szerszámot: a szigetelés sértetlenségét, a vágóél élességét, a csuklók és tokmányok játékát, a gépi kábelek épségét.
4. **A gép felszerelése.** A fúró-vésőgépbe a megfelelő fúró- vagy vésőszárat csak lekapcsolt gépnél helyezd be, ütközésig tolva, majd ellenőrizd a rögzítést. A sarokcsiszolóra a tárcsát a nyíl irányának megfelelően, biztonságos rögzítéssel szereld.
5. **Munkaterület előkészítése.** A terv és a vezeték-/fémkereső alapján jelöld ki a falban futó vezetékeket és csöveket; a szerelési sávokban ne fúrj, ne vésd. A munkaterületen futó áramköröket kapcsold le, biztosítsd visszakapcsolás ellen, és ellenőrizd a feszültségmentességet (az öt biztonsági szabály szerint). A gépet csak áram-védőkapcsolóval (RCD) védett aljzatról használd. Távolítsd el az éghető anyagokat, biztosítsd a por elszívását, és ha szükséges, takard le a berendezéseket. Szikrázó munkánál tűzvédő ponyvát használj.
6. **Próbaüzem.** Kapcsold be a gépet 10–20 másodpercre üresen. Figyelj a hangra, vibrációra, szikrára. Ha bármi rendellenes, kapcsold le, és keress hibát.
7. **Munkavégzés.** Dolgozz stabil testhelyzetben, két kézzel fogva a gépet. A kézi szerszámnál a munka tárgyát rögzítsd. Rendszeresen ellenőrizd a munkadarabot.
8. **Befejezés.** Kapcsold le a gépeket, húzd ki a dugókat, vedd ki az akkut. Tisztítsd meg a szerszámokat, és tedd őket a kijelölt helyre. A hibás eszközt jelöld meg, és vond ki a használatból.
9. **Dokumentálás.** A szerszámnyilvántartásba vagy a műhelynaplóba rögzítsd a használt eszközöket, a hibákat és a karbantartási igényeket.

15.3.9.4. Ellenőrzési pontok

- A szigetelt szerszámok nyelén nincs repedés, égésnyom, a jelölés olvasható.
- A fúró- és vésőszárak rögzítése nem enged a próbánál.
- A sarokcsiszoló védőburkolata a helyén van, a tárcsa nem érhet a burkolathoz.
- A hosszabbító és az elosztó FI-reléje rendelkezésre áll.
- A munkavégzés után a területen nem maradt éles darab, szerszámmaradvány.

15.3.9.5. Tipikus hibák a gyakorlat közben

- Szigetelt és nem szigetelt szerszámok keverése a táskában; a feszültségmentesítés nélküli munka közben véletlenül a rossz eszköz kerül kézbe.

- A gép szerszámfogójának nem teljes beillesztése: a fúrószár kirepül.
- A sarokcsiszoló védőburkolatának eltávolítása a „kényelmesebb” vágásért.

15.3.10. Tipikus hibák (fogalmi és gyakorlati)

1. **Hiba:** „A csavarhúzó mindegy, csak lapos legyen.” **Helyes gyakorlat:** A csavarfej típusához és méretéhez illeszkedő csavarhúzót válassz. A rossz méret megcsúszását okoz, károsítja a csavart és a szerszámot.
2. **Hiba:** „A sérült szigetelésű csavarhúzót körbetekertem szigetelőszalaggal.” **Helyes gyakorlat:** A szigetelt szerszámot ki kell vonni a használatból, és a javítást csak szakszervizben lehet elvégezni. A szalagozás nem helyettesíti a gyári szigetelést.
3. **Hiba:** „Az SDS-tokmánynál a szerszámot nem kell ütközésig betolni, a gép majd behúzza.” **Helyes gyakorlat:** A szárat mindig ütközésig be kell tolni, és a rögzítettséget kézzel ellenőrizni kell. A nem rögzített szerszám kirepülhet.
4. **Hiba:** „A gépi szerszám kábelét nem kell megnézni, hiszen működik.” **Helyes gyakorlat:** A kábel és a csatlakozó sérülése áramütést vagy tüzet okozhat; használat előtt mindig ellenőrizd, és a sérült kábelt javíttasd vagy cseréld.

15.3.11. Önellenőrzés

1. Mire utal a szigetelt szerszámon a „VDE / 1000 V” jelölés? (Igaz/hamis indoklással: „A jelölés azt jelenti, hogy a szerszámmal 1000 V feszültség alatt lehet dolgozni.”)
2. Mi a különbség a Phillips (PH) és a Pozidriv (PZ) csavarhúzó között?
3. Milyen üzemmódjai vannak a fúró-vésőgépnek, és mikor melyiket használod?
4. Miért kötelező a sarokcsiszolón a védőburkolat?
5. Mit ellenőrzöl a blankoló fogó használata előtt?
6. Mi a teendő, ha egy érvéghüvely-préselés után a kötés melegedik?

A válaszokat a Megoldások elején, „Önellenőrzés – válaszok” alcím alatt találod.

15.3.12. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel, melyik szerszámot használod egy lakáselosztó bekötéséhez, és mindegyiknél írd le, mire kell ellenőrizni használat előtt.

2. feladat (A) Egy 230 V-os fúró-vésőgép adattáblája 1200 W-ot jelöl. Számítsd ki a névleges áramát! (Az adattábla a felvett teljesítményt adja; a teljesítménytényezőt vedd $\cos\varphi \approx 0{,}9$-nek.)

3. feladat (B) Egy 68 mm átmérőjű dobozfúróval betonfalba kell süllyeszteni 10 szerelvénydobozt. Melyek a munkafolyamat fő lépései, és milyen védelmi intézkedéseket hozz meg?

4. feladat (B) Adott egy 2,5 mm²-es rézérhez való érvéghüvely és egy krimpelő fogó. Ismertesd a préselés ellenőrzési folyamatát, és sorold fel a nem megfelelő préselésre utaló jeleket.

5. feladat (C) Egy munkatárs a sarokcsiszolón új tárcsát cserél, de a tárcsa furata nem pontosan illeszkedik, és a központosító gyűrűt elhagyja. Elemezd, mi a baj ezzel, és milyen védelmi lépések hiányoznak.

6. feladat (D) Egy szigetelt csavarhúzó nyelén hajszálrepedést látsz, de a jelölés még olvasható. Mi a helyes eljárás? Indokold a munkabiztonsági szempontból.

15.3.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A jelölés a névleges feszültséget adja (a szigetelést ennél nagyobb feszültséggel vizsgálják); a tanulónak feszültség alatt dolgozni tilos, ez külön jogosultságot és eljárást (FAM) igényel. A szigetelt szerszám feszültségmentesített munkánál véletlen érintés ellen ad tartalék védelmet.
2. A PH és a PZ hornyolata hasonló, de a PZ-nél a kereszthornyok találkozásánál kiegészítő kiemelkedések vannak. A PH csavarhúzó a PZ csavarban megcsúszhat, ezért nem cserélhetők fel.
3. A fúró-vésőgép üzemmódjai: fúrás forgással, fúrás ütve, vésés ütve forgás nélkül. Falba lyukfúrásnál ütve fúrást, betonvésésnél csak ütést használsz; tiszta fúrásnál az ütést kapcsold ki.
4. A védőburkolat a szikra- és szilánkvetést, valamint a tárcsatöréstől származó repeszeket fogja fel. Eltávolítása súlyos sérülést okozhat.
5. Ellenőrizd a vágóél épségét, a befogóprofil és a vezeték-keresztmetszet illeszkedését, a csukló merevségét, valamint a nyelén a szigetelés állapotát, ha szigetelt kivitel.
6. Feszültségmentesítés után a kötést meg kell bontani, ellenőrizni kell az érvéghüvely méretét és a préselési profilt; ha a préselés hibás, új hüvelyt kell felhelyezni a megfelelő szerszámmal, majd a kötést előírt nyomatékra húzni és újra ellenőrizni.

1. feladat (A) megoldása Lakáselosztó bekötéséhez: - szigetelt csavarhúzó készlet (lapos, PZ2, TX) – nyelek és penge sérülésmentessége, VDE-jelölés; - blankoló fogó – vágóél és befogóprofil épsége; - krimpelő fogó – présprofil illeszkedése az érvéghüvelyhez; - kombinált és csípőfogó – csukló és vágóél; - nyomatékkulcs a sorkapcsokhoz – beállított érték és a skála olvashatósága.

2. feladat (A) megoldása Adott: $U = 230\,\mathrm{V}$, $P = 1200\,\mathrm{W}$. Keresett: I. Képlet: $I = \dfrac{P}{U \cos\varphi}$. Behelyettesítés: $I = \dfrac{1200\,\mathrm{W}}{230\,\mathrm{V} \cdot 0{,}9} \approx 5{,}8\,\mathrm{A}$ ($\cos\varphi = 1$ közelítéssel 5,2 A). Ellenőrzés: a fúró-vésőgép tipikus árama 4–6 A között van, így az eredmény reális. (A hatásfok a felvett teljesítményből számolt áramot nem változtatja.)

3. feladat (B) megoldása Munkafolyamat: 1. felmérés: dobozok helye, vezetékkereső és terv alapján a nyomvonal elkerüli a rejtett vezetékeket, a munkaterület áramköreinek lekapcsolása és biztosítása; 2. porvédelem: elszívó vagy nedves eljárás, a terület letakarása; 3. fúró-vésőgép előkészítése: SDS-plus tokmány, 68 mm-es dobozfúró, ütőfunkció bekapcsolása, pótfogantyú; 4. lyukfúrás: mélységütköző beállítása, stabil testhelyzet; 5. ellenőrzés: a doboz síkban van, a furat mélysége megfelelő. Védelmi intézkedések: védőszemüveg, porálarc, fülvédő, kesztyű, biztonsági lábbeli, a munkaterület elhatárolása, FI-relé.

4. feladat (B) megoldása A préselést az érvéghüvely gyártója által megadott krimpelővel és profillal végezd. Ellenőrzés: - a hüvely hossza pontosan az érvéghüvely méretének felel meg; - a vezeték erei teljesen kitöltik a hüvely hengeres részét; - a préselés jól láthatóan benyomódott, nincs repedés; - a hüvely nem deformálódott, és a szigeteléssel együtt nem préselődött be; - próbahúzásra a kötés nem mozdul. Nem megfelelő préselés jelei: túlzott melegedés, laza kötés, a vezeték kihúzható, a hüvely oldala repedt vagy hiányos.

5. feladat (C) megoldása A tárcsa furata és a tengely közötti hézagot központosító gyűrűvel kell kiegyenlíteni. Ha ezt elhagyják, a tárcsa excentrikusan forog, erős vibrációt okoz, és a fordulatszám-korlát túllépése nélkül is szétrobbanhat. Hiányzik a védőburkolat ellenőrzése, a próbajárat, az arcvédő, és nem ellenőrizték a tárcsa jelölését sem. A munkát le kell állítani, a helyes tárcsát és gyűrűt kell felszerelni, majd próbajáratot végezni.

6. feladat (D) megoldása A repedt szigetelésű csavarhúzót azonnal ki kell vonni a használatból. A repedés a szigetelési védelem csökkenését jelenti, és feszültség alatti véletlen érintkezésnél áramütést okozhat. A szerszámot nem szabad szigetelőszalaggal javítani; meg kell jelölni, és a szakszervizbe kell adni. A munkáltatónak gondoskodnia kell arról, hogy a dolgozó csereszerszámot kapjon, és a hibát dokumentálják a szerszámnyilvántartásban.

15.3.14. Rövid összefoglaló

A villanyszerelő szerszámai csak akkor szolgálják a biztonságos és szakszerű munkát, ha a feladathoz illeszkedő típust választod, és használat előtt ellenőrzöd az állapotukat. A kézi szerszámok közül a csavarhúzók, fogók, blankoló és krimpelő fogók, valamint a mérőeszközök a legfontosabbak. A csavarhúzót a csavarfej típusa szerint kell megválasztani; a fogók vágóéle és csuklója meghatározza a munka minőségét. A gépi szerszámok – fúró-vésőgép, sarokcsiszoló, lyukfúró – használata előtt mindig ellenőrizni kell a szerszámfogót, a védőburkolatot és a kábelt; porvédő elszívással és megfelelő védőeszközökkel kell dolgozni. A szigetelt szerszámok VDE/1000 V jelölése a szigetelés vizsgálatát igazolja, de nem ad felhatalmazást feszültség alatti munkára; sérült szigetelést tilos szigetelőszalaggal javítani. A szerszámok tárolása száraz, zárt helyen, karbantartása napi tisztítással, ellenőrzéssel és hiánypótlással történik. **Továbbvitt eredmény:** a szigetelt szerszámok állapotellenőrzését és a krimpelő/blankoló használatát a Vezetékek és kábelek szerelési módjai alfejezet alkalmazza, a Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru alfejezet pedig a vezetékmegmunkálás, érvéghüvelyezés és csavarnyomaték gyakorlatánál használja fel.

15.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

A szigetelt szerszámokra vonatkozó szabványszámot és vizsgálati időközt ellenőrizni kell az aktuális MSZ EN 60900 kiadásban. A kézi villamos szerszámok biztonsági követelményeit az MSZ EN 62841 sorozat szerint kell pontosítani. A drónhasználathoz szükséges engedélyek és képzés hatályos jogszabályi háttere ellenőrzendő. A hálózati engedélyes és a munkáltató belső előírásai a szerszámvizsgálat gyakoriságára kiegészíthetik az itt leírtakat.

15.4. Vezetékek és kábelek szerelési módjai

15.4.1. Amikor ugyanaz a kábel mást bír a falban és a tálcán

Egy tanulószerelő helyzet: irodafelújításkor ugyanazt a 2,5 mm²-es réz NYM-J kábelt az egyik szakaszon hőszigetelt falban, védőcsőben, a másik szakaszon szellős kábeltálcán fektetik. A kábel papíron mindkét helyen ugyanaz, a gyakorlatban mégis más árammal terhelhető. Ha ezt a különbséget nem vesszük figyelembe, a vezeték a falban erősebben melegszik, a szigetelés öregszik, és a kismegszakító esetleg nem védi meg a kábelt. Ebben az alfejezetben a vezetékek és kábelek szerelési módjait, nyomvonalát és rögzítését járjuk körül, mert a szerelési mód ugyanolyan fontos méretezési adat, mint a keresztmetszet vagy a szigetelés anyaga.

A korábbi Színjelölés, keresztmetszet és szerelési módok alfejezetben már láttuk, hogy a szabványos keresztmetszethez tartozó terhelhetőség nem egyetlen szám, hanem a beépítéstől függ. Most ezt a választást tanuljuk meg konkrétan: mikor használjunk védőcsövet, kábelcsatornát, tálcát, falba süllyesztést vagy földkábel-fektetést, és hogyan alakítsunk ki olyan nyomvonalat, amely biztonságos, szerelhető, felülvizsgálható és később sem okoz balesetet.

15.4.2. A szerelési mód mint hőelvezetési feltétel

Definíció. A vezeték vagy kábel **szerelési módja** azt a környezetet és rögzítési rendszert jelenti, amelyben a vezető üzemszerűen fut: például falba süllyesztve, védőcsőben, kábelcsatornában, tálcán, falon kívül, földben vagy hőszigetelés közelében. A szerelési mód elsősorban a hőelvezetést határozza meg, ezért közvetlenül befolyásolja a vezeték tartós terhelhetőségét, az I_z értéket.

Szabály. A vezeték méretezésének alaplánca akkor is érvényes, ha ugyanazt a kábelt többféle módon fektetik:

$$I_b \le I_n \le I_z$$

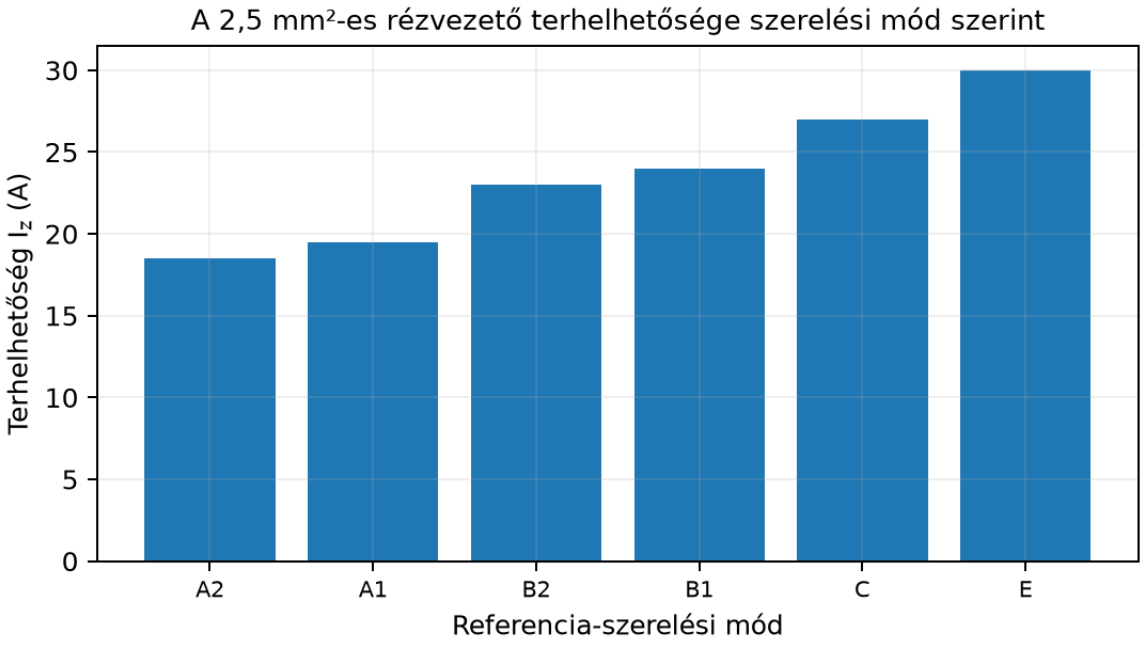
ahol I_b az üzemi áram, I_n a védelmi készülék névleges árama, I_z pedig a vezeték terhelhetősége az adott szerelési módban és környezeti feltételek mellett. A terhelhetőség részletes számítását és a javítótényezőket a Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők alfejezet tárgyalja; itt a szerelési mód kiválasztására és kivitelezésére koncentrálunk.

Megjegyzés. A szabvány a szerelési módokat betű- és számcsoportokkal jelöli, például A1, A2, B1, B2, C, D, E, F. A tanuláshoz elegendő a gyakorlati logika: minél jobban körülzár egy építőanyag vagy védőcső, annál rosszabb a hőleadás; minél szabadabban, rések között fut a kábel, annál jobb a hűlés. A pontosan hozzárendelt terhelhetőségi értékeket mindig a hatályos szabványtáblázatból kell venni, mert azok a szigetelés anyagától, a réz vagy alumínium vezetőtől és a terhelt erek számától is függnek.

Szemléltető példa: egy PVC-szigetelésű, 2,5 mm²-es, két terhelt erű (egyfázisú) réz kábel jellemzően nagyobb áramot bír perforált kábeltálcán (E módszer), mint hőszigetelt falban, védőcsőben (A2 módszer, többerű kábel; az A1 módszer az egyerű vezetékekre vonatkozik). Például ha a hőszigetelt falhoz tartozó tájékoztató érték 18,5 A, a kábeltálcához tartozó pedig kb. 30 A, akkor

$$\frac{30}{18{,}5} \approx 1{,}62,$$

vagyis ugyanaz a kábel a jó hőelvezetésű szerelési módban mintegy másfélszer nagyobb tartós áramot bírhat. A vakolatba vagy falazatba közvetlenül süllyesztett köpenyes kábel (például NYM-J) a falon rögzítettel azonos, C módszerhez tartozik (27 A). Az értékek tájékoztatók (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 terhelhetőségi és szerelésimód-táblázatai). Ezért rossz gyakorlat csak „2,5 mm² elég” alapon gondolkodni; mindig azt kell kérdezni: **hol és hogyan lesz vezetve?**



15.4. ábra. A 2,5 mm²-es rézvezető terhelhetősége szerelési mód szerint - Tájékoztató, kerekített értékek PVC-szigetelésű, két terhelt erű rézvezetőnél, 30 °C-on. A2: hőszigetelt falban, védőcsőben, többerű kábel (pl. NYM-J); A1: hőszigetelt falban, védőcsőben, egyerű vezetékek; B2: védőcsőben falon/falazatban, többerű kábel; B1: védőcsőben falon/falazatban, egyerű vezetékek; C: falon rögzítve vagy falazatba közvetlenül süllyesztve; E: perforált kábeltálcán. Az érvényes szabványtáblázat (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52) és a gyártói adatlap a mérvadó.

Az ábra szerinti eltérés nem a kábel hibája, hanem a hőleadás logikája. A falba süllyesztett kábel körül az építőanyag lassan vezeti el a hőt, míg a tálcán futó kábel körül a levegő folyamatosan cserélődik.

15.4.3. Védőcsőben szerelt vezetékek

A védőcső elsődleges feladata a mechanikai védelem és a cserélhetőség. Ha a vezetéket védőcsőbe húzzuk, egy későbbi hiba esetén a régi vezetéket kihúzhatjuk, és újra húzhatjuk, anélkül hogy a falat újra kellene vésni. A védőcső emellett csökkenti annak kockázatát, hogy egy kép, polc vagy egyéb rögzítőelem fúrásakor a fúró közvetlenül a vezetékbe érjen, bár a védőcső sem jelent teljes mechanikai védelmet.

A gyakorlatban használt kivitelek:

- **Merev PVC védőcső:** olcsó, jól hajlítható hajlítórugóval vagy előre gyártott ívekkel, beltéri, száraz környezetbe való. Kültéri, UV-sugárzásnak kitett helyre csak arra alkalmas kivitel használható.
- **Hajlékony műanyag védőcső:** olyan helyekre való, ahol a nyomvonal nem egyenes, vagy a szerelés során kis elmozdulásokkal kell számolni. Kevésbé terhelhető mechanikailag, ezért ne használjuk ott, ahol erős ütés vagy nyomás érheti.
- **Fém védőcső:** nagyobb mechanikai és tűzvédelmi igény esetén, illetve olyan helyen, ahol a környezet koptatja vagy melegíti a műanyagot. Fémszerkezetét be kell vonni a hibavédelmi rendszerbe, ha feszültség alá kerülhet.

Szabály. Védőcsőbe egyerű, szigetelt vezetéket húzunk (például H07V-U tömör, nagyobb keresztmetszetnél H07V-R sodrott, sok ív esetén H07V-K hajlékony); a cső íveit, a dobozok számát és a töltési arányt úgy választjuk meg, hogy a vezeték sérülés nélkül behúzható és később kihúzható legyen. Törésen át vezetéket erőltetni tilos. Húzás előtt a cső belső falát és a vezetéket is ellenőrizni kell, hogy nincs-e sorja, éles perem. A húzáshoz használhatunk húzóspirált, húzószálat vagy a régi vezetéket mint húzószerkezetet, de mindig úgy, hogy a szigetelést ne sértsük meg.

Példa. Egy világítási áramkör védőcsövébe három 1,5 mm²-es H07V-U vezetéket húzunk: barna fázist, kék nullát és zöld-sárga védővezetőt. Ha a kapcsolótól a lámpáig kapcsolt fázis is kell, akkor fekete kapcsolt vezetőt is be kell húzni. A csövet nem szabad színültig tölteni; hagyni kell annyi szabad keresztmetszetet, hogy a vezetékek húzhatók és később cserélhetők maradjanak. A gyakorlati ökölszabály szerint a cső belső keresztmetszetének legfeljebb mintegy harmadát töltsük ki vezetőanyaggal, a pontos követelményt a gyártói és szabványadatok adják.

15.4.4. Kábelcsatorna, parapetcsatorna, tálca és létra

A **kábelcsatorna** kis- és közepes keresztmetszetű kábelek rendezett, fedett vezetésére való. Irodákban, műhelyekben, iskolákban gyakori, mert a fedél utólag is levehető, így új vezeték húzható be. A csatornát a falra vagy gépészeti tartóra kell rögzíteni, és a benne futó kábeleket nem szabad úgy összenyalábolni, hogy a hőleadás jelentősen romoljon.

A **kábeltálca** perforált fémlemez vagy huzalos szerkezet, amely jól szellőzik, és nagyobb kábelsugarak rendezett vezetésére alkalmas. Ipari elosztókban, álmennyezetekben, gépészeti terekben gyakran találkozunk vele. A tálcán a kábeleket lehetőleg egy rétegben, egymástól kis távolságra fektessük, mert így a hőleadás jobb, mint szorosan összefogott kötegben.

A **kábellétra** nagyobb terhelésű, hosszabb nyomvonalú ipari megoldás. A fokok közötti nyitott tér kiváló szellőzést ad, ugyanakkor a kábeleket mechanikusan meg kell fogni, hogy rezgés vagy dinamikus erő hatására ne csússzanak le. A rögzítéshez kábelfogó, fém kábelkötegelő vagy megfelelő műanyag kábelkötegelő használható, de a lángterjedésre és az UV-állóságra ügyelni kell.

Megjegyzés. A tálcán és létrán futó kábelek esetében a hőleadás jobb, cserébe viszont a hibavédelmi és tűzvédelmi követelményeket is teljesíteni kell. A földelhető fémszerkezetet rendszerint be kell vonni az egyenpotenciálra hozásba, különösen akkor, ha a kábel sérülésekor a fémszerkezet feszültség alá kerülhet.

15.4.5. Falba süllyesztés és falon kívüli szerelés

A lakás- és épületvillamosság leggyakoribb módja a **falba süllyesztett vezetés**. A véséskor kialakított horonyba védőcsövet vagy arra alkalmas kábelt fektetnek, majd a hornyot vakolattal vagy glettel zárják le. A falba süllyesztés esztétikus, de a hőelvezetés rossz, és a javítás csak bontással lehetséges. Ezért a falba süllyesztett szakaszoknál különösen fontos a megfelelő keresztmetszet-választás és a túláramvédelem.

A **falon kívüli szerelés** gyors, jól ellenőrizhető, könnyen javítható, de kevésbé esztétikus. Pince, garázs, műhely, tároló, ipari tér esetén ez a szokásos megoldás. A falon kívüli kábelt mechanikai sérülés ellen védőcsőbe, kábelcsatornába kell helyezni, vagy olyan kábelt kell választani, amelynek külső burkolata az adott behatáshoz megfelelő.

A falba vésésnél soha ne vágjunk át teherhordó szerkezetet, vasbeton gerendát, gáz- vagy vízcsövet. A vésési mélységet a szerkezeti szabályok és a gyártói előírások korlátozzák; ezt az építési szakággal

kell egyeztetni. A védőcső rögzítése a horonyban gipsszel, csőbilinccsel vagy speciális rögzítővel történhet, hogy a vakolás előtt ne mozduljon el.

15.4.6. Földben való szerelés

Kerti világítás, kocsibeálló, kapumotor, melléképület vagy kültéri aljzat bekötésekor gyakran kell **földkábelt** fektetni. Földbe csak arra alkalmas kábelt szabad lefektetni, jellemzően páncélozott vagy erős külső köpenyű típust, például NYY-J vagy hasonló, kültéri, földbe fektethető kábelt. A földben a kábel mechanikai védelem nélkül van, ezért a nyomvonalat úgy kell kialakítani, hogy ásás, kertépítés vagy gépjárműterhelés ne tegye tönkre.

A földkábel fektetésének szokásos rétegszerkezete:

1. Alul egyenletes, kavicsmentes homokágyat készítesz, hogy a kábel ne feküdjön éles kövekre.
2. Belefekteted a kábelt hullámos, laza vonalban, nem feszítve.
3. Felülről is homokkal takarod, hogy a kábel minden oldalról finom anyagban feküdjön.
4. Jelzőszalagot vagy jelzőhálót helyezel fölé, hogy a jövőbeni ásás során figyelmeztessen.
5. Ezután jön a visszatöltött föld, amelyben nagyobb kövek ne legyenek közvetlenül a kábel felett.

A beásási mélységet a helyi előírás és a hálózati engedélyes követelménye szabja meg. Tanulási példaként kisfeszültségű kerti kábelnél jellemzően legalább 0,6–0,8 m mélységet szoktak előírni, de ez az adott helyszíntől és a mechanikai igénybevételtől függ **(ellenőrizendő: aktuális előírás és elosztói követelmény)**. Járda, út vagy parkoló alatt mindig védőcsőbe kell helyezni a kábelt.

15.4.7. Nyomvonal, hajlítás és rögzítési távolság

A vezetéknyomvonal nem csupán esztétikai kérdés. A rosszul vezetett kábel később fúrás, szegelés vagy bontás során sérülhet, a túl hosszú, rögzítetlen szakasz pedig húzza a kötéseket, rezeg, és idővel a kapcsok lazulásához vezethet.

Szabály. A falba süllyesztett vezetékek nyomvonala lehetőleg a szabványos szerelési zónákban fusson: vízszintesen a födém alatt és a padló felett, függőlegesen pedig a sarkok, ajtók, ablakok és kapcsolók környékén. A gyakorlatban ezt úgy képzelhetjük el, hogy a vezeték a mennyezettől lefelé, a padlótól felfelé, valamint a saroktól befelé meghatározott sávban halad. Az átlós, ferde vezetés tilos, mert a jövőbeni fúrás helyét nem lehet kiszámítani.

Tilos. Vezetéket átlósan, a legrövidebb úton „levágva” vezetni csak azért, hogy kábelanyagot spóroljunk. A rövid távú anyagmegtakarítás ára gyakran egy későbbi fúrásos baleset vagy a szabványossági felülvizsgálat kifogása.

Szabály. A rögzítési távolságot a gyártó és a szerelési mód határozza meg. Tanműhelyi ökölszabályként vehetjük, hogy műanyag védőcsövet vízszintesen 30–40 cm-enként, függőlegesen 40–50 cm-enként rögzítünk, a dobozoktól és ívektől pedig 10–15 cm-re is teszünk bilincset. Kábelcsatornánál, tálcánál és kábellétránál a gyártói rögzítési távolság és a kábel súlya az irányadó. Ezek az értékek tanulási támpontok, a konkrét rendszerhez tartozó gyártói adatlap a mérvadó **(ellenőrizendő)**.

A hajlításnál be kell tartani a minimális hajlítási sugarat. Ha egy kábelt túl élesen hajlítunk, a szigetelés megreped, a vezető megtörik, és a kábel villamos tulajdonsága romlik. Rögzített kábelnél jellemzően a kábel külső átmérőjének 4–6-szorosa a minimális hajlítási sugár, hajlékony kábelnél

ennél nagyobb is lehet, például 10–15-szörös. A pontos érték gyártónként és kábeltípusonként eltér, ezért mindig a kábel adatlapja az irányadó **(ellenőrizendő)**.

Kötődobozt kell beiktatni minden elágazásnál, hosszú egyenes szakaszok húzási pontjainál, valamint akkor, ha a nyomvonal túl sok hajlítást tartalmaz. Ha egy védőcsőszakaszban háromnál több irányváltás van, a húzás rendszerint nehézzé válik; ilyenkor iktass be szerelődobozt.

Lépéssor. A szerelési mód és a nyomvonal kiválasztásának lépéssora:

1. Gyűjtsd össze a fogyasztókat, azok várható áramát és a helyiség funkcióját.
2. Vizsgáld meg a környezeti behatásokat: nedvesség, hő, mechanikai sérülés, UV, vegyi anyag, éghető por.
3. Válaszd ki a szerelési módot a helyiséghez és a behatásokhoz.
4. Határozd meg a vezető és a szigetelés típusát, valamint a keresztmetszetet.
5. Vedd fel a kiválasztott szerelési módhoz tartozó I_z értéket a szabványtáblázatból.
6. Alkalmazd a hőmérsékleti, csoportosítási és hőszigetelési javítótényezőket.
7. Ellenőrizd az $I_b \le I_n \le I_z$ láncot és a feszültségesést.
8. Tervezd meg a nyomvonalat a szerelési zónákban, és tüntesd fel a kötődobozokat.
9. Válaszd meg a rögzítési távolságokat és hajlítási sugarakat a gyártói adatok szerint.
10. A szerelés után mérd meg a folytonosságot, a szigetelési ellenállást és a védővezető bekötését.

15.4.8. Tűz- és nedvességvédelem, áttörések

A vezetéknek gyakran át kell haladnia falon, födémen, tűzgátló szerkezeten. Az áttörést úgy kell kialakítani, hogy a fal tűzállósága ne csökkenjen, és a nedvesség se jusson át egyik térből a másikba.

Szabály. Tűzgátló fal vagy födém áttörésekor a kábel körüli rést a szerkezet tűzállósági követelményének megfelelő tűzgátló anyaggal kell lezárni: tűzgátló habbal, tömítőpárnával, habarccsal vagy kábeltömítő rendszerrel. A közönséges építőhab nem helyettesíti a tűzgátló kitöltést. A nyílás lezárása után a kábeleknek is meg kell felelniük az adott tűzszakasz követelményeinek, ezért rossz gyakorlat éghető műanyag kábelkötegelővel rögzíteni olyan szerkezeten, ahol a tűzterjedést korlátozni kell.

Szabály. Nedves helyiségbe, kültérre, zuhanyzóba vagy pincébe a kábel bevezetését úgy kell kialakítani, hogy víz ne juthasson a csőbe vagy a dobozba. Kültéri bevezetésnél a bevezetés alulról vagy alulról felfelé ívesítve történjen, és a nyílást tömítőgyűrűvel, tömítőanyaggal kell zárni. A kötődobozok, szerelvények védettsége feleljen meg a helyiség követelményeinek, például a fröccsenő víz elleni IP-védelemnek.

A hőszigetelés szintén szerelési környezet. Ha a vezetéket ásványgyapot, polisztirol vagy más hőszigetelő anyag mögé rejtik, a hőleadás jelentősen romlik, mert a hőszigetelő anyag éppen a hőáramlást lassítja. Ezért a hőszigetelésbe süllyesztett kábelt vagy jelentősen csökkentett terhelhetőséggel kell méretezni, vagy el kell helyezni úgy, hogy a kábel a hőszigetelésen kívül, a hűvösebb oldalon fusson. Ugyanez igaz az álmennyezetbe, padlófűtés fölé vagy szigetelt szerelőfalba helyezett vezetékekre.

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések létesítésénél a vezetékek kiválasztását és szerelését az MSZ HD 60364-5-52 sorozat tárgyalja. A szerelési módot, a külső behatásokat, a terhelhetőséget és a védőcsövek, kábelcsatornák követelményeit az aktuális szabványkiadás szerint kell alkalmazni. A védőcsőrendszerekre vonatkozó termékszabványok, a kábeltálcás és kábellétrás rendszerek szabványai, valamint a kábelcsatornák követelményei külön termékszabványokban szerepelnek; ezek pontos számát és alkalmazhatóságát a tervezés és a termék kiválasztása előtt

ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: MSZ EN 61386, MSZ EN 61537 és a kábelcsatorna-termékszabvány aktuális kiadása)**.

15.4.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasházi lakásfelújításnál a kivitelező a konnektorkör 2,5 mm²-es réz kábelét a külső fal belső oldalán, egy 8 cm vastag hőszigetelő réteg mögé vezette. A kábel így esztétikusan eltűnt, de a hőszigetelés mögött alig kapott levegőt. A 16 A-es kismegszakító ugyan nem oldott le, mert a terhelés nem érte el a kioldási tartományt, a felülvizsgálat során azonban a kábel környezete melegebb volt, és a kötéseknél enyhe elszíneződés látszott. A kábel nem védőcsőben a fal belső felületén (A1), hanem a hőszigetelésbe teljesen beágyazva futott több méteren át; erre a szabvány a hossztól függő, jelentős (akár 0,5-ös) csökkentő tényezőt ad, így $I_z \approx 0{,}5 \cdot 27 \approx 13{,}5\,\text{A} < 16\,\text{A}$ (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52, a hőszigetelésbe ágyazott kábel tényezője és az alapérték). A szabványossági felülvizsgáló ezért kifogásolta, hogy a kábelt nem a tényleges szerelési módnak megfelelően méretezték.

A javítás során a nyomvonalat áthelyezték a hőszigetelés belső, hűvösebb oldalára, a vezetéket védőcsőbe húzták, és a kötődobozokat hozzáférhető helyre tették. A tanulság: a szerelési mód nem csak a kábeltípus kiválasztásakor fontos, hanem a nyomvonal tervezésekor is. Ha egy szakasz hőszigetelt falrészbe kerül, az a teljes áramkör terhelhetőségét befolyásolhatja.

15.4.10. Gyakorlati útmutató

Cél: falon kívüli védőcsöves világítási kör szerelése tanműhelyi gyakorlópanelen. A feladat egy kapcsoló és egy lámpa bekötése, a vezetékek szabványos színjelöléssel, védőcsőben vezetve, ellenőrizhető módon.

Eszközök és anyagok: merev PVC védőcső, kész ívek vagy hajlítórugó, csőbilincsek, szerelő- és kötődobozok, H07V-U 1,5 mm² vezetékek (barna, fekete, világoskék, zöld-sárga), kapcsoló, lámpafoglalat, multiméter, szigetelési ellenállásmérő, kéziszerszámok.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A szerelés előtt akkor is végezd el a feszültségmentesítés öt szabályát, ha a panelen éppen nincs feszültség: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

Lépések:

1. Készíts vázlatot a panelről: hol van a táplálás, a kapcsoló, a lámpa és a kötődobozok.
2. Jelöld ki a nyomvonalat vízszintes és függőleges vonalakkal; ne tervezz átlós szerelést.
3. Rögzítsd a kötődobozokat és a szerelvénydobozokat a panelre.
4. Vágd méretre a védőcsövet, sorjázd le a vágási felületet, majd helyezd be az íveket vagy hajlítsd meg a csövet hajlítórugóval.
5. Rögzítsd a csövet bilincsekkel a tervezett távolságokban; az ívek és dobozok közelébe tegyél plusz bilincset.
6. Húzz be egy húzószálat vagy spirált a csőbe, majd a vezetékeket: barna fázis, fekete kapcsolt fázis, világoskék nulla, zöld-sárga védővezető.
7. Kösd be a kapcsolót és a lámpát a kapcsolási rajz szerint: a barna fázis a kapcsoló bemenetére, a fekete kapcsolt fázis a lámpa kapcsolt érintkezőjére, a kék a lámpa nulla érintkezőjére, a zöld-sárga a védőérintkezőre.
8. Ellenőrizd a kötések húzását, a színjelölést és a cső rögzítését.

9. Feszültségmentes állapotban mérj folytonosságot a védővezetőn és a kapcsolt fázisúton, majd mérj szigetelési ellenállást a vezetők között és a vezetők–föld között.
10. Dokumentáld a bekötést fényképpel, rajzzal és a mért értékekkel.

Ellenőrzési pontok: A védőcső ne legyen megtörve; a bilincsek tartsanak, de ne nyomják össze a csövet. A vezetékek színei egyértelműek legyenek. A védővezető folytonossága közel nulla ohm legyen, a szigetelési ellenállás pedig a tanműhelyi mérési utasítás szerint legalább 1 MΩ jellemzően **(ellenőrizendő: aktuális vizsgálati határérték)**.

Tipikus hiba a gyakorlatban: a csövet túltöltik, a vezetékeket erővel húzzák, és a szigetelés a csővéghez érve megsérül. Ezért minden csővéget sorjázni kell, és a vezetéket húzás előtt meg kell vizsgálni.

15.4.11. Tipikus hibák

Hiba 1: átlós nyomvonal választása. A szerelő a doboztól a lámpáig ferde vésést készít, mert így rövidebb a kábel. Ez szabványellenes, és növeli annak kockázatát, hogy később valaki a falba fúr, és eltalálja a vezetéket. Helyes: a szerelési zónákban, vízszintesen és függőlegesen vezetni a kábelt.

Hiba 2: a szerelési módot figyelmen kívül hagyják a méretezésnél. Ugyanazt a keresztmetszetet alkalmazzák hőszigetelt falban is, mint tálcán, és nem csökkentik a terhelhetőséget a hőszigetelés miatt. A vezeték tartósan melegszik, a szigetelés idő előtt öregszik. Helyes: az $I_b \le I_n \le I_z$ láncot a tényleges szerelési módhoz tartozó I_z-vel kell elvégezni.

Hiba 3: túl nagy rögzítési távolság vagy hiányzó bilincs az ívnél. A cső megereszkedik, a kábel rángatja a dobozok kapcsait, és a kötések kilazulhatnak. Helyes: a dobozok és ívek közelében mindig rögzíteni, a hosszú szakaszokat pedig a gyártó szerinti távolságonként megfogni.

Hiba 4: közönséges építőhabbal töltik ki a tűzgátló áttörést. Ez hamis biztonságérzetet ad, pedig a tűz és a füst átjuthat. Helyes: a tűzgátló lezárást a szerkezetre minősített rendszerrel kell elvégezni.

Hiba 5: földkábel fektetése homokágy és jelzőszalag nélkül. A kábel közvetlenül köves földbe kerül, éles kő vágja a köpenyt, és a jövőbeni ásás nem kap figyelmeztetést. Helyes: homokágy, homoktakarás, jelzőszalag, megfelelő mélység, védőcső a fokozottan veszélyeztetett szakaszokon.

15.4.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A falba süllyesztett kábel hőleadása általában jobb, mint a szellős tálcán futó kábelé. Indokold!
2. Miért előnyös a védőcső, ha a későbbi javításra is gondolunk?
3. Hol vezessük a falba süllyesztett vezetéket? Miért nem szabad átlósan?
4. Melyik szerelési módot választanád kerti kültéri világítás állandó bekötéséhez, ha a kábel föld alatt fut?
5. Egy kábelt hőszigetelő réteg mögé terveznek. Mi történik a terhelhetőséggel, és mit kell tenni?
6. Mi a veszélye annak, ha tűzgátló faláttörésnél a kábel körüli rést közönséges építőhabbal zárják le?

15.4.13. Feladatok

1. feladat (A) Sorolj fel legalább négy vezetékszerelési módot, és magyarázd el, hogy a hőelvezetés szempontjából miért ad eltérő terhelhetőséget a falba vésés és a kábeltálcás szerelés.

2. feladat (A) Egy lakásban a szerelő a konnektorból a kapcsolóhoz átlósan akarja vezetni a vezetéket, mert így feleannyi kábel kell. Miért kifogásolod a megoldást? Hogyan kellene vezetni?

3. feladat (B) Egy irodai aljzatkört 16 A-es kismegszakítóval és 2,5 mm²-es réz NYM-J kábellel terveznek. A nyomvonal egyik része hőszigetelt falban, védőcsőben fut (A2, többerű kábel), ahol a kábel terhelhetősége a feladatban $I_z = 18{,}5$ A, a másik része perforált tálcán (E), ahol $I_z = 30$ A. Az üzemi áram maximum $I_b = 14$ A. Ellenőrizd az $I_b \le I_n \le I_z$ láncot mindkét szerelési módra! Megfelel-e a méretezés?

4. feladat (B) Tervezz anyaglistát egy 10 m hosszú, falon kívüli védőcsöves világítási szakaszhoz. A szakasz két 90°-os ívet, két kötődobozt, egy kapcsolót és egy lámpát tartalmaz. A vezetékek: fázis, nulla, védővezető és kapcsolt fázis. Milyen szerelési elemeket és mennyiségeket írsz fel?

5. feladat (C) Egy kerti világítási kört NYY-J kábellel 30 cm mélyre, közvetlenül köves földbe fektettek, homokágy és jelzőszalag nélkül. Néhány hét múlva a FI-relé old, a kábel köpenye pedig megsérült. Mondd el, mi a hiba oka, milyen kockázatot jelent, és hogyan kellene szakszerűen kialakítani a fektetést!

6. feladat (D) Egy tanműhelyi panelen a bekötött védőcsöves áramkörön a szigetelési ellenállást méred. Az eredmények: L–PE között 0,8 MΩ, N–PE között 0,6 MΩ, L–N között 0,5 MΩ. Értékeld az eredményt, ha a tanműhelyi utasítás szerint 1 MΩ a minimum! Mi lehet az ok, és hogyan járnál el?

15.4.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A falba süllyesztett kábel körül az építőanyag rosszabbul vezeti el a hőt, mint a levegő, ezért a terhelhetősége általában kisebb, mint a tálcán futó kábelé.
2. A védőcső lehetővé teszi a vezeték kihúzását és új vezeték behúzását bontás nélkül, mechanikai védelmet ad, és rendezettebbé teszi a szerelést.
3. A falba süllyesztett vezetéket a szerelési zónákban, vízszintesen és függőlegesen vezessük. Az átlós vezetés azért veszélyes, mert a későbbi fúrás helyét nem lehet megbízhatóan kitérni, és a szabványossági ellenőrzés kifogásolja.
4. Földben való szerelést választanánk, földbe fektethető kábellel, homokágyban, jelzőszalaggal, megfelelő mélységben, fokozott igénybevételnél védőcsőben.
5. A hőszigetelés mögött a hőelvezetés romlik, ezért a kábel terhelhetőségét csökkenteni kell, vagy a kábelt a hűvösebb oldalra kell helyezni.
6. A közönséges építőhab nem tűzgátló minősítésű, a tűz és füst átjuthat az áttörésen, ezért csökken a tűzszakasz biztonsága.

1. feladat – megoldás. Szerelési módok például: falba süllyesztés, védőcső, kábelcsatorna, kábeltálca, valamint földben fektetés. A hőszigetelt falban a kábelt körülvevő szigetelés akadályozza a hőleadást, ezért kisebb I_z tartozik hozzá. A tálcán futó kábel körül a levegő áramolhat, így a hő jobban távozik, nagyobb I_z engedhető meg.

2. feladat – megoldás. Az átlós vezetést szabványos szerelési zónák hiánya miatt kifogásoljuk. A vezetéket vízszintesen a mennyezet vagy padló közelében, függőlegesen a sarkok, kapcsolók, aljzatok környékén kell vezetni. Így a későbbi fúrás helye kiszámítható, és a nyomvonal dokumentálható.

3. feladat – megoldás. Adott: $I_b = 14$ A, $I_n = 16$ A. Hőszigetelt falban (A2): $I_z = 18{,}5$ A. Ellenőrzés:

$$14\,\mathrm{A} \le 16\,\mathrm{A} \le 18{,}5\,\mathrm{A}.$$

Ez teljesül. Tálcán (E): $I_z = 30$ A.

$$14\,\mathrm{A} \le 16\,\mathrm{A} \le 30\,\mathrm{A}.$$

Ez is teljesül. A lánc mindig a nyomvonal legrosszabb hőleadású szakaszára döntő (itt A2, 18,5 A). A feladat feltevése szerint a többerű kábel a hőszigetelt falban védőcsőben, a fal belső felületén fut (A2; egyerű vezetéknél A1 és 19,5 A lenne); a hőszigetelésbe teljesen beágyazott kábelre más, kisebb terhelhetőség vonatkozik (lásd a valós esetet). A méretezés mindkét szerelési módban megfelelő, mert a vezeték terhelhetősége nagyobb, mint a kismegszakító névleges árama, és az üzemi áram sem haladja meg a védelmi áramot.

4. feladat – megoldás. Példaanyaglista: 10 m merev PVC védőcső, 2 db 90°-os kész ív vagy hajlítórugó, 2 db kötődoboz, 1 db kapcsolódoboz, 1 db lámpadoboz, rögzítőbilincsek a gyártói távolság szerint, kb. 10 m barna fázisvezető, 10 m fekete kapcsolt fázis, 10 m kék nulla, 10 m zöld-sárga védővezető, csővégi sorjázó, húzóspirál vagy húzószál. A pontos mennyiség a panel méreteitől és a dobozok helyétől függ.

5. feladat – megoldás. A hiba oka a szakszerűtlen földfektetés: a kábel nem került homokágyba, ezért a kövek megsértették a köpenyt, a jelzőszalag hiánya miatt pedig nem volt figyelmeztetés az ásáshoz. A sérült köpenynél nedvesség jutott a kábelbe, ezért a FI-relé oldott. A helyes kialakítás: megfelelő mélység, egyenletes homokágy, a kábel laza fektetése, felül homoktakarás, jelzőszalag, majd gondosan visszatöltött föld; úttest vagy gépjárműterhelés alatt védőcső.

6. feladat – megoldás. A mért értékek mindhárom mérési ponton 1 MΩ alatt vannak, ezért a tanműhelyi utasítás szerint az áramkör nem megfelelő. A lehetséges ok lehet nedvesség a kötődobozban, sérült szigetelés, beszorult vezeték a csővégben vagy poros, olajos szerelvény. Először feszültségmentes állapotban meg kell vizsgálni a dobozokat és a csővégeket, meg kell tisztítani, szükség esetén a sérült vezetéket cserélni, majd újra elvégezni a szigetelési mérést.

15.4.15. Rövid összefoglaló

A vezeték vagy kábel szerelési módja meghatározza, hogy a keletkező hő hogyan távozik, ezért közvetlenül befolyásolja a terhelhetőséget. Ugyanaz a 2,5 mm²-es rézvezető tálcán nagyobb áramot bír, mint hőszigetelt falban, védőcsőben. A gyakorlati szerelőnek ezért a nyomvonal tervezésekor mindig a konkrét szerelési módhoz tartozó I_z értéket kell használnia, és ellenőriznie kell az $I_b \le I_n \le I_z$ láncot. A védőcső a mechanikai védelmet és a cserélhetőséget szolgálja, a kábeltálca és kábellétra a rendezett, jól szellőző ipari vezetést, a földkábel pedig a kültéri összeköttetést. A nyomvonalat szabványos zónákban, vízszintesen és függőlegesen kell vezetni, átlósan tilos. A rögzítési távolságot, hajlítási sugarat és töltési arányt a gyártó és a vonatkozó szabvány szerint kell megválasztani. A tűzgátló áttöréseket minősített anyaggal kell lezárni, a nedves és kültéri bevezetéseket tömíteni, a hőszigetelésbe rejtett kábelt pedig vagy csökkentett terhelhetőséggel méretezni, vagy a hőszigetelésen kívül vezetni.

Továbbvitt eredmény. A szerelési mód kiválasztása és a nyomvonaltervezés itt tanult módszerét használjuk a Kapcsolók, dugaszoló aljzatok és szerelvények kapcsolások építésénél, valamint a Síncsatorna, energiaoszlop, kábeltálca és kábelpadló tálcás, létrás és síncsatornás szereléseinél.

15.4.16. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezethez felhasznált szabványi keret: MSZ HD 60364-5-52 a kisfeszültségű berendezések vezetékválasztásához és szereléséhez. A védőcsőrendszerek, kábeltálcák, kábellétrák és kábelcsatornák pontos termékszabványait, a rögzítési távolságokat és a hajlítási sugarakat a konkrét termék gyártói adatlapja, valamint a hatályos szabványkiadás alapján kell ellenőrizni. A megadott terhelhetőségi értékek tanulási példák, nem tervezési alapadatok.

16 Szerelvények és fogyasztói áramkörök

16.1. Kapcsolók, dugaszoló aljzatok és szerelvények

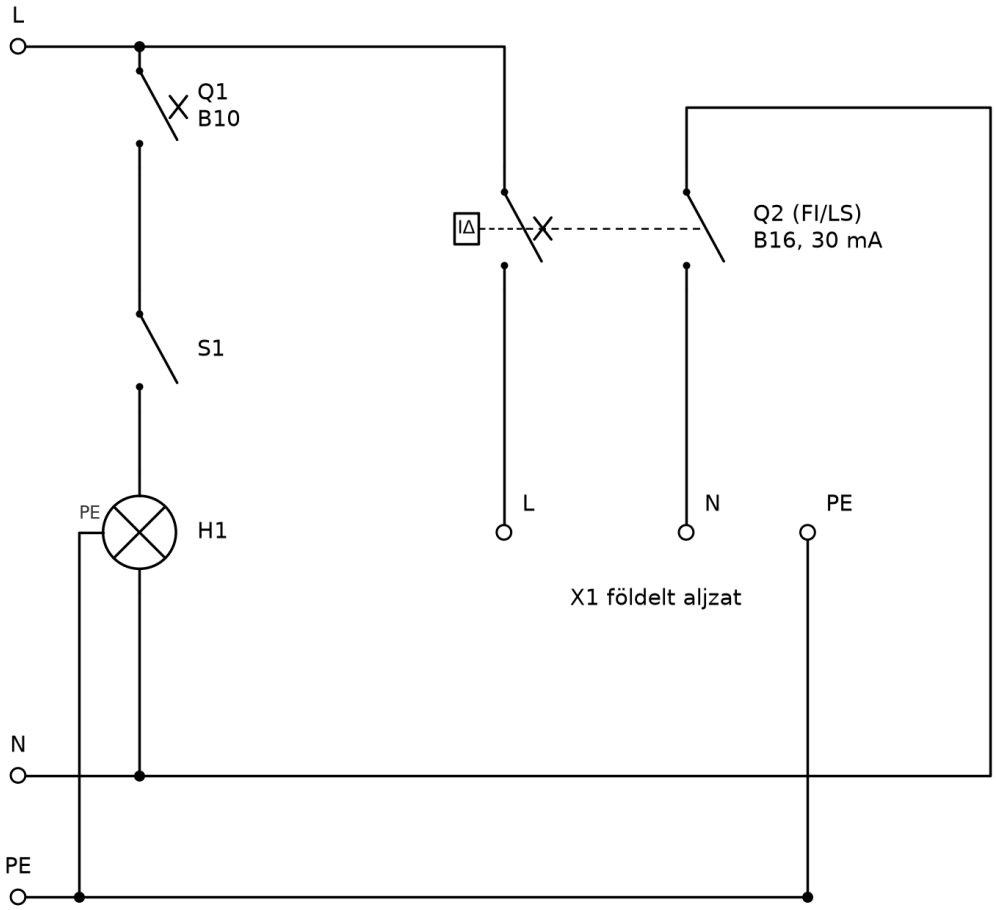
16.1.1. Motiváció: a szerelvény az utolsó kézzelfogható kapcsolat

Képzeld el, hogy egy lakásfelújításnál a kivitelező elkészült a falvéséssel és a vezetékek behúzásával. A megrendelő most már látni akarja a kapcsolókat és a konnektorokat. Te megérkezel a dobos papírdobozokkal. Ha rossz szerelvényt választasz, vagy rosszul kötöd be, az nemcsak bosszúságot okoz, hanem életveszélyes is lehet. Ez a fejezet azért fontos, mert itt találkozik a villanyszerelő munkája a felhasználóval: a rosszul bekötött vagy alulméretezett szerelvény tüzet okozhat, az elmaradt védővezető pedig áramütést.

A fejezet célja, hogy magabiztosan meg tudd különböztetni a kapcsoló, a váltókapcsoló és a keresztkapcsoló belső felépítését, ismerd a földelt dugaszoló aljzatok jelöléseit, és a szerelvényt biztonságosan, a gyártó adatlapja szerinti csavarnyomatékkal tudd rákötni a hálózatra.

16.1.2. Szemléletes kép

Egy egyszerű lakásáramkörben a fázist mindig a kapcsoló szakítja meg, a nulla és a védővezető pedig általában a kötődobozban halad tovább. A földelt dugaszoló aljzatnál mind a három vezető (fázis, nulla, védővezető) közvetlenül csatlakozik.



16.1. ábra. Világítási kapcsoló és földelt dugaszoló aljzat bekötési vázlata - Három külön vezető: L (barna), N (világoskék), PE (zöld-sárga). A Q1 – S1 – H1 ág a világítás: a kapcsoló a fázist szakítja, a lámpa visszatérő ága az N-re, a lámpatest a PE-re csatlakozik. Az aljzatkör a Q2 áramvédő kismegszakítón (B16, 30 mA; kiegészítő védelem) át megy: az L és az N is átmegy rajta, az aljzat PE kapcsa közvetlenül a PE-vezetőről kap, a PE-t a Q2 nem szakítja. A keresztező vonalak pont nélkül nincsenek összekötve.

Az ábrán látod: a Q1 kismegszakítóról kiinduló barna fázisvezeték belemegy az S1 kapcsolóba, majd a kapcsoló kimenetéről a H1 lámpához, onnan pedig vissza a kék nullavezetőre; a lámpatest PE kapcsa a zöld-sárga védővezetőre csatlakozik. Az aljzatkört a Q2 áramvédő kismegszakító (FI/LS, B16, 30 mA) védi: a fázis és a nulla is ennek egy-egy pólusán át jut az X1 aljzat L, illetve N kapcsára, a zöld-sárga védővezető pedig megszakítás nélkül a PE kapocsra (a szaggatott vonal a két pólus közös működtetését jelzi). A három vezető (L, N, PE) sehol nincs összekötve; a keresztező vonalak csatlakozási pont nélkül nem érintkeznek.

16.1.3. Definíciók és jelölések

Definíció. A **kapcsoló** (kapcsolókészülék a szerelvény értelmében) olyan kézzel működtetett szerelvény, amely egy áramkört (általában a fázisvezetőt) szakít meg vagy zár be. A magyar és

európai háztartási gyakorlatban a világítási kapcsoló névleges árama általában 6 A vagy 10 A.

Definíció. A **váltókapcsoló** (angolul: two-way switch) egy bemeneti és két kimeneti kapoccsal rendelkező kapcsoló. Ez nem „ki-be” kapcsoló, hanem átváltó: a közös pontját (a gyártók általában „L” vagy nyíllal jelölik) hol az egyik, hol a másik kimenetére köti. Ezzel két helyről lehet ugyanazt a lámpát vezérelni.

Definíció. A **keresztkapcsoló** (angolul: intermediate switch) két váltókapcsoló közé iktatott, négy kivezetésű szerelvény. Megcseréli a rajta átfutó két „váltóvezetéket”. Ha kettőnél több (három, négy stb.) helyről akarsz kapcsolni, a két szélső váltókapcsoló közé annyi keresztkapcsolót teszel, ahány közbenső kapcsolási pontra szükség van.

Definíció. A **földelt dugaszoló aljzat** olyan csatlakozó szerelvény, amely a fázis- és nullavezetőn kívül védővezető (PE) csatlakoztatására alkalmas érintkezővel is rendelkezik. A háztartási aljzatok szabványos névleges árama Magyarországon 16 A, névleges feszültsége 230 V. A hazai fogyasztói dugaszoló rendszerben a védőérintkezős kivitel a meghatározó (CEE 7/3 típusú aljzat, köznyelven „földelt (schuko) aljzat” – ellenőrizendő: az aktuális hazai gyakorlat szerinti típusjel). A 230 V-os áramkörbe ilyen, védővezetős aljzatot szerelünk.

A szerelvényeken a gyártó feltünteti: - a névleges feszültséget (pl. 250 V~), - a névleges áramot (pl. 10 AX, 16 A), - a védettségi fokot (pl. IP20), - a kapcsolási sémát (különösen váltó- és keresztkapcsolónál, piktogrammal).

16.1.4. A szerelvények belső felépítése és kötése

Szabály. Fázist mindig a kapcsoló, ne a nulla vezetőt szakítsa meg. Ennek oka: ha kikapcsolt lámpánál cserélsz izzót, a lámpafoglalat ne legyen fázisfeszültségen. Ha a nullát szakítanád meg, a fázis kikapcsolt állapotban is ott lenne a foglalatban.

A kapcsoló bekötésekor az áramkör fázisvezetője a kapcsoló bemenetére, a kapcsolt fázis (gyakran „kapcsolt szál” vagy „visszatérő”) pedig a kapcsoló kimenetére kerül. A nulla és a védővezető a kötődobozban vagy a szerelvény mögött halad tovább; az egyszerű (mechanikus) világítási kapcsolónak nincs N-kapcsa, ezért a nullát nem a kapcsolóhoz kell vinni.

A váltókapcsolónak három kapcsa van: - egy közös kapocs (általában L), - két váltókapocs (általában 1 és 2, vagy két nyíl jelöli).

A keresztkapcsolónak négy kapcsa van, amelyeket a gyártók gyakran páronként jelölnek (pl. 1/1’ és 2/2’ vagy nyilakkal). A rajzjelet a Kapcsolók és mágneskapcsolók rajzjelei, kapocsjelölések alfejezetben ismered meg részletesen.

Szabvány. A háztartási és hasonló jellegű rögzített villamos szereléshez használt kapcsolókra vonatkozó termékszabvány az MSZ EN 60669-1. A dugaszoló aljzatokra az MSZ EN 60884-1 vonatkozik (ellenőrizendő: az aktuális szabványkiadás száma és címe). A szerelvény kiválasztását a létesítési szabvány, az MSZ HD 60364 sorozat követelményeihez kell illeszteni. A gyártói adatlap a bekötési nyomatékot és a vezeték-keresztmetszet tartományt adja meg; a te feladatod, hogy az adott szerelvényhez tartozó adatlapot elolvasd.

Összefüggés. A szerelvény kapcsainak csavarnyomatékát mindig tartsd be. Ha túl kicsi a nyomaték, a vezeték nincs szilárdan rögzítve, meglazulhat, és a rossz érintkezés melegedést, ívet, akár tüzet okozhat. Ha túl nagy, a kapocs menete elszakadhat, a csavar elnyíródhat, vagy a több eres vezeték elvékonyodhat. A tipikus lakásszerelvény kapcsainál a gyártók általában 0,4–0,8 Nm közötti nyomatékot adnak meg (ellenőrizendő: a konkrét szerelvény gyártói adatlapja). Ezért fontos a nyomatékkulcs vagy legalább a szerelői gyakorlat alapján jól beállított csavarhúzó.

A tömör (H07V-U) és a merev sodrott (H07V-R) vezetőt közvetlenül, a finom sodratú hajlékony vezetőt (például H05V-K, H07V-K) érvéghüvellyel kötjük be, ha a kapocs gyártója nem engedi másképp. Finom sodratú vezetőt érvéghüvely nélkül csavaros kapocsba szorítani tilos, mert a csavar elnyírja az egyes ereket, a kapocs meglazul, és a vezeték kicsúszik (a pontos vezetékmegmunkálást lásd a Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru alfejezetben).

A csatlakoztatáshoz a szerelvény hátoldalán lévő kapcsokat figyelmesen meg kell nézni. A hagyományos csavaros kapocsnál a csavart teljesen ki kell lazítani, a vezetéket a csavar és a kapocslemez közé, a kapocslemez alá kell vezetni, majd a megfelelő nyomatékkal meghúzni. A rugós (szorítós) kapocsnál a rugót nyomólemezzel vagy csavarhúzóval ki kell nyitni, a vezetéket be kell tolni, majd a rugót vissza kell engedni. A rugós kapocs általában egyforma erőt fejt ki, de csak a megadott keresztmetszet-tartományban, ezért az 1,5 mm²-es és a 2,5 mm²-es vezeték bekötésekor figyelni kell a gyártó jelölésére.

Szabály. A szerelvény mögötti kötődobozban a védővezetőt (PE) és a nullavezetőt (N) rendszerint tovább kell kötni. A fázisvezetőt a kapcsolóhoz kell vezetni, a kapcsolt fázist pedig vissza a lámpához. A lámpa nulláját a kötődobozban a tápláló kör nullájához kötjük. (Nullavezetőt csak az elektronikus kapcsoló – mozgásérzékelő, elektronikus dimmer, okoskapcsoló – igényel, ha a gyártó előírja; az egyszerű mechanikus kapcsolónak nincs N-kapcsa.) Ha több fogyasztói áramkört szerelsz, soha ne vonj össze két különböző kismegszakítóról táplált nullavezetőt, mert az áram-védőkapcsolós (FI) védelemnél vándoráramot okoz.

16.1.5. IP-védettség és mechanikai ellenállás

Definíció. Az **IP-védettség** (ingress protection, behatolás elleni védelem) az MSZ EN 60529 szerint két számjeggyel jelöli a szerelvény burkolatának védettségét. Az első számjegy a szilárd idegen testek (pl. ujjak, por) elleni, a második a víz behatolása elleni védelmet mutatja.

A leggyakoribb szerelvény-védettségek:

- **IP20**: érintésvédelem ujjal szemben, nincs víz elleni védelem. Száraz belső terekben (nappali, háló) ez a szokásos.
- **IP44**: 1 mm-nél nagyobb szilárd test ellen védett, és bármely irányból fröccsenő víz ellen védett. Fürdőszobák, nedves helyiségek, védett kültéri terek.
- **IP54**: por ellen részben védett, fröccsenő víz ellen védett. Pincék, garázsok, kültéri fedett helyek.

A fürdőszobai és kültéri szerelvények kiválasztásánál az IP-védettség mellett a szükséges zónák is számítanak (lásd az Aljzatkörök és fogyasztói csatlakozások, nedves helyiségek alfejezetet).

Definíció. A **mechanikai ütésállóság** az IK-kóddal jelölhető (MSZ EN 62262). Például az IK05 egy 0,7 J energiájú ütést, az IK07 egy 2 J energiájú ütést bír ki (ellenőrizendő: az aktuális értékek). Ipari csarnokban, raktárban, közlekedő folyosón olyan szerelvényt kell választani, amely a várható mechanikai behatásnak ellenáll, különben a burkolat eltörik, és a feszültség alatt álló rész hozzáférhetővé válik.

16.1.6. Kidolgozott példák

1. példa – Áramköri terhelés számítása (16 A-es aljzat)

Adott: egy 230 V névleges feszültségű, 16 A névleges áramú földelt dugaszoló aljzat. Keresett: mekkora a legnagyobb ellenállásos fogyasztói teljesítmény, amelyet tartósan rá lehet kapcsolni?

Képlet:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Mivel egy izzószálas fűtőtest vagy egy vízforraló gyakorlatilag tiszta ellenállás, $\cos\varphi = 1$.

Behelyettesítés:

$$P = 230\,\mathrm{V} \cdot 16\,\mathrm{A} \cdot 1 = 3680\,\mathrm{W} = 3{,}68\,\mathrm{kW}$$

Ellenőrzés: a 16 A-es kismegszakító védi az áramkört, így a 3680 W-os terhelés a névleges áramot éppen eléri, de nem lépi túl. A gyakorlatban a hosszú távú, folyamatos terhelést célszerű a névleges érték alatt tartani, mert a szerelvény és a kábel melegszik. Ezért egy 16 A-es áramkörre inkább legfeljebb kb. 3500 W-os fogyasztót tervezünk, ha az tartósan üzemel.

2. példa – Szerelvény kiválasztása a helyiség és a zóna szerint

A fürdőszoba 0., 1. és 2. zónájában 230 V-os dugaszolóaljzat nem helyezhető el – az IP-fokozattól függetlenül (kivétel a szabvány szerinti SELV/borotvacsatlakozó; ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701 aktuális kiadás). A zónákon kívül elhelyezett aljzat 30 mA-es RCD-vel védett körre kerül, és ha vízpermet érheti, legalább IPX4 védettségű legyen. A zónahatárokat az Aljzatkörök és fogyasztói csatlakozások, nedves helyiségek alfejezet tárgyalja. A szerelőnek ezért előbb a helyiséget, a zónákat és a helyi előírásokat kell felmérnie, és csak utána rendelheti meg a szerelvényt.

3. példa – Kapocsnyomaték ellenőrzése

Egy gyártó a földelt aljzat kapcsainál 0,8 Nm nyomatékot ír elő. A szerelő nyomatékkulccsal dolgozik, de a kulcs skálája csak 0,5 Nm-es osztásokban állítható. Kérdés: hova állítsa? A 0,5 Nm 0,3 Nm-rel (kb. 38 %-kal) kevesebb, az 1,0 Nm 0,2 Nm-rel (25 %-kal) több az előírtnál; egyik sem fogadható el (0,5 Nm-nél a kötés meglazulhat). Egyértelmű: be kell szerezni egy olyan nyomatékkulcsot, amely 0,1 Nm-es pontossággal beállítható, vagy a gyártó által engedélyezett másik meghúzási módszert kell használni. A helyes gyakorlat az, hogy a szerelvényhez kapott dokumentációt mindig elolvassuk, és nem a „kézre húzom” módszert választjuk.

16.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasházi lakásban a tulajdonos arról panaszkodik, hogy a hálószobai konnektor melegszik. A szerelő megbontja a szerelvényt, és látja, hogy a barna fázisvezető csatlakozása a kapocsban meglazult, a szigetelés pedig a kapocsnál megbarnult. A megolvadt szigetelés már rövidzárlat-közeli állapotot mutatott.

A hiba oka az volt, hogy a korábbi szereléskor a csavart nem húzták meg a gyártó által előírt 0,8 Nm nyomatékkal, és a sodrott vezetékre nem került érvéghüvely. A vezeték a hőtágulás és a dugaszolás okozta rezgés hatására meglazult. A szerelő a sérült szakaszt kicserélte, érvéghüvellyel látta el a sodrott eret, és nyomatékkulccsal húzta meg a kapcsot. A tanulság: a szerelvény nem „készen van” akkor, amikor a csavar megfogta a vezetéket; a megfelelő szorítóerő nélkül a szerelvény később hőtermelő hibává válik.

16.1.8. Gyakorlati útmutató – Földelt aljzat vagy kapcsoló cseréje és bekötése

Cél. Meglévő, elavult vagy sérült szerelvény cseréje azonos körülmények között, a csatlakoztatási szabályok betartásával.

Eszközök és anyagok. Kétpólusú feszültségvizsgáló (MSZ EN 61243-3, megfelelő CAT-kategóriával – ellenőrizendő), multiméter, szigetelő csavarhúzó készlet, nyomatékkulcs (0,1–1,5 Nm tartomány), kábelkésező, csupaszoló fogó, érvéghüvely-fogó (ha sodrott eret kötsz), a kiválasztott szerelvény, érvéghüvelyek, szigetelőszalag, a szerelvény gyártói adatlapja.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Hálózati feszültségű (230/400 V) munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet.

Tilos. A feszültségmentességet fázisceruzával (egypólusú, kapacitív vagy glimmlámpás jelzővel) megállapítani: a jelzése a test és a talaj állapotától függ, az N–PE és L–N feszültséget nem mutatja, és a hibás „nincs feszültség” jelzés halálos balesetet okozhat.

Az öt biztonsági szabály sorrendje. (Az öt szabályt lásd a Villamos munkavégzés biztonsága: az öt szabály és a munkaengedély alfejezetben.) 1. **Lekapcsolás.** Keresd meg a szerelvényt tápláló áramkört, és kapcsold le a kismegszakítót. 2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás.** A kismegszakítót reteszelővel vagy lezárt kismegszakító-zárral biztosítsd, és helyezz el „Ne kapcsolj be!” táblát. 3. **Feszültségmentesség ellenőrzése.** Kétpólusú feszültségvizsgálóval – amelyet előtte és utána ismert feszültségen kipróbálsz – ellenőrizd a szerelvény kapcsain, hogy L–N, L–PE és N–PE között nincs feszültség. Csak akkor fogj a bontáshoz, ha nincs feszültség. 4. **Földelés és rövidre zárás.** Lakossági szerelvénycserénél általában nem kell külön földelő rövidzár-szerelés, ha a feszültségmentesség egyértelmű. Ha a munkavégzési utasítás előírja, akkor a munkahelyen az előírás szerint járj el. 5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése.** Ha a dobozban több áramkör is fut, a szomszédos kapcsokat takard le, vagy szigeteld, nehogy véletlenül hozzáérj.

Bekötési lépések (recept):

1. **A szerelvény szétszerelése.** Csavarozd ki a takarókeretet és a központi lemezt. Jegyezd fel, hogy melyik vezeték melyik kapocsba volt bekötve (fénykép, ragasztócímke). Ezután lazítsd meg a rögzítőcsavarokat.
2. **A vezetékek előkészítése.** Vágd le a sérült, megbarnult vagy megtört vezetékvéget. Csupaszold le a szigetelést a szerelvény által megadott hosszra (általában 8–12 mm, ellenőrizendő a szerelvényen lévő jelölés).
3. **Érvéghüvely felhelyezése.** Ha sodrott, hajlékony vezetéket kötsz be, húzd rá a megfelelő méretű érvéghüvelyt, és préseld össze a hozzá való fogóval.
4. **Bekötés a szerelvény kapcsaiba.** A földelt aljzatnál a barna (fázis) megy az L, a kék (nulla) az N, a zöld-sárga (védővezető) a PE kapocsba. A kapcsolónál a bejövő fázis a bemenetre, a kapcsolt szál a kimenetre kerül. Minden vezetéket a kapocsba illesztés után a gyártói adatlap szerinti nyomatékkal húz meg.
5. **Visszaszerelés.** A vezetékeket rendezd el a dobozban, hogy ne csípődjön be a keret rögzítésekor. Helyezd vissza a szerelvényt, majd a takarókeretet.
6. **Bekapcsolás és működési próba.** Kapcsold vissza a kismegszakítót. Kapcsoló próbája: a lámpa ki- és bekapcsol. Aljzat próbája: egy aljzatvizsgálóval vagy multiméterrel ellenőrizd, hogy az L-N feszültség 230 V, az L-PE feszültség 230 V, és az N-PE feszültség kb. 0 V.
7. **Dokumentálás.** Ha a cserét nem csak magáncélra végezted, a munkáról készíts feljegyzést: mit cseréltél, melyik áramkör, mikor, és milyen mérést végeztél.

Ellenőrzési pontok: Minden kapocsnál a vezeték nem mozdul, nem lóg; a szigetelés nem lóg be a kapocsba; a védővezető folytonossága a szerelvény PE kapcsától a lakáselosztó PE-sínjéig megvan; a szerelvény takarókerete egyenesen áll, a rögzítőcsavarok nem feszítik el a dobozt.

16.1.9. Tipikus hibák

Hiba 1: A nullavezetőt szakítják meg a kapcsolóval, és a fázis marad a lámpán. Ha valaki kikapcsolt állapotban cserél lámpát, a fázis akkor is jelen van a foglalatban. Áramütést szenvedhet. A helyes gyakorlat az, hogy a fázis mindig a kapcsolón keresztül jut a lámpához.

Hiba 2: A védővezetőt lelógatják, vagy „majd később” bekötik. A szerelvényen a PE kapocs üresen marad. Ha a készülék testzárlatos lesz, a burkolat a fázisfeszültségre kerül, és mivel nincs védővezetői út, sem a kismegszakító, sem az áram-védőkapcsoló nem kapcsol le automatikusan. Az RCD csak akkor old, amikor már egy ember testén át folyik az áram – ez kiegészítő védelem, nem helyettesíti a PE-t és az önműködő lekapcsolást. A PE vezetéket mindig, azonnal be kell kötni.

Hiba 3: Sodrott vezetéket érvéghüvely nélkül szorítanak csavaros kapocsba. A csavar a sok vékony eret szétnyomja, a vezeték meglazul, és a kapocs melegszik. A helyes gyakorlat: érvéghüvelyt préselni, vagy a szerelvényhez való merev rézvezetéket használni.

Hiba 4: A rögzítőcsavart túlhúzzák. A kapocs menete megugrik vagy eltörik. A szerelvényt ilyenkor cserélni kell, mert a kapocs nem ad megbízható kötést. A nyomatékkulcs használata megakadályozza ezt.

16.1.10. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A világítási kapcsolóba a fázis vezetéket kötjük, a nullavezetőt nem.
2. Mi az IP44 védettség jelentése?
3. Miért fontos a szerelvény kapcsainál a gyártói csavarnyomaték betartása?
4. Hány kapcsa van egy keresztkapcsolónak?
5. Egy 16 A-es földelt aljzatra két 2300 W-os fűtőtestet kapcsolnának egy elosztón keresztül. Mi a hiba ebben a tervben?
6. Mit ellenőrzöl, mielőtt a régi szerelvényt kikötöd és az újat bekötöd?

16.1.11. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel, milyen jelöléseket találsz általában egy földelt dugaszoló aljzat hátoldalán, és jelentésüket.

2. feladat (A). Egy 230 V-os áramkörre 10 A-es kapcsolót szerelünk. Mekkora a legnagyobb világítási teljesítmény, amit ez a kapcsoló kapcsolhat $\cos\varphi = 1$ esetén?

3. feladat (B). Egy lakásban 3 helyről akarjuk kapcsolni ugyanazt a lámpát. Milyen típusú szerelvényeket kell beszerezni, és hány darabot?

4. feladat (B). Rajzold le egy váltókapcsoló kapcsait, és jelöld be, hogy hová csatlakozik a bejövő fázis, a két váltóvezeték, és mi történik a kimeneti közös ponttal.

5. feladat (C). Egy szerelő egy kültéri, fedett teraszon lévő aljzat cseréjét végzi. A régi aljzat IP20-as, a burkolata megrepedt. A megrendelő a legolcsóbb műanyag aljzatot kéri. Milyen műszaki érvekkel világítod meg, hogy miért kell IP44-es vagy annál jobb védettségű szerelvényt választani?

6. feladat (D). Egy megrendelő panaszkodik, hogy az új aljzat bedugásakor szikra képződik, és a kapocs felől enyhe égett szag érezhető. Az áramkör kismegszakítóját már lekapcsoltad és biztosítottad. Írd le a hibaellenőrzés lépéseit, mit mérsz, mit nézel meg először, és mi a legvalószínűbb ok?

16.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok: 1. Igaz. A kapcsoló a fázist szakítja meg, hogy kikapcsolt állapotban a foglalat ne legyen feszültség alatt. 2. Az IP44 védettség: 1 mm-nél nagyobb szilárd tárgyak ellen védett, és bármely irányból fröccsenő víz ellen védett. 3. A túl kis nyomaték melegedő, kilazuló kötést, a túl nagy nyomaték törést, elnyíródást okoz. Mindkettő tüzet vagy meghibásodást okozhat. 4. Négy kapcsa van. 5. $P = 2300\,\mathrm{W} + 2300\,\mathrm{W} = 4600\,\mathrm{W}$. Az áram $I = P/U = 4600/230 = 20\,\mathrm{A}$. Ez meghaladja a 16 A-es aljzat és a kismegszakító névleges értékét, ezért tilos. 16 A-es körön a névleges határ 3680 W, tartós fűtőterhelésre az 1. példa szerint kb. 3500 W-nál nem több. 6. A feszültségmentességet kétpólusú feszültségvizsgálóval L-N, L-PE és N-PE kapcsok között; a vizsgálót előtte és utána ismert feszültségen ellenőrizd. Csak ha mindenhol 0 V-ot mutat, akkor köthető ki.

1. feladat megoldása. Általában L (fázis, barna), N (nulla, kék), PE vagy földelés szimbólum (védővezető, zöld-sárga). Ezen kívül: névleges feszültség (250 V~), névleges áram (16 A), IP-védettség (pl. IP20), a gyártó logója, típusjel. A kapocsnál gyakran feltüntetik a vezeték befogadható keresztmetszetét.

2. feladat megoldása. $P = U \cdot I = 230\,\mathrm{V} \cdot 10\,\mathrm{A} = 2300\,\mathrm{W} = 2{,}3\,\mathrm{kW}$. Ellenőrzés: 10 A-es kismegszakítóhoz illik a 10 A-es kapcsoló, a 2300 W éppen a 10 A-es kör névleges terhelése; tartós terhelésnél ennél kisebbet célszerű kapcsolni.

3. feladat megoldása. Három helyről kapcsoláshoz 2 darab váltókapcsoló és 1 darab keresztkapcsoló kell. A váltókapcsolók a két szélen, a keresztkapcsoló középen.

4. feladat megoldása. A váltókapcsolón: L (vagy nyíllal jelölt közös) kapocsra a fázis; a másik két kapocsra (1 és 2) a két váltóvezeték. Az áram a közös pontból vagy az egyik, vagy a másik kimenetre megy. A másik váltókapcsolónál a közös kapocs a lámpához csatlakozó „kapcsolt szál”.

5. feladat megoldása. A kültéri, fedett teraszon lévő szerelvény párának, csapóesőnek és fröccsenő víznek lehet kitéve. Az IP20 csak ujjak ellen védett, nedvesség bejuthat a kapocsba, ami korróziót, átívelést, rövidzárlatot okozhat. A megrepedt burkolatú IP20-as aljzat ráadásul feszültség alatt álló részt tesz hozzáférhetővé. A helyes választás legalább IP44 védettségű szerelvény.

6. feladat megoldása. Legvalószínűbb ok a kilazult kapocs vagy a rosszul bekötött (pl. érvéghüvely nélküli) sodrott vezeték. Lépések: 1. Feszültségmentesítés és biztosítás. 2. A szerelvény bontása, a kapcsok megtekintése. 3. A vezetékek húzogatása: ha a fázis kihúzható a kapocsból, az a hiba. 4. Ellenőrizni, hogy a vezeték nem égett-e meg, a szigetelése nem olvadt-e. 5. A hibás szakaszt cserélni, érvéghüvelyt felhelyezni, a kapcsot nyomatékkal meghúzni. 6. Visszaszerelés és működési próba.

16.1.13. Rövid összefoglaló

A kapcsolók, váltó- és keresztkapcsolók, valamint a földelt dugaszoló aljzatok a villanyszerelő napi munkájának alapvető szerelvényei. A csatlakoztatásuknál a legfontosabb szabály, hogy a fázist a kapcsoló szakítsa meg, a nulla és a védővezető pedig folytonos maradjon. A földelt aljzatnál a barna vezeték az L, a kék az N, a zöld-sárga a PE kapocsba kerül. A szerelvényeken a gyártók feltüntetik a névleges feszültséget, áramot, védettséget és a kapcsolási sémát. A vezetékeket a szerelvény kapocsához a gyártó által előírt csavarnyomatékkal kell rögzíteni, mert a túl laza kötés melegszik, a túl szoros kötés pedig tönkreteszi a kapcsot vagy a vezetéket. A nedves és kültéri helyeken a magasabb IP-védettség (pl. IP44) elengedhetetlen. **Továbbvitt eredmény.** A kapcsoló, váltó- és keresztkapcsoló felépítését, valamint a földelt aljzat bekötését

a Világítási áramkörök: egypólusú, soros, váltó és kereszt alfejezetben használjuk fel, ahol a kész kapcsolási rajzokat és vezetékezést mutatjuk be. A nedves helyiségekre vonatkozó IP- és zónakövetelményeket az Aljzatkörök és fogyasztói csatlakozások, nedves helyiségek alfejezet tárgyalja. A gyakorlati munkánál mindig a hatályos szabvány (MSZ HD 60364 sorozat, MSZ EN 60669-1, MSZ EN 60529) és a gyártó adatlapja a mérvadó.

16.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a magyarországi és európai gyakorlatra épül. A termékszabványok (MSZ EN 60669-1, MSZ EN 60884-1, MSZ EN 60529, MSZ EN 62262) aktuális kiadását, a gyártói csavarnyomaték- és keresztmetszet-értékeket, valamint a kültéri/nedves helyiségi zónák pontos határait a felhasználáskor ellenőrizni kell a hatályos szabvány és a gyártói adatlap szerint **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadások és gyártói nyomatékértékek)**.

16.2. Világítási áramkörök: egypólusú, soros, váltó és kereszt

16.2.1. Motiváció: miért éppen a kapcsolásokat kell érteni?

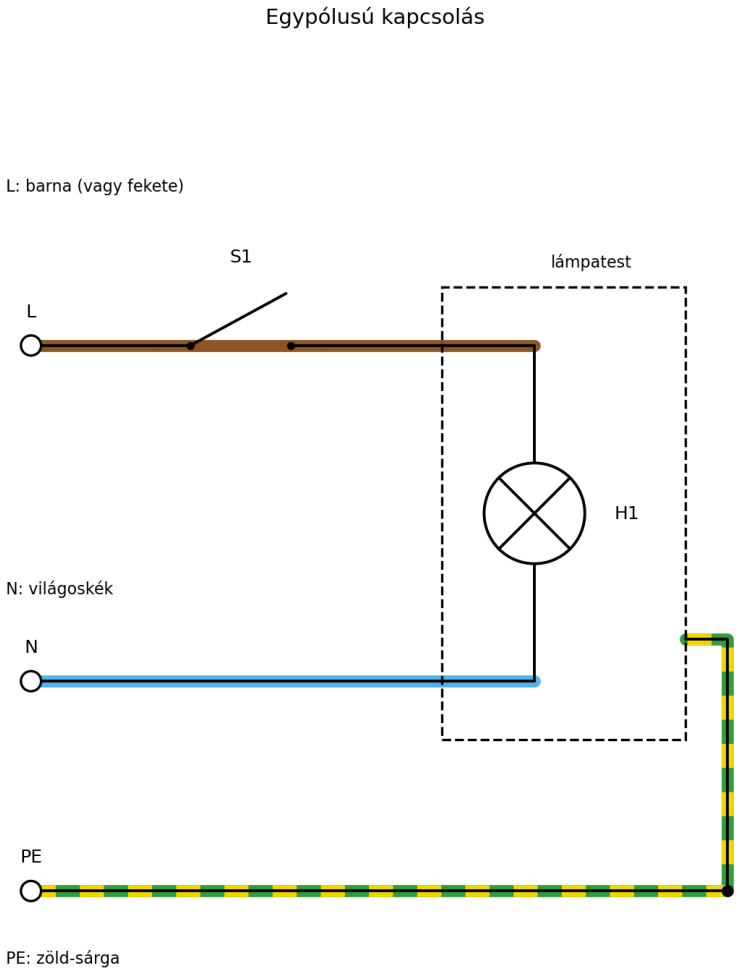
Egy lakásfelújítás során minden olyan helyiségben, ahol a belépőnek meg kell tudni gyújtania a villanyt, világítási áramkört kell építeni. Az egyik legegyszerűbb feladat egy szoba mennyezeti lámpája egyetlen ajtó melletti kapcsolóval. A következő szint már a hálószoba, ahol az ágyból és az ajtóból is szeretnénk kapcsolni, vagy éppen egy lépcsőház, ahol három emeletről is lehessen irányítani ugyanazt a lámpát. Ugyanazt a fizikai elvet használjuk, de a kapcsolók típusa és a bekötésük egészen más.

Ha a szerelő nem érti ezeket a kapcsolásokat, az alábbi hibák jellemzően előfordulnak:

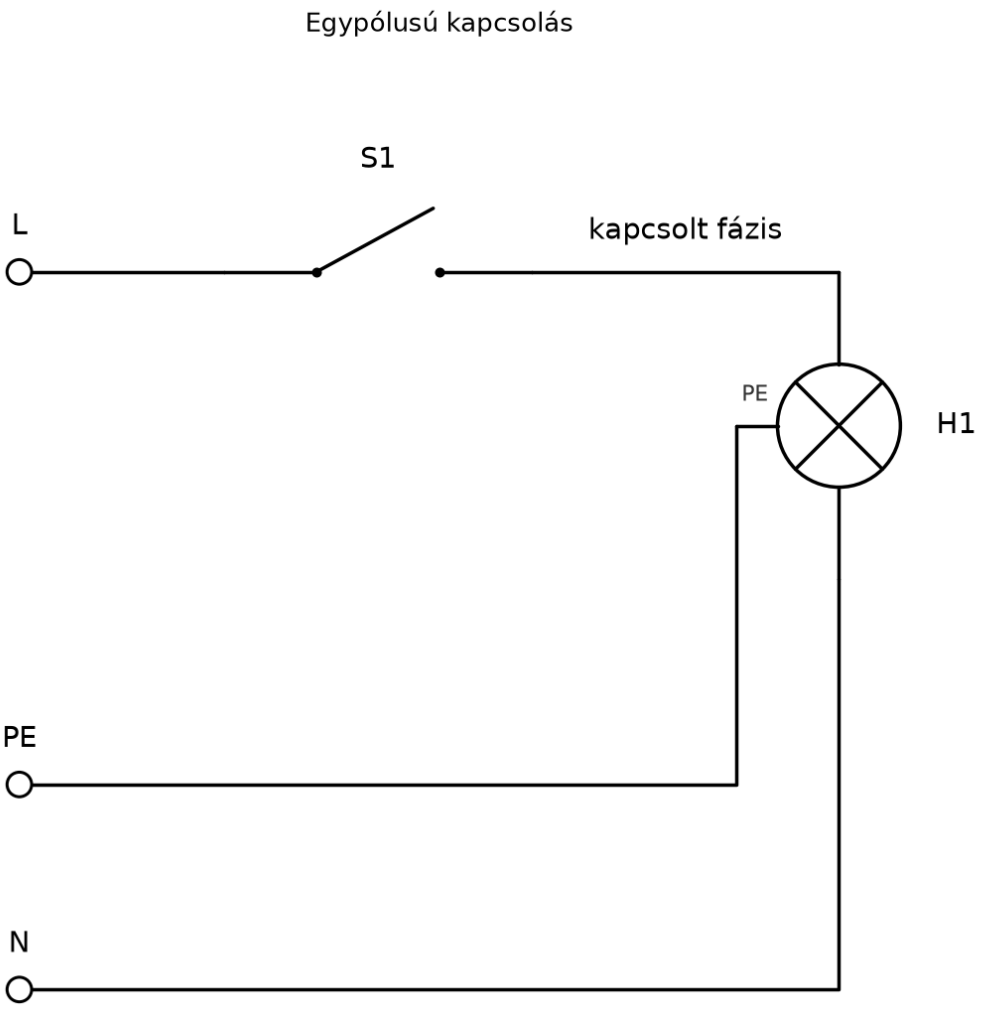
- a kapcsoló a nullavezetőt szakítja meg, ezért a lámpa kikapcsolt állapotban is érintésveszélyes;
- a váltókapcsolást rosszul kötik, így csak egy helyről lehet kapcsolni;
- a keresztkapcsolásnál a közbenső kapcsoló bekötése helytelen, ezért egyes állásokban nem működik;
- a kötődobozban a vezetékek színjelölése követhetetlen, így a későbbi javítás szinte lehetetlen.

Ebben az alfejezetben a négy leggyakoribb világítási kapcsolást tanulod meg: az egypólusú, a soros (csillár), a váltó- és a keresztkapcsolást. A hangsúly a kapcsolási rajz, a huzalozási terv és a tipikus hibák felismerésén van.

16.2.2. Szemléletes kép: egy egyszerű kapcsolási rajz



16.2. ábra. Egypólusú kapcsolás interaktív kapcsolási rajza



16.3. ábra. Egypólusú kapcsolás - Alapkapcsolás alapállásban: az S1 kapcsoló az L fázisvezetőben, a H1 lámpa a kapcsolt fázis és a nulla (N) között; a lámpatest védővezető-kapcsa a PE-re csatlakozik, a kapcsolóhoz N és PE nem megy.

A rajzon a felső vízszintes vonal a fázisvezető (L), az alsó a nullavezető (N). Az **S1** jelű kapcsoló a fázisban van, utána jön a **H1** lámpa, amely a nulla felé vezeti az áramot. A védővezető (PE) a lámpatest fém részéhez kötendő, a kapcsolóhoz általában nem megy.

16.2.3. Definíciók és szabályok

Definíció. Egypólusú (sarkos) kapcsolás: egyetlen kapcsolóval egyetlen fogyasztói áramkört szakítunk meg, mégpedig kizárólag a fázisvezetőben. A nullavezetőt ilyenkor nem szakítjuk meg.

A kétpólusú kapcsolás a fázist és a nullát is megszakítja, de lakossági világítási áramkörökben ritkábban, inkább csak különleges helyeken (pl. kültéri, karbantartást igénylő berendezések) fordul elő. A gyakorlatban a világítási áramkörök kapcsolói egypólusúak.

Szabály. Világítási áramkörben a kapcsoló mindig a fázisvezetőt szakítsa meg, soha ne a nullavezetőt. Ennek oka: kikapcsolt állapotban a lámpa foglalata, a lámpatest és a csatlakozó vezeték ne legyen feszültség alatt.

Definíció. Soros (csillár) kapcsolás: egy közös lámpatestben (pl. csillárban) két vagy több fényforráscsoportot külön-külön kapcsolhatunk. A kapcsoló általában kétsoros, tehát két egypólusú kapcsoló van egymás mellett, és a két kapcsolt fázis külön-külön táplálja a csoportokat. A csillár izzóinak közös pontja a nulla.

Definíció. Váltókapcsolás: két helyről történő kapcsolás két **váltókapcsolóval**. A váltókapcsolónak három kivezetése van: egy közös bemenet és két váltóérintkező. A két kapcsoló közös pontjait a fázis, illetve a lámpa felé kötjük, a váltóérintkezőket pedig páronként összekötjük. A lámpa a kapcsolóállások két kombinációjánál ég (a bekötéstől függ, hogy az azonos vagy az ellentétes állásoknál); bármelyik kapcsoló átváltása megfordítja a lámpa állapotát.

Definíció. Keresztkapcsolás: három vagy több helyről történő kapcsolás. Két szélső váltókapcsoló közé tetszőleges számú **keresztváltó kapcsolót** (röviden keresztkapcsolót) teszünk. A keresztkapcsolónak négy kivezetése van: két bemenet és két kimenet. A belső érintkezők úgy vannak kialakítva, hogy az egyik állásban a bemenő párokat egyenesen, a másik állásban keresztben kötik össze. Ezáltal eggyel több helyről is felváltható a lámpa állapota.

Megjegyzés a rajzjelekről. A kapcsolási rajzon az egypólusú kapcsolót általában nyitott érintkezővel jelöljük. A váltókapcsolót két érintkező (nyitott és zárt) együttest ábrázoló rajzjellel, közös mozgó érintkezővel. A keresztkapcsolót négy kivezetéssel és a keresztező belső összekötéssel jelöljük. Az MSZ EN 60617 jelrendszerben ezek a szimbólumok egyértelműek.

16.2.4. Huzalozási terv és vezetékszám

A kapcsolási rajzból a huzalozási terv úgy készül, hogy meghatározzuk, melyik kötődobozba hány vezeték érkezik, és az egyes vezetékek milyen szerepet kapnak. A lakossági gyakorlatban a színek:

- fázis: barna, fekete vagy szürke;
- nulla: világoskék;
- védővezető: zöld-sárga;
- kapcsolt fázis: általában fekete, szürke vagy barna, de soha nem kék vagy zöld-sárga. (A szabvány ezt nem írja elő mereven, de a jó gyakorlat ezt követi.)

Példa egypólusú kapcsolásra. A kapcsolóhoz a kötődobozból bemegy egy barna fázisvezető, és kijön belőle egy fekete kapcsolt fázis. A lámpához a dobozból megy a fekete kapcsolt fázis, a kék nulla és a zöld-sárga védő. A kötődobozban tehát 8 vezetékvég csatlakozik: bejövő L, N, PE; a kapcsolóhoz menő barna és a visszajövő fekete; a lámpához menő fekete, kék és zöld-sárga.

16.2.5. Kidolgozott példák

16.2.5.1. 1. példa: egypólusú kapcsolás bekötése

Adott: egy lakáselosztóból jön L, N, PE. Egy mennyezeti lámpát akarunk egy kapcsolóval működtetni. A kapcsoló a szobaajtó mellett, a lámpa a mennyezeten.

Keresett: a bekötési sorrend és a szükséges vezetékek.

Megoldás: 1. Az elosztóból a kötődobozba behúzzuk a tápvezetéket: L (barna), N (kék), PE (zöld-sárga). 2. A kötődobozból két vezetéket viszünk a kapcsolóhoz: egy barna (állandó fázis)

és egy fekete (kapcsolt fázis visszajövő). 3. A kapcsoló két kapcsára kötjük a barna és a fekete vezetéket; melyik melyikre, mindegy, mert csak szakít. 4. A kötődobozból a lámpához megy a fekete (kapcsolt fázis), a kék (nulla) és a zöld-sárga (PE). 5. A kötődobozban a bejövő barna és a kapcsolóhoz menő barna össze van kötve; a lámpa fekete vezetéke a kapcsoló felől visszajövő feketével; a nullák és a védővezetők értelemszerűen.

Ellenőrzés: feszültségmentesítés után multiméterrel ellenőrizzük a folytonosságot: kapcsoló be állásban a barna és a fekete vezetékek között nulla ellenállás van; kikapcsolva szakadás. A lámpafoglalatnál a fekete–kék és a fekete–zöld-sárga között lámpa nélkül minden kapcsolóállásban szakadás (∞) mérhető; 0 Ω itt zárlatot jelentene. A kapcsoló működése a dobozban a barna–fekete között, vagy a lámpa behelyezésével L–N között mérhető.

16.2.5.2. 2. példa: keresztkapcsolás bekötése három helyről

Adott: egy folyosó két végén egy-egy váltókapcsoló, középen egy keresztkapcsoló. Egy lámpát akarunk három helyről kapcsolni. A kötődobozok helyzete adott: a szélső kapcsolóknál egy-egy doboz, a keresztkapcsolónál egy doboz, a lámpánál egy doboz.

Keresett: a vezetékek elrendezése, a kapcsolók bekötési sorrendje.

Megoldás: A váltókapcsolók jelölése legyen S1 és S3, a keresztkapcsoló S2.

- S1 közös pontjára kötjük a fázist (barna).
- S1 két váltóérintkezőjéről két vezetéket (pl. fekete és szürke) viszünk S2 két bemenetére.
- S2 két kimenetéről két vezetéket viszünk S3 két váltóérintkezőjére.
- S3 közös pontjáról megy a kapcsolt fázis (pl. fekete) a lámpához.
- A lámpa másik kivezetése a nullára, a védő a testre.

A kapcsolási logika táblázata (S1, S2, S3 állásai; 0 = alapállás, 1 = váltott állás):

S1	S2	S3	Lámpa
0	0	0	ég
0	0	1	nem ég
0	1	0	nem ég
0	1	1	ég
1	0	0	nem ég
1	0	1	ég
1	1	0	ég
1	1	1	nem ég

Tehát bármelyik kapcsoló átváltásával a lámpa állapota megfordul.

Továbbvitt eredmény. A váltó- és keresztkapcsolás itt tanult logikáját használjuk a Lépcsőházi automata, impulzusrelé és időrelé alapkapcsolása alfejezetben: az impulzusrelé központi elektronikával valósítja meg ugyanezt a „bármelyik kapcsolóról váltható” működést, ezért a lépcsőházakban gyakran ezt alkalmazzák.

16.2.6. Interaktív ábra

A fent említett interaktív ábra (figures/html/ve057-1.html) az egypólusú kapcsolást mutatja. A felhasználó a kapcsoló rajzjelére kattintva válthatja a kapcsoló állapotát; a rajzon piros vonal jelzi, ha az áramkör záródott, és a lámpa sárgára vált. Statikus tartalékként a fenti kapcsolási rajz szolgál.

A váltó- és keresztkapcsoláshoz hasonló interaktív kapcsolási rajzok képzelhetők el; ezeket a szövegben leírt logika szerint kell működtetni.

16.2.7. Gyakorlati útmutató: váltókapcsolás bekötése tanműhelyi táblán

Cél: két helyről működtethető lámpakör kiépítése, a kapcsolási rajz és a huzalozási terv összekapcsolása, folytonosságméréssel ellenőrzés.

Eszközök és anyagok: tanműhelyi kapcsolótábla (törpefeszültségű vagy leválasztott tápegységgel), két váltókapcsoló, egy lámpa (vagy lámpafoglalat), sorkapcsok, vezetékek (barna, fekete, kék, zöld-sárga), multiméter, csavarhúzó.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Minden bekötés előtt feszültségmentesíts, és alkalmazd az öt biztonsági szabályt.

Az öt biztonsági szabály: 1. Lekapcsolás (a tápfeszültség kikapcsolása). 2. Visszakapcsolás elleni biztosítás (pl. lakat, figyelmeztető tábla). 3. Feszültségmentesség ellenőrzése (kétpólusú feszültségvizsgálóval). 4. Földelés és rövidre zárás (tanműhelyi táblánál ez gyakran elhagyható, de a szabályt ismerni kell). 5. Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.

Lépések: 1. Rajzold fel a kapcsolási rajzot a tábla peremére vagy jegyzetbe. 2. Készítsd el a huzalozási tervet: melyik kapocsba melyik vezeték kerül. 3. Helyezd el a két váltókapcsolót és a lámpát a táblán. 4. Húzd be a vezetékeket a kapcsokhoz, a tömör vezeték végét egyenesen, a hajlékony vezetékét érvéghüvellyel készítsd elő, a tanműhelyi szabályok szerint. 5. Kösd be az S1 közös kapcsára a fázist (barna). 6. Kösd az S1 váltóérintkezőiről a két átkötő vezetéket (fekete, szürke) az S2 váltóérintkezőihez. 7. Kösd az S2 közös pontját a lámpa fázis oldalára. 8. Kösd a lámpa másik oldalát a nullára (kék). 9. Kösd a védővezetőt a lámpatesthez (zöld-sárga), ha van. 10. Ellenőrizd a kapcsolatokat: minden csavar meghúzva, nincs kilógó rézszál.

Ellenőrzés (feszültségmentes állapotban): - Multiméterrel folytonosságot mérsz: a fázis és a lámpa fázis oldala között. A lámpa akkor ad folytonosságot, ha a két kapcsoló azonos (vagy ellentétes – a bekötéstől függő) állásban van. Váltogasd a kapcsolókat, és figyeld, hogy minden átváltás megfordítja az eredményt. - Vedd ki a fényforrást (vagy kösd le a lámpát), majd mérj a fázis és a nulla, valamint a fázis és a PE között minden kapcsolóállásban: folytonosság nem lehet. A lámpával együtt mérve az „égő” állásokban a lámpa ellenállása látszik – ez nem zárlat.

Tipikus hibák a gyakorlatban: - a közös kapocs és egy váltóvezeték felcserélése: egyes kapcsolóállásokban az egyik kapcsoló hatástalan (a két váltóvezeték egymás közti cseréje nem hiba, csak az alapállást fordítja meg); - a kapcsolt fázis színét kékre választják, ami félrevezető.

Dokumentálás: a bekötött tábláról készíts fényképet, és rögzítsd a mért ellenállásértékeket.

16.2.8. Tipikus hibák

1. **A kapcsoló a nullát szakítja meg.** Ha a kapcsoló a kék nullavezetőben van, a lámpa kikapcsolt állapotban is fázisfeszültségen van a foglalatban. Ez érintésvédelmi szempontból tilos, és a lámpacsere közben áramütést okozhat. A helyes bekötés: a kapcsoló a fázisban.
2. **Váltókapcsolásnál a közös pontokat nem ismerik fel.** A váltókapcsolón a közös pont sokszor sötétebb csavar vagy eltérő jelölésű (L, ill. 1 és 2). Ha nem a közösre kötik a fázist vagy a lámpát, a kapcsolás nem működik. Mindig ellenőrizni kell a kapocsjelölést.
3. **Keresztkapcsolásnál a négy vezetéket rosszul párosítják.** A keresztkapcsolón a be- és kimeneteket egyenes vagy kereszt állásba kell kötni. Ha a két pár felcserélődik, a kapcsolási sorrend nem lesz minden állásban helyes.
4. **A színek következetlen használata.** Gyakori, hogy a kapcsolt fázist kék, vagy a nullát fekete vezetékkel viszik. Ez a későbbi hibakeresést szinte lehetetlenné teszi. A szabványos színek betartása nem formalitás.
5. **A kötődobozban a vezetékeket nem csoportosítják.** Ha nincs rendezett sorkapocs, a sok azonos színű vezetékből nem lehet tudni, melyik hová megy. Mindig használjunk sorkapcsokat és jelöléseket.

16.2.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasházi lakás felújításánál a kivitelező a nappali lámpáját két helyről akarta kapcsolni: az ajtó mellől és a kanapé mellől. A segédmunkás a két váltókapcsolót bekötötte, de a lámpa csak az egyik irányból működött. A hibakeresés során kiderült, hogy a második kapcsoló közös kapcsára a lámpa felé menő kapcsolt fázis helyett az egyik átkötő (váltó)vezetéket kötötte, így a váltókapcsolás logikája nem valósult meg. A javítás: a kapcsoló kapocsjelölését ellenőrizve a közös pontra került a lámpa felé menő kapcsolt fázis, a két váltóérintkezőre a másik kapcsolótól jövő két vezeték. A tanulság: a váltókapcsolás bekötése előtt mindig azonosítsuk a közös kapcsot, és a rajz alapján kössünk.

16.2.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy egypólusú kapcsolásnál a kapcsolónak a nulla vezetőben is lehet lennie? Indokold!
2. Mekkora vezetékre van szükség egy keresztkapcsoláshoz három kapcsolóval a szélső kapcsolók és a középső keresztkapcsoló között? (Hány vezeték?)
3. Egy váltókapcsolásnál az S1 közös pontjára a fázist, S2 közös pontjára a lámpát kötöttük. Az átkötő vezetékeket viszont felcseréltük az egyik kapcsolónál. Mi lesz a hiba?
4. Rajzold le gyorsan egy soros (csillár) kapcsolás elvi rajzát: két kapcsoló, két lámpacsoport, közös nulla.
5. Miért tilos a kapcsolt fázist kék vezetékkel jelölni?
6. Hány kapcsoló szükséges négy helyről történő kapcsoláshoz, és milyen típusúak?

A válaszok a Megoldások szakasz elején találhatók.

16.2.11. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld az egypólusú és a váltókapcsolást, és írd le, mi a különbség a szerepükben.

2. feladat (A). Számítsd ki, hány vezetékvégnek kell lennie egy kötődobozban egy egypólusú kapcsolásnál, ha a táp bejön, a kapcsolóhoz lemegy két vezeték, és a lámpához kimegy három vezeték (fázis, nulla, PE). Add meg a színeket is.

3. feladat (B). Rajzold le egy váltókapcsolás kapcsolási rajzát, és készítsd el a kapcsolási logika táblázatát. Jelöld a kapcsok: S1 közös, S1-1, S1-2, S2 közös, S2-1, S2-2.

4. feladat (B). Egy keresztkapcsolást három helyről akarunk kiépíteni. A szélső váltókapcsolók között 10 méter a távolság, a keresztkapcsoló középen van. Felsorolod a vezetékeket: hány ér megy a két váltó között a keresztkapcsolón át? Milyen színeket javasolnál?

5. feladat (C). Hibaelemzés: Egy szerelő bekötött egy váltókapcsolást, de a lámpa a négy lehetséges kapcsolóállás-kombinációból csak egyben ég. Melyik hibalehetőségre gyanakszol? Vázold fel a rajzot, és indokold.

6. feladat (D). Gyakorlati feladat: Tanműhelyi táblán építs meg egy keresztkapcsolást három kapcsolóval. A méréshez multimétert használj. Írd le, milyen mérést végeznél annak igazolására, hogy a kapcsolás minden állásban helyesen működik, és milyen eredményeket várs.

16.2.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

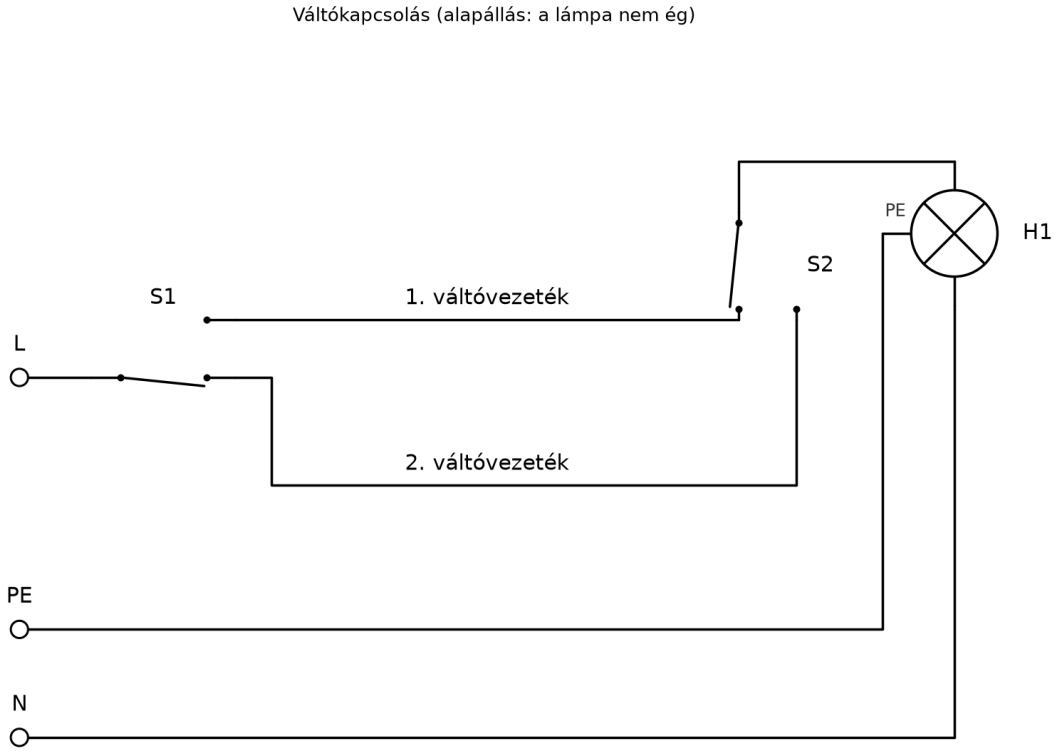
1. Hamis. A kapcsolónak a fázisvezetőt kell megszakítania, hogy kikapcsolt állapotban a lámpa foglalata feszültségmentes legyen.
2. A szélső váltó és a keresztkapcsoló között két vezeték fut (a két váltóérintkező átkötése). Összesen tehát a kapcsolók közötti szakaszon jellemzően két-két ér, de a kötődobozokban több ér találkozik.
3. Nem lesz hiba: a két váltóvezeték felcserélése csak azt változtatja meg, hogy melyik kapcsolóállás-kombinációnál ég a lámpa; mindkét kapcsoló továbbra is vált. Rövidzár sem keletkezhet, mert a váltóvezetékek között nincs forrás. Hiba akkor van, ha valamelyik kapcsoló **közös** kapcsára váltóvezeték kerül.
4. A soros kapcsolás rajza: a fázisból két kapcsoló (S1, S2) párhuzamosan kap ágat; mindkét kapcsoló kimenete egy-egy lámpacsoporthoz (H1, H2) megy. A két lámpacsoport közös pontja a nullára csatlakozik.
5. A kapcsolt fázis kék színű lenne, ami összetéveszthető a nullával; ez életveszélyes hibás bekötéshez vezethet.
6. Négy helyről történő kapcsoláshoz két váltókapcsoló és két keresztkapcsoló szükséges.

Feladatok – megoldások

1. feladat (A). Az egypólusú kapcsolás egyetlen kapcsolóval szakítja meg a fázist. A váltókapcsolás két váltókapcsolóval két helyről vezérel egy lámpát; a két kapcsoló közös pontjai a fázishoz és a lámpához, a váltóérintkezők páronként össze vannak kötve.

2. feladat (A). A kötődobozba behúzott vezetékek: L (barna), N (kék), PE (zöld-sárga) – ez 3 ér. A kapcsolóhoz lemegy L (barna) és kapcsolt fázis vissza (fekete) – ez 2 ér. A lámpához kimegy kapcsolt fázis (fekete), N (kék), PE (zöld-sárga) – ez 3 ér. Összesen 8 vezetékvég (a dobozban néhány összekötéssel). A PE-t külön lehet kötni sorkapoccsal.

3. feladat (B). A kapcsolási rajz:



16.4. ábra. Váltókapcsolás (alapállás: a lámpa nem ég) - Útvonal: L → S1 közös kapocs → 1. vagy 2. váltóvezeték → S2 közös kapocs → H1 → N; a lámpatest PE-t kap. Egy váltókapcsoló egy átváltó érintkező (váltóérintkező rajzjel: közös kapocs, nyugalmi és munkaállású kapocs). Alapállásban az S1 a 2. (alsó), az S2 az 1. (felső) váltóvezetékre kapcsol, ezért nincs zárt áramút; bármelyik kapcsoló átbillentése zárja a kört.

A logikai táblázat (a rajz szerint az S1 alapállásban a 2. (alsó), az S2 alapállásban az 1. (felső) váltóvezetékre kapcsol):

S1 állás	S2 állás	Áramút	Lámpa
0	0	nincs	nem ég
0	1	van	ég
1	0	van	ég
1	1	nincs	nem ég

Tehát a kapcsolók ellenkező állása esetén ég.

4. feladat (B). A két váltókapcsoló között a távolság 10 m, középen a keresztkapcsoló. A váltókapcsolók váltóérintkezőiről két-két vezeték megy a keresztkapcsolóhoz. Tehát a váltó és a kereszt között 2 ér fut; a kereszt és a másik váltó között szintén 2 ér. Összesen tehát a szakaszon 4 vezeték van, de ezek két-két párt alkotnak. Javasolt színek: fekete és szürke a két átkötő vezeték; a fázis (barna) az egyik váltó közösére, a kapcsolt fázis a másik váltó közöséből a lámpához barna

ér, az állandó fázistól jelölőgyűrűvel megkülönböztetve (ha nincs elég szín, a vezetékvégeket mindig jelöld).

5. feladat (C). A hiba: valamelyik kapcsoló közös kapcsára egy váltóvezeték, a fázis vagy a lámpa vezetéke pedig egy váltókapocsra került. Ilyenkor a lámpa csak abban az egy állásban ég, amikor mindkét kapcsoló véletlenül a „jó” vezetékre áll; a többi három állásban az áramút megszakad. Ellenőrzés: a közös kapcsok azonosítása (L / nyíl jelölés), átkötés. A rajzon ellenőrizni kell, hogy a közös pontok a megfelelő helyre vannak-e kötve.

6. feladat (D). A mérés: feszültségmentes állapotban multiméterrel folytonosságot mérünk a bemenő fázis és a lámpa fázis kapcsa között. A három kapcsoló mind a 8 lehetséges állásában megmérjük az ellenállást. Működő kapcsolásnál az ellenállás 0 ohm közelében van, amikor a lámpa ég, és végtelen (szakadás), amikor nem ég. Azt is ellenőrizni kell, hogy bármelyik kapcsoló átváltásakor az eredmény az ellenkezőjére változik. Továbbá a fényforrás kivétele (leválasztása) után a fázis–nulla és a fázis–PE között nem szabad folytonosságnak lennie; a lámpával együtt mérve az „égő” állásokban a lámpa ellenállása látszik, ez nem zárlat.

16.2.13. Rövid összefoglaló

A világítási áramkörök alapja az egypólusú kapcsolás, ahol a kapcsoló mindig a fázisvezetőt szakítja meg. Soros (csillár) kapcsolással ugyanabban a lámpatestben lévő két csoportot különkülön vezérelhetünk. A váltókapcsolás két váltókapcsolóval lehetővé teszi két helyről ugyanannak a lámpának a működtetését; a két kapcsoló közös pontjai a fázis és a lámpa felé, a váltóérintkezők páronként össze vannak kötve. Keresztkapcsolással a szélső váltókapcsolók közé tetszőleges számú keresztváltó helyezhető, így három vagy több helyről is kapcsolhatunk. A huzalozási tervben a színek következetes használata elengedhetetlen: fázis barna/fekete/szürke, nulla kék, védő zöld-sárga, kapcsolt fázis soha nem kék. A kapcsolókat mindig a fázisba kötjük, nem a nullába. A bekötés után feszültségmentes állapotban folytonosságméréssel ellenőrizzük a kapcsolási logikát. A váltó- és keresztkapcsolás itt megismert logikája az impulzusrelés vezérlésekben is visszaköszön, ezért a Lépcsőházi automata, impulzusrelé és időrelé alapkapcsolása alfejezetben erre építünk.

16.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

Ez az alfejezet a klasszikus villamos kapcsolási ismeretekre épül, a magyar és európai gyakorlat szerint. A kapcsolók rajzjelei az MSZ EN 60617 szabvány szerint értelmezhetők **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**. A vezetékszínekre vonatkozó pontos előírások a hatályos szabványokban találhatók **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364 sorozat)**. A kapcsolók bekötésére vonatkozó gyakorlati lépések tanulási célúak, éles hálózaton csak jogosult személy dolgozhat.

16.3. Lépcsőházi automata, impulzusrelé és időrelé alapkapcsolása

16.3.1. Miért kell ezt tudnod a szerelői munkában?

Egy lépcsőházban a világítást a lakó az egyik szinten bekapcsolja, felmegy a lakásához, majd a világításnak magától el kell aludnia. Ha ezt nem automatizáljuk, valaki vagy égve hagyja a lámpákat, vagy minden szinten bonyolult váltó- és keresztkapcsolást kell építeni, mint amilyet a Világítási áramkörök: egypólusú, soros, váltó és kereszt alfejezetben tanultál. A lépcsőházi automata, az impulzusrelé és az időrelé ugyanazt a gondolatot viszi tovább: több nyomógomb egyetlen világítást vezérel, de a kapcsolási logika időt is ad hozzá, vagy a nyomógombok működését teszi egyszerűbbé és üzembiztosabbá.

Képzeld el a lépcsőházat úgy, hogy a földszinten, az emeleteken és a kijáratnál egy-egy nyomógomb van, a mennyezeten pedig párhuzamosan kötött lámpák. Ha bármelyik gombot megnyomod, a világítás bekapcsol, majd a beállított idő után lekapcsol. A szerelő dolga, hogy ezt a funkciót a megfelelő készülékkel, a készülék terhelhetőségét és a mai LED-lámpák sajátosságait is figyelembe véve, üzembiztosan bekösse.

Továbbvitt eredmény. A relés kapcsolási logikát és az időzítés fogalmát később az Intelligens épület: tervezés, üzembe helyezés, energiahatékonyság alfejezetben az épületautomatikai kapcsolásokban, valamint a Világítási áramkörök építése: egypólusú, váltó, kereszt gyakorlati útmutatóban is használjuk.

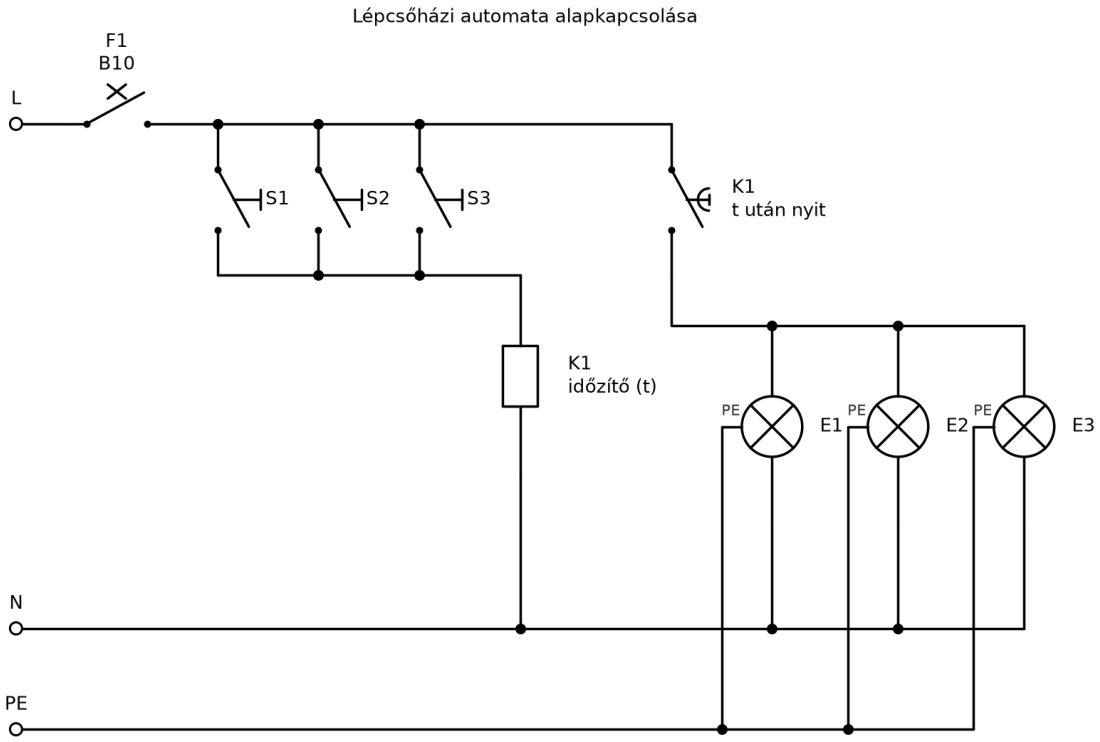
16.3.2. A lépcsőházi automata alapkapcsolása

Definíció. A lépcsőházi automata olyan időzített kapcsolókészülék, amely a nyomógomb impulzusára bekapcsolja a világítást, és a beállított idő letelte után a világítás áramkörét magától megszakítja. A mai lépcsőházi automaták általában elektronikus készülékek, korábban elektromechanikus, óraműves vagy hőkioldós megoldások is léteztek.

A kapcsolás két, egymástól jól elkülöníthető részből áll:

- **vezérlő áramkör:** a nyomógombok és a készülék vezérlő bemenete,
- **főáramkör:** a készülék kapcsolóérintkezője és a lámpák.

A nyomógombokat párhuzamosan kell kötni. Ha sorba kötnéd őket, akkor csak akkor lenne vezérlés, ha az összes gombot egyszerre nyomnád meg.



16.5. ábra. Lépcsőházi automata alapkapcsolása - Táplálás: L, N, PE kapcsok, F1 kismegszakító. Vezérlőkör: az S1–S3 záró nyomógomb párhuzamosan a K1 lépcsőházi automata vezérlőbemenetére. Főáramkör: a K1 időzített záróérintkezője kapcsolja az E1–E3 lámpák fázisát; a lámpatestek PE-t kapnak. A K1 kapocsjelölése gyártófüggő (ellenőrizendő: adatlap). A keresztező vonalak pont nélkül nem érintkeznek.

A rajzon a felső vízszintes vezeték az F1 kismegszakító utáni L fázis, alatta az N nulla, legalul a PE védővezető, amelyre a lámpatestek csatlakoznak. Az S1, S2, S3 nyomógombok párhuzamosan kapcsolódnak a K1 lépcsőházi automata vezérlő áramkörére. Ha bármelyik nyomógombot megnyomod, a vezérlő áramkör bezárul. A K1 készülék ekkor behúzza a K1 érintkezőjét, és az E1–E3 lámpák fázisellátása megvalósul. A beállított idő lejárta után az érintkező kinyit, a lámpák elalszanak.

Figyelem. A gombok áramköre csak vezérlő áramot visz, ezért vékonyabb vezetékkel is szerelhető, de a lámpa- és gombáramköröket ne keverd össze. A lámpaáramot a K1 érintkezője kapcsolja, tehát annak terhelhetősége a mértékadó.

A lépcsőházi automata terhelhetőségénél nemcsak az üzemi áramot kell nézni, hanem a lámpatípust is. Az izzólámpa hideg izzószálának ellenállása kicsi, ezért a bekapcsolás pillanatában a névleges áram többszöröse folyik.

Számítás. Adott: 8 db, egyenként 60 W-os izzólámpa, $U = 230\,\mathrm{V}$.
Keresett: az üzemi áram, és a bekapcsolási áram becslése.

A teljesítmény:

$$P = nP_1 = 8 \cdot 60\,\mathrm{W} = 480\,\mathrm{W}.$$

Az üzemi áram:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{480\,\mathrm{W}}{230\,\mathrm{V}} = 2{,}09\,\mathrm{A}.$$

Az izzólámpák hidegindítási árama a gyakorlati becslés szerint a névleges áram körülbelül 8–15-szöröse lehet. Ha a közbülső 10-szeres értéket vesszük:

$$I_{\mathrm{csúcs}} \approx 10 \cdot I = 10 \cdot 2{,}09\,\mathrm{A} = 20{,}9\,\mathrm{A}.$$

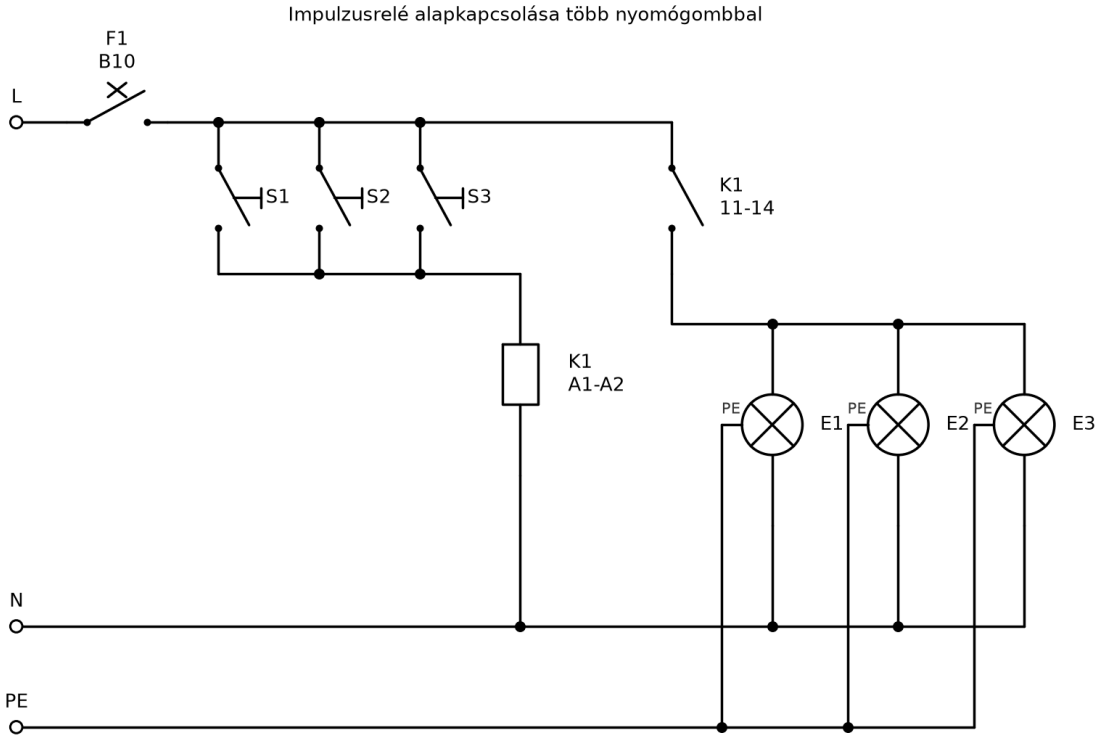
Ezért egy 10 A névleges áramú érintkező sem feltétlenül alkalmas 2,09 A üzemi áramú izzóterhelés kapcsolására. A készülék gyártója izzóterhelésre általában csökkentett teljesítményt vagy maximális darabszámot ad meg. **(ellenőrizendő: a kiválasztott készülék gyártói adatlapja)**

Szabály. A készülék érintkezőjét mindig a tényleges lámpatípusra, a gyártó adatlapján megadott maximális terhelés szerint válaszd ki. LED-lámpáknál az üzemi áram kicsi, de a meghajtó elektronika bekapcsolási árama rövid időre szintén nagy lehet, ezért a LED-ek maximális darabszámát is ellenőrizni kell.

16.3.3. Az impulzusrelé működése és több nyomógombos kapcsolása

Definíció. Az impulzusrelé olyan bistabil kapcsolókészülék, amely minden nyomógomb-impulzus hatására ellenkező állapotba vált: ha az érintkezője nyitott volt, behúz, ha behúzott, kinyit. A köznyelvben léptetőrelének is nevezik; nem tévesztendő össze a lépcsőházi automatával, amely időzített lekapcsolást végez.

Az impulzusrelé előnye, hogy egyetlen központi készülékkel sok nyomógombot lehet párhuzamosan kötni. A nyomógombok nem a főáramkört szakítják meg, hanem a készülék tekercsét gerjesztik. Minden gombnyomás egy rövid, megszakított áramkört hoz létre, ezért az „impulzus” elnevezés.



16.6. ábra. Impulzusrelé alapkapcsolása több nyomógombbal - Táplálás: L, N, PE kapcsok, F1 kismegszakító. Az S1–S3 záró nyomógomb párhuzamosan rövid impulzust ad a K1 impulzusrelé A1–A2 tekercsére; a K1 11–14 érintkezője minden impulzusra vált (be → ki → be), és ebben az állapotban marad. A lámpatestek PE-t kapnak. Kapocsjelölés: gyakori, de gyártófüggő (ellenőrizendő: adatlap).

A bekötés nagyon hasonlít a lépcsőházi automata bekötéséhez, de a készülék viselkedése más. A nyomógombok párhuzamosan csatlakoznak a tekercsre, a lámpák pedig a K1 érintkezőn keresztül kapnak feszültséget. Ha még egyszer megnyomsz egy gombot, a készülék lekapcsolja a lámpákat.

Megjegyzés. A készülék kapocsjelölése a gyártó típusától függ. A vezérlőtekercs általában A1 és A2 jelű, a váltóérintkező pedig gyakran 11-12-14 jelű, ahol a 11 a közös, a 12 a bontó, a 14 a záró érintkező. Régi készülékeken előfordulhat 1-2-4 jelölés is. A bekötés előtt mindig ellenőrizd a készülék oldalán lévő kapcsolási rajzot és a gyártói adatlapot. **(ellenőrizendő: a készülék kapocsjelölése)**

Szabály. A nyomógombokat mindig párhuzamosan kösd, függetlenül attól, hogy lépcsőházi automatát, impulzusrelét vagy időrelét használsz. A párhuzamos kapcsolás logikai VAGY-kapcsolatot jelent: elég, ha legalább egy gomb zár.

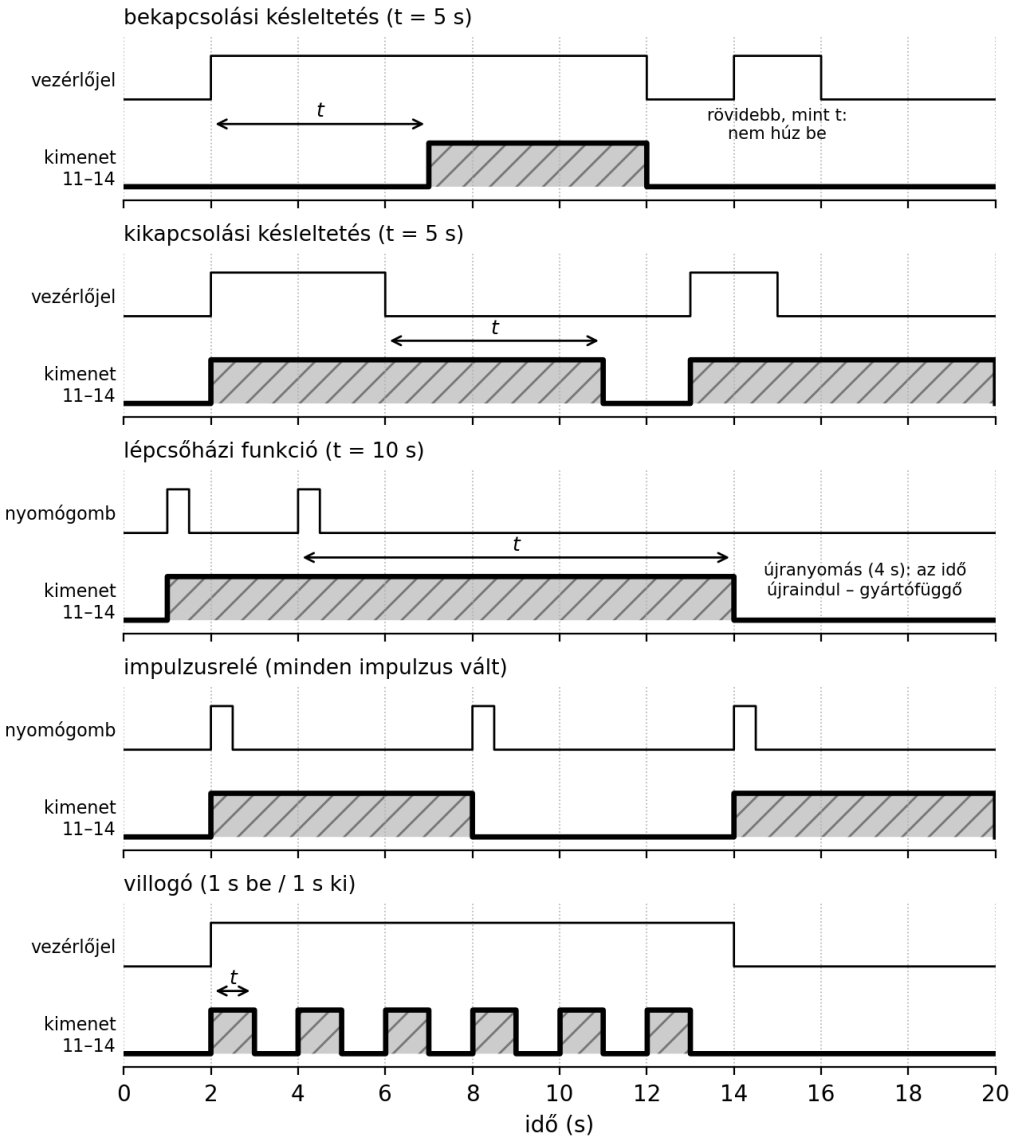
16.3.4. Időrelék: késleltetések és funkciók

Definíció. Az időrelé olyan vezérlőkészülék, amely a bemenetére adott vezérlőjel hatására az érintkezőit nem azonnal, hanem beállított idő után, illetve meghatározott időbeli sorrend szerint kapcsolja.

A gyakorlatban leggyakrabban az alábbi késleltetési típusokkal találkozol:

- **bekapcsolási késleltetés:** a vezérlőfeszültség megjelenése után a kimeneti érintkező csak a beállított idő múlva húz be;
- **kikapcsolási késleltetés:** a vezérlőfeszültség megszűnése után az érintkező a beállított ideig még behúzva marad, ezután ejt el;
- **lépcsőházi funkció:** nyomógomb-impulzusra azonnal bekapcsol, majd a beállított idő után kikapcsol;
- **villogó vagy ciklusos funkció:** az érintkező egyenletesen vagy állítható arányban ki-be kapcsol.

Az alábbi idődiagram sávonként a vezérlőjelet (vékony vonal) és a kimeneti 11–14 érintkező állapotát (vastag vonal) mutatja. Bekapcsolási késleltetésnél (t = 5 s) a 2 s-kor megjelenő vezérlőjelre a kimenet 7 s-kor húz be, a t-nél rövidebb jelre egyáltalán nem; kikapcsolási késleltetésnél a kimenet a vezérlőjellel együtt húz be, és annak megszűnése után még t ideig zárva marad. A lépcsőházi funkció (t = 10 s) impulzusra azonnal bekapcsol; a futó idő alatti újranyomás sok készüléken újraindítja az időt (itt 4 + 10 = 14 s-kor kapcsol ki). Összehasonlításként az impulzusrelé minden impulzusra vált, idő nélkül, a villogó pedig a vezérlőjel fennállása alatt 1 s be / 1 s ki ütemben kapcsol.



16.7. ábra. Időrelé-funkciók idődiagramja: bekapcsolási és kikapcsolási késleltetés, lépcsőházi funkció, impulzusrelé, villogó

Az interaktív változatban funkciót választhatsz, állíthatod a t időt (1–30 s), és a „Nyomógomb” gombbal valós időben rajzoltathatod a vezérlőjelet és a kimenetet; a lámpa jelzi, hogy a kimenet zárt-e. A valódi készülékek viselkedése (például az újraindítás) gyártófüggő **(ellenőrizendő: a készülék működési leírása)**.

A lépcsőházi világításhoz tehát a lépcsőházi funkciójú időrelé vagy az időzített lekapcsolású készülék illik. A kikapcsolási késleltetést gyakran használják például szellőzőventilátorok utánfutási idejére: a ventilátor a kapcsoló kikapcsolása után még a beállított ideig tovább jár.

Szabály. Mindig nézd meg, hogy az időrelé bemenete külön vezérlőbemenettel rendelkezik-e, vagy a tápfeszültség megjelenése maga a vezérlés. Egyes készülékeknél a tápfeszültség ráadása indítja az időzítést, másoknál külön nyomógombos vezérlőbemenet van. A bekötés előtt ezért a gyártói kapcsolási rajz az elsődleges. **(ellenőrizendő: a készülék működési leírása)**

16.3.5. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasház lépcsőházában a régi izzólámpás lépcsőházi automatát LED-lámpákra cserélték, de a szerelő a régi automatát megtartotta. A lakók azt tapasztalták, hogy kikapcsolt állapotban a LED-lámpák halványan világítottak, néha villogtak.

Tünet. Az automatának le kellene kapcsolnia, a lámpák mégsem teljesen sötétek.

Hipotézis. Az elektronikus lépcsőházi automata belső áramköre kikapcsolt érintkező állapotban is nagyon kis áramot enged át, vagy a kapcsain marad kisfeszültség. A régi izzólámpa ezt az áramot nem tudta meggyújtani, a LED-lámpa viszont igen érzékeny, ezért halványan világít.

Mérés. A szerelő a kikapcsolt állapotban megmérte a lámpa kapcsain a feszültséget. A műszer nem nullát, hanem több tíz volt nagyságrendű maradékfeszültséget mutatott. Ez a mérés nem pontos terhelési adat, de jól jelzi, hogy nem teljes a leválasztás. **(ellenőrizendő: a készülék szivárgó áramára vonatkozó gyártói adat)**

Ok. A régi automata nem volt LED-kompatibilis, és a minimális terhelési feltétele sem teljesült. A LED-ek üzemi árama túl kicsi volt ahhoz, hogy a készülék stabilan kapcsoljon, illetve a maradékáram elegendő volt a LED meghajtók zavaró működéséhez.

Javítás. A szerelő LED-kompatibilis lépcsőházi automatát épített be, és ellenőrizte, hogy a lámpák összteljesítménye a készülék minimális és maximális terhelési tartományán belül van. Szükség esetén a gyártó által javasolt terhelőelem is alkalmazható.

Megelőzés. A lámpacsere előtt ellenőrizd a kapcsoló- és időzítő készülék LED-kompatibilitását, a minimális terhelésre vonatkozó adatot, és a maximális számú LED-lámpa értéket. **(ellenőrizendő: gyártói katalógusadatok)**

16.3.6. Gyakorlati útmutató

Cél. Tanulói gyakorlópanelen impulzusrelé bekötése három nyomógombbal és két lámpával, majd a működés ellenőrzése.

Eszközök és anyagok. Impulzusrelé, három nyomógomb, két lámpahely vagy foglalat, sorkapcsok, vezetékek, érvéghüvelyek, szerszámok, multiméter, kapcsolási rajz.

Biztonsági korlát. A feladat hálózati feszültségen csak jogosult oktató felügyeletével végezhető; hálózati feszültségen önállóan ne dolgozz. Tanulói gyakorlásra használj feszültségmentes panelt vagy törpefeszültségű modellt.

A szerelés előtt hajtsd végre az öt biztonsági szabályt:

1. **Lekapcsolás:** a tanulópanel tápellátását kapcsold le.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás:** a kapcsolót vagy dugaszt zárd le, vagy jelöld meg.
3. **Feszültségmentesség ellenőrzése:** kétpólusú feszültségvizsgálóval (előtte és utána ismert feszültségen ellenőrizve) győződj meg arról, hogy a panel kapcsain L–N, L–PE és N–PE között nincs feszültség.
4. **Földelés és rövidre zárás:** ha a gyakorlati környezet előírja, alkalmazz rövidre zárást.
5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése:** a közelben lévő aktív részeket fedd le vagy határolj el.

Lépések.

1. Ellenőrizd a rajzot és a készülék kapocsbeosztását.

2. A feszültségmentes panelen ellenőrizd a nyomógombok működését folytonosságmérővel: nyitott állapotban szakadás, megnyomva kis ellenállás.
3. Ellenőrizd az impulzusrelé tekercsének folytonosságát, és az érintkezők alapállapotát.
4. Kösd be a vezérlő áramkört: az L fázist a nyomógombok közös bemenetére, a nyomógombok kimenetét párhuzamosan a tekercs A1 kapcsára, az A2-t az N-re.
5. Kösd be a főáramkört: az L fázis a K1 érintkező egyik kapcsára, az érintkező másik kapcsáról a lámpák, a lámpák másik oldalán az N.
6. Szereld fel az érvéghüvelyeket, húzd meg a kapcsokat, és rendezd a vezetékeket.
7. Oktatói ellenőrzés után helyezd feszültség alá a panelt, és próbáld ki mindhárom nyomógombot.
8. Az utolsó gombnyomásra a lámpák állapota vált: bekapcsolás után újabb nyomásra lekapcsolódnak.

Ellenőrzési pontok. A tekercs ellenállása a gyártó adatlapja szerinti érték körül legyen. Egy megnyomott gomb ellenállása jellemzően 0,5 Ω alatt van, a nyitott érintkező pedig szakadást mutat. A lámpaáramkört ellenőrizd úgy is, hogy a K1 érintkező zárásakor a lámpák feszültséget kapnak.

Dokumentálás. Jegyezd fel a készülék típusát, a kapocsbeosztást, a mért ellenállásértékeket, és fényképezd le a bekötést a későbbi hibakereséshez.

16.3.7. Tipikus hibák

Hiba 1: A nyomógombokat sorba kötik.
Ha a gombok sorba vannak kötve, csak akkor működik a vezérlés, ha mindegyiket egyszerre nyomják. A helyes kapcsolás párhuzamos, mert így bármelyik gomb önállóan be tudja kapcsolni a készüléket.

Hiba 2: A tekercs- és a lámpaáramkört összekeverik.
A vezérlő áramkör kis áramú, a lámpaáramkör a tényleges terhelést viszi. Ha a vastag lámpavezetéket a nyomógombra kötik, vagy a vezérlő fáziságat a lámpa után veszik le, akkor a kapcsolás hibásan vagy életveszélyesen működhet. A rajz szerint kell elkülöníteni a két áramkört.

Hiba 3: Az izzóterhelést a névleges érintkezőárammal egyenértékűnek tekintik.
Az izzólámpa bekapcsolási árama többszöröse az üzemi áramnak, ezért az érintkezők összehegedhetnek, vagy a készülék idő előtt tönkremegy. Az izzóterhelésre mindig a gyártó által megadott csökkentett érték a mérvadó. **(ellenőrizendő: a készülék izzóterhelhetőségi adata)**

Hiba 4: A LED-lámpák minimális terhelését figyelmen kívül hagyják.
A túl kevés LED-del terhelt kapcsolókészülék halványan világító vagy villogó lámpát okozhat. A LED-kompatibilis készülék kiválasztása és a gyártó által előírt minimális terhelés ellenőrzése kötelező. **(ellenőrizendő: LED-kompatibilitási adat)**

16.3.8. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a lépcsőházi automata minden nyomógomb-impulzusra vált?

2. Miért kell a nyomógombokat párhuzamosan kötni?

3. Mi a különbség a bekapcsolási és a kikapcsolási késleltetésű időrelé között?

4. Milyen terhelési sajátossága van az izzólámpának a bekapcsolás pillanatában?

5. Miért használnak impulzusrelét több nyomógombos központi világításhoz?

6. Mi lehet az oka, ha kikapcsolt lépcsőházi automata után a LED-lámpa halványan világít?

16.3.9. Feladatok

1. feladat (A)
Magyarázd el a lépcsőházi automata és az impulzusrelé közötti működési különbséget.

2. feladat (A)
Számítsd ki 6 db, egyenként 9 W-os LED-lámpa üzemi áramát 230 V hálózati feszültségen.

3. feladat (B)
Egy lépcsőházi világításhoz 10 db, egyenként 75 W-os izzót szerelnek. Számítsd ki az üzemi áramot, és becsüld meg a bekapcsolási csúcsáramot 10-szeres szorzóval. Mondd el, miért fontos ez a készülék kiválasztásánál.

4. feladat (B)
Írd le szövegesen vagy készíts kapcsolási rajzot egy impulzusreléhez, amelyet négy nyomógomb és két párhuzamos lámpa vezérlésére használnak.

5. feladat (C)
Egy lépcsőházban a LED-lámpák kikapcsolt állapotban halványan villognak. Sorold fel a lehetséges okokat, a mérési lehetőségeket és a megoldást.

6. feladat (D)
A gyakorlópanelen a feszültségmentes ellenőrzés során a következő értékeket méred: nyomógomb megnyomva 0,3 Ω, a tekercs ellenállása 2,4 kΩ, a záróérintkező behúzott állapotban 0,4 Ω, nyitott állapotban szakadás. Értékeld a mérési eredményeket. Melyik alkatrész lenne hibás, ha a záróérintkező behúzott állapotban több ohmot mutatna?

16.3.10. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A lépcsőházi automata a nyomógomb-impulzusra bekapcsol, és beállított idő után lekapcsol. Az impulzusrelé vált minden nyomógomb-impulzusra.
2. Azért, mert elég, ha bármelyik gomb bezár. A párhuzamos kapcsolás logikai VAGY-kapcsolatot hoz létre.
3. A bekapcsolási késleltetésnél a jel megjelenése után késleltetve húz be az érintkező. A kikapcsolási késleltetésnél a jel megszűnése után az érintkező a beállított ideig még behúzva marad.
4. A hideg izzószál ellenállása kicsi, ezért a bekapcsolási áram a névleges áram többszöröse lehet.
5. Mert a nyomógombok párhuzamosan köthetők, és a főáramot a relé érintkezője kapcsolja, nem a gombok.
6. Túl kis terhelés, a LED-ek érzékenysége, a készülék szivárgó árama vagy nem LED-kompatibilis készülék. A megoldás általában LED-kompatibilis készülék beépítése vagy a gyártó szerinti terhelőelem alkalmazása.

1. feladat megoldása
A lépcsőházi automata időzített kikapcsolást végez: a gomb megnyomására bekapcsol, az idő lejárta után kikapcsol. Az impulzusrelé nem időzít: minden gombnyomásra ellentétes állapotba vált, tehát be-, majd ki-, majd újra bekapcsol.

2. feladat megoldása
Adott: $n = 6$, $P_1 = 9\,\mathrm{W}$, $U = 230\,\mathrm{V}$.
Keresett: I.

$$P = nP_1 = 6 \cdot 9\,\mathrm{W} = 54\,\mathrm{W},$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{54\,\mathrm{W}}{230\,\mathrm{V}} = 0{,}235\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: a LED-ek üzemi árama kicsi, ez a gyakorlati nagyságrend reális. Ez $\cos\varphi = 1$ feltételezésével adódik; LED-meghajtónál a teljesítménytényező kisebb (például 0,9 → 0,26 A, 0,5 → 0,47 A – a gyártói adat szerint), ezért a tényleges áram ennél nagyobb.

3. feladat megoldása
Adott: $n = 10$, $P_1 = 75\,\mathrm{W}$, $U = 230\,\mathrm{V}$.
Keresett: I és a becsült bekapcsolási csúcsáram.

$$P = 10 \cdot 75\,\mathrm{W} = 750\,\mathrm{W},$$

$$I = \frac{750\,\mathrm{W}}{230\,\mathrm{V}} = 3{,}26\,\mathrm{A}.$$

A 10-szeres becslés szerint:

$$I_{\mathrm{csúcs}} \approx 10 \cdot 3{,}26\,\mathrm{A} = 32{,}6\,\mathrm{A}.$$

Fontos, mert a kapcsolóérintkezőnek a bekapcsolási csúcsot is el kell viselnie. Az izzóterhelésre a gyártó általában kisebb megengedett terhelést ad, mint az ellenállásos vagy LED-es terhelésre. **(ellenőrizendő: a készülék gyártói adatai)**

4. feladat megoldása
A rajz felépítése: az L felső buszról a négy nyomógomb párhuzamosan leágazik, majd közös vezetéken a tekercs A1 kapcsára megy, az A2 az N-re, az N alsó buszra. A főáramkörben az L buszról a K1 záróérintkező egyik kapcsa, a másik kapcsáról a két párhuzamos lámpa, a lámpák másik oldala az N buszra. A nyomógombok párhuzamosak, a lámpák párhuzamosak.

5. feladat megoldása
Lehetséges okok: a régi készülék nem LED-kompatibilis, a LED-ek összteljesítménye a minimális terhelés alatt van, a készülék szivárgó árama vagy maradékfeszültsége miatt a LED meghajtók halványan működnek. Mérés: kikapcsolt állapotban meg kell mérni a lámpakapcsokon a feszültséget vagy a szivárgó áramot, és ellenőrizni a gyártói adatokat. Megoldás: LED-kompatibilis készülék használata, terhelés növelése vagy a gyártó által javasolt terhelőelem beépítése. **(ellenőrizendő: a konkrét készülék mérési és terhelési adatai)**

6. feladat megoldása
A mért értékek megfelelők: a nyomógomb zárt állapotban 0,3 Ω, a tekercs 2,4 kΩ, a záróérintkező

behúzva 0,4 Ω, nyitva szakadás. Ha a behúzott záróérintkező több ohmot mutatna, az érintkezőfelület szennyezett, égett vagy kopott lenne, ami melegedést és hibás kapcsolást okozna. A mérést kizárólag feszültségmentes állapotban végezheted el.

16.3.11. Rövid összefoglaló

A lépcsőházi automata a nyomógomb impulzusra bekapcsolja a világítást, és beállított idő után lekapcsolja. A nyomógombokat párhuzamosan kötik, hogy bármelyik gomb önállóan vezérelhessen. Az impulzusrelé ezzel szemben időzítés nélkül, minden nyomógomb-impulzusra vált, ezért többpontos központi világításhoz alkalmas. Az időrelé ennél általánosabb készülék: bekapcsolási, kikapcsolási, lépcsőházi vagy villogó funkcióval késlelteti az érintkezők kapcsolását. A szerelőnek mindig el kell különítenie a kis áramú vezérlő áramkört a lámpákat tápláló főáramkörtől. A készülék kiválasztásakor figyelembe kell venni az izzólámpák bekapcsolási áramcsúcsát, a LED-ek minimális terhelési követelményét és a LED-kompatibilitást. Hálózati feszültségen csak jogosult személy dolgozhat, a gyakorlati bekötést feszültségmentes állapotban, az öt biztonsági szabály szerint kell elvégezni. A relé- és időzítési logikát továbbvisszük az Intelligens épület: tervezés, üzembe helyezés, energiahatékonyság és a Világítási áramkörök építése: egypólusú, váltó, kereszt alfejezetekbe.

16.4. Aljzatkörök és fogyasztói csatlakozások, nedves helyiségek

Egy lakásfelújítás során a szerelő nemcsak azt dönti el, hogy hová kerüljön aljzat, hanem azt is, hogy hány aljzat kapcsolódhat egyetlen áramkörre, mekkora vezeték és mekkora védő tartozik elé, és hogy az adott helyiségben – konyha, fürdőszoba, terasz, pince – milyen kiegészítő védelmi szabályok érvényesek. A rossz tervezés két tipikus következménye: a kismegszakító állandó leoldása, vagy ami rosszabb, a vezeték tartós túlterhelése, ami melegedést, szigeteléskárosodást és tűzveszélyt okoz. Ebben az alfejezetben az aljzatköröket, a nagyobb fogyasztók csatlakoztatását és a nedves, illetve kültéri helyiségek különleges követelményeit járjuk körbe, a Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők alfejezetben tanult $I_b \le I_n \le I_z$ lánc alkalmazásával.

16.4.1. Aljzatkörök száma és terhelése

Motiváció. Nincs értelme minden aljzatot egyetlen 16 A-es körre kötni, ha a nappaliban egyszerre üzemel a porszívó és a hősugárzó; viszont az sem jó, ha minden szobához külön vastag vezetéket húzunk felesleges többletköltséggel. A gyakorlatban a helyiségek használati módjából és a várható fogyasztókból indulunk ki.

Szabály. Az aljzatkörök számát a szabvány nem rögzíti fix darabszámként; a tervezésnek azt kell biztosítania, hogy a várható egyidejű terhelés egyetlen körön se haladja meg a védőkészülék névleges áramát, és a védőkészülék névleges árama a vezeték terhelhetőségénél ne legyen nagyobb. Lakossági környezetben a legelterjedtebb megoldás: 16 A-es B jelleggörbéjű kismegszakító, 2,5 mm^2 rézvezeték, és legfeljebb 30 mA hibaáramú áram-védőkapcsoló. Tervezési gyakorlat szerint egy általános aljzatkörre jellemzően 6–10 aljzat köthető, de ezt a tényleges terhelés dönti el **(ellenőrizendő: a konkrét létesítési gyakorlat és az áramkörök számának előírása a hatályos MSZ HD 60364 sorozatban)**.

Számítás – nappali aljzatkör terhelése.
Tegyük fel, hogy a nappaliban a következő fogyasztókat kívánják egyszerre használni:

- hősugárzó: 2000 W,

- porszívó: 1600 W,
- televízió: 150 W,
- laptop: 90 W,
- állólámpa: 60 W.

Az összes üzemi teljesítmény:

$$P_b = 2000 + 1600 + 150 + 90 + 60 = 3900\,\text{W}.$$

Egyfázisú, 230 V-os körön az üzemi áram:

$$I_b = \frac{P_b}{U_f} = \frac{3900\,\text{W}}{230\,\text{V}} \approx 17{,}0\,\text{A}.$$

Ez nagyobb, mint a 16 A-es kismegszakító névleges árama, tehát egyetlen aljzatkör nem elég. Osszuk két körre:

- **A kör:** hősugárzó 2000 W+ televízió 150 W = 2150 W, ebből

$$I_{bA} = \frac{2150}{230} = 9{,}35\,\text{A}.$$

- **B kör:** porszívó 1600 W+ laptop 90 W+ lámpa 60 W = 1750 W, ebből

$$I_{bB} = \frac{1750}{230} = 7{,}61\,\text{A}.$$

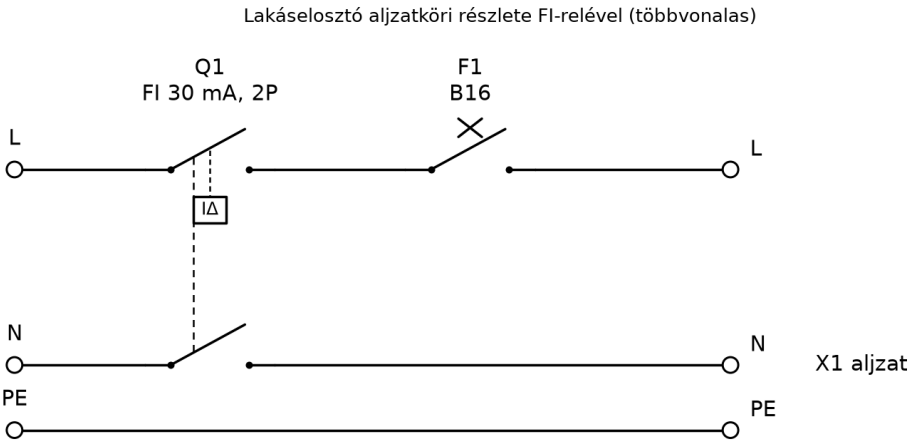
Mindkét körhöz 2,5 mm^2 rézvezetéket és B16 kismegszakítót választunk. A vezeték terhelhetősége például falba süllyesztett védőcsőben, egyerű PVC-szigetelésű rézvezetőkkel (B1) $I_z \approx 24$ A (lásd a Vezetékek és kábelek szerelési módjai alfejezetet; **ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52**; csoportosítási vagy hőmérsékleti tényezővel ez csökkenhet). Ellenőrizzük az $I_b \le I_n \le I_z$ láncot:

$$9{,}35\,\text{A} \le 16\,\text{A} \le 24\,\text{A}, \qquad 7{,}61\,\text{A} \le 16\,\text{A} \le 24\,\text{A}.$$

A választás mindkét körre megfelel.

Továbbvitt eredmény. Az $I_b \le I_n \le I_z$ méretezési láncot és a korrigált I_z meghatározását az aljzatkörök után a Csatlakozás a közcélú hálózathoz, mérőhely alfejezetben a mérőhely és a fővezeték méretezésénél is használjuk.

Az aljzatkörök védelmét szemlélteti a következő ábra:



16.8. ábra. Lakáselosztó aljzatköri részlete FI-relével (többvonalas) - Egyfázisú aljzatkör: Q1 kétpólusú, 30 mA-es áram-védőkapcsoló (egy készülék; az L-pólusánál a kioldó/IΔn jel, az N-pólusa közös működtetésű érintkező; az L és az N is áthalad rajta), F1 B16 kismegszakító az L-ben, X1 földelt aljzat L, N és PE kapoccsal. A PE nem megy át a FI-n, közvetlenül a PE-sínről jut az aljzatra. Szemléltető rajz, nem kivitelezési terv.

Az ábrán felül az L fázisvezető: a betáplálás után a kétpólusú, 30 mA-es Q1 FI-relé, majd az F1 B16 kismegszakító következik, és innen megy a vezeték az X1 aljzat L kapcsára. Az N vezető is átmegy a Q1 FI-relén (csak így érzékelheti az L és az N áramának különbségét), majd az aljzat N kapcsára jut. A PE nem halad át a FI-n: a PE gyűjtősínről közvetlenül az aljzat védőérintkezőjére csatlakozik.

Szabvány. Az MSZ HD 60364-4-41 szerint a legfeljebb 32 A névleges áramú, általános használatra szolgáló csatlakozóaljzatokat kiegészítő védelemként legfeljebb 30 mA névleges hibaáramú áram-védőkapcsolóval kell védeni. Ez a kiegészítő védelem nem helyettesíti az alapvédelmet és a hibavédelmet. A pontos alkalmazási feltételeket a hatályos szabványkiadás tartalmazza **(ellenőrizendő: a szabvány aktuális szakasza és az RCD-követelmény)**.

16.4.2. Nagyfogyasztók csatlakozása

A lakossági elosztóban a nagyfogyasztóknak általában saját áramkört alakítanak ki, hogy a meghibásodás vagy túlterhelés ne üsse ki a többi aljzatot és világítást.

Tűzhely (villanytűzhely).
A tűzhelyek egyfázisú és háromfázisú csatlakozással is készülnek.

- **Egyfázisú tűzhely:** névleges teljesítmény például 3,6 kW. Az üzemi áram:

$$I_b = \frac{3600}{230} = 15{,}7\,\text{A}.$$

$I_b = 15{,}7\,\text{A} \le I_n = 20\,\text{A} \le I_z$, tehát $I_z \ge 20\,\text{A}$ szükséges (2,5 mm² rézvezetékkel a szerelési módtól függően teljesülhet, ellenőrizendő). Az üzemi áram a 16 A-es aljzatkör névleges áramához közeli tartós terhelés, ezért önálló kört kap.

- **Háromfázisú tűzhely:** névleges teljesítmény például 7,2 kW, szimmetrikus háromfázisú terhelésnek feltételezve a fázisáram:

$$I_b = \frac{P_b}{\sqrt{3}\,U_v} = \frac{7200}{\sqrt{3}\cdot 400} \approx 10{,}4\,\text{A}.$$

  Ilyenkor 3×16 A-es kismegszakító és 2,5 mm^2 rézvezető szokásos, ha a szerelési mód I_z értéke elég.

Bojler (vízmelegítő).
Egy 2 kW-os bojler üzemi árama:

$$I_b = \frac{2000}{230} = 8{,}7\,\text{A}.$$

Önálló körként 10 A-es B kismegszakító és legalább 1,5 mm^2 rézvezeték választható, feltéve, hogy a vezeték korrigált terhelhetősége legalább 10 A ($I_b = 8{,}7\,\text{A} \le I_n = 10\,\text{A} \le I_z$). Gyakorlatban a bojlerkört is gyakran 2,5 mm^2 vezetékkel alakítják ki, és 30 mA-es RCD-vel védik.

Klíma.
A klímaberendezések saját kört kapnak, mert a kompresszor indítási árama rövid időre többszöröse is lehet az üzemi áramnak. Egy készülék hűtőteljesítménye például 2,5 kW, a felvett villamos teljesítménye 0,9 kW. Az üzemi áram:

$$I_b = \frac{900}{230} = 3{,}9\,\text{A}.$$

A névleges áram kicsi, de a bekapcsolási csúcs miatt 16 A-es B kismegszakítót és 2,5 mm^2 vezetéket alkalmaznak. Ha a klíma csatlakozóaljzaton keresztül táplált, akkor a 30 mA-es RCD-védelem is szükséges.

Mosógép, mosogatógép.
Ezek a fogyasztók általában 16 A-es saját kört igényelnek 2,5 mm^2 vezetékkel, és mivel víz közelében üzemelnek, 30 mA-es RCD-vel védettek. A nedves helyiségben való elhelyezésük további zónaszabályokat hoz be, amelyeket a következő szakasz tárgyal.

16.4.3. Nedves helyiségek: fürdőszoba zónák

A fürdőszoba és a zuhanyzó különleges helyiség, mert a víz csökkenti a bőr ellenállását, és a nedves környezetben a hibás szerelvény közvetlen életveszélyt jelenthet. Ezért a szabvány külön zónákat határoz meg, és azokban korlátozza a villamos szerelvények feszültségét és védettségét.

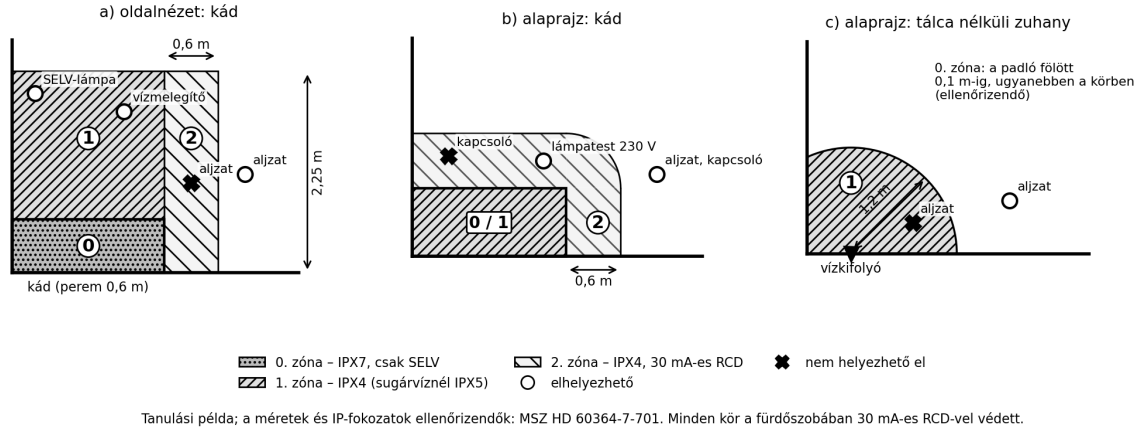
Szabvány. Az MSZ HD 60364-7-701 jelű, fürdő- és zuhanyzóhelyiségekre vonatkozó szabvány zónabeosztást és IP-védettségi követelményeket ír elő. Az itt bemutatott zónahatárok, távolságok és védettségi fokozatok tájékoztató jellegűek; mindig a hatályos kiadás szerint kell ellenőrizni.

A leggyakrabban használt zónabeosztás:

- **0. zóna:** a kád vagy zuhanytálca belső térfogata. Ide csak törpefeszültségű (SELV), legfeljebb 12 V váltakozó vagy 30 V egyenfeszültségű rendszer helyezhető, és a tápegységnek a zónán kívül kell lennie. A szerelvény védettsége IPX7.

- **1. zóna:** a kád vagy zuhanytálca függőleges vetülete fölött, a kész padlószinttől 2,25 m magasságig (ha a rögzített zuhanyfej ennél magasabban van, annak síkjáig) **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701 aktuális kiadás)**; tálca nélküli zuhanynál a vízkifolyótól mért jellemzően 1,2 m sugarú körben (ellenőrizendő). Itt általában csak SELV, illetve vízmelegítő készülék helyezhető el, megfelelő IPX4 védettséggel.
- **2. zóna:** az 1. zónán kívül további 0,6 m távolságig, szintén a kész padlószinttől mért 2,25 m magasságig. Itt a szabvány szerint engedett, legalább IPX4 védettségű rögzített szerelvények és készülékek helyezhetők el, 30 mA-es RCD-vel védett körről; **dugaszolóaljzat a 2. zónában sem helyezhető el** (kivéve a szabvány szerinti borotva-csatlakozó egységet; ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701 aktuális kiadás).
- **Zónákon kívül:** 230 V-os csatlakozóaljzatok csak a zónákon kívül helyezhetők el, és ezeket is 30 mA-es RCD-vel kell védeni. Egyes nemzeti szabályozások az aljzatot az 1. zóna határától még vízszintesen is távolabb (például 3 m-re) tartják **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701 aktuális kiadás és a hazai eltérések; kis fürdőszobában a tervezővel egyeztess)**. A szerelvény védettsége IPX4 vagy magasabb, ha vízpermet érheti.

Az alábbi ábra a zónákat kád mellett oldalnézetben (a) és alaprajzon (b), valamint tálca nélküli zuhanynál alaprajzon (c) mutatja. Kádnál a 0. zóna a kád belseje, az 1. zóna a kád fölött a kész padlószinttől mért 2,25 m magasságig tart, a 2. zóna a kád szélétől további 0,6 m-ig (1,7 m-es kádnál a faltól 2,3 m-ig). A körrel jelölt helyeken a szerelvény elhelyezhető (SELV-lámpa és rögzített vízmelegítő az 1. zónában, 230 V-os lámpatest a 2. zónában), a kereszttel jelöltekben nem: aljzat és kapcsoló csak a zónákon kívülre kerülhet. Tálca nélküli zuhanynál az 1. zóna a rögzített vízkifolyótól mért 1,2 m sugarú térrész **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701)**.



16.9. ábra. Fürdőszobai zónák oldal- és alaprajzon a megengedett szerelvényekkel

Az interaktív változatban kád, zuhanytálca vagy tálca nélküli zuhany választható; az aljzatot, lámpatestet, SELV-lámpát, kapcsolót vagy vízmelegítőt kattintással elhelyezve az oldal kiírja a zónát, azt, hogy a szerelvény ott elhelyezhető-e, és milyen IP-fokozat, illetve RCD-védelem kell hozzá.

A fürdőszobai aljzatoknál a helyes gyakorlat az, hogy az aljzatot a mosdókagylótól és zuhanyzótól minél távolabb, a 2. zónán kívülre teszik, saját RCD-s körre, és a szerelvény IP44-es vagy magasabb védettségű. A pontos zónahatárokat a szabvány aktuális kiadása adja meg.

Megjegyzés. A zónahatárok értelmezésekor a kád vagy zuhanytálca széleitől kell mérni; a falra szerelt zuhanyfej esetén a vízsugár által elért térrész is a besorolást befolyásolja. Ezt mindig a tervben és a gyártói adatlapokkal együtt kell ellenőrizni.

16.4.4. Kültéri és pincei aljzatok

Kültéren, teraszon, kertben és pincében az aljzatok fokozott nedvesség- és mechanikai hatásnak vannak kitéve, ezért:

- kötelező a 30 mA-es RCD-védelem,
- a szerelvény védettsége legalább IP44, kültéren gyakran IP55,
- a vezetéket vízelvezetéssel, törés nélküli védőcsőben, illetve az adott szerelési módnak megfelelően kell fektetni,
- fém vagy nedves felületek közelében az egyenpotenciálra hozást is ellenőrizni kell.

A kültéri aljzat saját körön általában 16 A-es B kismegszakítóval és 2,5 mm^2 rézvezetékkel készül, a fedél pedig zárt állapotban is biztosítja a csepegő víz elleni védelmet.

16.4.5. Valós életbeli alkalmazás

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Egy fürdőszobafelújítás során a szerelő 230 V-os aljzatot helyezett el a mosdókagyló fölött, közvetlenül a 2. zónán belülre, IP20-as szerelvénnyel, és nem védte RCD-vel. A felülvizsgálaton a mérnök megállapította, hogy az aljzat nem felel meg a zónabeosztásnak és a védettségi követelménynek, mert vízpermet érheti, és hiányzik az áram-védőkapcsolós kiegészítő védelem. A javítás az aljzat áthelyezése a 2. zónán kívülre, IP44-es szerelvény beépítése és saját 30 mA-es RCD-kör kialakítása volt. A tanulság: a fürdőszobai szerelvények esetében először a zónát kell meghatározni, és csak azután lehet kiválasztani a szerelvényt.

16.4.6. Tipikus hibák

1. **Túlméretezett kismegszakító a vezetékhez képest.** Ha a szerelő 16 A-es kismegszakító helyett 25 A-est tesz fel 1,5 mm^2-es vezetékre, akkor $I_n > I_z$, és a vezeték túlterheléskor túlmelegszik, mert a védelem nem old le időben.
2. **Minden aljzat egyetlen körön.** Az egyidejű fogyasztók összegzett árama meghaladja a 16 A-t, ezért a kismegszakító gyakran leold, és a felhasználó bosszankodik, mert a hűtő is leáll.
3. **Fürdőszobai aljzat RCD nélkül vagy rossz IP védettséggel.** A zónába nem megfelelő IP20-as szerelvény és RCD hiánya életveszélyes hibás készüléknél, mert a hibaáram nem kapcsolja le az áramkört.
4. **Kültéri aljzat RCD nélkül.** A kertben használt fűnyíró vagy elektromos szerszám meghibásodásakor a hibaáram a nedves talajon át zárhat, és RCD nélkül nem történik meg a lekapcsolás.
5. **Tűzhely egyfázisú betáplálása a háromfázisú tűzhely helyett.** A nagyobb teljesítményű tűzhely egy fázisra kötése túlterhelést okoz, és a vezeték, valamint a mérőhely túlmelegszik; mindig az adattábla és a terv szerint kell bekötni.

16.4.7. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy lakossági aljzatköröket mindig legfeljebb 30 mA névleges különbözeti áramú RCD-vel kell védeni? Indokold!

2. Egy aljzatkörre 8 db aljzat van kötve. A kör üzemi árama 19 A. Megfelel-e a 16 A-es kismegszakító? Miért?
3. Mi a feltétele annak, hogy egy 2,5 mm²-es, B20-as kismegszakítóval védett tűzhelykört megfelelőnek tekintsünk?
4. Fürdőszobában melyik zónában helyezhető el 230 V-os aljzat, és milyen feltételekkel?
5. Kültéri aljzathoz miért kell RCD?
6. Mit jelent az $I_b \le I_n \le I_z$ lánc?

A válaszokat lásd a Megoldások szakasz elején.

16.4.8. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel, hogy egy általános lakószobai aljzatkörhöz milyen védelmi és vezetékparaméterek tartoznak jellemzően.

2. feladat (A). Egy bojler névleges teljesítménye 2,4 kW. Számítsd ki az üzemi áramot 230 V-on.

3. feladat (B). Egy háromfázisú tűzhely adattáblája: $U_n = 3 \times 400\,\text{V}$, $P_n = 8{,}3\,\text{kW}$. Feltéve, hogy a terhelés szimmetrikus, számítsd ki a vonali (fázis-) áramot.

4. feladat (B). Rajzold le egyszerű, egyvonalas kapcsolási rajzon a konyhai aljzatkör elosztói részletét: FI-relé (30 mA), B16 kismegszakító, aljzat. A rajz tartalmazzon L, N és PE jelölést a szöveg szintjén.

5. feladat (C). Egy kültéri aljzatkört terveznek 16 A-es B kismegszakítóval és 2,5 mm² rézvezetékkel. A kábel a falon rögzítve fut (C módszer), referencia-terhelhetősége 27 A (PVC, két terhelt ér; lásd a Vezetékek és kábelek szerelési módjai alfejezet diagramját; ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52), a környezeti hőmérséklet-javító tényező $k_1 = 0{,}87$, a csoportosítási tényező $k_2 = 0{,}8$, a hőszigetelés-javító tényező $k_3 = 1$. Számítsd ki a korrigált I_z értéket, és döntsd el, hogy megfelel-e a 16 A-es védelem.

6. feladat (D). Fürdőszobában egy aljzat a mosdókagyló mellett, a 2. zónában van. A kivitelező IP20-as aljzatot tett fel, és nem védte RCD-vel. Írd le, milyen hibát találtak a felülvizsgálaton, és mi a helyes javítás.

16.4.9. Megoldások

16.4.9.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igen, a legfeljebb 32 A névleges áramú, általános használatú csatlakozóaljzatokra kiegészítő védelemként 30 mA-es RCD-t kell előírni. Ez védi a felhasználót közvetlen érintés és földzárlat esetén.
2. Nem felel meg, mert az üzemi áram 19 A, nagyobb, mint a 16 A-es kismegszakító névleges árama, tehát a védelem normál üzemben is leoldana.
3. $I_b \le 20\,\text{A} \le I_z$ kell, azaz a vezeték korrigált terhelhetősége legalább 20 A legyen, és a tűzhely üzemi árama ne haladja meg a 20 A-t.
4. Egyik zónában sem; 230 V-os aljzat csak a zónákon kívül, 30 mA-es RCD-vel, vízpermetnek kitett helyen legalább IPX4 védettséggel helyezhető el (az 1. zóna határától számított további távolságkövetelmény ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701 aktuális kiadás).
5. Mert a nedves, földelt környezetben a hibaáram nagy lehet, és RCD nélkül az érintési feszültség nem kapcsolódik le időben; a 30 mA-es RCD a többletvédelmet biztosítja.

6. Ez a túlterhelés elleni védelem alapfeltétele: az üzemi áram nem haladhatja meg a védőkészülék névleges áramát, és a védőkészülék névleges árama nem haladhatja meg a vezeték terhelhetőségét.

16.4.9.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A).
Általános lakószobai aljzatkör: 16 A-es B kismegszakító, 2,5 mm^2 rézvezeték, 30 mA-es RCD, N és PE vezetők. A kör jellemzően 6–10 aljzatot tartalmaz, a tényleges terheléstől függően.

2. feladat (A).
Adott: $P_b = 2400\,\mathrm{W}$, $U_f = 230\,\mathrm{V}$. Képlet: $I_b = \frac{P_b}{U_f}$.
Behelyettesítve:

$$I_b = \frac{2400}{230} = 10{,}4\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: $2400/230 \approx 10{,}43$, tehát a 10 A-es védő kevés lenne, 16 A-es szükséges.

3. feladat (B).
Adott: $P_n = 8300\,\mathrm{W}$, $U_v = 400\,\mathrm{V}$, háromfázisú szimmetrikus. Képlet: $I_v = \frac{P_n}{\sqrt{3}\,U_v}$.
Behelyettesítve:

$$I_v = \frac{8300}{\sqrt{3}\cdot 400} = \frac{8300}{692{,}8} \approx 12{,}0\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: $\sqrt{3}\cdot 400 \approx 692{,}8$, az eredmény 12 A, ami elég egy 16 A-es kismegszakítóhoz.

4. feladat (B).
A rajzot a fenti kapcsolási rajz mutatja. Egyvonalas rajzon az elosztótól az aljzatig egy vonal fut, rajta három ferde vonás (L, N, PE). A vonalon sorban a Q1 FI (2P, 30 mA, a jel mellett „2” a pólusszám), az F1 B16 kismegszakító és az X1 aljzat rajzjele áll; a PE a FI-t és a kismegszakítót nem érinti – ezt a fenti többvonalas rajz részletezi. Az egyvonalas leírás: L – FI-relé (30 mA) – B16 kismegszakító – aljzat; az N és PE vezetők az aljzathoz külön érkeznek. A szöveges leírás: az elosztóban az L fázist a FI-relén átvezetve kötjük a B16 kismegszakító bemenetére, majd a kimenetről az aljzat L kapcsára. Az N a FI-relé N kapcsán át az aljzat N kapcsára, a PE közvetlenül a PE gyűjtősínről az aljzat védőérintkezőjére megy.

5. feladat (C).
Adott: $I_{\text{alap}} = 27\,\mathrm{A}$, $k_1 = 0{,}87$, $k_2 = 0{,}8$, $k_3 = 1$.
Képlet: $I_z = I_{\text{alap}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$.
Behelyettesítve:

$$I_z = 27 \times 0{,}87 \times 0{,}8 \times 1 \approx 18{,}8\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: $27 \times 0{,}87 = 23{,}49$, majd $23{,}49 \times 0{,}8 \approx 18{,}8$.
A 16 A-es kismegszakító névleges árama kisebb, mint $I_z \approx 18{,}8\,\mathrm{A}$, tehát a védelmi lánc megfelelő, ha az üzemi áram sem haladja meg a 16 A-t.

6. feladat (D).
A felülvizsgálaton az alábbi hibák láthatók: aljzat van a 2. zónában, ahol dugaszolóaljzat nem helyezhető el; ezen felül IP20-as a szerelvény (legalább IPX4 kell), és hiányzik a 30 mA-es RCD-védelem. Vízpermet érheti a csatlakozóaljzatot, és földzárlat esetén nem történik meg a kiegészítő lekapcsolás. A helyes javítás: az aljzat áthelyezése a 2. zónán kívülre, IPX4 vagy magasabb védettségű szerelvény beépítése, és az áramkör ellátása saját 30 mA-es RCD-vel.

16.4.10. Rövid összefoglaló

Az aljzatkörök tervezésénél a várható egyidejű terhelésből indulunk ki, és minden körre ellenőrizzük az $I_b \leq I_n \leq I_z$ láncot. Általános lakossági aljzatkörhöz 16 A-es B kismegszakító, 2,5 mm^2 rézvezeték és 30 mA-es RCD tartozik; a nagyfogyasztók (tűzhely, bojler, klíma, mosógép) saját kört kapnak. Fürdő- és zuhanyzóhelyiségekben a zónák (0., 1., 2.) és az IP-védettségek határozzák meg, hol és milyen szerelvény helyezhető el; 230 V-os aljzat a 2. zónán kívül, 30 mA-es RCD-vel és megfelelő védettséggel telepíthető. Kültéri és pincei aljzatoknál ugyancsak kötelező az RCD-védelem. **Továbbvitt eredmény.** Az aljzatkörök vezeték- és védelemválasztását, valamint az $I_b \leq I_n \leq I_z$ láncot a Csatlakozás a közcélú hálózathoz, mérőhely alfejezetben a mérőhely és a fővezeték méretezésénél alkalmazzuk.

16.4.11. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezetben hivatkozott szabványok az MSZ HD 60364 sorozat, elsősorban az MSZ HD 60364-4-41 (kiegészítő védelem), az MSZ HD 60364-7-701 (fürdő- és zuhanyzóhelyiségek) és az MSZ HD 60364-5-52 (vezetékek terhelhetősége). A zónahatárok, az IP-védettségek, a vezeték-terhelhetőségi értékek, a javítótényezők és az RCD-követelmények a szabvány aktuális kiadásától függnek; az itt szereplő számértékek tanulási példák, és üzemeltetés vagy tervezés előtt ellenőrizni kell a hatályos szabványt és a gyártói adatlapokat.

17 Elosztók, mérőhely és csatlakozás

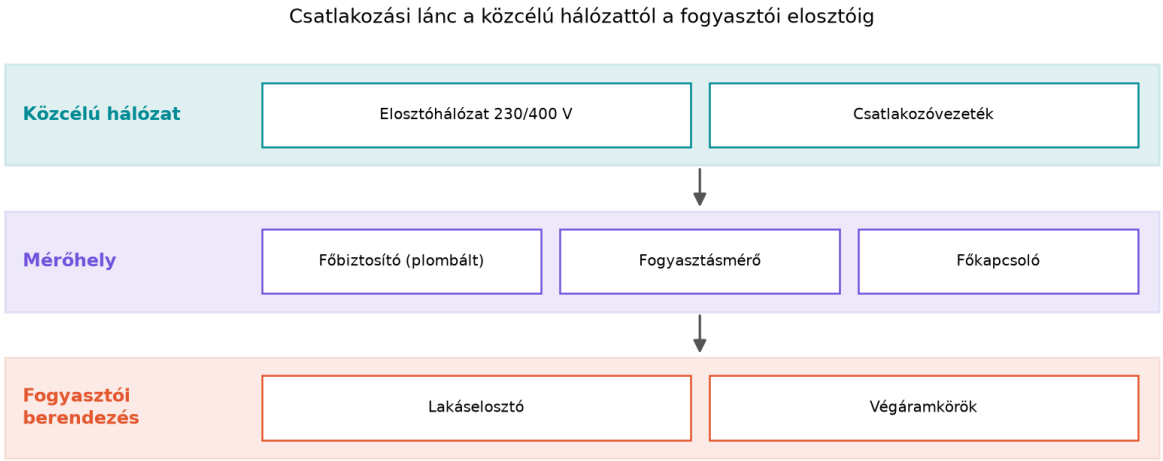
17.1. Csatlakozás a közcélú hálózathoz, mérőhely

17.1.1. Motiváció: miért fontos a mérőhely?

Ha egy családi ház villanyszerelését építed, hiába szereled fel a lakáselosztót, a dugaszoló aljzatokat és a világítást, amíg az épületet nem csatlakoztatják a közcélú 230/400 V-os hálózathoz. A hálózati engedélyes soha nem fogja „bekötni az órát” egy kérésre, hanem megvizsgálja a mérőhely kialakítását, a csatlakozóvezetéket és a fogyasztói hálózatot. A mérőhely az a határfelület, ahol a szolgáltató és a fogyasztó felelőssége találkozik. Ha a mérőhely nem felel meg, az áramszolgáltatás nem indul el, és a villanyszerelővel szemben is megrendül a bizalom. Ezért pontosan kell ismerned az elosztóhálózat, a csatlakozóvezeték, a főbiztosító, a mérő és a főkapcsoló sorrendjét, valamint a plombálás szerepét.

17.1.2. Szemléletes kép: a csatlakozási lánc

Az alábbi rétegábra a közcélú hálózattól a lakáselosztóig mutatja a teljes csatlakozási láncot. A mérőhelyen belül a mérő előtti rész a hálózati engedélyes plombált területe, a mérő utáni főkapcsoló pedig már a fogyasztóé.



17.1. ábra. Csatlakozási lánc a közcélú hálózattól a fogyasztói elosztóig - A mérőhelyen belül a mérő előtti rész a hálózati engedélyes plombált része, a mérő utáni főkapcsoló már a fogyasztóé. Az ábra szemléltető, a pontos kialakítást a helyi hálózati engedélyes határozza meg.

A rétegábra szemlélteti: a hálózati oldalról érkező csatlakozóvezeték a mérőhelybe lép, ahol először a főbiztosító, majd a fogyasztásmérő, utána a fogyasztói főkapcsoló, végül a fogyasztói elosztó felé a fővezeték következik. A mérő előtti részt a hálózati engedélyes plombálja, mert ott

a fogyasztó nem avatkozhat be. A mérő után következő részt a fogyasztó szerelője alakíthatja ki, de a fővezetéknek is védelemmel ellátottnak kell lennie.

17.1.3. Fogalmak: elosztóhálózat, csatlakozóvezeték, főbiztosító, mérő

Definíció. A **közcélú elosztóhálózat** a hálózati engedélyes által üzemeltetett kisfeszültségű villamos hálózat, amely a fogyasztókhoz eljuttatja az energiát. Magyarországon a hálózati feszültség névleges értéke egyfázisú körben $U_0 = 230\,\mathrm{V}$, háromfázisú körben vonali feszültség $U_v = 400\,\mathrm{V}$, frekvenciája $f = 50\,\mathrm{Hz}$.

Definíció. A **csatlakozóvezeték** (gyakran „bekötő vezeték”) az elosztóhálózat azon szakasza, amely a közcélú hálózat csatlakozási pontjától a fogyasztási helyig, rendszerint a mérőhelyig vezet. A **csatlakozási pont** a közcélú hálózat és a csatlakozóvezeték határa; a csatlakozóvezeték a csatlakozási ponttól a felhasználási helyig (mérőhelyig) tart. A csatlakozóvezeték tulajdonjoga és kiépítésének költségviselése jogszabályfüggő **(ellenőrizendő: VET és az elosztói szabályzat hatályos szövege)**.

Definíció. A **fővezeték** a mérőhelytől (főkapcsolótól) a lakás- vagy épületelosztóig tartó fogyasztói vezeték.

Definíció. A **főbiztosító** a csatlakozóvezeték és a mérő közötti túláramvédelmi készülék. Feladata a fogyasztói hálózat és a mérő túláram-, elsősorban zárlatvédelme, valamint a hálózat védelme a fogyasztói oldalról visszaható hibákkal szemben. A főbiztosító értékét a hálózati engedélyes határozza meg a szerződött lekötött teljesítmény alapján, és azt a szolgáltató plombálja. A fogyasztó a főbiztosítót nem cserélheti, nem szerelheti ki, és nem avatkozhat bele.

Definíció. A **fogyasztásmérő** (energiamérő) az a mérőeszköz, amely a fogyasztó által vételezett villamos energiát integrálja, jellemzően kWh-ban. A mérő elve a Teljesítmény- és energiamérés, fogyasztásmérők alfejezetben már tárgyalt: a feszültség és az áram pillanatértékének szorzatát, vagyis a hatásos teljesítményt összegzi. Az elektronikus fogyasztásmérő a mérőállandó szerinti impulzusokat bocsát ki, és azokból származtatja a fogyasztást. A fogyasztásmérőt a hálózati engedélyes vagy az általa megbízott szolgáltató szereli fel, a mérésügyi törvény hatálya alá tartozik **(ellenőrizendő: hatályos mérésügyi jogszabály)**.

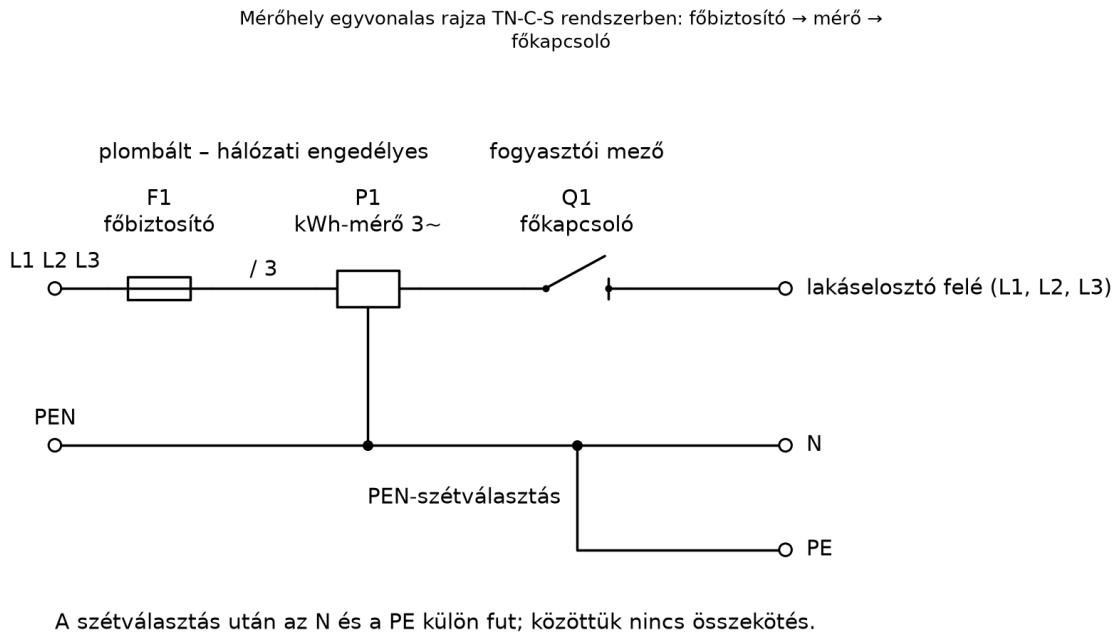
Definíció. A **mérőhely** a fogyasztásmérő, a mérőváltók, a főbiztosító és a csatlakozó vezetékek elhelyezésére szolgáló, illetéktelen hozzáféréstől védett, plombálható tér vagy szekrény. A mérőhely lehet önálló mérőszekrény, mérőfülke, épületben kialakított, zárható mérőhelyiség, vagy a hálózati engedélyes által elfogadott egyéb megoldás.

17.1.4. Mérőhely kialakítása: szekrény, főkapcsoló, sorrend, védelem

A mérőhelynek egyértelműen el kell különítenie a hálózati engedélyes és a fogyasztó területét. A mérőszekrényben a sorrend mindig a következő:

1. **Csatlakozóvezeték bevezetése** – a hálózati oldal, plombált.
2. **Főbiztosító** – plombált.
3. **Fogyasztásmérő** – plombált; egyfázisú vagy háromfázisú, esetenként áramváltóval.
4. **Főkapcsoló** – a fogyasztó oldalán, de gyakran a mérőszekrényben, plombálható vagy zárható részben.
5. **Fővezeték / lakáselosztó felé** – a fogyasztói oldal, ahol a túláramvédelmek és az áram-védőkapcsolók vannak.

A sorrendet egyvonalas kapcsolási rajzon az alábbi ábra mutatja. A felső vonal a három fázist jelöli (a „/ 3” jel szerint három vezető), az alsó a csatlakozóvezeték PEN-vezetőjét. Balról jobbra: F1 főbiztosító, P1 háromfázisú, közvetlen fogyasztásmérő (a fázisokra és a nullára kötve) – ez a kettő a plombált, hálózati engedélyesi zóna –, majd a fogyasztói mezőben a Q1 főkapcsoló és a lakáselosztó felé menő fővezeték. A PEN-t a szétválasztási ponton N-re és PE-re bontják, ettől kezdve a kettő külön fut.



17.2. ábra. Mérőhely egyvonalas rajza TN-C-S rendszerben: főbiztosító → mérő → főkapcsoló - Egyvonalas rajz: a felső vonal a három fázis (L1, L2, L3), az alsó a PEN. F1 háromfázisú főbiztosító és P1 háromfázisú, közvetlen fogyasztásmérő a plombált, hálózati engedélyesi zónában; Q1 főkapcsoló a fogyasztói mezőben. A PEN-t a hálózati engedélyes előírása szerinti ponton választják szét N-re és PE-re; ettől kezdve a kettő külön fut, és nem köthető össze. Tanulási példa (ellenőrizendő: a hálózati engedélyes műszaki feltételei).

Szabály. A fogyasztói főkapcsoló a mérő után, a fogyasztói oldalon helyezkedik el. Feladata, hogy a fogyasztói hálózatot egyetlen művelettel feszültségmentesíthessék, például karbantartáskor vagy vészhelyzetben. A főkapcsoló nem helyettesíti a túláramvédelmet; az elosztóban lévő kismegszakítók és védőkapcsolók külön védelmet adnak. A főkapcsoló névleges áramát a hálózati engedélyes által engedélyezett csatlakozási teljesítményhez igazítják.

Szabály. A mérőhelyet úgy kell kialakítani, hogy a fogyasztásmérőhöz és a plombált részekhez a fogyasztó ne férhessen hozzá a plomba megsértése nélkül. A mérést megkerülni tilos. A mérőszekrény általában:

- megfelelő mechanikai szilárdságú, zárható ajtóval,
- a környezeti hatásoknak megfelelő IP-védettséggel (pl. kültéren IP44 vagy magasabb, beltéren IP2X vagy magasabb, ellenőrizendő: hálózati engedélyes előírása),
- plombaelhelyezési lehetőséggel,
- megfelelő hűtéssel és szellőzéssel a mérő melegedése miatt,
- feliratozással (áramköri azonosítók, fázisjelölések, figyelmeztető jel).

Szabvány. A mérőhely kialakítására a hálózati engedélyes saját műszaki feltételei, a csatlakozási pontra vonatkozó elosztói szabályzat és a hatályos MSZ HD 60364 sorozat az irányadó. A fogyasztásmérőre, a mérőváltókra és a plombálásra a mérésügyi törvény előírásai is vonatkoznak. Az itt bemutatott méretek és sorrendek tanulási példák, amelyeket az aktuális hálózati engedélyesi előírásokkal ellenőrizni kell. **(ellenőrizendő: konkrét szabvány- és jogszabályhivatkozás, csatlakozási feltételek)**

A mérőszekrényben a vezetékek színjelölése a szokásos: fázisvezető barna, fekete, szürke; nullavezető világoskék; védővezető zöld-sárga. A mérő előtti részen a nullavezető és a védővezető kapcsolata rendszertől függ: TN-C rendszerben PEN vezető van, amelyet a hálózati engedélyes által elfogadott ponton (jellemzően a mérőhelyen) választanak szét, ha a fogyasztói oldal TN-S. A szétválasztásról a Hálózati rendszerek: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT alfejezetben lesz szó. A szétválasztási ponton túl nem szabad a PE és N vezetőt újra összekötni.

17.1.5. Mérőszekrény felépítése és a plombálás szerepe

A mérőszekrény szerkezetileg gyakran három fő mezőre oszlik, amelyek hozzáférési jogosultságban is különböznek:

- **Hálózati oldali mező** (plombált): a csatlakozóvezeték bevezetése, a főbiztosító, esetleg túlfeszültségvédelmi eszköz. Ide csak a hálózati engedélyes feljogosított munkatársa léphet.
- **Mérőmező** (plombált): a fogyasztásmérő és esetleg a mérőváltók, mérőcsatlakozó kapcsok. Ide is csak a mérőüzemeltető férhet hozzá.
- **Fogyasztói mező**: a főkapcsoló, a fogyasztói csatlakozókapcsok, esetleg az első túláramvédelmi elemek. Ide a szerelő csak az öt biztonsági szabály szerint férhet hozzá, a plombát pedig nem sértheti meg. A főkapcsoló kikapcsolása csak a kimenő (fogyasztói) oldalt teszi feszültségmentessé: a főkapcsoló bemenő kapcsai és a mérőtől érkező vezeték továbbra is feszültség alatt vannak. Ha ezeken kell dolgozni, a feszültségmentesítést a hálózati engedélyestől kell kérni (a főbiztosító plombált).

Definíció. A **plombálás** olyan hatósági vagy szolgáltatói lezárás, amely fizikailag megakadályozza, hogy illetéktelen személy a mérőhöz, a mérőváltókhoz, a főbiztosítóhoz vagy a mérő előtti hálózati részhez hozzáférjen anélkül, hogy a plomba sérülése láthatóvá válna. A plomba lehet ólompecsétes, műanyag pecsétes vagy csavaros plomba. A plomba eltávolítása, megkarcolása, áthidalása jogszabályellenes, és mérési bírságot, áram kikapcsolását, végső esetben büntetőeljárást vonhat maga után. **(ellenőrizendő: hatályos jogszabályi szankciók)**

A plombálás tehát nem a szerelő munkáját akadályozza, hanem a mérés hitelességét és a hálózati rendszer biztonságát védi. A szerelőnek mindig ellenőriznie kell, hogy a munkája során a plombák sértetlenek; ha sérülést észlel, köteles jelezni a hálózati engedélyesnek. A plomba eltávolítását csak a hálózati engedélyes vagy az általa feljogosított személy végezheti.

17.1.6. Csatlakozási folyamat: igénytől az átvételig

A fogyasztói csatlakozás szigorúan szabályozott folyamat. Az alábbi lépések általában érvényesek, de az egyes hálózati engedélyesek eljárásrendje eltérhet:

1. **Igénybejelentés.** A megrendelő (ügyfél vagy megbízott villanyszerelő) a hálózati engedélyeshez benyújtja a csatlakozási igényt, megadva a címet, a kívánt teljesítményt, a fázisszámot és a fogyasztói berendezés jellegét.

2. **Műszaki feltételek.** A hálózati engedélyes kiadja a csatlakozás műszaki feltételeit: mekkora a lekötött teljesítmény, milyen főbiztosító kerül be, hol lesz a csatlakozási pont, milyen mérőhelyet kell kialakítani. Gyakran tervet is kérnek.
3. **Tervezés és kivitelezés.** A szerelő elkészíti a mérőhelyet, a fogyasztói hálózatot, a fővezetéket és a belső elosztót a terv szerint. A mérőhelyet és a csatlakozóvezetéket úgy kell előkészíteni, hogy a hálózati engedélyes a mérőt késedelem nélkül beépíthesse.
4. **Műszaki ellenőrzés.** A hálózati engedélyes megbízottja szemrevételezi a mérőhelyet, a csatlakozóvezetéket, a védelmeket és a fogyasztói hálózat csatlakozását. Mérheti a szigetelést, a földelést, a hurokimpedanciát. **(ellenőrizendő: az aktuális eljárás szerinti vizsgálatok köre)**
5. **Mérő felszerelése és plombálás.** A hálózati engedélyes vagy a mérőüzemeltető beszereli a fogyasztásmérőt, elvégzi a bekötést, beállítja a mérőprogramot, majd plombálja a mérőt és a mérő előtti részeket.
6. **Üzembe helyezés és átvétel.** A hálózati engedélyes feszültség alá helyezi a csatlakozást, elvégzi a szükséges működési próbát, rögzíti a mérőállást, és kiadja az átvételi dokumentumot. Ettől kezdve a fogyasztói berendezés üzemeltethető.

Szabály. A csatlakozási dokumentációt a fogyasztói berendezés átadásakor meg kell őrizni. A mérőállás induló értéke, a főbiztosító értéke, a lekötött teljesítmény és a plomba száma is szerepel az átvételi jegyzőkönyvben. A későbbi felülvizsgálatnál ezek az adatok alapvetők.

17.1.7. Feladatmegosztás: ami a szerelőé, és ami a szolgáltatóé

A hibák elkerüléséhez fontos tudni, hol húzódik a határ. A **hálózati engedélyes** feladata:

- a csatlakozóvezeték nyomvonalának meghatározása és kiépítése a csatlakozási pontig,
- a főbiztosító beszerelése, ellenőrzése és plombálása,
- a fogyasztásmérő beszerelése, hitelesítés utáni üzembe helyezése és plombálása,
- a feszültség alá helyezés és az üzemi engedély megadása,
- a hálózati oldali üzemzavarok elhárítása.

A **villanyszerelő** (a megrendelő oldalán) feladata:

- a mérőhely kialakítása a hálózati engedélyes előírásai szerint,
- a csatlakozóvezeték fogadására szolgáló kábelbevezetés, sorkapcsok, kábeltartó szerelvények előkészítése,
- a főkapcsoló és a fogyasztói hálózat szerelése,
- a fővezeték kiépítése a mérőtől a lakáselosztóig,
- a fogyasztói oldal túláramvédelmeinek, FI-reléinek és egyéb védelmeinek bekötése,
- a munkavédelmi ellenőrzések elvégzése a fogyasztói oldalon.

A szerelő nem nyúlhat a főbiztosítóhoz, nem szerelheti le a plombát, nem cserélheti a mérőt, és nem köthet a mérő előtti hálózati részre. A csatlakozóvezeték kivitelezését is csak a hálózati engedélyes engedélyével és felügyelete mellett végezheti, általában a kijelölt csatlakozási pontig.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A mérőhelyen és a csatlakozóvezetéken végzett munka mindig feszültségmentes állapotban történjen, az öt biztonsági szabály betartásával: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése. A mérőhelyet a hálózati engedélyes gyakran feszültségmentesen adja át a szerelőnek; a munkavégzés után a fogyasztói rész leellenőrzése a szerelő feladata. A főkapcsoló kikapcsolása csak a kimenő oldalt teszi feszültségmentessé; a főkapcsoló bemenő kapcsai, a mérő kimenete és a mérőtől érkező

vezeték feszültség alatt maradnak, ezek feszültségmentesítését (a plombált főbiztosító kiemelését) csak a hálózati engedélyes végezheti vagy az ő közreműködésével lehetséges.

17.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasházi lakás bővítésekor a tulajdonos háromfázisú, nagyobb teljesítményű ellátást kér, mert klímát, indukciós főzőlapot és villanyautó-töltőt tervez. A szerelő felméri a meglévő mérőhelyet: a régi egyfázisú mérőszekrényben a főbiztosító 25 A, a mérő egyfázisú, a főkapcsoló 25 A. A hálózati engedélyes kiküldöttje megállapítja, hogy a csatlakozóvezeték keresztmetszete nem elegendő a nagyobb teljesítményhez, és a mérőszekrényt ki kell bővíteni háromfázisú mérőhellyel. A szerelő a mérőszekrényt kicseréli, a csatlakozóvezetéket a hálózati engedélyes szakembere cseréli ki a csatlakozási pontig, a főbiztosítót 3×32 A-re cseréli. A szerelő a mérő után főkapcsolót szerel (a pólusszám a hálózati engedélyes előírása szerint), majd a lakáselosztóhoz 3 fázisú fővezetéket épít ki. A hálózati engedélyes ellenőrzi a mérőhelyet, beszereli a háromfázisú mérőt, plombálja a mérőt és a főbiztosítót, majd feszültség alá helyez. A tanulság: a csatlakoztatás nem csupán a mérőhely belső szereléséből áll, hanem a hálózati oldal és a fogyasztói oldal együttes koordinációjából.

17.1.9. Gyakorlati útmutató: mérőhely előkészítése a szerelő részéről

Bár a mérő felszerelése és a plombálás a hálózati engedélyes feladata, a szerelő a következő lépéseket teszi meg a mérőhelyen:

1. **Tervezd meg a sorrendet.** Ellenőrizd a hálózati engedélyes által megadott főbiztosító értékét, a csatlakozóvezeték keresztmetszetét, a mérő típusát (egy- vagy háromfázisú, közvetlen vagy áramváltós).
2. **Szereld a mérőszekrényt.** Rögzítsd stabilan, vízszintbe, a hálózati engedélyes által megadott magasságba. A mérőszekrény ajtaja legyen zárható, de a mérő előtti részhez ne adj kulcsot a fogyasztónak, ha az plombált.
3. **Kösd a fogyasztói oldalt.** A főkapcsolót a mérő kimenő kapcsaira kösd; a főkapcsolót a hálózati engedélyes előírása szerinti pólusszámmal (3 vagy 4 pólusú; az N-vezető bontását a hálózati rendszer és a hálózati engedélyes előírása határozza meg **(ellenőrizendő: hálózati engedélyes műszaki feltételei)**). A PEN- és a PE-vezetőt soha nem szabad kapcsolni. A védővezetőt (PE) és a nullavezetőt (N) a rendszernek megfelelően szereld. TN-C-S rendszerben a PEN szétválasztás a mérőhelyen a hálózati engedélyes által elfogadott ponton történik; ezt pontosan kövesd.
4. **Készítsd elő a mérő bekötését.** Ha a mérőt a szolgáltató szereli, akkor a mérő előtti és utáni csatlakozókapcsokat előre szerelheted, de a mérőt nem kötheted be. Gondoskodj a mérő feszültség- és áramköri csatlakozóinak hozzáférhetőségéről.
5. **Végezd el a fogyasztói oldal ellenőrzését.** Végezd el a feszültségmentes ellenőrzéseket: szemrevételezés, védővezető-folytonosság, szigetelési ellenállás. A hurokimpedancia mérését és az áram-védőkapcsolók próbáját csak a hálózati engedélyes általi feszültség alá helyezés után, az első ellenőrzés részeként végezd el (lásd Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat). Ideiglenes, nem szabályos betáplálással ne mérj.
6. **Dokumentálj.** Készíts kapcsolási rajzot, egyvonalas rajzot a mérőhelyről és a fővezetékről, tüntesd fel a főbiztosító értékét, a főkapcsoló típusát, a vezeték-keresztmetszeteket és a védelmi elemeket. Ezt a rajzot a hálózati engedélyes és a későbbi felülvizsgáló is kérheti.

17.1.10. Tipikus hibák

1. **Plomba megsértése a mérőhelyen.** A szerelő a munkavégzéshez elveszi a plombát, mert kényelmesebb. Ez tilos, a hálózati engedélyesnek be kell jelenteni, és a plombát csak ők cserélhetik. A mérés hitelessége és a hálózat biztonsága forog kockán.
2. **Főkapcsoló elhelyezése a mérő elé.** A mérő elé kötött, a fogyasztó által hozzáférhető kapcsoló plombálatlan hozzáférést ad a mérés előtti, mérés nélküli vezetőkhöz: ezekről mérés nélkül lehetne energiát vételezni, és a mérő előtti rész a hálózati engedélyes plombált területe. A helyes sorrend: hálózat → főbiztosító → mérő → főkapcsoló → fogyasztói elosztó.
3. **Védővezető és nullavezető ismételt összekötése a szétválasztási pont után.** Az N és a PE egyetlen összekötése a PEN-szétválasztási pont; minden további összekötés hibás, mert a védővezetőn üzemi áram folyhat, ami balesetveszélyt okoz: a PE a fővezetéken párhuzamos visszatérő úttá válik, a rá kötött fémtesteken és az EPH-hálózaton (pl. vízvezetéken) is áram folyhat, a testek potenciálja pedig a PE feszültségesésével megemelkedik. TN-C-S rendszerben a PEN-t a hálózati engedélyes által elfogadott ponton (jellemzően a mérőhelyen vagy a fogyasztói főelosztóban) választják szét; attól kezdve a PE és az N szigorúan külön fut **(ellenőrizendő: hálózati engedélyes műszaki feltételei)**.
4. **A főbiztosító értékének önkényes megváltoztatása.** A szerelő nagyobb főbiztosítót szerel, mert szerinte a fogyasztó több áramot fog vételezni. Ez a hálózati engedélyes engedélye nélkül tilos, mert a csatlakozóvezetéket nem arra a terhelésre méretezték, és túlterheléskor tűz keletkezhet.
5. **Nincs hely a hűtésre.** Nem hagynak megfelelő helyet a mérő és a mérőváltó hűtésére, ezért a készülékek túlmelegedhetnek.
6. **Házilagos csatlakozóvezeték-csere.** A csatlakozóvezetéket a szerelő a hálózati engedélyes engedélye nélkül cseréli, ami balesetveszélyes és szerződésszegő.

17.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a főbiztosító a fogyasztásmérő után helyezkedik el? Indokold!
2. Mi a főbiztosító és a főkapcsoló közötti alapvető különbség?
3. Miért plombálják a mérő előtti részt? Milyen következménye lehet a plomba eltávolításának?
4. A mérőhelyen TN-C-S rendszerben mi történik a PEN vezetővel?
5. Egy szerelő a mérőhelyen a főkapcsolót a mérő elé helyezi. Milyen hibát követ el?
6. A csatlakozóvezeték kiépítése kinek a feladata? Mi a szerelő szerepe?

17.1.12. Feladatok

1. feladat (A): Sorold fel a mérőhelyen belüli egységek helyes sorrendjét a hálózati oldaltól a fogyasztói oldal felé haladva!

2. feladat (A): Mi a plombálás célja? Nevezz meg legalább két olyan elemet, amelyet általában plombálnak!

3. feladat (B): Egy lakóházban a mérőhelyen a főbiztosító 3×32 A, a csatlakozóvezeték réz, a hálózati engedélyes szerint a megengedett feszültségesés a mérőhelytől (a főkapcsolótól) a lakáselosztóig, vagyis a fővezetéken nem haladhatja meg a 3%-ot. Számítsd ki, hogy mekkora maximális hossza lehet a fővezetéknek, ha a hatásos teljesítmény 20 kW, a teljesítménytényező $\cos\varphi = 0{,}95$, a vonali feszültség 400 V, és a vezeték ellenállása rézre $\rho = 0{,}0175\,\Omega\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$, keresztmetszete $A = 10\,\mathrm{mm}^2$! A háromfázisú, szimmetrikus terhelésű kör vonali feszültségesése

közelítőleg $\Delta U = \frac{\sqrt{3}\, l\, I \cos\varphi\, \rho}{A}$, ahol I a vonali áram, l a fővezeték (nyomvonal) egyirányú hossza (szimmetrikus terhelésnél az N-vezetőn nem folyik áram). Ellenőrizd a nagyságrendet!

4. feladat (B): Rajzold le egyvonalas kapcsolási rajzon a mérőhelyet: hálózati oldal, főbiztosító, fogyasztásmérő, főkapcsoló, lakáselosztó bemenet. Jelöld meg, hol van plombálás. (A rajz szöveges leírása is elég.)

5. feladat (C): Egy meglévő mérőhelyen a fogyasztó villanyórájának mérőszekrényén a plomba sérült. A szerelő észreveszi, de nem jelenti. Milyen veszélyei vannak ennek? Mi a helyes eljárás?

6. feladat (D): A hálózati engedélyes képviselője a mérőhely átvételekor azt tapasztalja, hogy a mérőhelyen a nullavezető és a védővezető a fogyasztói oldalon össze van kötve (TN-C-S rendszerben). Milyen hibát jelenthet ez, és miért kell javítani? Fogalmazz meg legalább két lehetséges következményt!

17.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A főbiztosító a hálózati oldalon, a mérő előtt helyezkedik el, hogy a mérőt és a fogyasztói hálózatot védje, és a hálózati engedélyes plombálja.
2. A főbiztosító túláramvédelmi készülék a mérő előtt, a hálózati engedélyes által plombált (a hálózati engedélyes felügyelete alatt álló) részen. A főkapcsoló a fogyasztói oldal kapcsolója a mérő után, a fogyasztó feszültségmentesítésére szolgál, nem túláramvédelem.
3. A plombálás megakadályozza a mérés megkerülését és a hálózati oldal illetéktelen hozzáférését. A plomba eltávolítása jogszabályba ütközik, és mérési bírságot, áram kikapcsolást, büntetőeljárást vonhat maga után.
4. A PEN vezetőt a mérőhelyen a hálózati engedélyes által elfogadott ponton szét kell választani PE és N vezetőre, attól kezdve külön kell futnia.
5. A mérő elé kötött, a fogyasztó által hozzáférhető kapcsoló plombálatlan hozzáférést ad a mérés előtti, mérés nélküli vezetőkhöz (mérés nélküli vételezés lehetősége), és a mérő előtti rész a hálózati engedélyes plombált területe. Helyes sorrend: hálózat → főbiztosító → mérő → főkapcsoló → fogyasztói oldal.
6. A csatlakozóvezeték kiépítése a hálózati engedélyes feladata, vagy az ő engedélyével és felügyeletével történik; a tulajdonjog és a költségviselés jogszabályfüggő **(ellenőrizendő: VET és az elosztói szabályzat)**. A szerelő szerepe a mérőhely és a fogyasztói oldal kialakítása, a csatlakozóvezeték fogadásának előkészítése, a mérőhely fogyasztói oldali bekötése.

1. feladat: csatlakozóvezeték bevezetés → főbiztosító → fogyasztásmérő → főkapcsoló → fővezeték/lakáselosztó.

2. feladat: A plombálás célja az illetéktelen hozzáférés fizikai megakadályozása és a mérés hitelességének védelme. Általában plombálják a főbiztosítót, a fogyasztásmérőt, a mérőváltókat, a mérő előtti csatlakozókapcsokat.

3. feladat: Adott: $P = 20\,\mathrm{kW}$, $\cos\varphi = 0{,}95$, $U_v = 400\,\mathrm{V}$, $\Delta U_{max} = 3\% \rightarrow \Delta U_{max} = 0{,}03 \cdot 400\,\mathrm{V} = 12\,\mathrm{V}$, $A = 10\,\mathrm{mm}^2$, $\rho = 0{,}0175\,\Omega\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$. Keresett: a fővezeték maximális egyirányú hossza l.

A vonali áram háromfázisú körben:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, U_v \cos\varphi} = \frac{20000\,\mathrm{W}}{\sqrt{3} \cdot 400\,\mathrm{V} \cdot 0{,}95} \approx 30{,}4\,\mathrm{A}.$$

A háromfázisú vonali feszültségesés képletéből:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}\, l\, I \cos\varphi\, \rho}{A}.$$

Ebből l:

$$l = \frac{\Delta U \cdot A}{\sqrt{3}\, I \cos\varphi\, \rho}.$$

Behelyettesítve:

$$l = \frac{12\,\mathrm{V} \cdot 10\,\mathrm{mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 30{,}4\,\mathrm{A} \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}0175\,\Omega\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{m}} \approx \frac{120}{0{,}875}\,\mathrm{m} \approx 137\,\mathrm{m}.$$

Ellenőrzés: a ≈137 m egyirányú nyomvonalhossz (a vezeték nem felezendő) 10 mm² réznél számítási eredmény; ilyen hosszú fővezeték már nagy épületet feltételez, a valóságban általában rövidebb. **Megjegyzés.** Egyfázisú (fázis + N) körben a két vezető miatt a képlet 2-es szorzót használ, és a viszonyítási alap az $U_0 = 230\,\mathrm{V}$ fázisfeszültség; itt háromfázisú, szimmetrikus körről van szó, ezért $\sqrt{3}$ szerepel. A 3 %-ot a feladat a fővezetékre adja meg, ezért a teljes 12 V-ot erre osztottuk. Ha a 3 % a csatlakozási ponttól számítana, a csatlakozóvezeték esését le kellene vonni (pl. 1 % esésnél a fővezetékre 2 % = 8 V marad, és $l \approx 91\,\mathrm{m}$) **(ellenőrizendő: hálózati engedélyes előírása)**. (Pontosabb használathoz az áramot a terhelésből, a vezeték impedanciájából kell számolni. A feladat tanító jellegű.)

4. feladat: A minta a 17.1.4 pontban lévő egyvonalas rajz (főbiztosító → mérő → főkapcsoló, PEN-szétválasztással). A rajz szöveges leírása: - Hálózati oldal: L1, L2, L3 és PEN bevezetés (TN-C szakasz). - Főbiztosító (3 pólusú) a fázisvezetőkön, plombával. - Fogyasztásmérő (3 fázisú, közvetlen) a fázisokon és nullán, plombával. - Főkapcsoló (3 vagy 4 pólusú; az N bontása a hálózati engedélyes előírása szerint **(ellenőrizendő)**), fogyasztói oldali; a PEN/PE nem kapcsolható. - PEN-szétválasztás a hálózati engedélyes által elfogadott ponton: innen N (világoskék) és PE (zöld-sárga) külön fut, és többé nem köthető össze. - Lakáselosztó bemenete a főkapcsoló után. - A plombálást a főbiztosító és a mérő körül jelöljük.

5. feladat: A sérült plomba arra utal, hogy valaki megkísérelhette a mérés megkerülését vagy a mérőhöz való hozzáférést. Ha a szerelő nem jelenti, a szabálytalan vételezés gyanúja őt is érintheti, és a fogyasztóval szemben mérési szabálytalansági eljárás indulhat **(ellenőrizendő: hatályos jogszabályi szankciók, elosztói szabályzat)**. A helyes eljárás: azonnal értesíteni a hálózati engedélyest, a mérőhöz nem nyúlni, a munkát addig szüneteltetni, ameddig a jegyzőkönyv el nem készül.

6. feladat: TN-C-S rendszerben a PEN-t a hálózati engedélyes által elfogadott ponton (jellemzően a mérőhelyen vagy a fogyasztói főelosztóban) választják szét; attól kezdve a PE és az N szigorúan külön fut **(ellenőrizendő: hálózati engedélyes műszaki feltételei)**. Ha a fogyasztói oldalon összekötik őket, a védővezetőn üzemi áram folyhat, ami:

- a PE a fővezetéken párhuzamos visszatérő úttá válik: üzemi áram folyik rajta és a rá kötött fémtesteken, valamint az EPH-hálózaton (pl. vízvezetéken) keresztül, a mérések pedig hibásak lehetnek,
- a védővezető melegedését, tűzveszélyt okozhat,
- áramütéses kockázatot növel, mert a rá kötött testek potenciálját a PE feszültségesése megemeli.

Ha az összekötés nem a mérőhelyen, hanem a FI után (a lakáselosztóban, a FI terhelés felőli oldalán) van, akkor a FI kiold, vagy – kis terhelésnél – érzéketlenné válik (lásd Lakás- és épületelosztó felépítése). Javítás: a PEN szétválasztás után a PE és N sín külön, közöttük nincs összekötés a mérőhely fogyasztói oldalán.

17.1.14. Rövid összefoglaló

A közcélú hálózathoz csatlakozás lánca: elosztóhálózat → csatlakozóvezeték → főbiztosító → fogyasztásmérő → főkapcsoló → fogyasztói elosztó. A mérőhely határfelület a hálózati engedélyes és a fogyasztó között; a mérő előtti rész plombált, a mérő utáni főkapcsoló a fogyasztóé. A főbiztosítót a hálózati engedélyes határozza meg és plombálja; a fogyasztó nem avatkozhat bele. A mérőszekrénynek biztosítania kell az illetéktelen hozzáférés megakadályozását, a mérő hűtését, a szabványos védettséget és a feliratozást. A csatlakozási folyamat az igénybejelentéstől a műszaki feltételeken, a kivitelezésen, a hálózati engedélyesi ellenőrzésen, a mérő felszerelésén és plombálásán át az üzembe helyezésig tart. A plombálás megsértése jogi következményekkel jár. A szerelő a fogyasztói oldalt készíti elő, a hálózati engedélyes a hálózati oldalt és a mérőt. Ezt a mérőhelyet tovább építjük a Lakás- és épületelosztó felépítése alfejezetben, ahol a lakáselosztó belső tagolását és a fővezeték méretezését tárgyaljuk.

17.2. Lakás- és épületelosztó felépítése

17.2.1. Motiváció

Lakásfelújításkor vagy új lakás kialakításakor a szerelőnek gyakran kell megterveznie vagy átalakítania a lakáselosztót. A régi olvadóbiztosítékos, esetleg védővezető nélküli táblák helyett ma már korszerű, moduláris készülékekből épített elosztókat kell készíteni. A lakáselosztó az épület villamos hálózatának az a pontja, ahol a mért, fogyasztói oldali energia szétosztása és védelme történik. Ha itt rossz a sorrend, hiányzik a megfelelő védelem, vagy a fázisok terhelése egyenlőtlen, az áramütéshez, tűzhöz, kényelmetlen üzemzavarokhoz vezethet. Ezért ebben az alfejezetben a lakás- és épületelosztó felépítését tanuljuk meg: milyen részekből áll, milyen sorrendben követik egymást a készülékek, és hogyan alakítjuk ki a védő- és nullavezető sínrendszerét.

17.2.2. Az elosztó részei

A lakáselosztó (gyakran „lakáselosztó szekrény”, „biztosítéktábla”) egy olyan tokozott elosztóberendezés, amely a mérőhely felől érkező táplálást fogadja, és azt az egyes fogyasztói áramkörök felé szétosztja, miközben védelmet biztosít túláram, hibaáram és gyakran túlfeszültség ellen.

Definíció. A lakáselosztó olyan kisfeszültségű elosztóberendezés, amely a mérőhely után, a fogyasztói oldalon helyezkedik el, és tartalmazza a főkapcsolót, a védelmi készülékeket, valamint a vezetők csatlakoztatására szolgáló sínrendszereket.

Az elosztó fizikai felépítése moduláris elven működik: a készülékeket szabványos, 35 mm széles, kalapsín alakú fémprofilra, az úgynevezett DIN-sínre pattintják. A moduláris készülékek szélességét modulban adják meg (1 modul ≈ 17,5 mm, ellenőrizendő: a gyártói adatlap szerint). A DIN-sín a szekrény hátlapjára van rögzítve, és lehetővé teszi a készülékek gyors cseréjét.

Szabvány. A kisfeszültségű elosztóberendezésekre az MSZ EN 61439 szabvány vonatkozik (ellenőrizendő: pontos kiadás és szakasz). Az elosztószekrény védettségét az IP-kód szerint kell megválasztani (MSZ EN 60529), lakásban jellemzően IP40 vagy IP41 (ellenőrizendő: a beépítési hely szerint).

Az elosztószekrény anyaga általában szigetelő műanyag vagy fém. A műanyag szekrények könnyűek és nem igényelnek külön védőföldelést, de a fém szekrényeket mindig be kell kötni a PE-sínre. A védettség azt mutatja, hogy a szekrény mennyire véd a szilárd tárgyak és a víz

behatolása ellen; beltéri lakáselosztóknál jellemzően IP40 (1 mm-nél nagyobb tárgyak ellen védett, víz ellen nem) elegendő, nedves helyiségben IP44 vagy magasabb kell (ellenőrizendő: a környezet és a szabvány szerint).

17.2.3. Az elosztó készülékeinek sorrendje

A lakáselosztóban a készülékek sorrendje nem esetleges, hanem a védelem logikáját követi. Egy tipikus sorrend a táplálás felől a fogyasztók felé haladva:

1. **Bejövő kapcsok vagy sorkapcsok** – ide érkezik a mérőhely felől a tápláló kábel (általában 5 erű: L1, L2, L3, N, PE).
2. **Főkapcsoló** – az egész elosztót leválasztja (leválasztó funkció); a munkavégzés előtt ezután is az öt biztonsági szabályt kell alkalmazni.
3. **Túlfeszültség-levezető (SPD)** – a hálózat felől érkező túlfeszültség ellen védi az elosztót és a mögöttes berendezéseket. Lakásokban gyakran a főkapcsoló után, a FI előtt helyezik el, mert a levezetett túlfeszültség-áram a PE felé folyik: a FI mögött ezt a FI hibaáramnak látná és feleslegesen leoldana (ráadásul a lökőáram a FI-t is igénybe venné); a főkapcsoló mögé pedig azért kerül, hogy a levezető hibája esetén leválasztható legyen **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-534, gyártói beépítési útmutató)**.
4. **Áram-védőkapcsoló (FI, RCD)** – hibaáram-védelem az összes vagy a kijelölt áramkör számára. Egy lakáselosztóban lehet egy darab, ami az összes áramkört védi, vagy több, csoportonként.
5. **Kismegszakítók (MCB)** – az egyes fogyasztói áramkörök túláramvédelmét látják el. Minden áramkör (világítás, aljzat, konyha, fürdő) külön kismegszakítót kap.
6. **N-sín és PE-sín** – a nullavezető és a védővezető csatlakoztatására szolgáló gyűjtősínek. Minden FI-csoportnak saját N-sínje (N-sínszakasza) van, amelyet csak az adott FI után lévő áramkörök nullavezetői használhatnak; a FI előtti N nem köthető rá. A PE-sín mindig közös, és a szekrény fém részeivel egyenpotenciálra van hozva.

Szabály. A főkapcsolónak a fázisvezetőket le kell tudnia választani; az N-vezető bontásának szükségessége a hálózati rendszertől függ (TT-ben szükséges, TN-S-ben nem mindig kötelező, de ajánlott; **ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-46/-5-53**). A PEN-t soha nem szabad bontani. Lakásban a főkapcsoló jellemzően 40 A vagy 63 A névleges áramú, de a mérőhelyi főbiztosító értékéhez kell igazítani (ellenőrizendő: a hálózati engedélyes előírása).

A túlfeszültség-levezető (SPD) kiválasztása és bekötése a Túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD): típusok és beépítés alfejezetben részletesen szerepel. Itt elegendő annyit tudni, hogy a lakáselosztóban általában 2. típusú (T2) levezetőt alkalmaznak, és a bekötése a lehető legrövidebb vezetékkel történjen, mert a hosszú vezeték rontja a védelmet.

Az áram-védőkapcsoló (FI) szerepe a hibavédelem és a kiegészítő védelem. Lakáselosztóban általában 30 mA kioldási érzékenységű FI-t használnak, mert ez védi az emberi életet közvetlen érintés esetén is. A FI nem véd túláram ellen, ezért túlterhelés ellen védeni kell: vagy az előtte lévő túláramvédelem (pl. a főbiztosító) névleges árama legfeljebb a FI névleges árama, vagy a FI-t a mögötte lévő áramkörök egyidejű terhelésére, a gyártói koordinációs adatok szerint méretezzük **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-53 és gyártói adatlap)**. A kismegszakítók névleges áramainak puszta összege nem méretezési feltétel.

17.2.4. A N- és PE-sín kialakítása

A lakáselosztóban a nullavezetők és a védővezetők csatlakoztatása sínrendszerrel történik. Ezek a sínek általában a szekrény alján vagy oldalán helyezkednek el, és csavaros kapcsokkal fogadják a vezetékeket.

PE-sín: A védővezető (PE) sín fémből készül, és közvetlenül, nagy keresztmetszetű vezetővel csatlakozik a bejövő PE vezetőhöz. A szekrény fém részeit, a DIN-sínt (ha fém), valamint minden védővezetőt ehhez a sínhez kell kötni. A PE-sín a szekrényben nem szakaszolható, és nem köthető össze a N-sínnel a FI után. A védővezető keresztmetszete azonos anyag esetén 16 mm²-ig a fázisvezetőével megegyező, felette a szabvány táblázata vagy számítás szerint kisebb is lehet **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-54 aktuális táblázata)**.

N-sín: A nullavezető sínje szigetelten van rögzítve, mert a nullavezető aktív vezető, és üzemszerűen áram folyik rajta. Ha a FI előtt és után is vannak nullavezető csatlakozások, akkor a FI előtti és utáni N-szakaszokat szigorúan el kell különíteni, különben az üzemi áram egy része a FI mellett kerüli meg az áramváltót, és a FI téves kioldást vagy érzékenységvesztést mutat. A FI után a N-sín nem köthető össze a PE-sínnel, mert az üzemi áram egy része a PE-n térne vissza, ami differenciaáramot okozna.

Egyenpotenciálra hozás (EPH): A lakáselosztóban a PE-sínhez csatlakozik a fő egyenpotenciálra hozó vezető, amely a víz-, gáz- és fűtéscsövek, valamint a fém szerkezetek felé megy. Ez a Földelés és egyenpotenciálra hozás fejezetben részletesen szerepel. A lényeg: az elosztó a védővezető-rendszer központi pontja, ahonnan az EPH elindul.

17.2.5. A terhelés elosztása a fázisok között

Háromfázisú lakáscsatlakozásnál az egyes fogyasztói áramköröket úgy kell elosztani az L1, L2, L3 fázisok között, hogy a fázisok terhelése közel azonos legyen. Ez csökkenti a nullavezető áramát, javítja a feszültség-szimmetriát, és megakadályozza, hogy egy fázis túlterhelődjön, míg a másik kihasználatlan marad.

A terheléselosztásnál a nagyobb fogyasztókat (mosógép, mosogatógép, sütő, bojler, klíma) lehetőleg külön fázisra kell tenni, a világítási áramköröket pedig egyenletesen elosztani. A háromfázisú bekötésű főzőlap zónái a három fázis között oszlanak meg, ezért a terhelése fázisonként eltérhet attól függően, mely zónák működnek; a bekötést a gyártói utasítás határozza meg (egyes típusok kétfázisúak).

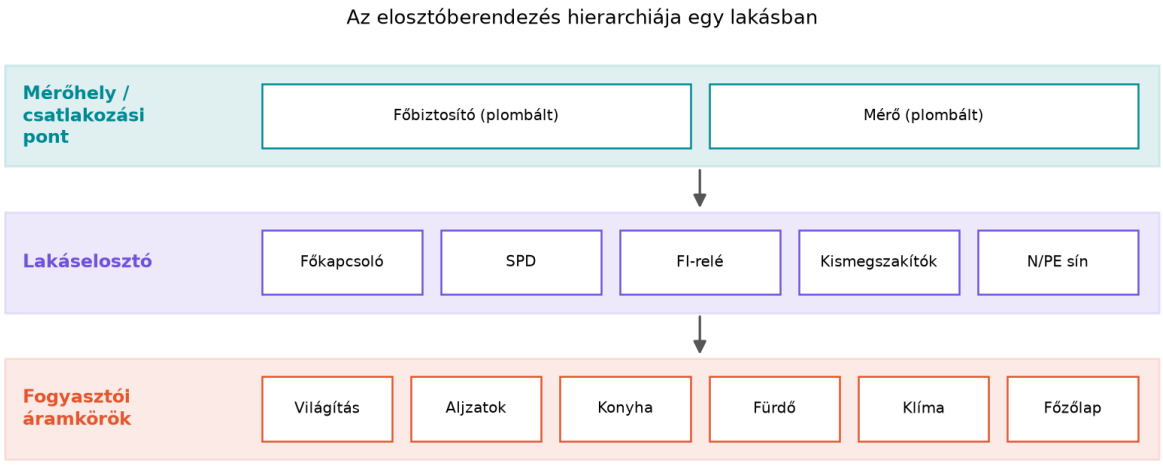
Szabály. A fázisonkénti egyidejű áram nem haladhatja meg a fázisvezető terhelhetőségét, és a főbiztosító névleges áramát. A terheléselosztást a tervezéskor úgy kell elvégezni, hogy a legnagyobb fázisáram és a legkisebb fázisáram közötti eltérés lehetőleg 20%-on belül maradjon (ellenőrizendő: a tervezési gyakorlatban ajánlott érték).

17.2.6. Tartalékhely

Az elosztóban célszerű tartalékhelyet hagyni a későbbi bővítésekhez. A gyakorlatban legalább 20-30% szabad modulhelyet szokás fenntartani (ellenőrizendő: az adott projekt igénye szerint). Ez lehetővé teszi új áramkörök, például klíma, napelem vagy elektromosautó-töltő későbbi beépítését anélkül, hogy az egész elosztót ki kellene cserélni.

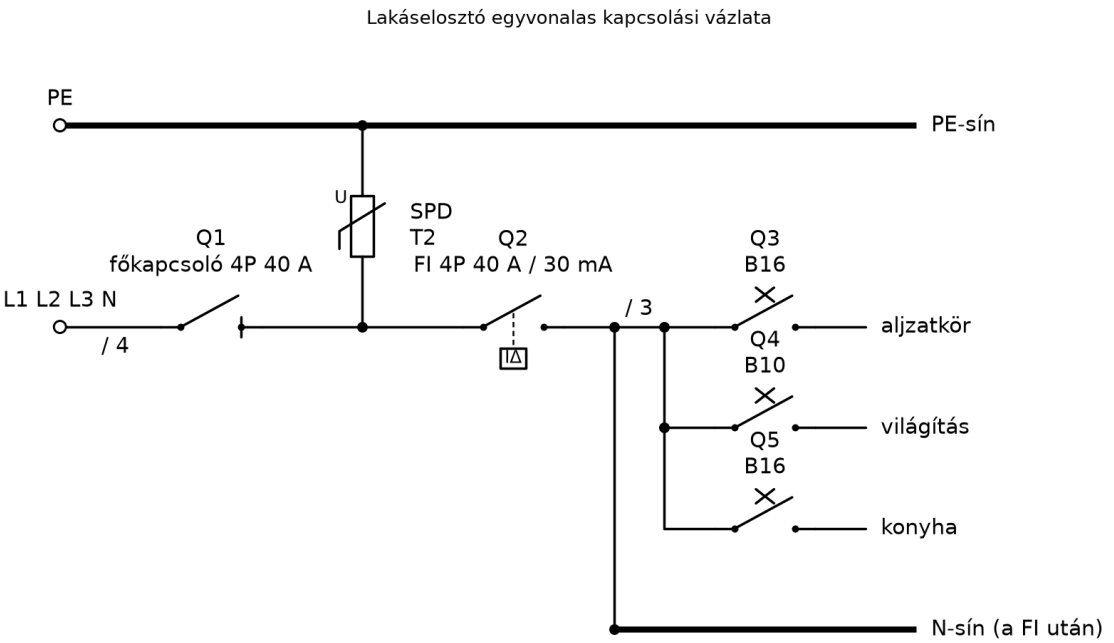
17.2.7. Szemléltető ábrák

Az alábbi rétegábra a lakáselosztó hierarchiáját mutatja a mérőhelytől a fogyasztói áramkörökig.



17.3. ábra. Az elosztóberendezés hierarchiája egy lakásban - Szemléltető rétegábra: a mérőhelytől a fogyasztói áramkörökig; a rétegen belül balról jobbra a táplálás iránya (főbiztosító → mérő; főkapcsoló → SPD → FI → kismegszakítók).

A kapcsolási vázlat egy lehetséges lakáselosztó felépítést mutat egyvonalas formában. A bejövő vonal négy vezetőt jelöl (L1, L2, L3, N; „/ 4”), mert a négypólusú főkapcsoló (Q1) és FI-relé (Q2) az N-et is kapcsolja, a FI pedig csak így érzékeli a differenciaáramot. A főkapcsoló után a túlfeszültség-levezető (SPD) csatlakozik a fázisok és a PE-sín közé. Ezután a FI-relé következik; utána az N leágazik az N-sínre, a FI utáni fázisgyűjtőről pedig a kismegszakítók (Q3, Q4, Q5) párhuzamos ágakon táplálják az egyes áramköröket. Az N-sín a FI után van, a PE-sín a bejövő PE-hez csatlakozik; a lakáselosztóban (TN-S szakasz) az N-sín és a PE-sín között nincs összekötés.



17.4. ábra. Lakáselosztó egyvonalas kapcsolási vázlata - Egyvonalas vázlat: a bejövő vonal négy vezetőt visz (L1, L2, L3, N; „/ 4”), mert a Q1 főkapcsoló (4P) és a Q2 FI-relé (4P) az N-et is kapcsolja. Az SPD a fázisok és a PE-sín közé kapcsolódik; a FI után az N leágazik az N-sínre, a fázisgyűjtőről („/ 3”) a Q3–Q5 kismegszakítók párhuzamos ágakat táplálnak. A PE nem halad át a kapcsolókészülékeken; az N-sín és a PE-sín között nincs összekötés (TN-S szakasz). Szemléltető vázlat, nem kiviteli terv.

17.2.8. Kidolgozott példa – egy lakás elosztójának megtervezése

Tervezzük meg egy 80 m²-es, háromfázisú csatlakozással rendelkező lakás elosztóját. A lakásban a következő fogyasztói áramkörök lesznek:

- Világítás 1 (nappali, konyha): 10 A kismegszakító
- Világítás 2 (háló, fürdő, előszoba): 10 A
- Aljzatok 1 (nappali, konyha): 16 A
- Aljzatok 2 (háló, előszoba): 16 A
- Mosogatógép: 16 A
- Mosógép: 16 A
- Bojler: 16 A
- Klíma: 10 A
- Sütő: 16 A
- Főzőlap (háromfázisú): 3×16 A, egy háromfázisú (3P) kismegszakítóval (egy darab, 3 modul), hogy hiba és kézi lekapcsolás esetén mind a három fázis egyszerre bontson; külön egypólusú kismegszakítókra bontani nem szabad, mert egy leoldott fázis mellett a készülék többi fázisa feszültség alatt maradna **(ellenőrizendő: a gyártói bekötési előírás)**

A beépített teljesítményt összegezve (a főzőlap 3 fázisra oszlik): - Fázisonkénti hozzávetőleges terhelés: - L1: világítás 1 (10 A), aljzatok 1 (16 A), mosogatógép (16 A), főzőlap 1/3 (16 A) →

összesen 58 A egyidejű csúcs esetén, de a valós egyidejűség kisebb. - L2: világítás 2 (10 A), sütő (16 A), mosógép (16 A), főzőlap 1/3 (16 A) → 58 A - L3: bojler (16 A), klíma (10 A), aljzatok 2 (16 A), főzőlap 1/3 (16 A) → 58 A

Ez a durva összegzés azt mutatja, hogy a fázisok terhelése kiegyenlített. A tényleges egyidejű áram kisebb, mert nem minden fogyasztó működik egyszerre. A mérőhelyi főbiztosító 3×25 A lehet, a lakáselosztó főkapcsolója 40 A, a FI-relé pedig 40 A / 30 mA.

Számítás. Ellenőrizzük a főkapcsoló és a FI névleges áramának elegendőségét. Tegyük fel, hogy az egyidejű teljesítmény 10 kW, a teljesítménytényező 0,9. A háromfázisú áram:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_v \cos\varphi} = \frac{10\,000}{\sqrt{3}\cdot 400 \cdot 0{,}9} \approx 16{,}0\,\text{A}$$

Ez az érték jóval a 40 A-es főkapcsoló és FI alatt van, tehát a választás megfelelő. A kismegszakítók névleges áramát az egyes áramkörök vezetékeinek terhelhetősége és a fogyasztók indítási árama határozza meg – ezt a Kismegszakítók és kioldási jelleggörbék alfejezetben tárgyaljuk.

A fázisonkénti elosztásnál ügyeljünk arra, hogy a nagyobb egyfázisú fogyasztók (mosógép, mosogatógép, bojler) külön fázisra kerüljenek, és a két fűtőjellegű, tartós nagy fogyasztó (bojler, sütő) se legyen azonos fázison. A példában ez teljesül: mosogatógép L1, mosógép és sütő L2, bojler L3. A főzőlap zónái a három fázison oszlanak meg; a példában tanulási egyszerűsítésként fázisonként egyharmadot számolunk.

Szabvány. A lakáselosztó kialakításakor az MSZ HD 60364-4-41 (hibavédelem), az MSZ HD 60364-5-52 (vezetékméretezés és szerelési módok) és az MSZ HD 60364-5-53 (védelmi készülékek kiválasztása) előírásait kell követni (ellenőrizendő: a pontos szakaszok és kiadások). A kismegszakítókra az MSZ EN 60898-1, az áram-védőkapcsolókra az MSZ EN 61008-1 (FI) vagy MSZ EN 61009-1 (FI-megszakító kombináció) vonatkozik.

17.2.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy régi társasházi lakás felújításakor a szerelő azt tapasztalta, hogy a lakáselosztóban csak két olvadóbiztosíték volt: az egyik az összes aljzatot, a másik az összes világítást táplálta. Védővezető nem volt, a konnektorok kétvezetékesek voltak. A felújítás során teljesen új elosztót építettek be: a mérőhely után 5 erű kábel jött, a lakáselosztóba 40 A főkapcsoló, 40 A/30 mA FI, és 12 darab kismegszakító került. A fázisokat úgy osztották el, hogy a mosógép és a mosogatógép külön fázisra, a konyhai aljzatok a harmadik fázisra kerültek. A régi alumínium vezetékeket rézre cserélték, és minden aljzathoz védővezetőt húztak. Az új elosztóval a lakás biztonságos és bővíthető lett, és a FI-relé azonnal leoldott, amikor egy hibás kenyérpirítót csatlakoztattak – ez megmutatta a védelem működését.

17.2.10. Tervezési algoritmus

A lakáselosztó tervezésekor az alábbi lépéseket követheted:

1. Gyűjtsd össze a fogyasztói áramköröket és azok névleges áramát.
2. Döntsd el, hogy hány FI-relé szükséges: az áramköröket úgy csoportosítsd, hogy egy FI kioldása ne kapcsolja le a teljes lakást (pl. legalább két FI-csoport, a világítás több csoportra osztva, vagy áramkörönként FI/kismegszakító kombináció – RCBO); egyetlen közös FI csak kis lakásban, tudatos döntésként fogadható el **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-3 és**

-5-53, tervezői gyakorlat). A fenti kidolgozott példa az egyszerűség kedvéért egyetlen FI-t használ.
3. Válaszd meg a főkapcsolót a mérőhelyi főbiztosító értékének megfelelően.
4. Helyezd el a túlfeszültség-levezetőt a főkapcsoló után, a FI előtt.
5. A FI után következzenek a kismegszakítók, minden áramkörhöz egy.
6. Alakítsd ki a N- és PE-sínt a szekrényben, ügyelve a FI előtti és utáni N-szakasz elkülönítésére.
7. Oszd el a terhelést a fázisok között kiegyenlítetten.
8. Hagyj tartalékhelyet a későbbi bővítésekhez.
9. Készítsd el az elosztó feliratozását és dokumentációját (lásd Elosztó szerelése, kapcsolási rajz és feliratozás).

17.2.11. Tipikus hibák

1. **N és PE összekötése az elosztóban a FI után.** Következmény: az üzemi áram egy része a PE-n tér vissza, a FI ezt hibaáramnak látja, és terheléskor kiold (nemkívánatos kioldás); kis terhelésnél nem old ki, de egy testzárlat hibaáramának egy része az N-en tér vissza, így a FI érzékenysége romlik, és a PE-n üzemi áram folyik. Helyes: a N és PE sínek a FI után szigorúan elkülönítve.

2. **A főkapcsoló és az N-vezető bontása nincs tisztázva.** Ha a főkapcsoló csak a fázisokat szakaszolja, az N-vezetőn munka közben is megjelenhet feszültség (pl. hibás N–PE összekötés vagy visszatáplálás esetén), ezért a munkavégzés előtt az öt biztonsági szabály szerint feszültségmentességet kell mérni. Az N bontásának szükségessége a rendszertől függ (TT-ben szükséges, TN-S-ben ajánlott); a PEN-t soha nem szabad bontani **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-46/-5-53)**.

3. **A fázisok egyenlőtlen terhelése.** Ha az összes nagy fogyasztót ugyanarra a fázisra kötik, a fázisvezető túlterhelődhet, és a főbiztosító leoldhat, miközben a másik két fázis alig terhelt. Helyes: a terheléselosztás megtervezése.

4. **A túlfeszültség-levezető hosszú vezetékkel bekötve.** A hosszú bekötő vezeték induktivitása rontja a levezető védelmi szintjét. Az SPD bekötése a lehető legrövidebb legyen, a fázis és a PE közötti távolság minimális.

5. **Tartalékhely hiánya.** Ha nincs szabad modulhely, később a bővítés csak új elosztó beépítésével oldható meg, ami drága és bonyolult. Helyes: 20-30% szabad hely fenntartása.

17.2.12. Önellenőrzés

1. Hová kerül a túlfeszültség-levezető (SPD) a lakáselosztóban: a FI elé vagy mögé? Indokold!
2. Miért kell a N-sínt szigetelten rögzíteni?
3. Mi történik, ha a FI után a N és PE össze van kötve?
4. Hány modul széles egy szabványos kismegszakító? (Körülbelül, 1 modul = ? mm)
5. Mi a fő egyenpotenciálra hozó vezető feladata?
6. Miért kell tartalékhelyet hagyni az elosztóban?

17.2.13. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a lakáselosztó fő részeit a táplálás felől a fogyasztók felé haladva, és röviden írd le mindegyik szerepét.

2. feladat (A) Mi a DIN-sín szerepe, és mekkora a szabványos szélessége?

3. feladat (B) Egy lakás egyidejű teljesítménye 12 kW, háromfázisú, 400 V, $\cos\varphi = 0{,}9$. A mérőhelyi főbiztosító 3×25 A. Számítsd ki az egyidejű áramot, és válassz megfelelő főkapcsolót (40 A vagy 63 A). Ellenőrizd, hogy a 40 A-es FI-t védi-e túlterhelés ellen a főbiztosító.

4. feladat (B) Rajzold le egyvonalas kapcsolással egy lakáselosztó felépítését, amely tartalmazza a főkapcsolót, egy FI-relét, és négy kismegszakítót. Jelöld a N- és PE-sínt is.

5. feladat (C) Adott a következő fogyasztói lista: mosógép (16 A), mosogatógép (16 A), bojler (16 A), klíma (10 A), sütő (16 A), világítás (2×10 A), aljzatok (2×16 A). Oszd el a fogyasztókat a három fázis között úgy, hogy a fázisok terhelése kiegyenlített legyen. Indokold a választásodat.

6. feladat (D) Egy lakáselosztóban a FI-relé rendszeresen leold, amikor a mosógép működik. A kismegszakító nem old le. Mi lehet az ok, és hogyan javítanád?

17.2.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. A túlfeszültség-levezetőt a főkapcsoló után, de a FI elé kell kötni: a levezetett túlfeszültség-áram a PE felé folyik, a FI mögött ezt a FI hibaáramnak látná és leoldana (a lökőáram a FI-t is terhelné); a főkapcsoló mögött pedig a levezető hibája esetén leválasztható **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-534, gyártói beépítési útmutató)**.
2. A N-sín azért szigetelt, mert a nullavezető aktív vezető, és üzemszerűen áram folyik rajta; a szigetelés megakadályozza a véletlen földzárlatot és a PE-vel való érintkezést.
3. Ha a FI után a N és PE össze van kötve, az üzemi áram egy része a PE-n tér vissza, a FI ezt differenciaáramnak látja, és terheléskor kiold; kis terhelésnél nem old ki, de a testzárlati hibaáram egy része az N-en tér vissza, így a FI érzékenysége romlik. Helyes: a FI után N és PE szigorúan külön.
4. Az egypólusú kismegszakító 1 modul széles, 1 modul ≈ 17,5 mm; a háromfázisú (3 pólusú) 3 modul (≈ 52,5 mm) (ellenőrizendő: gyártói adat).
5. A fő egyenpotenciálra hozó vezető a PE-sínt köti össze a fém csővezetékekkel, fém szerkezetekkel, hogy ne alakulhasson ki veszélyes érintési feszültség.
6. Tartalékhely kell a későbbi bővítésekhez, hogy új áramköröket lehessen beépíteni anélkül, hogy az elosztót ki kellene cserélni.

1. feladat megoldása

A lakáselosztó fő részei: - Bejövő kapcsok: fogadják a mérő felől érkező kábelt. - Főkapcsoló: leválasztja az egész elosztót. - Túlfeszültség-levezető (SPD): túlfeszültség ellen véd. - FI-relé: hibaáram-védelem. - Kismegszakítók: az egyes áramkörök túláramvédelme. - N-sín: a nullavezetők csatlakoztatására. - PE-sín: a védővezetők és az EPH csatlakoztatására.

2. feladat megoldása

A DIN-sín egy 35 mm széles, kalapsín alakú fémprofil, amelyre a moduláris készülékeket pattintják. A szélessége 35 mm, a készülékek moduljai ehhez illeszkednek (1 modul ≈ 17,5 mm).

3. feladat megoldása

Adott: $P = 12\,\text{kW} = 12\,000\,\text{W}$, $U_v = 400\,\text{V}$, $\cos\varphi = 0{,}9$. Keresett: I. Képlet:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_v \cos\varphi}$$

Behelyettesítve:

$$I = \frac{12\,000}{1{,}732 \cdot 400 \cdot 0{,}9} = \frac{12\,000}{623{,}5} \approx 19{,}2\,\text{A}$$

Az egyidejű áram körülbelül 19 A. A 40 A-es főkapcsoló elegendő, mert nagyobb, mint 19 A; a 40 A-es FI-t a 3×25 A főbiztosító (legfeljebb 25 A) túlterhelés ellen védi, ezért a FI nem terhelhető túl.

4. feladat megoldása

Az egyvonalas kapcsolási rajzot szövegesen így lehet leírni: a bejövő L1, L2, L3, N, PE vezetők a lakáselosztó kapcsaira csatlakoznak. A fázisok a főkapcsolóhoz mennek, onnan a FI-reléhez, majd a FI után a négy kismegszakítóhoz. A N-sín a FI után közös, a PE-sín végig közös. A rajz hasonló a fenti circuit ábrához, négy kismegszakítóval.

5. feladat megoldása

A fogyasztók elosztása: - L1: mosógép (16 A), sütő (16 A), világítás 1 (10 A) → összesen 42 A - L2: mosogatógép (16 A), aljzatok 1 (16 A), világítás 2 (10 A) → összesen 42 A - L3: bojler (16 A), aljzatok 2 (16 A), klíma (10 A) → összesen 42 A

Így mindhárom fázis terhelése közel azonos. A fűtőjellegű, tartós nagy fogyasztók (bojler, sütő) különböző fázisra kerültek, és a négy legnagyobb fogyasztó (mosógép, mosogatógép, bojler, sütő) közül fázisonként legfeljebb kettő van.

6. feladat megoldása

A tünet: a FI leold, a kismegszakító nem. Ez hibaáramra utal, nem túláramra. Valószínű ok: a mosógépnél szigetelési hiba van (pl. a fűtőszál vagy a motor szigetelése átvezet), és a hibaáram a védővezetőn folyik el, amit a FI érzékel. Javítás: a mosógépet meg kell vizsgálni, szigetelési ellenállást mérni, a hibás alkatrészt cserélni. Ha a mosógép jó, akkor a bekötésben lehet hiba: pl. a N és PE felcserélve, vagy a nullavezető a FI után érintkezik a védővezetővel.

17.2.15. Rövid összefoglaló

A lakás- és épületelosztó a mérőhely után elhelyezkedő, moduláris készülékekből álló elosztóberendezés. Fő részei: bejövő kapcsok, főkapcsoló, túlfeszültség-levezető (SPD), áram-védőkapcsoló (FI), kismegszakítók, valamint a N- és PE-sín. A készülékek sorrendje a védelem logikáját követi: először a főkapcsoló, majd az SPD, utána a FI, végül a kismegszakítók. A N-sín szigetelt, a FI után nem köthető össze a PE-sínnel; a PE-sín közös, és az egyenpotenciálra hozás innen indul. A fázisok közötti terhelést kiegyenlítetten kell elosztani, és tartalékhelyet kell hagyni a bővítéshez. A tervezéskor a mérőhelyi főbiztosító értékéhez kell igazítani a főkapcsolót és a FI-t. **Továbbvitt eredmény.** Az itt megismert elosztófelépítést használjuk az Elosztó szerelése, kapcsolási rajz és feliratozás alfejezetben a bekötéshez, a Kismegszakítók és kioldási jelleggörbék alfejezetben a kismegszakítók kiválasztásához, valamint a Földelés és egyenpotenciálra hozás fejezetben a védelmi koncepció kialakításához. A legfontosabb képletek: $I = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_v \cos\varphi}$ a háromfázisú áram számításához, és a moduláris készülékek 35 mm-es DIN-sínre szerelése. A biztonsági szabály: a N és PE sínek a FI után szigorúan elkülönítve, és minden hálózati feszültségű munkát csak jogosult személy végezhet.

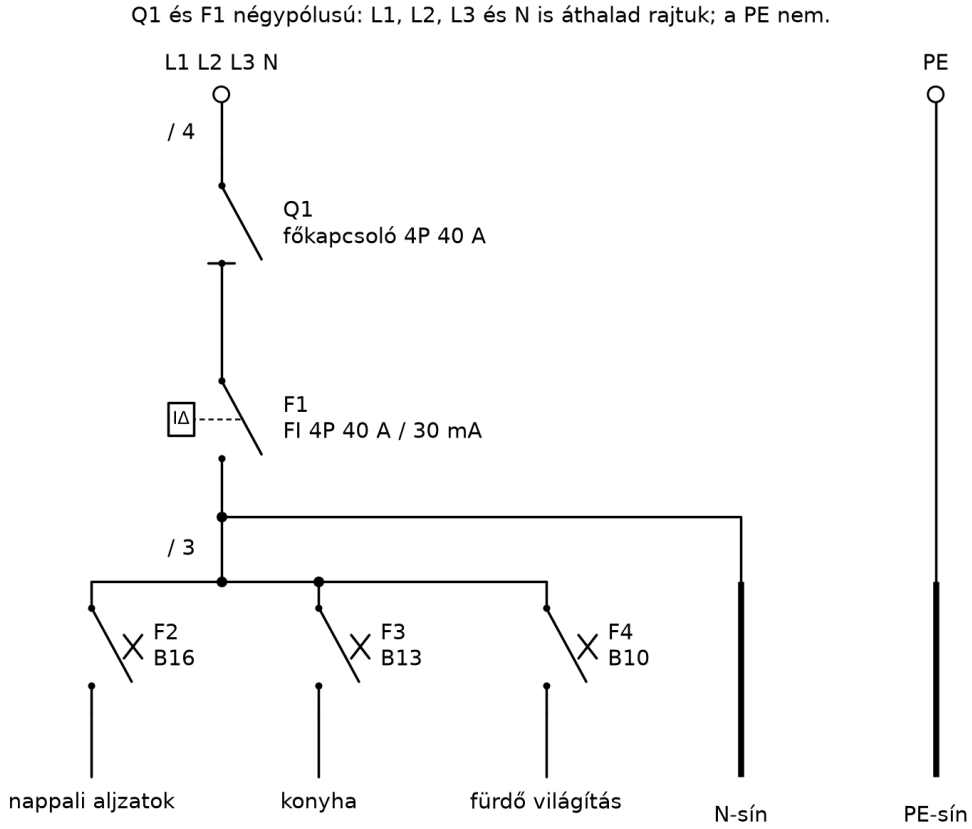
17.3. Elosztó szerelése, kapcsolási rajz és feliratozás

17.3.1. Motiváció

Egy lakásfelújítás során a villanyszerelő új lakáselosztót szerel. A megrendelő általában csak annyit lát, hogy a kismegszakítók sorban ülnek, a feliratok szépek és a kötések rendezettek. A szakember számára azonban az elosztó a villamos berendezés „központi idegrendszere”: itt találkozik a hálózati csatlakozás, a túláramvédelem, a hibavédelem és az áramkörök szétosztása. Ha a vezetékek rendezetlenek, a kötések nem megfelelő nyomatékkal húzottak, a feliratok hiányoznak, akkor a későbbi hibakeresés, bővítés vagy felülvizsgálat rémálommá válik, és a laza kötés tüzet is okozhat. Ebben az alfejezetben a kész elosztó szakszerű összeszerelését, a vezetékrendezést, a feliratozást és az átadás előtti ellenőrzést tanuljuk meg.

17.3.2. Szemléletes kép

Az alábbi ábra egy lakáselosztó egyvonalas kapcsolási rajzát mutatja: bejövő táp, főkapcsoló, áram-védőkapcsoló (FI-relé), majd kismegszakítók, külön nulla- és védősínnel.



17.5. ábra. Lakáselosztó egyvonalas kapcsolási rajza - Egyvonalas rajz: a bejövő vonal négy vezetőt visz (L1, L2, L3, N; „/ 4”), mert a Q1 négypólusú főkapcsolón és az F1 négypólusú FI-relén a fázisok és az N is áthalad. A FI után az N leágazik az N-sínre, a fázisgyűjtőről („/ 3”) az F2, F3, F4 kismegszakítók párhuzamos ágakat táplálnak. A PE-sín a bejövő PE-re csatlakozik, nem halad át kapcsolókészüléken; az N-sín és a PE-sín között nincs összekötés.

Az egyvonalas rajzon a három fázist és az N-et egyetlen vonal jelképezi („/ 4”); a FI után az N leágazik az N-sínre. A főkapcsoló és a FI-relé sorban követi egymást, a kismegszakítók viszont a FI utáni gyűjtőről párhuzamos ágakat táplálnak: minden áramkör a saját kismegszakítóján át kap feszültséget. A nulla- és védősínt külön jelöljük, mert a bekötéskor ezek elválasztása biztonsági követelmény: a FI-relé után a nulla már nem köthető össze a védővezetővel (TN-C-S rendszerben a PEN-t a hálózati engedélyes által elfogadott ponton – jellemzően a mérőhelyen vagy a főelosztóban – választják szét; **ellenőrizendő: hálózati engedélyes műszaki feltételei**).

17.3.3. A szerelés előkészítése

Mielőtt a dobozba kerülne az első vezeték, a szerelőnek a terv és a készülékek összhangját ellenőriznie kell. A Lakás- és épületelosztó felépítése alfejezetben láttuk a készülékek kiválasztásának szempontjait; most a fizikai beépítés és a dokumentáció kerül sorra.

Szabály. Az elosztó szerelését mindig feszültségmentes állapotban kezdd, és a visszakapcsolást csak a teljes ellenőrzés után végezd. A feszültségmentesítés öt biztonsági szabálya kötelező: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Az elosztó szerelése előtt készítsük össze az anyagokat és szerszámokat:

- az egyvonalas és szerelési rajz,
- a készülékek (főkapcsoló, FI-relé, kismegszakítók, gyűjtősínek, sorkapcsok),
- vezetékek (a rajz szerinti keresztmetszettel és színnel),
- érvéghüvelyek, jelölőgyűrűk, kábelbilincsek, kábelvég-elzáró,
- szerszámok: csavarhúzók, nyomatékkulcs, lehúzó, krimpelő, lakatfogó, feszültségvizsgáló / kétpólusú feszültségmérő, multiméter,
- dokumentációs anyag: áramkörjegyzék, feliratok, szerelési napló.

17.3.4. Szerelési sorrend és vezetékrendezés

A szerelési sorrendnek követnie kell a kapcsolási rajz logikáját, de a fizikai elrendezés miatt néhány gyakorlati szabályt be kell tartani.

Gyakorlati lépések (szerelési sorrend):

1. Rögzítsd a dobozt a végleges helyére, és vezesd be a táp- és fogyasztói kábeleket.
2. Szereld fel a készülékeket a DIN-sínre a rajz szerinti sorrendben: főkapcsoló, FI-relé, kismegszakítók.
3. Helyezd el a nulla- és védősínt, valamint a szükséges sorkapcsokat.
4. Vágd méretre a vezetékeket a készülékek és sínek között úgy, hogy minden ér hosszabb legyen a szükségesnél kb. 2–3 cm-rel, hogy a hajlítás és a későbbi átszerelés lehetséges legyen.
5. Csupaszítsd a vezetékvégeket a gyártói előírás szerinti hosszra (általában 8–12 mm a kapocsmérettől függően), majd húzd fel az érvéghüvelyt, és krimpeld meg szakszerűen.
6. A hajlításokat kézzel vagy hajlítóidommal alakítsd ki, kerüld az éles, szűk íveket. A hajlítási sugár legalább a vezeték külső átmérőjének 4–6-szorosa legyen **(ellenőrizendő: kábelgyártói adat).**
7. Kösd be először a védővezetőket (PE), majd a nullavezetőket (N), végül a fázisvezetőket (L1, L2, L3). Ok: ha a munka megszakad, vagy az áramkör tévedésből feszültség alá kerül, a védővezető már be van kötve; bontáskor fordított a sorrend, a PE-t kötjük ki utoljára.
8. A bekötésnél mindig a megfelelő csavarnyomatékot alkalmazd, és a kötést egyszer ellenőrizd.
9. Rendezd a vezetékeket: a fázisok és a nulla lehetőleg párhuzamosan, kötegelve haladjanak; a védővezető külön, jól láthatóan.
10. Szereld fel a feliratozó elemeket és a takarásokat.

Figyelem. A vezetékek túlzott feszítése, éles hajlítása vagy a kapcsokba töltött csupasz ér felesleges hosszúsága melegedést, szigeteléssérülést és rövidzárlatot okozhat.

17.3.5. Csavarnyomaték és kötésellenőrzés

A csavaros kötések a villamos elosztók egyik leggyakoribb hibapontjai. A túl laza kötés átmeneti ellenállást növel, melegedést okoz, és hosszú távon tüzet idézhet elő. A túl szoros kötés deformálja a vezetéket, sértheti a kapocs menetét, és szintén megbízhatatlan csatlakozást ad.

Definíció. Névleges csavarnyomaték: az a gyártó által megadott, newtonméterben ($\mathrm{N \cdot m}$) kifejezett nyomaték, amellyel az adott kapocshoz tartozó vezetőt szakszerűen meg kell húzni. Értéke a kapocs méretétől, anyagától és a vezető keresztmetszetétől függ.

Szabvány. A kapcsokra vonatkozó csavarnyomaték-értékeket a készülékgyártó adja meg a készülék adatlapján vagy a kapocs melletti jelölésen. Általános tájékoztató érték (ellenőrizendő a gyártói adatlap): 2,5 $\mathrm{mm^2}$ rézvezető esetén a kapocscsavarokra jellemző nyomaték 0,8–1,2 $\mathrm{N \cdot m}$, 4 $\mathrm{mm^2}$ esetén 1,2–1,5 $\mathrm{N \cdot m}$, 10 $\mathrm{mm^2}$ esetén 2–3 $\mathrm{N \cdot m}$. A pontos érték eltérhet, ezért a gyártó dokumentációját mindig ellenőrizni kell.

Példa. Egy elosztó sorkapcsába 2,5 $\mathrm{mm^2}$-es vezetőket kell bekötni. A kapocsgyártó adatlapja szerint a megfelelő nyomaték 1,0 $\mathrm{N \cdot m}$. A szerelő a nyomatékkulcsot 1,0 $\mathrm{N \cdot m}$-re állítja, és minden egyes csavart ezzel húz meg, amíg a kattanás jelzi a beállított értéket. Ha nincs nyomatékkulcs, nyomatékcsavarhúzót (beállítható nyomatékú csavarhúzót) használj; a gyártók a megadott nyomaték betartását írják elő, ezért elosztóban a nyomatékszerszám használata a jó gyakorlat **(ellenőrizendő: gyártói szerelési utasítás)**.

Szabály. Minden csavarkötés meghúzása után végezz utólagos ellenőrzést enyhe ellenőrző nyomatékkal vagy a vezető mozgatásával. A kapocstakaró felhelyezése előtt ellenőrizd, hogy a csupasz ér nem lóg ki a kapocstérből, és a szigetelés nem nyúlik-e be a kapocsba.

17.3.6. Feliratozás, áramkörjegyzék és egyvonalas rajz a tabló belsejében

A feliratozás nem kényelmi kérdés, hanem a biztonságos üzemeltetés és a gyors hibakeresés feltétele. A feliratnak egyértelműen azonosítania kell az áramkört és a készüléket.

Szabály. Minden kismegszakító felett vagy alatt szerepeljen az áramkör megnevezése, például: „F2 – Nappali aljzatok”, „F3 – Konyha dugalj”, „F4 – Fürdőszoba világítás”. A felirat tartós legyen (nyomtatott címke vagy gravírozott tábla), ne filctollal írt papír.

Szabvány. Az elosztóban elhelyezett feliratoknak és az áramkörjegyzéknek meg kell egyezniük az átadási dokumentációval és a kapcsolási rajzzal. Az egyvonalas rajzot a tabló belső oldalára vagy annak közelébe kell rögzíteni, hogy a későbbi szerelő azonosítani tudja az áramköröket **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364 sorozat előírásai).**

Áramkörjegyzék példa: (A kismegszakítót és a FI-t a gyakorlatban F vagy Q betűjellel is jelölik, MSZ EN 81346-2; a Lakás- és épületelosztó felépítése alfejezet Q2/Q3–Q5 jelöléseket használ. Egy dokumentáción belül egységesen kell eljárni.)

Készülék	Típus/érték	Áramkör	Vezeték keresztmetszet
Q1	Főkapcsoló 4P, 40 A	Bejövő táp	5×10 $\mathrm{mm^2}$
F1	FI-relé 40 A / 30 mA	Általános védelem	–
F2	Kismegszakító B16	Nappali aljzatok	3×2,5 $\mathrm{mm^2}$
F3	Kismegszakító B13	Konyha dugalj	3×2,5 $\mathrm{mm^2}$

Készülék	Típus/érték	Áramkör	Vezeték keresztmetszet
F4	Kismegszakító B10	Fürdőszoba világítás	3×1,5 mm²

Továbbvitt eredmény. Az itt bemutatott feliratozási és dokumentációs rend a Kötések, sorkapcsok, csavarnyomaték és ellenőrzés és a Lakáselosztó építése és bekötése gyakorlatokban tér vissza; a szerelés–mérés–dokumentálás lánc minden lépése erre a rendre épül.

17.3.7. Átadás előtti ellenőrzés

Az elosztó átadása előtt teljes körűen ellenőrizni kell a szerelést. Ez a szemrevételezésből és mérésekből áll.

Gyakorlati recept: átadás előtti ellenőrzőlista

1. Szemrevételezd a dobozt: nincs-e mechanikai sérülés, idegen tárgy, fémforgács.
2. Ellenőrizd a készülékek rögzítését a DIN-sínen: minden készülék szilárdan ül, a reteszek bepattantak.
3. Ellenőrizd a vezetékek színét és keresztmetszetét a rajz szerint.
4. Ellenőrizd a védővezető folytonosságát a fő földelőkapocstól minden védőérintkezőig.
5. Ellenőrizd a szigetelési ellenállást a fázisok, a nulla és a védővezető között (feszültségmentes állapotban, megfelelő műszerrel).
6. Feszültségmentes állapotban az 1–5. és a 7–8. pont végezhető. A FI-relé tesztgombos próbája és a műszeres FI-vizsgálat (kioldási idő, kioldási áram), valamint a hurokimpedancia mérése csak feszültség alá helyezés után, jogosult személy által végezhető; a tesztgomb csak a mechanikát próbálja, a mérést nem helyettesíti **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-6 szerinti vizsgálatok)**.
7. Ellenőrizd a csavarnyomatékokat a gyártói előírás szerint.
8. Ellenőrizd a feliratok meglétét, olvashatóságát és a rajz szerinti egyezőségét.
9. Készítsd el a mérési jegyzőkönyvet (a feszültség alá helyezés utáni mérések eredményével kiegészítve) és a dokumentációs csomagot (kapcsolási rajz, áramkörjegyzék, megfelelőségi nyilatkozat).

Mérési szempontok. Az átadás előtti mérések nem helyettesítik a hatósági vagy szabványossági felülvizsgálatot, de fontos előszűrést adnak. A védővezető folytonosságát kis áramú ellenállásméréssel, a szigetelési ellenállást 500 V-os szigetelési ellenállásmérővel kell végezni. A mért értékeknek a hatályos szabvány szerint kell megfelelniük **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-6 szerinti határértékek).**

17.3.8. Gyakorlati útmutató: lakáselosztó szerelése

Cél: egy lakáselosztó szakszerű bekötése, feliratozása és átadás előtti ellenőrzése tanműhelyi környezetben.

Eszközök és anyagok: lakáselosztó doboz, DIN-sínes készülékek (főkapcsoló, FI-relé, néhány kismegszakító), N- és PE-sín, vezetékek (1,5 és 2,5 mm²), érvéghüvelyek, jelölőgyűrűk, csavarhúzók, nyomatékkulcs, lehúzó, krimpelő, multiméter, szigetelési ellenállásmérő, feszültségvizsgáló, feliratok.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A munkavégzés előtt mindig alkalmazd a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát.

Lépések:

1. **Lekapcsolás.** Győződj meg arról, hogy a betáplálás le van kapcsolva, és a lekapcsolást jelöld ki.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás.** A lekapcsolt kismegszakítót vagy főkapcsolót rögzítsd lakatolással vagy kitáblázással.
3. **Feszültségmentesség ellenőrzése.** Kétpólusú feszültségvizsgálóval ellenőrizd minden áramkörben a feszültségmentességet, a műszert előtte és utána ismert feszültségforráson ellenőrizd.
4. **Földelés és rövidre zárás** (ha indokolt) és **szomszédos feszültség alatti részek lefedése.**
5. **Doboz előkészítése.** Szereld fel a DIN-sínt, a takaróelemeket és a kábelbevezetőket.
6. **Kábelek bevezetése és rögzítése.** A táp- és fogyasztói kábeleket kötésben, húzásmentesen rögzítsd.
7. **Készülékek felszerelése.** Helyezd a főkapcsolót, FI-relét és a kismegszakítókat a rajz szerinti sorrendbe.
8. **Vezetékek méretre vágása és előkészítése.** Minden vezeték hosszát úgy állapítsd meg, hogy a kapocsba való bekötés után a köteg rendezhető maradjon. Csupaszíts és krimpelj érvéghüvelyt.
9. **Bekötés.** Először a védővezetőket, majd a nullavezetőket, végül a fázisokat kösd be. A FI-relé utáni nullákat csak a FI-relé utáni N-sínre kösd, a FI előtti N-sínről csak a bejövő nulla csatlakozhat.
10. **Csavarnyomaték beállítása és ellenőrzése.** A gyártói értékek szerint húzd meg a kapcsokat, majd ellenőrizd.
11. **Feliratozás.** Rögzítsd a feliratokat és az áramkörjegyzéket.
12. **Szemrevételezés és mérések.** A feszültségmentes állapotban végezd el a védővezető folytonosságát, a szigetelési ellenállást, majd szereld fel a takarást.

Ellenőrzési pontok: a vezetékek színhelyesek, a FI-relé utáni nulla nem keveredik a védővezetővel, a csavarkötések nem lazák, a feliratok egyértelműek, a mérési értékek a szabvány szerint megfelelőek.

Dokumentálás: készítsd el a kapcsolási rajzot, áramkörjegyzéket, mérési jegyzőkönyvet; ezeket fűzd a szerelési naplóhoz.

17.3.9. Hibakeresés: laza csavar, túlmelegedés

Valós életbeli alkalmazás. Egy lakásban a fűtőbetét áramköre (F5, B16; az F5 az áramkörjegyzék példájában nem szerepel) időnként leoldott, de a betét jó volt. A szerelő megbontotta az elosztót, és azt tapasztalta, hogy a kismegszakító alsó kapcsánál a fázisvezető érvéghüvelye melegszik, a kapocs körüli műanyag enyhén elszíneződött. A hiba oka: a csavart nem a megfelelő nyomatékkal húzták meg, a kötés átmeneti ellenállása megnőtt, és a rajta keletkező hő a kismegszakítót is melegítette, ami a hőkioldó érzékenységét eltolva időnként leoldott.

Hibakeresési lépések:

1. **Tünet:** a kismegszakító terhelés alatt leold, bár az áram nem haladja meg a névleges értéket.
2. **Hipotézis:** laza csavarkötés vagy rosszul krimpelt érvéghüvely okozta melegedés.

3. **Mérés:** bekapcsolt állapotban, a takarás eltávolítása nélkül (vagy jogosult személy által, a feszültség alatti részek megközelítése nélkül) hőkamerával mérd a kapcsok hőmérsékletét; a laza kötésnél jóval magasabb a környezeténél. Feszültségmentesítés (öt szabály) után szemrevételezd a kapcsot, és ellenőrizd a nyomatékot; az átmeneti ellenállás mΩ-os nagyságrendje miatt multiméterrel nem mérhető megbízhatóan, ehhez kis ellenállás mérésére alkalmas (négyvezetékes) műszer kell. **Tilos** a feszültség alatti kapcsokat kézzel megérinteni.
4. **Ok:** a csavarnyomaték a gyártói érték alatt volt, a rázkódások és a hőtágulás miatt a kötés tovább lazult.
5. **Javítás:** a vezeték végét újra csupaszítja, új érvéghüvelyt krimpel, a csavart nyomatékkulccsal a megfelelő értékre húzza.
6. **Megelőzés:** minden kötést előírt nyomatékkal kell meghúzni, és az elosztó átadása előtt a csavarkötéseket ellenőrizni kell.

17.3.10. Tipikus hibák

1. **A vezeték hosszának rossz megválasztása.** Ha az ér túl rövid, feszül a kapocsban, és a rezgés miatt megsérülhet; ha túl hosszú, a felesleges vezeték rendezetlenné teszi a dobozt, és rövidzárlatot okozhat. **Helyes gyakorlat:** mindig hagyjunk 2–3 cm tartalékot, és a felesleget rendezetten, kötegben vezessük.
2. **Érvéghüvely nélküli bekötés.** A finom szálú hajlékony vezeték csupasz vége nem tölthető be közvetlenül a csavaros kapocsba, mert a szálak szétnyomódnak, és a kötés laza lesz. **Helyes gyakorlat:** mindig használjunk megfelelő méretű érvéghüvelyt és kézi krimpelőt.
3. **A nulla és a védővezető felcserélése.** A FI-relé utáni N-sínre kötött védővezető vagy a FI előtti N-sínre kötött fogyasztói nulla a FI-relé téves kioldását vagy a hibavédelem kiesését okozza. **Helyes gyakorlat:** a nulla- és védővezetők színét és sínjeit mindig következetesen különválasztjuk.
4. **A csavarnyomaték ellenőrzésének elmulasztása.** A „jó lesz az” hozzáállás laza kötéshez vezet, ami melegedést, később tüzet okoz. **Helyes gyakorlat:** a gyártói nyomatékot be kell tartani, és a kötéseket ellenőrizni kell.
5. **Hiányzó vagy pontatlan feliratozás.** A felirat nélküli kismegszakító hibakereséskor könnyen rossz áramkört kapcsol le, ami baleseti kockázatot jelent. **Helyes gyakorlat:** minden készüléket az átadáskor már feliratozva kell átadni.

17.3.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a FI-relé utáni nulla vezetéket össze szabad kötni a védővezetővel? Indokold!
2. Milyen sorrendben célszerű bekötni a vezetékeket (PE, N, fázis)? Miért?
3. Mekkora legyen egy 2,5 mm²-es rézvezető csavarkötésének jellemző csavarnyomatéka? (tájékoztató érték, jelölve)
4. Mi a veszélye a túl laza csavarkötésnek?
5. Miért kell a vezetékvégekre érvéghüvelyt húzni hajlékony vezeték esetén?
6. Milyen méréseket végezz el az elosztó átadása előtt?

17.3.12. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a lakáselosztó szerelésének 5 fő lépését.

2. feladat (A) Mi az áramkörjegyzék, és milyen adatokat tartalmaz?

3. feladat (B) Egy kapocs gyártói adatlapja szerint a 2,5 mm²-es vezetőre 1,0 N · m nyomatékot kell alkalmazni. A szerelő nyomatékkulcsa nincs kalibrálva. Mit kell tennie, és miért?

4. feladat (B) Adott egy 3×2,5 mm²-es kábel, külső átmérője 11 mm. Mekkora a minimális belső hajlítási sugár, ha a kábelgyártó a 4D hajlítást engedélyezi? (D a kábel külső átmérője.)

5. feladat (C) Egy elosztóban a FI-relé leold, ha a fürdőszobai világítást bekapcsolják. A hibakeresés során kiderül, hogy a világítási áramkör nulla vezetékét a FI-relé utáni N-sínre kötötték, de a fázisvezetőjét a FI-relé előtti fázisgyűjtőről táplálták. Magyarázd el, miért old le a FI-relé, és hogyan javítanád a hibát.

6. feladat (D) Tanműhelyi gyakorlat: építs egy lakáselosztó modellt egy főkapcsolóval, egy FI-relével és két kismegszakítóval (pl. világítás, aljzat). A bekötés után végezd el a védővezető folytonosságának mérését, és dokumentáld az áramkörjegyzékben a vezetékek színét és keresztmetszetét. Írd le a mérés lépéseit és a várt eredményt.

17.3.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis: a FI után az N és a PE nem köthető össze, mert az üzemi áram egy része a PE-n térne vissza (téves kioldás, üzemi áram a PE-n).
2. PE, N, majd fázis; így a védővezető bekötéskor elsőként csatlakozik, bontáskor utolsóként válik le.
3. Tájékoztató érték kb. 0,8–1,2 N · m **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.
4. Megnő az átmeneti ellenállás, ezért melegedés, szigetelésroncsolódás és tűz léphet fel.
5. A finom szálak a csavar alatt szétnyomódnak, a kötés idővel lazul; az érvéghüvely egybefogja a szálakat.
6. Feszültségmentesen: szemrevételezés, a védővezető folytonossága, szigetelési ellenállás; feszültség alá helyezés után: hurokimpedancia és FI-vizsgálat.

1. feladat (A)
A fő lépések: (1) feszültségmentesítés és biztosítás, (2) készülékek és sínek felszerelése, (3) vezetékek előkészítése és bekötése, (4) csavarnyomaték ellenőrzése, (5) feliratozás és mérések.

2. feladat (A)
Az áramkörjegyzék a készülékek és az áramkörök azonosítását szolgáló táblázat. Tartalmazza a készülék jelét (pl. F2), típusát/értékét (pl. B16), az áramkör megnevezését (pl. nappali aljzatok) és a vezeték keresztmetszetét.

3. feladat (B)
Ha a nyomatékkulcs nincs kalibrálva, nem használható megbízhatóan, mert a beállított nyomaték nem garantált. A szerelőnek kalibráltatnia kell a kulcsot, vagy másik, kalibrált nyomatékkulcsot kell használnia. A nem megfelelő nyomaték laza vagy túl szoros kötést okoz, ami balesetveszélyes.

4. feladat (B)
A minimális belső hajlítási sugár $R_{\min} = 4 \cdot D = 4 \cdot 11\,\text{mm} = 44\,\text{mm}$. Tehát a kábelt legalább 44 mm belső sugárral kell hajlítani.

5. feladat (C)
A FI-relé a fázis- és a nullavezető áramainak különbségére érzékeny. Ha a fázist a FI elé kötik, a nullát pedig a FI után, akkor a FI-n csak az áramkör N-vezetője halad át, a fázisáram megkerüli. A FI ezért a teljes visszatérő terhelőáramot differenciaáramnak látja: pl. 100 W-os világításnál $I = 100\,\text{W}/230\,\text{V} \approx 0{,}43\,\text{A}$, ez a 30 mA-es küszöb sokszorosa, így a FI bekapcsoláskor azonnal

kiold. Javítás: a világítás fázisát is a FI-relé utáni fázisgyűjtőről kell táplálni, hogy az áramkör mindkét pólusa a FI-relén át haladjon.

6. feladat (D)
A várható mérési lépések: feszültségmentesítés, a védővezető folytonosságának mérése a fő földelőkapocstól a fogyasztói védőérintkezőig. A mérésnek alacsony ellenállást kell mutatnia (általában <1 Ω, a vezeték hosszától és keresztmetszetétől függően). A dokumentációban rögzíteni kell a mért értéket, a mérési pontokat és a műszer típusát.

17.3.14. Rövid összefoglaló

Az elosztó szakszerű szerelése a biztonságos üzemeltetés és a későbbi hibakeresés alapja. A szerelési sorrend a feszültségmentesítéssel kezdődik, majd a készülékek felszerelése, a vezetékek előkészítése és bekötése következik. A védővezetőket, a nullavezetőket és a fázisokat meghatározott sorrendben, előírt csavarnyomatékkal kell bekötni; hajlékony vezeték esetén érvéghüvely kötelező. A vezetékek hajlításánál be kell tartani a minimális hajlítási sugarat. A feliratok és az áramkörjegyzék biztosítják az áramkörök azonosítását; az egyvonalas rajzot a tabló belsejében kell elhelyezni. Átadás előtt szemrevételezést és méréseket kell végezni: védővezető-folytonosság, szigetelési ellenállás, FI-relé teszt. A laza csavarkötés tipikus hibája a melegedés és a téves kioldás, ezért minden kötést ellenőrizni kell. **Továbbvitt eredmény:** a szerelés–mérés–dokumentálás lánc a Kötések, sorkapcsok, csavarnyomaték és ellenőrzés és a Lakáselosztó építése és bekötése alfejezetekben tér vissza; az itt tanult módszerek ott kerülnek gyakorlati alkalmazásba.

17.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg a Magyarországon érvényes villamos szerelési gyakorlatra, az MSZ HD 60364 sorozatra és a gyártói adatlapokra épül. A konkrét csavarnyomaték-értékek tájékoztató jellegűek, a készülékgyártó adatlapját mindig ellenőrizni kell. A mérési határértékek és a hajlítási sugarak a hatályos szabványoktól és gyártói előírásoktól függnek, ezért a pontos értékeket az adott kivitelezés előtt ellenőrizni kell. A jogszabályi kötelezettségeket (pl. felülvizsgálat, mérési jegyzőkönyv) a hatályos előírások szerint kell alkalmazni.

18 Túláramvédelem

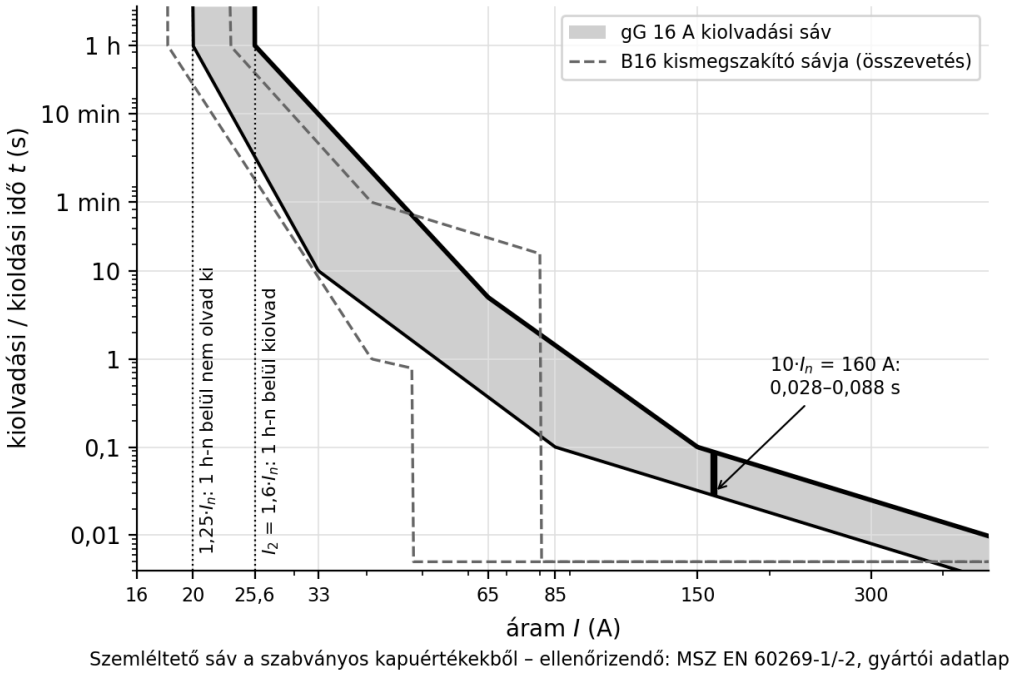
18.1. Olvadóbiztosítók

18.1.1. Motiváció: miért csap le a biztosító?

A lakáselosztóban egy csavaros biztosító hideg, de a fogyasztók nem működnek. A házilagos szerelő kinyitja, és a kiolvadt betét helyére vastag rézdrótot hajtogat. A villany visszatér, de a következő zárlatnál a rézdrót nem olvad ki, a vezeték hője meggyújtja a szigetelést. Az olvadóbiztosító nem kényelmetlenség, hanem az áramkör leggyengébb láncszeme: úgy van méretezve, hogy a védett vezetéknél hamarabb szakadjon meg. Ebben az alfejezetben megismerjük a működését, a gG/aM jelleget, az ipari késes és a csavaros kiviteleket, a jelleggörbéket, a kiválasztást és a szabályos cserét.

18.1.2. Szemléletes kép: egy 16 A gG biztosító idő-áram görbéje

Az alábbi log–log ábra egy 16 A-es gG olvadóbetét kiolvadási sávját mutatja (a sáv bal széle a legkorábbi, jobb széle a legkésőbbi kiolvadás), összevetésként szaggatott vonallal egy B16 kismegszakító sávját. A sáv a szabvány jellemző pontjaiból készült: $1{,}25 \cdot \mathrm{In} = 20$ A-nél a betét 1 órán belül nem olvad ki, $1{,}6 \cdot \mathrm{In} = 25{,}6$ A-nél 1 órán belül kiolvad, tízszeres áramnál (160 A) pedig a sematikus sáv szerint kb. 0,03–0,09 s alatt **(ellenőrizendő: MSZ EN 60269-1/-2, gyártói adatlap)**.



18.1. ábra. A 16 A gG olvadóbetét kiolvadási sávja log–log ábrázolásban, B16 kismegszakítóval összevetve

Az interaktív változatban áramot választhatsz, az oldal kiírja a legkorábbi és a legkésőbbi kiolvadási időt, és a B16 sáv összevetésre be- és kikapcsolható.

A görbén látszik, hogy a névleges áram közelében (16 A) a biztosító nagyon hosszú ideig, gyakorlatilag korlátlanul nem szakad meg. $1{,}25 \cdot \text{In}$-nél 1 órán belül sem olvad ki, $1{,}6 \cdot \text{In}$-nél legfeljebb 1 óra alatt; nagyobb túláramnál percek, majd másodpercek alatt, zárlati áramnál pedig a másodperc törtrésze alatt (tízszeres áramnál néhány század másodperc alatt) kiolvad. A rajzjele hosszúkás téglalap, amelynek hossztengelyén végigmegy a vezető vonala; a kivezetések a téglalap két rövidebb végén csatlakoznak (MSZ EN 60617). A dokumentációban többnyire `F` betűjellel (pl. `F1`, `F2`).

18.1.3. Túláram, zárlati áram és a melegedés

Definíció. Túláramnak nevezünk minden olyan áramot, amely meghaladja a vezeték, készülék vagy berendezés névleges (üzemi) áramát. A túláram két fő fajtája a túlterhelési áram és a zárlati áram.

Túlterhelési áram akkor folyik, ha a fogyasztó a rendeltetésszerűnél nagyobb áramot vesz fel, például túl sok készüléket üzemeltetünk egy áramkörről. A vezeték hosszabb idő alatt melegszik fel.

Zárlati áram akkor jön létre, ha a fázis és a nulla/védővezető közvetlenül, vagy kis ellenállású hibahelyen keresztül összeér. A zárlati áram értékét az U_0 / Z_s hányados határozza meg, ahol $U_0 = 230\,\text{V}$ és Z_s a hibahurok impedanciája. Ez az áram rendszerint a névleges áram tíz- vagy százszorosa.

A melegedés oka a Joule-törvény: $P = I^2 R$. A vezetékben fejlődő hőteljesítmény az áram négyzetével arányos, ezért egy 10 A-es áramkörben 100 A zárlati áram százszoros hőterhelést jelent.

Az olvadóbiztosító a túláramot az olvadószál megolvasztásával szakítja meg. A betétben lévő szál (réz, ezüst vagy ötvözet) a rajta átfolyó áram hőhatására felmelegszik. Normál üzemnél a hő leadódik a környezetbe, de túláramnál a szál hőmérséklete eléri az olvadáspontot, és a szál megszakad.

Definíció. Az olvadóbiztosító olyan túláramvédelmi eszköz, amelyben a megszakítás egyszeri, nem visszazárható módon történik: a kiolvadt betétet ki kell cserélni.

I²t (Joule-integrál). A túláram okozta melegedést nemcsak az áram, hanem a kiolvadásig eltelt idő is befolyásolja. Az $I^2 t$ érték a gyakorlatban a zárlati áram négyzetének és a szakadásig eltelt időnek a szorzata, pontosabban a $\int i^2 \, dt$ integrál a kiolvadásig. Ez jellemzi, hogy a betét mekkora hőhatást (Joule-integrált, A^2s) enged át a védett vezetékre, mielőtt megszakít; adott R ellenálláson a hő $W = R \cdot I^2 t$.

Továbbvitt eredmény. Az olvadóbiztosító $I^2 t$ értékét a Kismegszakítók és kioldási jelleggörbék alfejezetben összevetjük a kismegszakítók kioldási Joule-integráljával, és a vezetékvédelem koordinációjánál is használjuk.

18.1.4. A gG és aM jelleg

Szabály. A kisfeszültségű olvadóbiztosítók két leggyakoribb jellege a `gG` és az `aM`.

- `gG` (általános célú, teljes vezetékvédelem): a névleges áramnál nem szakad meg, de mind túlterhelésnél, mind zárlatnál véd. Lakáselosztókban, aljzat- és világítási áramkörökben ezt választjuk.
- `aM` (motorvédelmi, csak zárlati védelem): úgy tervezték, hogy a motor nagy indítási áramát (ami akár 6–8-szorosa is lehet a névlegesnek) kibírja anélkül, hogy kiolvadna. Emiatt túlterhelés ellen önmagában nem véd; mellé hőkioldót vagy motorvédő kapcsolót kell kötni.

A jelleg az idő-áram karakterisztikát adja meg. A `gG` betét (16–63 A) szokásos nem-kiolvadási árama $1{,}25\,I_n$, szokásos kiolvadási árama $I_2 = 1{,}6\,I_n$ (szokásos idő: 1 óra; kisebb névleges áramnál nagyobb szorzók) **(ellenőrizendő: MSZ EN 60269-1 táblázata)**; nagyobb túláramokra az idő gyorsan csökken. Az $1{,}13\,I_n$ és $1{,}45\,I_n$ a kismegszakítók (MSZ EN 60898-1) szokásos nem-kioldási és kioldási áram értéke, a betétekre nem alkalmazható. Az `aM` görbe a túlterhelési tartományban „lapos”, csak a zárlati tartományban kezd el gyorsan szakadni.

18.1.5. Szerkezeti kialakítások: csavaros, késes, biztosító-szakaszoló

A hazai gyakorlatban két fő család terjedt el:

- **Csavaros biztosító (D-rendszer, köznyelvben „Diazed”):** a betét porcelán vagy műanyag hengerben van, a csavaros foglalatba kell behajtani. Az aljzatban a foglalat biztosítja a fázis és a terhelés csatlakoztatását. A D-rendszer kisebb névleges áramokra (2–63 A) alkalmas; a méretek DII, DIII stb. **(ellenőrizendő: a konkrét méret- és áramtartomány a gyártói katalógus alapján).**
- **Késes biztosító (NH-rendszer):** nagyobb áramokhoz (pl. 63 A-tól 1250 A-ig) használják. A betét teste kerámiából készül, lapos késekkel csatlakozik az aljzatba; kihúzáshoz és behelyezéshez szigetelt fogót kell használni. A homoktöltet (kvarchomok) az ívet hűti, így a készülék nagy zárlati áramot is képes megszakítani.

Biztosító-szakaszoló az a kapcsolókészülék, amelyben a késes biztosítók ülnek, és a késeket kihúzva szakaszolási állapotot hozhatunk létre. Ezt gyakran az elosztószekrényben a kismegszakítók vagy mágneskapcsolók elé építik, hogy a leágazást teljesen feszültségmentessé lehessen tenni.

A biztosító rajzjelét a Rajzjelek és jelölések (MSZ EN 60617) alfejezet mutatja; a fázisvezetőbe, a leágazás elejére kerül, hogy minden leágazást leválasszon.

18.1.6. Kiválasztás és számítási példák

A vezetékvédelem alapfeltétele a teljes könyvben használt:

$$I_b \le I_n \le I_z,$$

ahol I_b az üzemi áram, I_n a védőkészülék névleges árama, I_z a vezeték terhelhetősége. Emellett a zárlati áramnak kisebbnek kell lennie a biztosító kapcsolóképességénél, és a túlterhelési feltételnek is teljesülnie kell: $I_2 \le 1{,}45\,I_z$ **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-43)**, ahol I_2 a védőkészülék szokásos kiolvadási (kioldási) árama. Kismegszakítónál $I_2 = 1{,}45\,I_n$, ezért ott $I_n \le I_z$ elég; `gG` betétnél $I_2 = 1{,}6\,I_n$, ezért $I_n \le 0{,}9\,I_z$ (pontosabban $I_n \le I_z \cdot 1{,}45/1{,}6 \approx 0{,}906\,I_z$).

Számítás 1. Világítási áramkör biztosítójának kiválasztása.
Adott: 230 V, a fogyasztók összteljesítménye $P = 2{,}3\,\text{kW}$, a világítási áramkör vezetéke 1,5 mm² réz, falba vésve.

Keresett: megfelelő `gG` biztosító névleges árama.
Az üzemi áram:

$$I_b = \frac{P}{U} = \frac{2300\,\mathrm{W}}{230\,\mathrm{V}} = 10\,\mathrm{A}.$$

A vezeték terhelhetősége a szerelési módtól függ, például 1,5 mm² réz, közvetlenül vakolat alatt (C szerelési mód), $I_z \approx 19{,}5\,\mathrm{A}$ **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 táblázata, Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők)**. Védőcsőben (B1 mód) az érték kb. 17,5 A, és ott a 16 A gG betét az $1{,}6\,I_n$ miatt már nem felelne meg, a B16 kismegszakító igen. Válasszunk `gG 16 A` betétet:
$10 \le 16 \le 19{,}5$, tehát a feltétel teljesül.
Ellenőrzés: $I_2 = 1{,}6 \cdot 16\,\mathrm{A} = 25{,}6\,\mathrm{A} \le 1{,}45 \cdot 19{,}5\,\mathrm{A} = 28{,}3\,\mathrm{A}$, ezért a vezetéket túlterhelés ellen is védi.

Számítás 2. Várható zárlati áram és kapcsolóképesség.
Adott: $U_0 = 230\,\mathrm{V}$, a mért hibahurok-impedancia a lakáselosztónál $Z_s = 0{,}47\,\Omega$.
Keresett: a várható zárlati áram és a biztosító minimális kapcsolóképessége.
A zárlati áram:

$$I_k = \frac{U_0}{Z_s} = \frac{230\,\mathrm{V}}{0{,}47\,\Omega} \approx 489\,\mathrm{A}.$$

A D-rendszerű gG betétek megszakítóképessége jellemzően 50 kA, az NH-betéteké 100–120 kA **(ellenőrizendő: MSZ EN 60269 és gyártói adatlap)**; a kismegszakítóké jellemzően 6 vagy 10 kA. A 489 A jóval kisebb, tehát a betét megszakítóképessége bőven elegendő. Az ipari NH késes biztosítók nagy megszakítóképességűek, ezért az elosztóban a főágakban gyakran azokat alkalmazzák.

Számítás 3. Az átengedett Joule-integrál (I^2t).
Adott: `gG 16 A` biztosító, a várható zárlati áram 160 A, a görbe szerint a kiolvadási idő legfeljebb kb. 0,09 s (a sáv felső széle); a felső sávszéllel számolunk, mert a vezeték szempontjából ez a kedvezőtlenebb eset.
Keresett: az I^2t érték.

$$I^2t = (160\,\mathrm{A})^2 \cdot 0{,}09\,\mathrm{s} \approx 2300\,\mathrm{A^2s}.$$

Ez azt jelenti, hogy a biztosító legfeljebb ekkora Joule-integrált enged át a vezetékre, mielőtt megszakad. Ezt az értéket kell a vezeték megengedett I^2t-jével és a kismegszakítóval összevetni a Kismegszakítók és kioldási jelleggörbék (B, C, D) alfejezetben.

18.1.7. Szabvány

Szabvány. A kisfeszültségű olvadóbiztosítók követelményeit az MSZ EN 60269 sorozat tartalmazza (pl. általános követelmények, ipari késes biztosítók, csavaros biztosítók). A pontos jelleggörbéket, méreteket és kapcsolóképességeket a gyártói adatlapok adják. **(ellenőrizendő: melyik szabványrész vonatkozik a konkrét típusra, és a legfrissebb kiadás száma.)**

A gG biztosítókra vonatkozó jellemző követelmények: a névleges áramnál nem szabad kiolvadniuk; $1{,}25\,I_n$-nél a szokásos időn belül nem szakadhatnak meg; $1{,}6\,I_n$-nél (16–63 A) a szokásos időn (1 óra) belül ki kell olvadniuk **(ellenőrizendő: MSZ EN 60269-1)**. A kapcsolóképességet úgy adják meg, hogy a betét a maximális zárlati áramot biztonságosan megszakítja, anélkül hogy a patron szétrobbanna.

18.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy ipari műhelyben a forgácselszívó motor leállt, a főelosztóban az NH késes biztosító kiolvadt. A szerelő először csak kicserélte a betétet; a második indításnál az új biztosító is kiolvadt. A további vizsgálat azt mutatta, hogy a motor csapágya szorult, ezért a motor nem tudott felgyorsulni, és tartósan az indítási (zárt forgórészes) áramot vette fel, így a biztosító ismételten kiolvadt. A csapágy cseréje után a motor árama visszaállt a névleges értékre, és a biztosító tartósan működött. A tanulság: ha egy biztosító kiolvad, először mindig a hiba okát kell keresni, nem elég csak a betétet cserélni.

18.1.9. A biztosító cseréjének szabályai

Biztonsági korlát. Hálózati feszültségű (230/400 V) munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet. Az alábbi lépések tanműhelyi gyakorlásra vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkoznak; önállóan hálózati feszültségen ne végezd.

A csere előtt mindig:

1. Kapcsold le az érintett áramkört (szakaszold le a biztosítót vagy a főkapcsolót).
2. Biztosítsd visszakapcsolás ellen (pl. lakat, tiltó tábla).
3. Ellenőrizd a feszültségmentességet kétpólusú feszültségvizsgálóval minden pólus között (L–N, L–PE, N–PE), a vizsgálót előtte és utána ismert feszültségforráson kipróbálva **(ellenőrizendő: MSZ EN 50110-1, MSZ EN 61243-3)**.
4. Földeld és rövidrezárd a munkaterületet, ha az üzemeltető előírja.
5. Fedd le a szomszédos feszültség alatt álló részeket.

Ezután a kiolvadt betétet csak **azonos típusú, azonos névleges áramú, azonos jellegű** betéttel szabad kicserélni. Csavaros rendszernél a foglalatot, késes rendszernél a késeket és az aljzatot ellenőrizni kell, hogy nincs-e rajta melegedésnyom (elszíneződés, repedés). Az olvadt betétet nem szabad megjavítani, rázni vagy vezetődarabbal pótolni.

Tilos. Tilos a biztosítót rézdróttal, szeggel, csavarral vagy más vezetővel áthidalni. Tilos a biztosítót nagyobb névleges áramúra cserélni, ha a vezeték terhelhetősége nem elegendő. Tilos a biztosítót megjavítani.

18.1.10. Tipikus hibák

1. **„Megjavított” biztosító.** A kiolvadt betét végét visszahajlítják, vagy rézdrótot húznak a patronba. A védelem teljesen megszűnik; zárlatnál a vezeték ég.
2. **Nagyobb betét behelyezése.** A 10 A-es biztosító helyett 25 A-es kerül, mert „úgyis gyakran kioldott”. A vezeték túlterhelhető, a szigetelés melegszik, tűz keletkezhet.
3. **aM biztosító vezetékvédelemre.** Egy motorvédő aM betétet tesznek aljzatkörbe, mert „az is megfelelő”. A motor indítási áramát elviseli, de a tartós túlterhelésnél nem old ki, ezért a vezeték melegszik.
4. **Csak a betétet cseréli.** A kiolvadás okát nem vizsgálják, ezért a hiba a következő betétet is tönkreteszi. Minden olvadás diagnosztikai jel.
5. **Feszültség alatt csere.** A betétet feszültség alatt cserélik, ívképződés, olvadt fém- és homokszóródás, áramütés veszélye. Mindig feszültségmentesíteni kell.

18.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A gG biztosító csak zárlati védelemre való. Indokold.
2. Mennyi a várható zárlati áram, ha $U_0 = 230\,\text{V}$ és $Z_s = 0{,}23\,\Omega$?
3. Miért nem szabad a 10 A-es biztosítót 25 A-esre cserélni egy 1,5 mm²-es vezetéken?
4. Mi a különbség a gG és az aM jelleg között?
5. Milyen eszközzel kell a késes biztosítót kihúzni?
6. Mi a szerepe a késes biztosítókban lévő kvarchomoknak?

18.1.12. Feladatok

1. feladat (A). Határozd meg egy 230 V-os, 1,8 kW-os mosógép üzemi áramát. Válassz gG biztosítót, ha a vezeték terhelhetősége 16 A.

2. feladat (A). Rajzold le egyszerűen egy olvadóbiztosító jelét, és írd le, hova kell kötni a fázisvezetőben.

3. feladat (B). Egy elosztóban a hibahurok-impedancia 0,36 Ω. Számítsd ki a várható zárlati áramot. Ellenőrizd, hogy egy 50 kA névleges megszakítóképességű D-rendszerű gG betét megfelel-e (jellemző gyártói érték, ellenőrizendő).

4. feladat (B). Egy 25 A-es gG biztosítónál 250 A zárlati áram esetén a kiolvadási idő (illusztratív adat; ellenőrizendő: gyártói görbe) kb. 0,02 s. Számítsd ki az I^2t értékét. Miért fontos ez a vezeték méretezésénél?

5. feladat (C). Egy 16 A gG biztosítót 1,5 mm² réz vezeték védelmére választottak. A vezeték terhelhetősége 19,5 A. Ellenőrizd, hogy a biztosító megfelel-e a vezetékvédelem alapfeltételének, ha az üzemi áram 12 A. Mutasd meg a túlterhelési feltétel ellenőrzésével ($I_2 = 1{,}6\,I_n \le 1{,}45\,I_z$), hogy a biztosító kiolvad, mielőtt a vezeték melegedése kritikus lenne (a 19,5 A a közvetlenül falon/falban vezetett, C szerelési módra vonatkozik; ellenőrizendő).

6. feladat (D). Egy műhelyben a gG 32 A késes biztosító ismételten kiolvad, ráadásul már normál indításkor is. A mért áram indításkor 180 A, üzemben 20 A. Melyik biztosítót választanád, és miért? (Tipp: ne csak a névleges áramot nézd, hanem a jellegét is.)

18.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok: 1. Hamis. A gG teljes vezetékvédelem: túlterhelésnél és zárlatnál is véd; az aM csak zárlatvédelem. 2. $I_k = \frac{230\,\text{V}}{0{,}23\,\Omega} = 1000\,\text{A}$. 3. Mert a vezeték terhelhetősége (pl. 1,5 mm² esetén kb. 17,5–19,5 A a szerelési módtól függően) kisebb, mint 25 A, így a biztosító nem védi a vezetéket túlterhelés ellen, és a vezeték melegszik. 4. A gG túlterhelésre és zárlatra is kiold, az aM a motorindítási áramot elviseli, csak zárlatra véd. 5. Szigetelt fogóval. 6. A kvarchomok az ívet hűti és oltja, ezért nagy zárlati áramot is képes megszakítani.

1. feladat (A).
$I_b = P/U = \frac{1800\,\text{W}}{230\,\text{V}} = 7{,}83\,\text{A}$.
Válasszunk `gG 10 A`-t, mert $7{,}83\,\text{A} \le 10\,\text{A} \le 16\,\text{A}$, és a túlterhelési feltétel is teljesül: a 10 A-es betét szokásos kiolvadási árama a 16 A alatti tartományban nagyobb szorzóval számolandó ($\approx 1{,}9 \cdot I_n$) **(ellenőrizendő: MSZ EN 60269-1)**, tehát $I_2 \approx 1{,}9{\cdot}10\,\text{A} = 19\,\text{A} \le 1{,}45{\cdot}16\,\text{A} = 23{,}2\,\text{A}$. A `gG 16 A` nem felelne meg: $I_2 = 25{,}6\,\text{A} > 23{,}2\,\text{A}$ (`gG` betétnél, 16–63 A között, $I_2 = 1{,}6\,I_n$, ezért $I_n \le 0{,}9\,I_z$).

2. feladat (A).
A biztosító rajzjele hosszúkás téglalap, amelynek hossztengelyén végigmegy a vezető vonala;

a kivezetések a téglalap két rövidebb végén csatlakoznak (MSZ EN 60617). A fázisvezető (L) elejére kötjük, a fogyasztó felé a biztosító kimenete megy. A nullát és a PE-t nem biztosítjuk.

3. feladat (B).
$I_k = \frac{230\,\mathrm{V}}{0{,}36\,\Omega} = 638{,}9\,\mathrm{A} \approx 0{,}64\,\mathrm{kA}$.
Az 50 kA megszakítóképességű betét bőven megfelel, mert 0,64 kA $<$ 50 kA.

4. feladat (B).
$I^2t = (250\,\mathrm{A})^2 \cdot 0{,}02\,\mathrm{s} = 1250\,\mathrm{A}^2\mathrm{s}$.
Az I^2t a Joule-integrál ($\mathrm{A}^2\mathrm{s}$, nem energia): az R ellenálláson fejlődő hő $W = R \cdot I^2t$. Ezt engedi át a biztosító a vezetékre; a vezeték megengedett I^2t-je ennél nagyobb kell legyen, hogy a szigetelés ne sérüljön. A kismegszakítókkal való koordinációnál is használjuk.

5. feladat (C).
$I_b = 12\,\mathrm{A}$, $I_n = 16\,\mathrm{A}$, $I_z = 19{,}5\,\mathrm{A}$.
$12 \le 16 \le 19{,}5$, tehát az alapfeltétel teljesül.
A túlterhelési feltétel: $I_2 = 1{,}6 \cdot 16\,\mathrm{A} = 25{,}6\,\mathrm{A} \le 1{,}45 \cdot 19{,}5\,\mathrm{A} = 28{,}3\,\mathrm{A}$, tehát a biztosító a vezeték melegedési határa előtt megszakít.

6. feladat (D).
Először a hiba okát keresd (a feszültségmentesítés öt szabálya szerint): nincs-e mechanikai hiba (szorulás), nem túl hosszú-e az indítás, nem öregedett-e a betét. Ha az indítás normális (180 A, néhány másodperc), és a 32 A-es gG betét ezt nem viseli, motorvédelemre aM betét választható (a motor névleges áramához, a gyártói táblázat szerint, pl. aM 25 A vagy 32 A) hőkioldóval együtt; a vezetéket a hőkioldó (túlterhelés) és az aM betét (zárlat) együtt védi, mert az aM túlterhelésre nem véd.

18.1.14. Rövid összefoglaló

Az olvadóbiztosító egyszeri, nem visszazárható túláramvédelmi eszköz. A túláram lehet túlterhelés vagy zárlat. A biztosító olvadószálát a túláram hőhatása olvasztja meg; a képződő ívet a homoktöltet oltja. A `gG` jelleg teljes vezetékvédelem: túlterhelésnél és zárlatnál is véd; az `aM` csak zárlatvédelmet ad, ezért motorok mellé hőkioldó kell. A kiválasztás alapfeltétele: $I_b \le I_n \le I_z$, és a biztosító kapcsolóképessége nagyobb kell legyen a várható $I_k = U_0/Z_s$ zárlati áramnál. Az I^2t Joule-integrál a betét által átengedett hőhatás (Joule-integrál, $\mathrm{A}^2\mathrm{s}$) mértéke; adott R ellenálláson a hő $W = R \cdot I^2t$; ezt a Kismegszakítók és kioldási jelleggörbék alfejezetben használjuk tovább. A biztosítót tilos megjavítani, áthidalni, vagy nagyobbra cserélni; a cserét feszültségmentesítés után, azonos típusú és értékű betéttel végezzük.

18.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

A működés fizikai alapjai (Joule-törvény, olvadás, I^2t) stabil elektrotechnikai ismeretek. A szabványhivatkozás: MSZ EN 60269 sorozat (ellenőrizendő: a legfrissebb kiadás és a konkrét típusra vonatkozó rész). A D-rendszer és NH méretek, áramtartományok gyártói katalógusadatok (ellenőrizendő). A szemléltető jelleggörbe 16 A gG-re vonatkozó közelítés, nem gyártói adat.

18.2. Kismegszakítók és kioldási jelleggörbék (B, C, D)

18.2.1. Kismegszakító a lakáselosztóban

Egy lakáselosztó cseréjénél a régi olvadóbiztosítókat kismegszakítókra cserélik. A szerelőnek el kell döntenie, hogy a világítási körre miért B10-es, az aljzatkörre miért B16-os, a mosógép körére B16 vagy – ha a B bekapcsoláskor leold – C16 kerüljön, és mikor kell a motoros fogyasztónál C vagy D görbéjű készülék. A rosszul megválasztott jelleggörbe azt okozza, hogy a kismegszakító egy nagy indítási áramnál leold, vagy éppen egy kisebb zárlati áramnál csak nagyon lassan kapcsol ki. Ebben az alfejezetben a B, C, D jelleggörbéket, a termikus és mágneses kioldót, valamint a kiválasztási szempontokat tanuljuk meg.

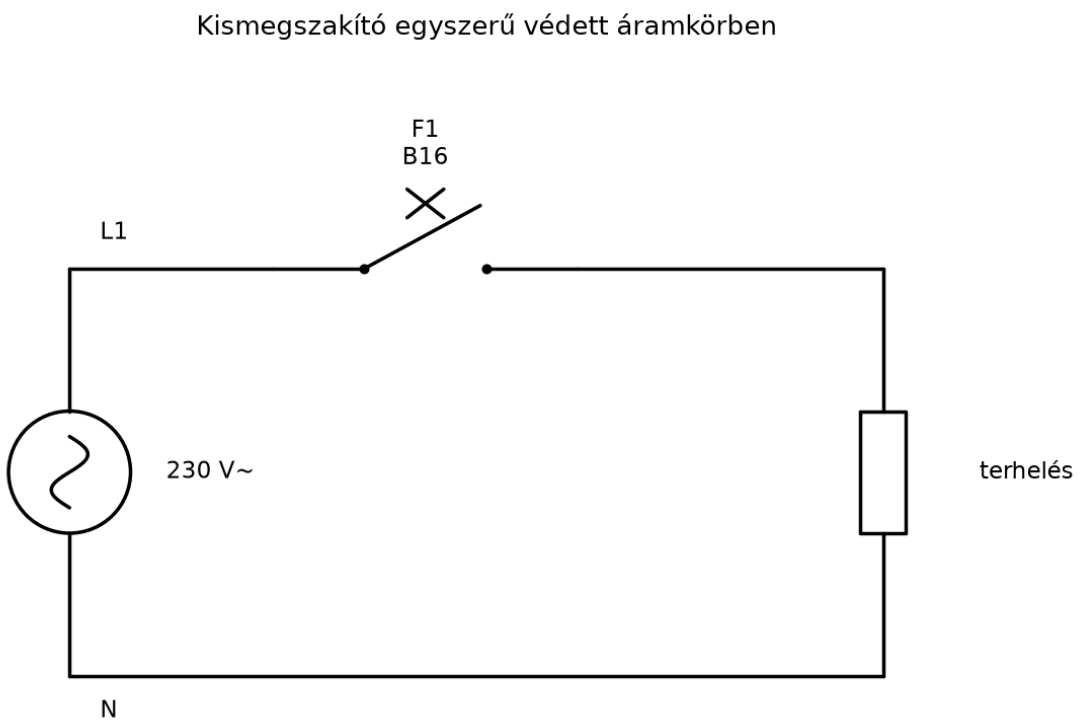
18.2.2. A kismegszakító felépítése és a két kioldója

Definíció. A kismegszakító (MCB, Miniature Circuit Breaker) olyan kapcsolókészülék, amely képes be- és kikapcsolni az üzemi áramot, és a rajta átfolyó túláram – túlterhelés vagy zárlat – hatására automatikusan megszakítja az áramkört. A névleges áramot I_n hosszú ideig megszakítás nélkül elviseli.

A kismegszakítóban két, egymástól eltérő feladatú kioldó van:

- **Termikus kioldó (bimetál).** Két eltérő hőtágulási együtthatójú fémsávot egymáshoz hengerelnek. Amikor a terhelési áram melegíti a bimetált, az elhajlik, és egy mechanikus reteszt elmozdít, így kioldja a kismegszakítót. Ez a kioldás késleltetett: minél nagyobb a túlterhelés, annál rövidebb idő alatt melegszik a bimetál, ezért inverz időfüggő jelleggel dolgozik. Ez védi a vezetéket a hosszabb ideig fennálló túlterhelés ellen.
- **Mágneses (gyors) kioldó.** Egy tekercsen és vasmagon alapuló elektromágnes nagy áram esetén azonnal behúz, és kioldja a kismegszakítót. Ez a zárlat elleni, gyors védelem: a kioldási idő a mágneses tartományban gyakorlatilag néhány milliszekundum (jellemzően legfeljebb 0,1 s).

A kismegszakító a fázisvezetőben van; a nullavezetőt a lakossági MCB nem szakítja meg. Az alábbi kapcsolási rajz ezt a legegyszerűbb formában mutatja.



18.2. ábra. Kismegszakító egyszerű védett áramkörben - Az F1 kismegszakító az L1 fázisvezetőben van, az N nullavezető nincs megszakítva. Zárlatkor (a terhelés helyén fázis–nulla összeérés) a zárlati áram ugyanezen a fázis–nulla hurkon folyik, és az F1-nek kell megszakítania.

A rajzon az F1 jelű kismegszakító a fázisvezetőben ül; a nullavezető folytonos. A hiba a fázis–nulla hurkon át zárja az áramkört, és a kismegszakítónak ezt az áramot kell megszakítania.

18.2.3. A kioldási jelleggörbe: B, C, D

Definíció. A kioldási jelleggörbe azt adja meg, hogy adott I/I_n áramszorzónál a kismegszakító mekkora idő alatt old ki. A görbén a termikus tartomány meredek, inverz időfüggő, a mágneses tartomány gyakorlatilag vízszintes, nagyon rövid kioldási idővel.

A lakossági kismegszakítóknál a B, C és D betű a mágneses gyorskioldó áramtartományát jelöli, azaz azt, hogy a névleges áram hányszorosánál lép működésbe a mágneses kioldó. A termikus kioldó mindhárom görbénél hasonló elven dolgozik, ezért a betű elsősorban a zárlati/gyors kioldás érzékenységét szabja.

Szabály. A B, C, D jelleggörbék mágneses gyorskioldó tartománya:

- **B:** $3 \cdot I_n \le I \le 5 \cdot I_n$
- **C:** $5 \cdot I_n \le I \le 10 \cdot I_n$
- **D:** $10 \cdot I_n \le I \le 20 \cdot I_n$

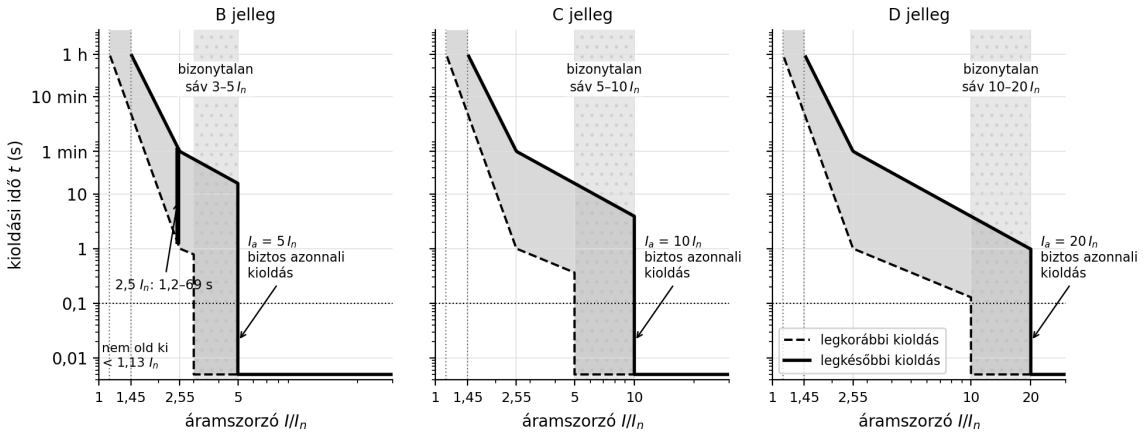
A sáv alsó határa alatt a mágneses kioldó biztosan nem old ki (a lekapcsolás időt vesz igénybe), a felső határ felett biztosan, 0,1 s-on belül kiold. A **biztos gyors lekapcsolás** feltételéhez (és

az MSZ HD 60364-4-41 szerinti kioldási feltételhez) ezért a sáv **felső** határát kell használni; ez az I_a kioldási áram:

$$I_a = 5I_n \quad \text{(B)}, \qquad I_a = 10I_n \quad \text{(C)}, \qquad I_a = 20I_n \quad \text{(D)}.$$

A sáv alsó határa rendre $3I_n$, $5I_n$, illetve $10I_n$ (ez alatt biztosan nincs mágneses kioldás: az indítási áramlökések elviselésénél ezt használjuk) **(ellenőrizendő: MSZ EN 60898-1, MSZ HD 60364-4-41)**. A gyártói görbén a mágneses sávban a kioldási idő tipikusan 0,01–0,1 s nagyságrendű; a pontos értéket mindig a készülék adatlapjáról kell leolvasni.

A jelleggörbe leolvasását az alábbi sematikus ábra mutatja. A valós katalógusgörbék, és ez az ábra is, log–log koordináta-rendszerben jelennek meg. Egy-egy jelleg nem egyetlen vonal, hanem sáv: a szaggatott vonal a legkorábbi, a folytonos a legkésőbbi kioldás. A sáv jellemző pontjai: 1,13 · In-nél a kismegszakító 1 órán belül nem old ki, 1,45 · In-nél 1 órán belül kiold, 2,55 · In-nél kb. 1–60 s alatt (termikus tartomány). A mágneses sáv alsó határán (B: 3, C: 5, D: 10 · In) a kioldás még nem azonnali (t > 0,1 s), a felső határán (B: 5, C: 10, D: 20 · In) biztosan 0,1 s-on belül megtörténik; a kettő közötti tartomány bizonytalan. A biztos gyors lekapcsoláshoz ezért a sáv felső határát kell figyelembe venni: $I_a = 5\,I_n$ (B), $10\,I_n$ (C), $20\,I_n$ (D) **(ellenőrizendő: MSZ EN 60898-1, MSZ HD 60364-4-41)**.



18.3. ábra. B, C, D kismegszakító kioldási sávja log–log ábrázolásban

Az ábrán jól látható, hogy a B sáv balra, a D sáv jobbra helyezkedik el, vagyis a D mágneses kioldója csak nagyobb áramnál szólal meg. A termikus szakasz mindháromnál hasonló alakú.

Interaktív vizsgálat. A digitális változatban a fenti ábra interaktív: kiválaszthatod a B, C vagy D jelleget, csúsztathatod az I/I_n szorzót és állíthatod a névleges áramot, a program pedig kiírja, hogy az adott áram a „nem old ki”, a termikus (legkorábbi–legkésőbbi idővel), a bizonytalan mágneses vagy a biztos azonnali kioldás tartományába esik.

Alkalmazási területek. A gyakorlati szabály:

- **B görbe:** ohmos (ellenállás jellegű) fogyasztók: izzólámpás világítás, fűtőbetét, elektromos fűtőpanel, bekapcsolási áramlökés nélküli terhelések. A mágneses kioldó már $3I_n$-nél indul, ezért érzékeny a kisebb zárlati áramokra is.

- **C görbe:** nagyobb bekapcsolási áramú körök (kisebb motoros gépek, kapcsolóüzemű tápegységek nagy csoportja, LED-meghajtók csoportja). Lakásban az aljzat- és világítási körök szokásos védelme B jelleg; C-t akkor választunk, ha a B bekapcsoláskor leold, és a hurokimpedancia a C-re is teljesíti a kioldási feltételt.
- **D görbe:** nagy induló áramú fogyasztók: motorok, transzformátorok, hegesztőgépek, légkompresszorok, ipari fogyasztók. A mágneses kioldó $10I_n$-nél indul, ezért a rövid idejű nagy indítási áram nem oldja le.

A kiválasztásnál mindig a tényleges indítási jelleget kell figyelembe venni. A C görbe akkor jó aljzatkörhöz, ha a B bekapcsoláskor leold, és a hurokimpedancia a C-re is teljesíti a kioldási feltételt; egy nagyobb konyhai fogyasztó (pl. sütő, főzőlap) vagy mosógép esetében a gyártói ajánlás és a készülék indítási viselkedése dönt.

18.2.4. Névleges áram, megszakítóképesség és energiakorlátozó osztály

Névleges áram (I_n). A kismegszakító tartósan elviseli ezt az áramot a környezeti hőmérsékleti határokon belül; a hőkioldó ennél kisebb áramnál nem old. A szabványos értékek pl. 6 A, 10 A, 13 A, 16 A, 20 A, 25 A, 32 A, 40 A, 50 A, 63 A; a pontos értékek a termékcsaládtól függenek.

Zárlati megszakítóképesség. Az adattáblán gyakran 6000 (6 kA) vagy 10000 (10 kA) érték szerepel. Ez azt jelenti, hogy a kismegszakító a névleges feszültségen képes biztonságosan megszakítani ekkora zárlati áramot. Ha a hálózati zárlati áram ennél nagyobb, nagyobb megszakítóképességű kismegszakítót kell választani. A kismegszakítóknál a névleges megszakítóképesség jele I_{cn}, az üzemi megszakítóképesség I_{cs}; a konkrét értéket a gyártói adatlap szerint kell ellenőrizni **(ellenőrizendő: a kiválasztott típus adatlapja)**.

Energiakorlátozó osztály. A kismegszakító a zárlati áramot az első félhullámban is megszakítja, mielőtt az elérné a várható csúcsértékét. Az energia-korlátozó képességet 1, 2, 3 osztályba sorolják; a 3-as a legjobb, mert a legjobban csökkenti a vezetéken átengedett I^2t értéket, így a vezeték és a készülék hőterhelését. Ezt a Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram alfejezetben használjuk a vezeték zárlati melegedésének ellenőrzéséhez.

18.2.5. Számítási példák: zárlati áram és görbeválasztás

Számítás 1. Adott egy B16-os kismegszakító. Keresett: a mágneses gyorskioldó áramtartománya.

A B görbe sávjának alsó határa $3I_n$, felső határa $5I_n$.

$$I_{a,\min} = 3 \cdot 16\,\mathrm{A} = 48\,\mathrm{A}, \quad I_{a,\max} = 5 \cdot 16\,\mathrm{A} = 80\,\mathrm{A}.$$

Tehát 48 A alatt biztosan nem, 80 A felett biztosan mágnesesen old ki; a kettő között bizonytalan sáv van. A biztos gyors kioldás árama $I_a = 80\,\mathrm{A}$. ∎

Számítás 2. Egy C20-as kismegszakító véd egy aljzatkört. A mért hurokimpedancia $Z_s = 0{,}8\,\Omega$. Kérdés: mekkora a zárlati áram, és kiold-e a mágneses gyorskioldó?

A hibaáram:

$$I_k = \frac{U_0}{Z_s} = \frac{230\,\mathrm{V}}{0{,}8\,\Omega} = 287{,}5\,\mathrm{A}.$$

A C20-as biztos gyors kioldási árama (a sáv felső határa):

$$I_a = 10 \cdot I_n = 10 \cdot 20\,\mathrm{A} = 200\,\mathrm{A}.$$

Mivel $287{,}5\,\mathrm{A} \geq 200\,\mathrm{A}$, a mágneses kioldó biztosan működik, és a kismegszakító gyorsan kiold. ∎

Számítás 3. Egy 7,5 kW névleges teljesítményű háromfázisú motort 400 V-os hálózatról táplálunk. A hatásfok $\eta = 0{,}9$, a teljesítménytényező $\cos\varphi = 0{,}85$. A motort közvetlenül indítjuk, az induló áram a névleges áram hatszorosa. Válasszunk megfelelő kismegszakítót.

A névleges áram:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_v\,\eta\,\cos\varphi} = \frac{7500\,\mathrm{W}}{\sqrt{3}\cdot 400\,\mathrm{V}\cdot 0{,}9\cdot 0{,}85} \approx 14{,}2\,\mathrm{A}.$$

Az induló áram:

$$I_{\mathrm{ind}} = 6 \cdot 14{,}2\,\mathrm{A} = 85{,}2\,\mathrm{A}.$$

Az indítási áramlökés elviselésénél a sáv alsó határát vesszük figyelembe. Ha C16-ost választanánk, annak mágneses alsó határa $5 \cdot 16 = 80\,\mathrm{A}$, ami éppen az induló csúcs alatt van, tehát a C16 az indításnál leoldhat. A D16-os mágneses alsó határa $10 \cdot 16 = 160\,\mathrm{A}$, a felső $20 \cdot 16 = 320\,\mathrm{A}$, így a 85,2 A-es indítási áram nem éri el a gyorskioldó tartományát, tehát a D16 megfelelő. A motor túlterhelés elleni védelmét külön hőkioldóval (thermal overload relay) kell biztosítani; a kismegszakító itt elsősorban a zárlatvédelemért felel. ∎

Továbbvitt eredmény. A kioldási feltétel $I_k \geq I_a$, valamint a B, C, D jelleggörbe leolvasása és az $I_a = 5I_n/10I_n/20I_n$ (a sáv felső határa) összefüggés alapul szolgál a Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram, az Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel és a Kapcsolókészülékek működése, ívoltás és használati kategóriák alfejezetekben. A gyakorlatban mérjük vagy számítjuk a hurokimpedanciát, és ellenőrizzük, hogy a zárlati áram eléri-e a biztos gyors kioldás I_a áramát (a sáv felső határát).

18.2.6. Szabvány

Szabvány. A lakossági kismegszakítókra Magyarországon az MSZ EN 60898-1 vonatkozik; az ipari jellegű, nagyobb megszakítókra az MSZ EN 60947-2 alkalmazandó. A kioldási sávok, a lekapcsolási idők, a megszakítóképesség és az energia-korlátozó osztály a készülék adattábláján és a gyártói adatlapján szerepel. A szabványok időről időre módosulnak, ezért a pontos határértékeket a mindenkori érvényes kiadásból kell ellenőrizni **(ellenőrizendő: MSZ EN 60898-1 aktuális kiadása)**.

A szabványos termikus kioldási zóna is fontos: a kismegszakító például $1{,}13I_n$-nél nem szabad, hogy kioldjon egy megadott időn belül, míg $1{,}45I_n$-nél kötelezően ki kell oldania. A pontos időket a gyártói görbe adja meg. Az MCB tehát nem I_n-nél vált ki azonnal, hanem a névleges áramot hosszú ideig elviseli, és csak a túlterhelési sávban kezd el fokozatosan beavatkozni.

18.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Lakáselosztó csere során a régi, olvadóbiztosítós elosztót kismegszakítósra cserélik. A világítási áramkörre B10, az aljzatkörre B16, a mosógép/mosogatógép körre külön B16 (C16 csak akkor, ha a gyártó előírja vagy a B16 bekapcsoláskor leold, és a hurokimpedancia a C16-ra is megfelel), a főzőlapra pedig B20 vagy C20 kerül a gyártói ajánlás alapján. A szerelő a kismegszakítók beszerelése előtt megméri a hurokimpedanciát, és kiszámítja a zárlati áramot. Ha a mért $Z_s = 0{,}6\,\Omega$, akkor

$$I_k = \frac{230}{0{,}6} \approx 383\,\text{A},$$

ami bőven meghaladja a B16 ($I_a = 5 \cdot 16\,\text{A} = 80\,\text{A}$) és a C16 ($I_a = 10 \cdot 16\,\text{A} = 160\,\text{A}$) biztos gyors kioldási áramát, tehát a zárlati lekapcsolás megfelelő. Ha azonban a mérőhely távol van, és a mérés $Z_s = 2{,}8\,\Omega$, akkor $I_k \approx 82\,\text{A} < 160\,\text{A}$, tehát a C16 nem kapcsol le előírt időn belül, ez nem felel meg. B16-tal ($I_a = 5 \cdot 16 = 80\,\text{A}$) a feltétel épp csak teljesülne ($230/2{,}8 = 82{,}1\,\text{A} \geq 80\,\text{A}$), de a tartalék mindössze 2–3 %, amelyet a mérési bizonytalanság és a meleg vezeték nagyobb ellenállása felemészthet. Ezért ilyen hurokimpedanciánál a B16 sem fogadható el ellenőrzött tartalék nélkül; megbízható megoldás a vezeték keresztmetszetének növelése vagy a hurok rövidítése, esetleg más védelmi megoldás (a döntés a felülvizsgáló és a tervező dolga, **ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41**).

A kismegszakító nem áram-védőkapcsoló (RCD); az áramütés elleni kiegészítő védelemhez külön Áram-védőkapcsoló (FI) és kiegészítő védelem szükséges. A gyakorlatban az aljzatköröknél B16 + FI-relé kombinációt építenek be.

18.2.8. Tipikus hibák

1. **Rossz görbe választása motoros fogyasztóhoz.** Ha egy 1,5 kW-os egyfázisú motort ($I_n \approx 10\,\text{A}$, indításkor 50–70 A) B16-ossal védenek, a bekapcsolási áramlökés eléri a B mágneses sávját (48–80 A), és a kismegszakító leold. A motorokhoz D vagy legalább C görbét kell választani, és a túlterhelés ellen külön hőkioldóval kell védeni.
2. **Csak a névleges áramot nézik, a megszakítóképességet nem.** Ha a hálózati zárlati áram meghaladja a kismegszakító I_{cn} értékét, a készülék nem tud biztonságosan megszakítani, és tönkremehet. A főelosztó utáni zárlati áramot ismerni kell, és a kismegszakítót ennek megfelelően kell méretezni.
3. **A hurokimpedanciát nem mérik meg.** A kismegszakító csak akkor old ki gyorsan, ha a zárlati áram eléri a mágneses kioldó I_a határát. Ha a hurokimpedancia túl nagy, a zárlati áram kisebb, és a védelem lassú vagy nem elégséges. Ezt mindig ellenőrizni kell, különösen hosszú vezetékeknél és rossz kötéseknél.

Tilos a kismegszakítót nagyobbra cserélni a vezeték megfelelő méretezése nélkül, mert ezzel a túlterhelésvédelem hatékonysága megszűnik. **Tilos** a termikus- vagy mágneses kioldót kiiktatni, áthidalni, vagy a kismegszakítót dróttal „megjavítani”.

18.2.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A B görbe mágneses gyorskioldó tartománya 5–10I_n.

2. Melyik jelleggörbét választanád egy 3 kW-os, közvetlenül indított motorhoz (háromfázisú, 400 V, kb. hatszoros indítási áram)?

3. Egy C16-os kismegszakító védi az áramkört. A mért hurokimpedancia 1,1 Ω. Kiold-e a mágneses gyorskioldó zárlatnál?

4. Mit jelent a kismegszakító adattábláján a 6000 érték?

5. Sorold fel a B, C, D jelleggörbék mágneses gyorskioldó tartományait!

6. Mi a szerepe a termikus kioldónak, és mi a mágneses kioldóé?

18.2.10. Feladatok

1. feladat (A). Írd le a kismegszakító két kioldójának feladatát, és azt, hogy mi alapján működnek!

2. feladat (A). Egy C20-as kismegszakító alsó és felső mágneses kioldási határa mennyi amperben?

3. feladat (B). Egy B16-os kismegszakító véd egy végáramkört. A mért hurokimpedancia 1,2 Ω. Számítsd ki a zárlati áramot! Eléri-e a biztos gyors kioldási áramot (I_a)? Indokold!

4. feladat (B). Egy 5,5 kW-os háromfázisú motor ($U_v = 400\,\text{V}$, $\eta = 0{,}88$, $\cos\varphi = 0{,}87$) indítási árama a névleges áram ötszöröse. Milyen jelleggörbéjű kismegszakítót választanál, és miért?

5. feladat (C). A fenti sematikus B sávon olvasd le, milyen időtartományban old ki a kismegszakító 2,5I_n áramszorzónál! Melyik kioldó működik ekkor: a termikus vagy a mágneses?

6. feladat (D). Egy lakás nagyobb bekapcsolási áramú körét C16-os kismegszakító védi. A hurokimpedancia-mérés 3,2 Ω. Egy sérült szerelvényben zárlat keletkezik a fázis és a nulla között. Miért nem old le gyorsan a kismegszakító? Mit kell tenni a hibás állapot megszüntetéséhez?

18.2.11. Megoldások

18.2.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A B görbe tartománya 3–5I_n. Az 5–10I_n a C görbére igaz.

2. Számolj: 3 kW-os háromfázisú motornál $I_n \approx 5{,}8\,\text{A}$ ($\eta = 0{,}88$, $\cos\varphi = 0{,}85$ feltételezve), az indítási áram $\approx 35\,\text{A}$. C10-nél a mágneses alsó határ $50\,\text{A} > 35\,\text{A}$, tehát a C is megfelel; D-t csak akkor választunk, ha a C az indításnál leold, mert a D-nél a zárlati kioldási feltétel ($I_k \geq 20 \cdot I_n$) nehezebben teljesül.

3. $I_k = 230/1{,}1 \approx 209\,\text{A}$, a C16 biztos gyors kioldási árama $I_a = 10 \cdot 16 = 160\,\text{A}$, és $209\,\text{A} \geq 160\,\text{A}$, tehát **igen, biztosan kiold** a gyorskioldó.

4. A **6000 A (6 kA)** a névleges zárlati megszakítóképességet jelenti: a kismegszakító ekkora zárlati áramot képes biztonságosan megszakítani.

5. B: 3–5I_n, C: 5–10I_n, D: 10–20I_n.

6. A **termikus kioldó (bimetál)** a lassú túlterhelés ellen véd, a **mágneses kioldó** a gyors zárlati lekapcsolást végzi.

18.2.11.2. 1. feladat (A)

A kismegszakítóban: - **termikus kioldó:** bimetál, a hő hatására elhajlik, inverz időfüggő túlterhelésvédelem; - **mágneses kioldó:** tekercs + vasmag, nagy áramnál azonnal kiold, gyors zárlatvédelem.

18.2.11.3. 2. feladat (A)

C20-as MCB: a sáv alsó határa $5 \cdot 20 = 100\,\text{A}$, felső határa $10 \cdot 20 = 200\,\text{A}$; a biztos gyors kioldási áram $I_a = 200\,\text{A}$.

18.2.11.4. 3. feladat (B)

$$I_k = \frac{U_0}{Z_s} = \frac{230\,\text{V}}{1{,}2\,\Omega} = 191{,}7\,\text{A}.$$

A B16 biztos gyors kioldási árama (a sáv felső határa) $I_a = 5 \cdot 16 = 80\,\text{A}$; $191{,}7\,\text{A} \geq 80\,\text{A}$, tehát a gyorskioldó biztosan kiold (a sáv alsó határát, 48 A-t is jóval meghaladja).

18.2.11.5. 4. feladat (B)

A névleges áram: $I_n = \frac{5500\,\text{W}}{\sqrt{3}\cdot 400\,\text{V}\cdot 0{,}88\cdot 0{,}87} \approx 10{,}4\,\text{A}$; az indítási áram $I_{\text{ind}} = 5 \cdot 10{,}4 \approx 52\,\text{A}$. B16: a mágneses sáv 48–80 A, az 52 A beleesik, ezért az indításnál leoldhat, nem megfelelő. C16: a sáv 80–160 A, az 52 A alatta marad, megfelelő (ha az indítási csúcs is 80 A alatt marad: gyártói adat, ellenőrizendő). D16 is választható, de a zárlati kioldási feltétel ($I_a = 20 \cdot 16 = 320\,\text{A}$) nehezebben teljesül. A motor túlterhelés elleni védelmét külön hőkioldóval kell megoldani.

18.2.11.6. 5. feladat (C)

A 2,5I_n áram kisebb a B jelleg mágneses sávjának alsó határánál (3I_n), ezért csak a termikus kioldó működik. Az ábra B sávján 2,5I_n-nél a legkorábbi kioldás kb. 1,2 s, a legkésőbbi kb. 69 s:

$$t \approx 1 \ldots 70\,\text{s} \quad \text{(termikus tartomány)}.$$

Ez összhangban van a szabvány jellemző pontjával (2,55 · In-nél 1–60 s). A sematikus sávból csak nagyságrend olvasható le; a valós gyártói görbén a pontos érték ettől eltérhet **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.

18.2.11.7. 6. feladat (D)

$$I_k = \frac{230}{3{,}2} = 71{,}9\,\text{A}.$$

A C16 biztos gyors kioldási árama 160 A, a zárlati áram (71,9 A) még a mágneses sáv alsó határát (80 A) sem éri el, tehát nincs gyors lekapcsolás. A kismegszakító csak a termikus kioldóján keresztül, másodpercek alatt old ki ($4{,}5 \cdot I_n$ a $2{,}55 \cdot I_n$-es szabványpont fölött van), így nem teljesül a gyors lekapcsolás (TN-ben 230 V-on 0,4 s; **ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41**); ezalatt a zárlat melegíti a vezetéket, testzárlatnál pedig veszélyes érintési feszültség maradhat fenn. **Ok:** a hurokimpedancia túl nagy, feltehetően rossz kötés, hosszú vezeték, vagy alulméretezett keresztmetszet. **Javítás:** a zárlat felszámolása, a kötések javítása, a vezető keresztmetszet növelése, majd a hurokimpedancia újramérése. A védelmi lekapcsolás feltételének $I_k \geq I_a$ mindig teljesülnie kell.

18.2.12. Rövid összefoglaló

A kismegszakító (MCB) két kioldót egyesít: a bimetálos termikus kioldó a túlterhelés ellen véd inverz időfüggő módon, a mágneses gyorskioldó pedig a zárlat ellen kapcsol le gyorsan. A B, C, D jelleggörbe a mágneses kioldó áramtartományát adja meg: B esetén 3–$5I_n$, C esetén 5–$10I_n$, D esetén 10–$20I_n$. A biztos gyors kioldás árama I_a a sáv felső határa: B/C/D-nél rendre $5I_n$, $10I_n$, $20I_n$ (a sáv alsó határa alatt, $3I_n/5I_n/10I_n$, biztosan nincs mágneses kioldás). A védelem akkor megfelelő, ha a zárlati áram $I_k = U_0/Z_s$ eléri legalább az I_a értéket: $I_k \geq I_a$. Ezt a feltételt használjuk a Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram, az Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel és a Kapcsolókészülékek működése, ívoltás és használati kategóriák alfejezetekben. B görbét ellenállásjellegű terhelésekhez és a szokásos lakossági aljzat- és világítási körökhöz, C görbét nagyobb bekapcsolási áramú körökhöz, D görbét nagy induló áramú fogyasztókhoz választunk – a C és a D csak akkor, ha a kioldási feltétel ($I_k \geq I_a$) is teljesül. A kiválasztásnál a névleges áram mellett a zárlati megszakítóképességet és az energiakorlátozó osztályt is ellenőrizni kell.

18.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a klasszikus villamosipari tananyagra és a Magyarországon elfogadott gyakorlatra épül. A kioldási sávok és a szabványhivatkozások a tárgyalt konstrukciók alapján kerültek be, de a pontos szabványkiadásokat, a gyártói adatlapokat és a szabályos kioldási időket az érvényes MSZ EN 60898-1 és a kiválasztott készülék adatlapja szerint ellenőrizni kell. A fejezetben jelzett interaktív ábra sematikus, valós méretezéshez a gyártó jelleggörbéjét kell használni. A forráskiinduló linkek (pl. a Magyar Szabványügyi Testület és a gyártók webhelyei) nem alkotnak ellenőrzött szabványhivatkozást.

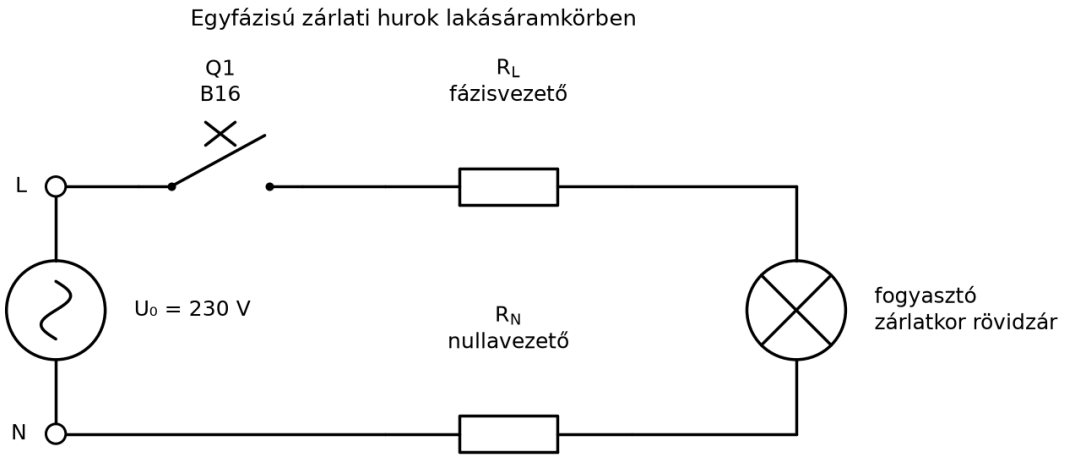
18.3. Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram

A lakásfelújítás során az egyik leggyakoribb, mégis gyakran elsikló lépés annak ellenőrzése, hogy a választott kismegszakító és a vezeték valóban együtt tud-e működni: túlterhelésnél időben lekapcsol-e, zárlatnál pedig elég nagy-e a hálózatból érkező áram ahhoz, hogy a mágneses gyorskioldó azonnal megszólaljon. Ha ezt kihagyjuk, a vezeték melegedhet, a szigetelés károsodhat, vagy a védelem egyáltalán nem old le – mindkettő tűzveszélyes állapot. Ezt a fejezetet azért

tanulod, hogy a kapcsolószekrényben ne csak a kapcsolási rajzot lásd, hanem a védelmi láncot is: fogyasztó → vezeték → védelem → hálózat, és azonnal tudd, hol kell számolnod.

18.3.1. Szemléletes kép: a zárlati hurok

Képzelj el egy egyszerű lakásáramkört: a fázisvezető a kismegszakítóból indul, végigmegy a kötődobozokon, eléri a fogyasztót, majd a nulla vezető visszatér a kismegszakítóba. Zárlatkor a fogyasztót gyakorlatilag egy kis ellenállású fémes összeköttetés, vagy egy fázis–nulla összeérés helyettesíti. Ekkor a teljes áram útját a **hurokimpedancia** (Z_s) korlátozza.



18.4. ábra. Egyfázisú zárlati hurok lakásáramkörben - A hurok: Uo forrás (L kapocs) → Q1 kismegszakító → fázisvezető (R_L) → fogyasztó (zárlatkor rövidzár) → nullavezető (R_N) vissza a forrás N kapcsáig. A hurok impedanciája (a forrás/hálózat belső impedanciája + R_L + R_N) és a feszültség határozza meg a várható zárlati áramot.

Az ábrán a felső ág a fázis: az U_0 forrás, a Q1 kismegszakító, a fázisvezető ellenállása (R_L) és a fogyasztó. Az alsó ág a nullavezető visszavezetése, saját ellenállásával (R_N). Zárlat esetén a fogyasztó helyét rövidzárral képzeljük, így a hurokban a forrás, a kismegszakító, a fázisvezető és a nullavezető marad. Ennek a huroknak az impedanciája a **hurokimpedancia** (Z_s).

18.3.2. Alapfogalmak és feltételek

Definíció. Az **üzemi áram** (I_b) az a tartós áram, amelyet az áramkörnek a rendeltetésszerű használat során szállítania kell. Például egy 16 A-es aljzatkörben a ténylegesen várható legnagyobb tartós áram lehet 10 A vagy 13 A, ezt a fogyasztók teljesítményéből számoljuk.

Definíció. A **vezeték megengedett terhelhetősége** (I_z) az a legnagyobb tartós áram, amelyet a vezeték a környezeti hőmérséklet és a szerelési mód mellett anélkül elvisel, hogy a szigetelés hőmérséklete a megengedett határ fölé emelkedne. Ezt a Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők alfejezet szerint keressük ki. Például PVC szigetelésű, két terhelt eres rézvezetéknél az I_z a szerelési módtól függ: 1,5 mm²: A1 (hőszigetelt falban, csőben) ≈ 14,5 A, B1 (védőcsőben) ≈ 17,5 A, C (közvetlenül falon/falban) ≈ 19,5 A; 2,5 mm²: A1 ≈ 19,5 A, B1 ≈ 24 A, C ≈

27 A **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 táblázata, Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők)**.

Definíció. A **védelmi készülék névleges árama** (I_n) az az áram, amelyre a kismegszakítót vagy olvadóbiztosítót a gyártó hosszú idejű működésre méretezte. A kismegszakítónál ez a hőkioldó hosszú idejű beállítási értéke, például $I_n = 16\,\mathrm{A}$.

Szabály. A vezeték és a védelem összehangolásának első, egyszerű feltétele:

$$I_b \le I_n \le I_z$$

A középső tag a kiválasztott védelem, a bal oldal a tényleges fogyasztói igény, a jobb oldal a vezeték által elviselt tartós áram. A hármas egyenlőtlenség mit jelent? Ha I_n kisebb, mint I_b, akkor a védelem már a normál üzemi áramnál is leold, tehát a berendezés nem működik. Ha I_n nagyobb, mint I_z, akkor a vezeték túlmelegedhet, mielőtt a védelem lekapcsolna.

Szabály. A második, finomabb feltétel a túlterhelés elleni védelmhez:

$$I_2 \le 1{,}45 \cdot I_z$$

ahol I_2 a védelmi készülék **hagyományos nagy kioldási árama**, azaz az az áram, amelynél a védelem a megadott időn belül mindenképpen lekapcsol. A kismegszakítónál ez $1{,}45\,I_n$; az olvadóbiztosító ezzel nem egyezik, ott a gyártói karakterisztikából kell kikeresni. Mivel a hagyományos nagy kioldási áram és a megengedett túlterhelési szorzó megegyezik (1,45), a kismegszakító választásakor az $I_b \le I_n \le I_z$ feltétel teljesülése általában a túlterhelési feltételt is biztosítja, ha $I_2 = 1{,}45\,I_n$. Ezért a gyakorlatban a kismegszakítós lakáselosztóknál elegendő az első hármas feltételt ellenőrizni; az olvadóbiztosítós vezetékvédelemnél viszont a karakterisztika pontos ismerete kell.

A túlterhelés és a zárlat védelmét fogalmilag is érdemes szétválasztani:

Szabály. A **túlterhelés** olyan tartós túláram, amelynek nagysága a vezeték I_z értékét csak kismértékben haladja meg, de hosszú ideig fennáll. Ezt a hőkioldó (kismegszakító bimetallja, olvadóbiztosító lassú olvadása) kapcsolja le. A **zárlat** ezzel szemben nagy, hirtelen áram, amelyet a mágneses gyorskioldónak vagy az olvadóbiztosító gyors kioldásának kell azonnal megszakítania. A zárlati áram nagyságát a hálózat hurokimpedanciája határozza meg, ezért számítani kell.

18.3.3. A zárlati áram számítása hurokimpedanciából

A zárlati áram meghatározásához ugyanabból a hurokból indulunk ki, mint az Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel alfejezetben. Zárlatkor a hibahelyen a fázis és a nulla (fázis–nulla zárlat), testzárlatkor TN-rendszerben a fázis és a védővezető (TN-C-ben a PEN) között a feszültség U_0. Az áramot a teljes hurok Z_s impedanciája korlátozza, ezért

$$I_k = \frac{U_0}{Z_s}$$

A képletben $U_0 = 230\,\mathrm{V}$ a fázis és a nulla közötti névleges feszültség, Z_s pedig a hurokimpedancia a zárlat helyén, ohmban. Ez a zárlati áram az a várható áram, amelyet a védelmi készüléknek meg kell szakítania.

Összefüggés. A hurokimpedancia a hálózati transzformátor impedanciájából, a csatlakozó vezeték és a belső áramköri vezetékek ellenállásából adódik össze:

$$Z_s = Z_{\text{hálózat}} + Z_{\text{vezetékek}}$$

ahol $Z_{\text{hálózat}}$ a csatlakozási pont mögötti hálózati impedancia, $Z_{\text{vezetékek}}$ pedig az adott áramkör fázisvezetőjének és visszavezetőjének (nulla vagy PE) eredő impedanciája. A hálózati impedanciát a hálózati engedélyes adja meg, vagy méréssel (hurokimpedancia-mérővel a csatlakozási ponton) ellenőrizzük.

Megjegyzés. A hurokimpedancia-méréssel kapott Z_s értékét a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezet szerint kell kezelni: a mérési módszer hálózati feszültség alatt történik, ezért jogosult személy végezheti.

A zárlati áramot az Ohm-törvényből vezettük le, de ne felejtsük el: a hurokban induktivitás is lehet, ezért Z_s nem azonos a tiszta ohmos ellenállással. A lakás méretű áramkörökben a reaktancia gyakran elhanyagolható a hosszú ohmos vezetékek miatt, de az eredményt mindig a mért Z_s-sel érdemes ellenőrizni, mert a csatlakozási ponton a hálózati transzformátor reaktanciája számíthat.

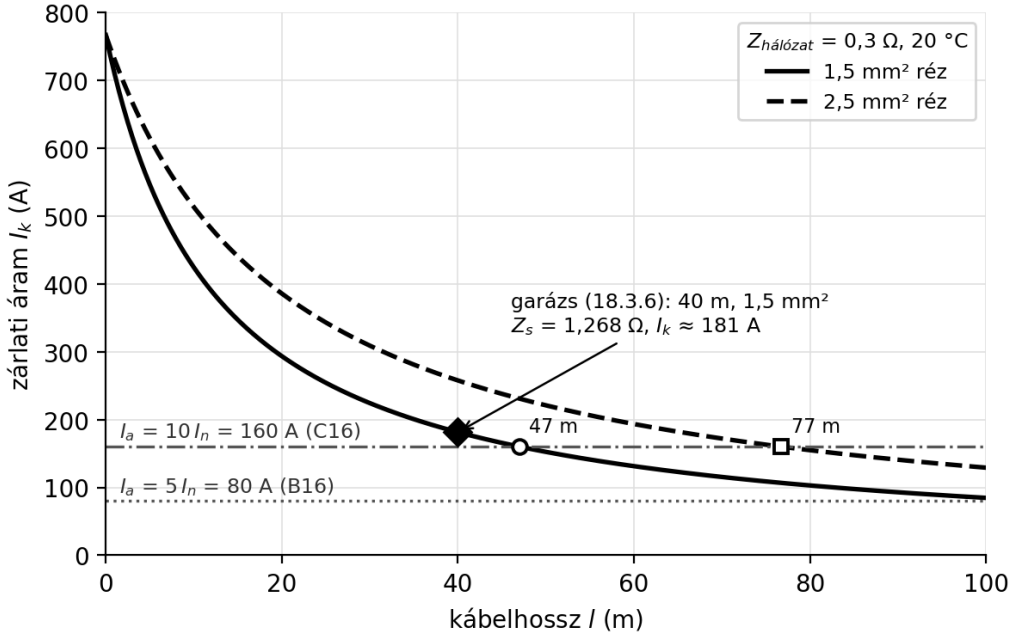
18.3.4. A vezetékvédelem ellenőrzésének algoritmusa

A gyakorlatban az alábbi lépésekkel ellenőrizzük a vezeték és védelem összehangolását:

1. Határozd meg az üzemi áramot I_b.
2. Válaszd ki a védelmi készüléket I_n névleges árammal.
3. Keresd ki a vezeték I_z terhelhetőségét a szerelési mód, a környezeti hőmérséklet és a korrekciós tényezők szerint.
4. Ellenőrizd: $I_b \le I_n \le I_z$ és $I_2 \le 1{,}45\, I_z$.
5. Számítsd ki a várható zárlati áramot: $I_k = U_0 / Z_s$.
6. Ellenőrizd, hogy a védelmi készülék **névleges megszakítóképessége** nagyobb, mint a várható zárlati áram.
7. Ellenőrizd: $I_k \ge I_a$, ahol I_a a biztos gyors kioldás árama (a mágneses sáv felső határa): B: $5\, I_n$, C: $10\, I_n$, D: $20\, I_n$ **(ellenőrizendő: MSZ EN 60898-1, MSZ HD 60364-4-41)**.

A zárlati áram a védelmi készülék gyártói adatlapján **megszakítóképességnek** nevezett értéknél nem lehet nagyobb. A lakáselosztók kismegszakítóinál ez gyakran 6 kA vagy 10 kA. Ha a zárlati áram meghaladná, a készülék ívátételekor a kapcsolóérintkezők összehegedhetnek, vagy a ház szétrobbanhat. Ezért ezt a számítást soha ne spórold meg.

Az algoritmus 5. és 7. lépésének lényegét, a vezetékhossz hatását az alábbi ábra mutatja. A zárlati áram $I_k = U_0 / Z_s$, ahol $Z_s = Z_{\text{hálózat}} + l \cdot r_{\text{hurok}}$, és r_{hurok} a kábel fázis–nulla hurkának méterenkénti ellenállása (1,5 mm² rézre 20 °C-on $2 \cdot 12{,}1 = 24{,}2\,\text{m}\Omega/\text{m}$, 2,5 mm²-re $14{,}8\,\text{m}\Omega/\text{m}$). $Z_{\text{hálózat}} = 0{,}3\,\Omega$ mellett az 1,5 mm²-es kábel végén 40 m-nél $Z_s = 1{,}268\,\Omega$ és $I_k \approx 181$ A; a C16 biztos gyors kioldásához szükséges $I_a = 10\, I_n = 160$ A legfeljebb kb. 47 m-ig, 2,5 mm²-rel kb. 77 m-ig teljesül, a B16-hoz ($I_a = 80$ A) mindkettő 100 m-ig megfelel **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41, MSZ EN 60898-1; a vezető melegedése tovább csökkenti az áramot)**.



18.5. ábra. Zárlati áram a kábelhossz függvényében 1,5 és 2,5 mm² réz vezetékre, a B16 és C16 biztos gyors kioldási áramával

Az interaktív ábrán az üzemi áram, a kismegszakító névleges árama és jellege, a keresztmetszet, a szerelési mód (A1, B1, C), a hálózati hurokimpedancia, a kábelhossz és a melegedési szorzó állítható; az oldal ✓/✗ jellel kiírja az $I_b \le I_n \le I_z$ és az $I_2 \le 1{,}45\,I_z$ feltételt, a Z_s és I_k értékét, azt, hogy teljesül-e a gyors lekapcsolás ($I_k \ge I_a$), és a legnagyobb megengedett kábelhosszt.

18.3.5. Kidolgozott példa: lakás csatlakozási pontjának zárlati árama

Példa. A lakáselosztó előtti csatlakozási ponton a hurokimpedancia mérés alapján $Z_s = 0{,}35\,\Omega$ **(ellenőrizendő: mérésből vagy hálózati engedélyes adata).** Mekkora a várható zárlati áram? Ellenőrizd, hogy a 6 kA-es kismegszakító megfelel-e!

Megoldás.

Adott: $U_0 = 230\,\mathrm{V}$, $Z_s = 0{,}35\,\Omega$. Keresett: I_k. Képlet: $I_k = \dfrac{U_0}{Z_s}$. Behelyettesítés:

$$I_k = \frac{230\,\mathrm{V}}{0{,}35\,\Omega} = 657\,\mathrm{A}$$

A kismegszakító megszakítóképessége 6000 A, ami jóval nagyobb, mint 657 A, tehát a készülék a várható zárlati áramot biztonságosan meg tudja szakítani. Emellett egy B16-os kismegszakító mágneses sávja $3{-}5\,I_n$, azaz 48–80 A, a biztos gyors kioldás árama $I_a = 80\,\mathrm{A}$, tehát a 657 A-es zárlati áram messze felette van; a kismegszakító azonnal leold.

18.3.6. Számítás: hosszú vezeték, csökkenő zárlati áram

Példa. Egy garázs áramkört 40 m hosszú, 1,5 mm² keresztmetszetű rézvezetékkel készítenek. A lakáselosztóban mért hurokimpedancia 0,3 Ω; a vezeték fázis–nulla hurkának ellenállása 24,2 mΩ/m **(ellenőrizendő: a pontos fajlagos ellenállás a kábel hőmérsékletétől függ).**

Mekkora a zárlati áram a garázs végpontján? Megfelel-e egy C16-os kismegszakító mágneses kioldása?

Megoldás.

Adott: $Z_{\text{hálózat}} = 0{,}3\,\Omega$; a kábel fázis–nulla hurkának ellenállása hosszegységenként $24{,}2\,\text{m}\Omega/\text{m}$ (ez már a két vezetőt együtt jelenti), ezért a 40 m-es kábel hurokellenállása $40\,\text{m} \cdot 24{,}2\,\text{m}\Omega/\text{m} = 968\,\text{m}\Omega = 0{,}968\,\Omega$. Keresett: teljes Z_s és I_k. Képlet: $Z_s = Z_{\text{hálózat}} + Z_{\text{vezeték}}$, majd $I_k = U_0/Z_s$. Behelyettesítés:

$$Z_s = 0{,}3 + 0{,}968 = 1{,}268\,\Omega$$

$$I_k = \frac{230}{1{,}268} \approx 181\,\text{A}$$

A C16 kismegszakító mágneses gyorskioldó sávja $5{-}10\,I_n = 80{-}160\,\text{A}$; a biztos gyors kioldás árama a felső határ: $I_a = 10\,I_n = 160\,\text{A}$. Mivel $181\,\text{A} \geq 160\,\text{A}$, a C16 biztosan gyorsan lekapcsol. Meleg vezetővel (a hurokellenállás $\times 1{,}2$: $Z_s = 0{,}3 + 1{,}162 = 1{,}46\,\Omega$) az áram már csak $157\,\text{A} < 160\,\text{A}$, ez határeset **(ellenőrizendő: hőmérsékleti korrekció, MSZ HD 60364-6)**. Ezért a gyakorlatban hosszú, vékony vezetéknél növelik a keresztmetszetet, vagy B16-ot használnak ($I_a = 80\,\text{A}$). A szabványos lekapcsolási idő ellenőrzéséhez a mért hurokimpedanciát kell alapul venni, nem a számítottat.

18.3.7. Szabványi követelmények

Szabvány. A vezetékek túláramvédelmére az MSZ HD 60364-4-43 követelményei vonatkoznak: a túláramvédelmi eszközt úgy kell kiválasztani, hogy a vezetékben fellépő bármely túláramot megszakítsa, mielőtt a vezető hőmérséklete a megengedett határ fölé emelkedne. A túláram magában foglalja a túlterhelést és a zárlatot. A terhelhetőség I_z meghatározását az MSZ HD 60364-5-52 szerinti táblázatok és korrekciós tényezők adják. A kismegszakítókra az MSZ EN 60898-1 vonatkozik, amely a B, C, D kioldási jelleggörbéket és a $1{,}45\,I_n$ hagyományos nagy kioldási áramot határozza meg. Az ipari megszakítókra az MSZ EN 60947-2 vonatkozik, ahol a megszakítóképességet I_{cu} (határ-zárlati) és I_{cs} (üzemi zárlati megszakítóképesség) jelöli; a kismegszakítóknál (MSZ EN 60898-1) a megfelelő jel I_{cn}. **(ellenőrizendő: a szabványszámok és az aktuális kiadás)**

Szabvány. A zárlati védelmi eszköz megszakítóképessége nem lehet kisebb, mint a beépítés helyén számított várható zárlati áram. Ezt a kismegszakító gyártói adatlapján tüntetik fel, például 6 kA, 10 kA vagy 15 kA. Ha a várható zárlati áram ennél nagyobb, akkor nagyobb megszakítóképességű készüléket kell választani, vagy hátvédelmet kell alkalmazni.

18.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy családi ház külső műhelyébe a szerelő 50 m hosszú, $1{,}5\,\text{mm}^2$-es rézvezetéket húzott, C16-os kismegszakítóval. A lakáselosztóban mért hurokimpedancia $0{,}4\,\Omega$ volt; a számított zárlati áram a műhely végén:

$$Z_s = 0{,}4 + 50 \cdot 0{,}0242 = 0{,}4 + 1{,}21 = 1{,}61\,\Omega$$

$$I_k = \frac{230}{1{,}61} \approx 143\,\text{A}$$

A C16 mágneses sávja 80–160 A, a biztos gyors kioldás árama $I_a = 160\,\text{A}$; a számított 143 A ez alatt van ($143\,\text{A} < 160\,\text{A}$), tehát a C16 nem kapcsol le biztosan gyorsan. A hőmérséklet növekedésével a réz ellenállása emelkedik, így a zárlati áram még kisebb lehet, és a kismegszakító mágneses gyorskioldója nem feltétlenül szólal meg. A zárlat ekkor csak a hőkioldóval szakad meg, ami túl lassú lehet. A szerelő a hibát úgy javította, hogy a vezetéket $2{,}5\,\text{mm}^2$-re cserélte, és B16-os kismegszakítót épített be; így a zárlati áram megnőtt ($Z_s = 0{,}4 + 50 \cdot 0{,}0148 = 1{,}14\,\Omega$, $I_k \approx 201\,\text{A}$), a biztos gyors kioldás árama pedig alacsonyabb lett ($I_a = 5 \cdot 16 = 80\,\text{A}$), tehát a védelem megbízhatóan leold.

18.3.9. Gyakorlati útmutató: a vezetékvédelem helyszíni ellenőrzése

Cél: annak ellenőrzése, hogy a beépített vezeték, a védelmi készülék és a hálózati hurokimpedancia összehangoltan működik-e.

Eszközök és anyagok: hurokimpedancia-mérő, multiméter, kismegszakító dokumentációja, vezeték adattáblája.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Az öt biztonsági szabály: 1. Lekapcsolás – a vizsgálandó áramkört feszültségmentesítsd. 2. Visszakapcsolás elleni biztosítás. 3. Feszültségmentesség ellenőrzése. 4. Földelés és rövidre zárás, ha szükséges. 5. A szomszédos, feszültség alatt álló részeket takard le.

Lépések: 1. Azonosítsd az áramkört és a kismegszakítót. 2. Feszültségmentesítsd az öt szabály szerint. 3. Ellenőrizd a vezeték keresztmetszetét és anyagát; keresd ki I_z-t. 4. Ellenőrizd a kismegszakító I_n értékét és a karakterisztikát (B, C, D). 5. Írd fel az üzemi áramot, és ellenőrizd az $I_b \le I_n \le I_z$ feltételt. 6. Kapcsold vissza, majd jogosult személy mérje meg a hurokimpedanciát a fogyasztói ponton. 7. Számold ki az $I_k = U_0 / Z_s$ értéket. 8. Ellenőrizd, hogy I_k kisebb-e a kismegszakító megszakítóképességénél, és hogy teljesül-e $I_k \ge I_a$ (I_a = B: $5 \cdot I_n$, C: $10 \cdot I_n$, D: $20 \cdot I_n$). 9. Jegyezd fel a mért és számított értékeket a jegyzőkönyvbe.

18.3.10. Tipikus hibák

Hiba 1. Csak a vezeték keresztmetszetére hagyatkoznak, a hurokimpedanciát nem mérik. A hosszú áramkörnél a zárlati áram annyira lecsökken, hogy a kismegszakító mágneses gyorskioldója nem szólal meg; a zárlat hőkioldóval történő megszakítása lassú, és a vezeték túlmelegedhet.

Hiba 2. A $I_b \le I_n \le I_z$ feltételt csökkenő irányban értelmezik: például 16 A-es kismegszakítót tesznek $1{,}5\,\text{mm}^2$-es vezetékre, amelynek I_z értéke alacsonyabb, mint 16 A: például hőszigetelt falban, csőben (A1 mód) az $I_z \approx 14{,}5\,\text{A}$ **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 táblázata)**; védőcsőben (B1) kb. 17,5 A, közvetlenül falon (C) kb. 19,5 A, ott a B16 már elfér. A vezeték hosszú távon túlmelegszik.

Hiba 3. A megszakítóképességet nem ellenőrzik a beépítés helyén. Ha a várható zárlati áram nagyobb, mint a kismegszakító megszakítóképessége, a készülék a zárlat megszakításakor tönkremehet, és a kapcsolószekrény is károsodhat.

Hiba 4. A zárlatvédelmet a túlterhelésvédelemtől nem választják el fogalmilag; például egy hosszú kábelnél a hőkioldó ugyan leold, de túl későn, mert a zárlati áram nem éri el a mágneses gyorskioldó biztos kioldási áramát ($I_k < I_a$).

18.3.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Ha $I_n \le I_z$ teljesül, akkor a kismegszakító mindig megvédi a vezetéket a zárlattól is.
2. Számítsd ki a zárlati áramot, ha $U_0 = 230\,\mathrm{V}$ és $Z_s = 1{,}2\,\Omega$.
3. Mi a hiba az összehangolásban, ha a vezeték $I_z = 18\,\mathrm{A}$ és a beépített kismegszakító $I_n = 20\,\mathrm{A}$?
4. Milyen feltételt kell ellenőrizni a zárlati védelemnél a megszakítóképesség tekintetében?
5. Egy B16 kismegszakító mágneses kioldási tartománya 48–80 A. Mekkora minimális zárlati áram kell ahhoz, hogy a mágneses gyorskioldó biztosan megszólaljon?

18.3.12. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld az I_b, I_n, I_z és I_2 fogalmakat, és írd fel a vezetékvédelem két alapfeltételét.

2. feladat (A). Egy lakás áramkörének üzemi árama $I_b = 11\,\mathrm{A}$. Választható kismegszakítók: B10, B13, B16. A vezeték $2{,}5\,\mathrm{mm}^2$ réz, hőszigetelt falban csőben (A1 mód), $I_z \approx 19{,}5\,\mathrm{A}$ **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52)**. Melyik kismegszakító felel meg az $I_b \le I_n \le I_z$ feltételnek?

3. feladat (B). A lakáselosztóban a hurokimpedancia mérésből $Z_s = 0{,}45\,\Omega$ **(kitalált érték).** Számítsd ki a várható zárlati áramot, és ellenőrizd, hogy egy 6 kA megszakítóképességű C16 kismegszakító megfelel-e. Jelezd, melyik későbbi alfejezetben használjuk ezt a zárlati áramot.

4. feladat (B). Egy 20 m hosszú, $1{,}5\,\mathrm{mm}^2$ rézvezetékes áramkörben a hálózati hurokimpedancia $0{,}4\,\Omega$, a vezeték fázis–nulla hurkának ellenállása $24{,}2\,\mathrm{m\Omega/m}$. Számítsd ki a teljes hurokimpedanciát és a zárlati áramot.

5. feladat (C). Magyarázd el, miért nem elegendő a zárlati áramnál csak a megszakítóképesség ellenőrzése: mi történik, ha a zárlati áram a kismegszakító mágneses kioldási tartománya alatt marad, de a hőkioldó tartományában van? Hogyan lehet javítani?

6. feladat (D). Méréssel egy lakás végpontján a hurokimpedancia $1{,}8\,\Omega$. A beépített kismegszakító B16, megszakítóképessége 6 kA. Számold ki a zárlati áramot; értékeld, hogy a mágneses gyorskioldó (B16: 48–80 A) megbízhatóan leold-e, és javasolj módosítást.

18.3.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Az $I_n \le I_z$ a túlterhelés elleni feltétel; a zárlatvédelemhez a zárlati áramnak és a megszakítóképességnek is meg kell felelni.
2. $I_k = \frac{230}{1{,}2} \approx 192\,\mathrm{A}$.
3. $I_n > I_z$: a vezeték túlmelegedhet, mert a védelem nem old le időben a vezeték határárama előtt.
4. A megszakítóképesség legyen nagyobb, mint a várható zárlati áram: kismegszakítónál $I_{cn} \ge I_k$, ipari megszakítónál $I_{cu} \ge I_k$ (illetve I_{cs} a gyártói előírás szerint).

5. A mágneses gyorskioldó felső határánál, azaz 80 A-nél nagyobb zárlati áram kell a biztos oldáshoz, de a gyakorlatban a $3{-}5\,I_n$ tartomány a gyártói tűréstől függ; legalább $5\,I_n = 80\,\text{A}$ fölött biztos.

1. feladat megoldása. I_b az áramkör üzemi árama; I_n a védelmi készülék névleges árama; I_z a vezeték megengedett terhelhetősége; I_2 a védelem hagyományos nagy kioldási árama. Feltételek: $I_b \le I_n \le I_z$ és $I_2 \le 1{,}45\,I_z$.

2. feladat megoldása. Ellenőrizd a lehetőségeket: - B10: $I_n = 10\,\text{A}$, de $11\,\text{A} \le 10$ hamis, tehát nem jó. - B13: $11 \le 13 \le 19{,}5$ igaz, megfelel. - B16: $11 \le 16 \le 19{,}5$ igaz, megfelel. A B13 vagy B16 választható; a B16 jobban kihasználja a vezeték kapacitását, de a B13 alacsonyabb túlterhelési határt ad.

3. feladat megoldása.

$$I_k = \frac{230}{0{,}45} = 511\,\text{A}$$

A C16 megszakítóképessége $6000\,\text{A} \ge 511\,\text{A}$, ezért megfelel. A C16 biztos gyors kioldási árama $I_a = 10\,I_n = 160\,\text{A}$, és $511\,\text{A} \ge 160\,\text{A}$, tehát bőven teljesül. A zárlati áramot a Szelektivitás, hátvédelem és megszakítóképesség, a Túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD): típusok és beépítés, a Motorvédő kapcsoló, hőkioldó, megszakító és szakaszoló és a Méretezés: terhelés, feszültségesés és zárlat egyszerű esetekben alfejezetek használják.

4. feladat megoldása. Teljes hurokimpedancia: $Z_s = 0{,}4 + 0{,}484 = 0{,}884\,\Omega$ (a $24{,}2\,\text{m}\Omega/\text{m}$ már a fázis–nulla hurok, ezért csak a kábelhosszal szorzunk: $20\,\text{m} \cdot 0{,}0242\,\Omega/\text{m} = 0{,}484\,\Omega$). Zárlati áram: $I_k = \frac{230}{0{,}884} \approx 260\,\text{A}$.

5. feladat megoldása. Ha a zárlati áram kisebb, mint a biztos gyors kioldás árama (I_a, a mágneses sáv felső határa), a kismegszakító nem a pillanatszerű mágneses kioldással szakítja meg a zárlatot, hanem a hőkioldóval, amelynek késleltetése hosszú. Ez alatt a vezeték és a kötések nagyon felmelegedhetnek, tűz keletkezhet. Javítás: nagyobb keresztmetszet, rövidebb áramkör, vagy alacsonyabb mágneses kioldási tartományú karakterisztika (pl. C helyett B), esetleg kisebb névleges áramú kismegszakító. A pontos megoldást a zárlati számítás és a mérés alapján kell választani.

6. feladat megoldása. Zárlati áram: $I_k = \frac{230}{1{,}8} \approx 128\,\text{A}$. A B16 biztos gyors kioldási árama $I_a = 80\,\text{A}$ (a sáv 48–80 A), és 128 A e fölött van, ezért a gyorskioldó biztosan leold. Ugyanakkor a 128 A a megszakítóképesség (6000 A) alatt van, így a készülék biztonságosan megszakítja az áramot. Értékelés: a védelem elvileg megfelel, de a mérési pontatlanság és a vezeték melegedése miatt a valós zárlati áram kisebb is lehet; ezért javasolt a hurokimpedancia mérését jegyzőkönyvben rögzíteni, és szükség esetén a vezeték keresztmetszetét növelni.

18.3.14. Rövid összefoglaló

A vezetékvédelmi koordináció két sarkköve a túlterhelés- és a zárlatvédelem. Az üzemi áram (I_b) kisebb vagy egyenlő, mint a védelem névleges árama (I_n), amely kisebb vagy egyenlő, mint a vezeték terhelhetősége (I_z). Emellett a védelem nagy kioldási áramának (I_2) kisebbnek kell lennie $1{,}45\,I_z$-nél. A zárlati áramot a hurokimpedanciából számítjuk: $I_k = U_0/Z_s$, ahol $U_0 = 230\,\text{V}$. A várható zárlati áramnak kisebbnek kell lennie a védelmi készülék megszakítóképességénél, és el kell érnie a mágneses gyorskioldó tartományát, hogy a zárlat pillanatszerűen megszakadjon. A hurokimpedanciás számítás és mérés központi szerepet kap a Szelektivitás, hátvédelem és megszakítóképesség, a Túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD): típusok és beépítés, a Motorvédő kapcsoló, hőkioldó, megszakító és szakaszoló és a Méretezés: terhelés, feszültségesés és zárlat

egyszerű esetekben alfejezetekben. A gyakorlatban mindig a mért értékek és a gyártói adatlapok a mérvadók.

18.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

A szövegben szereplő szabványhivatkozások – MSZ HD 60364-4-43 (túláramvédelem), MSZ HD 60364-5-52 (terhelhetőség), MSZ EN 60898-1 (kismegszakítók), MSZ EN 60947-2 (megszakítók) – aktuális kiadását és a terhelhetőségi adatokat a kiadás előtt ellenőrizni kell. A példákban használt hurokimpedanciák, fajlagos ellenállások és megszakítóképességek tanulási célú, jellemző nagyságrendű értékek, nem konkrét mérési vagy tervezési előírások. A gyakorlati hurokimpedancia-mérési és kivitelezési munkákat csak jogosult személy végezheti.

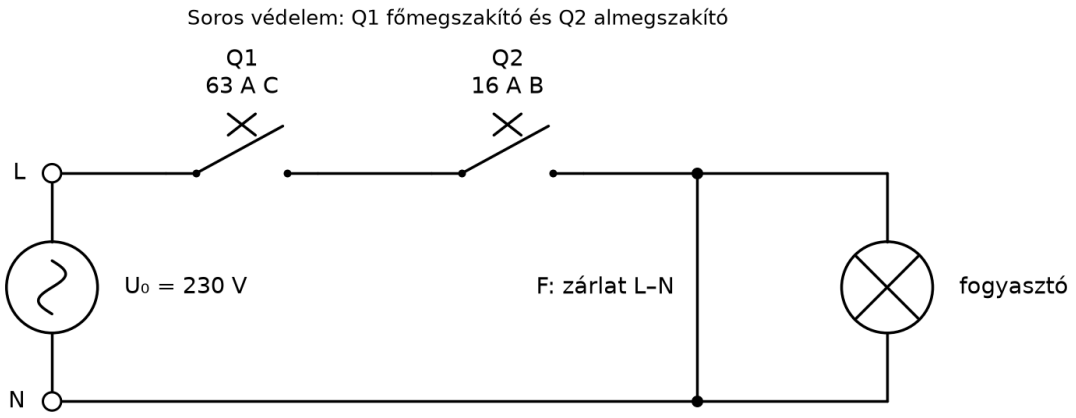
18.4. Szelektivitás, hátvédelem és megszakítóképesség

18.4.1. Motiváció

Egy társasház lakáselosztójában zárlat keletkezik egy konnektor mögött. A lakás kismegszakítója leold, ez rendben van. A lépcsőházban azonban elsötétül a folyosó, mert a főelosztóban lévő, nagyobb névleges áramú megszakító is leoldott. A hiba miatt az egész lépcsőház áramtalan lett. Az ilyen hibák tervezéssel, a védelmi eszközök szándékos koordinációjával elkerülhetők: ez a **szelektivitás**. A cél az, hogy a hiba helyéhez legközelebbi védelem oldjon ki, a mögötte álló tartalék védelmek pedig bekapcsolva maradjanak. Ipari elosztóhálózatokban, többszintes épületekben és gépi vezérléseknél ugyanez a kérdés: a fő és az alárendelt védelmek sorrendje és összehangolása határozza meg az üzem folytonosságát.

18.4.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el két, sorosan kapcsolt megszakítót. A fogyasztóhoz közel van a kisebb, 16 A-es B jellegű kismegszakító (Q2), előtte az elosztó főmegszakítója, 63 A-es C jellegű (Q1). A hiba a Q2 utáni szakaszon keletkezik. A zárlati áram mindkét megszakítón átfolyik. Ha mindkét megszakító azonnal elindul, a nagyobb sem feltétlenül jár le később: a kisebbnek kell megnyernie a versenyt.



18.6. ábra. Soros védelem: Q1 főmegszakító és Q2 almegszakító - Zárt hurok: L → Q1 (63 A, C) → Q2 (16 A, B) → fogyasztó → N vissza a táplálásig. Az F a Q2 utáni szakaszon lévő L–N zárlat (a fogyasztóval párhuzamos, kis ellenállású összeköttetés); a zárlati áram Q1-en és Q2-n is átfolyik. A cél, hogy Q2 oldjon ki, Q1 maradjon be.

A rajz a sort zárt áramkörként mutatja: a táplálás L kapcsától Q1, utána Q2, végül a fogyasztó, ahonnan az N vezető tér vissza. Az F hely a Q2 utáni szakaszon az L és az N közötti zárlat (a fogyasztóval párhuzamos függőleges összeköttetés a hibahely, F); a hibaáram mindkét védelmen átfolyik. A kérdés az, hogy melyik szakítja meg az áramkört, és hogyan biztosítjuk, hogy a lehető legnagyobb része az épületnek áram alatt maradjon.

18.4.3. Alapfogalmak és szabályok

Definíció. (Szelektivitás) Két, sorosan kapcsolt túláramvédelmi eszköz akkor **szelektív**, ha a hibaáram hatására – a hibához közelebbi (alárendelt) védelem old ki, míg a táplálás felőli (fő) védelem bekapcsolva marad. A teljes szelektivitás azt jelenti, hogy ezt a hibahely összes lehetséges zárlati áramára garantáljuk; részleges szelektivitás csak egy meghatározott áramértékig áll fenn.

Definíció. (Áramszelektivitás) Két, különböző névleges áramú kismegszakítónál a kisebb megszakító pillanatkioldó tartománya alacsonyabb áramoknál kezdődik, mint a nagyobbé. Ha a zárlati áram a kisebb pillanatkioldó tartományába esik, de a nagyobbéba még nem, a kisebb gyorsan (kb. 0,01 s alatt) lekapcsol, míg a nagyobb a termikus (lassú) tartományában van, így nem tud leoldani a rövid ideig tartó áramlökéstől. Ezt nevezzük áramszelektivitásnak, mert a szelektivitás elsősorban a különböző kioldási áram-tartományokon alapul.

Példa. Q2 = 16 A B jellegű: pillanatkioldó tartománya durván $3 \cdot I_n$ és $5 \cdot I_n$, tehát $48 \dots 80$ A (a pontos érték gyártói adat). Q1 = 63 A C jellegű: pillanatkioldó tartománya $5 \cdot I_n$ és $10 \cdot I_n$, tehát $315 \dots 630$ A. Ha a zárlati áram $I_k = 300$ A, akkor Q2 pillanatkioldója elindul, Q1 ellenben a termikus tartományban van, mert $300\,\text{A} < 315\,\text{A}$. A Q2 közvetlen leoldásával az áram megszűnik, így Q1 nem melegszik tovább, és bekapcsolva marad. Ez az áramszelektivitás működése.

Definíció. (Időszelektivitás) Ha a hibáram olyan nagy, hogy mindkét védelem pillanatkioldó tartományában van, az áram alapú megkülönböztetés nem elegendő. Ilyenkor a táplálás felőli megszakítón **szándékos késleltetést** állítanak be: a főmegszakító csak például $0{,}1 \dots 0{,}5$ s múlva old, az alárendelt viszont pillanatszerűen. Az alárendelt kikapcsol, az áram megszűnik, a

főmegszakító időzítése visszaáll, és bekapcsolva marad. Ez a módszer ipari elosztókban, nagy zárlati áramú helyeken gyakori.

Definíció. (Hátvédelem, cascading) A hátvédelem azt jelenti, hogy egy nagyobb megszakítóképességű, a táplálás felőli megszakító korlátozza a zárlati áram csúcsát vagy az áramimpulzus idejét olyan mértékben, hogy az alárendelt, kisebb megszakítóképességű készülék képes a hibát megszakítani, pedig a névleges megszakítóképessége önmagában nem lenne elegendő. Ez csak a gyártó által bevizsgált és közzétett kombinációkra igaz; a hátvédelmi táblázatok tartalmazzák a megengedett párokat és a megnövelt megszakítóképesség értékét. A hátvédelem nem azonos a szelektivitással: hátvédelemnél megengedett, hogy a fővédelem is beavatkozzon, a cél a biztonságos megszakítás.

Szabály. Az elosztó védelmi sorrendje: a táplálás felől haladva egyre kisebb névleges áramú és – ha lehet – gyorsabb kioldású eszközök következnek. A főmegszakító a teljes elosztó zárlati védelmét adja; az alárendelt védelmek a csoportokét. A tervezés során először a várható zárlati áramot kell ismerni, utána ellenőrizni a megszakítóképességet, végül a szelektivitást vagy hátvédelmet.

18.4.4. Szelektivitás kismegszakítóknál – számítási példák

Példa 1. (Áramszelektivitás ellenőrzése)
Adott: Q1 = 63 A C, pillanatkioldó tartománya $5 \dots 10 \cdot I_n$, tehát $315 \dots 630$ A. Q2 = 16 A B, tartománya $3 \dots 5 \cdot I_n$, tehát $48 \dots 80$ A. A várható zárlati áram a Q2 utáni hibahelyen $I_k = 400$ A.
Keresett: szelektív-e a kapcsolás?
Megoldás: Q2 pillanatkioldója elindul, mert $400\,\text{A} > 80\,\text{A}$. Q1 pillanatkioldó tartománya $315 \dots 630$ A; mivel 400 A ebbe az intervallumba esik, Q1 is a gyors tartományában van. Így áramszelektivitás nincs; a két készülék versenyez. A gyakorlatban a kisebb kismegszakító mechanikája általában gyorsabban old, és az áramkorlátozó képesség is segíti, de **nem garantált** a teljes szelektivitás. Ilyenkor gyártói szelektivitási táblázatot kell használni. Ha a táblázat szerint a kombináció nem szelektív 400 A-ig, akkor részleges szelektivitás áll fenn.

Példa 2. (Időszelektivitás számítása)
Adott: főmegszakító Q1 beállított késleltetése $t_1 = 0{,}2$ s; almegszakító Q2 pillanatkioldó, tipikus kioldási idő $t_2 < 0{,}01$ s. Hibánál az áram mindkettőn átfolyik.
Keresett: miért marad be Q1?
Megoldás: Q2 megszakítja az áramkört jóval hamarabb, mint Q1 időzítése lejárna. A Q1 időzítője nem éri el a beállított késleltetést, mert az áram nullára csökken. A feltétel: $t_2 +$ biztonsági tartalék $< t_1$. Ha a késleltetés 0,2 s, az alárendelt pedig 0,01 s alatt old, a tartalék bőven elegendő. Az időszelektivitás tehát akkor működik, ha az alárendelt védelem megszakítja az áramot, mielőtt a fővédelem késleltetése lejár.

Példa 3. (Hátvédelem értelmezése gyártói táblázattal)
Adott: Q1 főmegszakító 125 A, névleges megszakítóképessége $I_{cu1} = 36\,\text{kA}$. Q2 kismegszakító 32 A C, névleges megszakítóképessége $I_{cn2} = 10\,\text{kA}$. A beépítés helyén a várható zárlati áram $I_k = 18\,\text{kA}$.
Keresett: beépíthető-e Q2 önmagában?
Megoldás: Q2 önmagában nem, mert $10\,\text{kA} < 18\,\text{kA}$. A gyártói hátvédelmi táblázat szerint azonban a Q1–Q2 kombinációra a Q2 megnövelt megszakítóképessége 25 kA (ez ellenőrizendő). Mivel $25\,\text{kA} > 18\,\text{kA}$, a kombináció megfelelő. A hátvédelem fizikailag azért működik, mert a Q1 áramkorlátozó hatása csökkenti a Q2 tényleges igénybevételét. A táblázat mindig a gyártó mérési sorozatán alapul, ezért más gyártó készülékeire nem vonatkozik.

18.4.5. Szabványi háttér

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések túláramvédelmére vonatkozó követelményeket az MSZ HD 60364-4-43 tartalmazza: a védelmi eszközök megszakítóképessége nem lehet kisebb, mint a várható zárlati áram a beépítési helyen; hátvédelem esetén a két eszköz kombinációja is elfogadható, ha a gyártó ezt igazolja (jellemzően táblázatban). A megszakítókra az MSZ EN 60947-2, a kismegszakítókra az MSZ EN 60898-1 vonatkozik; a koordinációs jellemzők a termékszabványokban és a gyártói katalógusokban találhatók. A pontos értékeket, a hátvédelmi táblázatok határait és az aktuális kiadási számokat mindig ellenőrizni kell a gyártói adatlappal és a hatályos szabványkiadással.

18.4.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy háromszintes irodaházban a főelosztóban 125 A-es kompakt megszakítót szereltek, a szinti elosztók bemenetén 63 A-es szelektív (késleltetett) főkismegszakítókat. A szinti elosztók mögött a végáramkörök 16 A-es B jellegű kismegszakítókkal védettek. Az egyik emeleten egy irodai konnektorban zárlat keletkezett: a 16 A-es megszakító pillanatszerűen leoldott. A zárlati áram kb. 500 A volt, ami egy közönséges 63 A-es C kismegszakítónál a pillanatkioldó sávba (315 ... 630 A) esne, ezért ott a szelektivitás nem lett volna garantált. A szinti elosztó bemenetén azonban késleltetett, szelektív főkismegszakító volt, amelyre a gyártói táblázat a 16 A-es B ággal szemben a várható zárlati áramig szelektivitást adott **(ellenőrizendő: gyártói szelektivitási táblázat)**, így a szinti elosztó bekapcsolva maradt. Az iroda csak egy konnektorról veszítette el az áramkört, a szint többi része működött tovább. A tanulság: a szelektivitást nem „ránézésre”, hanem gyártói táblázatból kell ellenőrizni.

A másik gyakori eset a FI-relék (áram-védőkapcsolók) koordinációja. A főelosztóban 100 mA-es, S típusú (szelektív, késleltetett) FI-relé védi a szintet, a lakáselosztóban 30 mA-es, normál típusú FI. Ha a végáramkörben földzárlat keletkezik, a 30 mA-es azonnal leold; a 100 mA-es S a késleltetése miatt bekapcsolva marad. Ez az áram- és időszelektivitás együttes alkalmazása.

18.4.7. Tipikus hibák

Hiba 1. „A nagyobb névleges áramú megszakító úgyis később old, mint a kisebb.” Ez csak a termikus tartományban igaz. Nagy zárlati áramnál mindkét megszakító pillanatkioldója elindulhat, és a nagyobb mechanikája sem mindig lassabb. Ilyenkor a gyártói táblázat nélkül nincs garancia a szelektivitásra.

Hiba 2. A hátvédelmi táblázatot figyelmen kívül hagyva a szerelő egy kisebb megszakítóképességű kismegszakítót épít be olyan helyre, ahol a várható zárlati áram nagyobb. A kismegszakító névleges adata önmagában nem elég; ha nincs hátvédelmi kombináció, a készülék tönkremehet vagy nem tudja megszakítani a zárlatot.

Hiba 3. FI-relék soros kapcsolásánál a főFI normál, 30 mA-es típus, az alárendelt is 30 mA-es. Földzárlatnál mindkettő kioldhat, mert a differenciaáram mindkettőn átfolyik, és nincs időbeli késleltetés. A helyes megoldás: a főFI 100 mA S típus, az alárendeltek 30 mA gyors típusok.

Hiba 4. Az időszelektivitásnál a késleltetést túl kicsire állítják, például 0,02 s-ra, miközben az alárendelt megszakító 0,01 s-os, de a mechanikai szórás miatt a gyakorlatban 0,03-0,05 s is lehet. A fővédelem így leoldhat, és a szelektivitás elvész.

18.4.8. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a teljes és a részleges szelektivitás között?
2. Q2 = 10 A B, Q1 = 40 A C. Mennyi a pillanatkioldó tartomány alsó és felső határa mindkét kismegszakítónál (a tipikus tartományokkal számolva)?
3. Hátvédelemnél miért lehet az alárendelt megszakító névleges megszakítóképessége kisebb, mint a beépítési hely várható zárlati árama?
4. Mi az S típusú FI-relé szerepe a szelektivitásban?
5. Miért nem elegendő az „úgyis a kisebb old le” megállapítás nagy zárlati áramoknál?

18.4.9. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld a szelektivitást és a hátvédelmet egy-egy mondatban, majd mondd el, mi a lényegi különbség a céljukban.

2. feladat (A)
Egy elosztóban Q1 = 63 A C és Q2 = 20 A B kismegszakító van sorosan. Számítsd ki a pillanatkioldó tartományokat a tipikus B (3–5 I_n) és C (5–10 I_n) jelleggörbék szerint.

3. feladat (B)
Az előző feladat kapcsolásában a várható zárlati áram a Q2 utáni hibahelyen $I_k = 250\,\text{A}$. Állapítsd meg, hogy melyik megszakító pillanatkioldó tartományába esik ez az áram, és ennek alapján várható-e áramszelektivitás.

4. feladat (B)
Adott: Q1 főmegszakító 160 A, megszakítóképessége $I_{cu} = 50\,\text{kA}$; Q2 kismegszakító 32 A C, megszakítóképessége $I_{cn} = 10\,\text{kA}$. A beépítés helyén a várható zárlati áram $I_k = 20\,\text{kA}$. A gyártói hátvédelmi táblázat szerint a Q1–Q2 kombinációval a Q2 megnövelt megszakítóképessége 30 kA (ellenőrizendő érték). Beépíthető-e Q2 ezen a helyen Q1-gyel kombinálva? Indokold számítással.

5. feladat (C)
Egy lakóépületben a főelosztóban 100 mA-es S típusú FI-relé, a lakáselosztóban 30 mA-es normál FI-relé van. A konyhai aljzatkörben földzárlat miatt 40 mA differenciaáram folyik. Elemezd, hogyan viselkedik a két FI-relé, és milyen típusú szelektivitás érvényesül. Mi a helyzet 150 mA-nél?

6. feladat (D)
Egy kapcsolószekrényben Q1 = 100 A-es kompakt megszakító, alatta Q2 = 25 A-es motorvédő kapcsoló. A motor kapcsainál bekövetkező zárlat (kb. 1,2 kA) Q1-et is leoldja, pedig csak Q2-nek kellene; a motor névleges árama csak 18 A, indítási árama kb. 110–150 A, amely Q1-et nem oldja le. A Q1 pillanatkioldója 10 I_n-nél kb. 1,0 kA-nál kezd eloldani (ellenőrizendő). Milyen tipikus hibát sejtesz? Javasolj megoldást a szelektivitás javítására, és mondd meg, milyen táblázatot vagy beállítást kell ellenőrizni.

18.4.10. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Teljes szelektivitás: a hibahely összes lehetséges zárlati áramánál csak az alárendelt védelem old; részleges: csak egy meghatározott áramértékig.
2. Q2 B 10 A: $3 \cdot 10 = 30\,\text{A}$ és $5 \cdot 10 = 50\,\text{A}$; Q1 C 40 A: $5 \cdot 40 = 200\,\text{A}$ és $10 \cdot 40 = 400\,\text{A}$.

3. Mert a táplálás felőli megszakító áramkorlátozó hatása csökkenti az alárendelt igénybevételét, és a kombinációt a gyártó bevizsgálta; így a megnövelt megszakítóképesség elég.
4. Az S típusú FI-relé késleltetett kioldású, ezért földzárlatnál az alárendelt gyors FI old, és a fő FI nem ér el a kioldásig.
5. Mert nagy zárlati áramnál mindkét pillanatkioldó elindulhat, és a mechanikai verseny kimenetelét nem lehet garantálni; ehhez gyártói szelektivitási táblázat kell.

1. feladat (A) megoldása
Szelektivitás: soros védelmeknél a hibához legközelebbi védelem old ki, a táplálás felőli bekapcsolva marad. Hátvédelem: a táplálás felőli védelem korlátozza a zárlati áramot vagy időt, hogy az alárendelt is meg tudja szakítani a hibát; célja a biztonságos megszakítás, nem feltétlenül az üzem folytonossága. A különbség: a szelektivitás az üzem folytonosságát védi, a hátvédelem a készülékek megszakítóképességét egészíti ki.

2. feladat (A) megoldása
Q2 = 20 A B: tartomány $3 \cdot 20 = 60\,\text{A}$ és $5 \cdot 20 = 100\,\text{A}$.
Q1 = 63 A C: tartomány $5 \cdot 63 = 315\,\text{A}$ és $10 \cdot 63 = 630\,\text{A}$.

3. feladat (B) megoldása
$I_k = 250\,\text{A}$. Ez Q2 pillanatkioldó tartománya felett van ($250 > 100$), tehát Q2 pillanatkioldó tartományban. Q1 pillanatkioldó alsó határa 315 A, és $250 < 315$, tehát Q1 a termikus tartományában van. Így áramszelektivitás várható: Q2 gyorsan leold, Q1 nem ér el a pillanatkioldásig. A termikus kioldás nem tud leoldani a rövid idejű zárlat alatt, tehát Q1 bekapcsolva marad.

4. feladat (B) megoldása
Q2 önmagában: $10\,\text{kA} < 20\,\text{kA}$, nem lenne megfelelő.
Hátvédelmi kombinációval Q2 megnövelt megszakítóképessége 30 kA (példaként).
Ellenőrzés: $30\,\text{kA} > 20\,\text{kA}$, tehát a kombináció megfelelő. Feltétel: a gyártói táblázatban szereplő párosítás, és a táblázat hatályos adatai. Így Q2 beépíthető Q1-gyel.

5. feladat (C) megoldása
40 mA: $40\,\text{mA} > 30\,\text{mA}$, a lakás 30 mA-es FI-je biztosan és késleltetés nélkül kiold; a 100 mA-es S típus 50 mA alatt ($0{,}5\,I_{\Delta n}$) nem old, tehát nem mozdul: ez áramszelektivitás. **150 mA:** mindkét FI küszöbe fölött van; a 30 mA-es gyorsan (jellemzően tízes ms nagyságrendben) old, az S típus késleltetése miatt nem: időszelektivitás **(ellenőrizendő: MSZ EN 61008-1 kioldási idők)**. Megjegyzés: ha a differenciaáram 25 mA marad, az $0{,}5\,I_{\Delta n} \ldots I_{\Delta n}$ (15–30 mA) sávba esik, ahol a 30 mA-es FI kioldása nem garantált; a 100 mA-es S típus biztosan nem old.

6. feladat (D) megoldása
A tünet: zárlatnál Q1 is leold, nem csak Q2. (A motor 18 A-es névleges és kb. 110–150 A-es indítási árama a Q1 pillanatkioldóját (kb. 1,0 kA) nem éri el, indításkor Q1-nek nem szabad leoldania; ha ez mégis megtörténik, a Q1 beállítását, túlterhelését vagy a motor indítását kell vizsgálni, lakatfogós méréssel.) A zárlati áram 1,2 kA, ami meghaladja a Q1 pillanatkioldó indulási értékét (kb. 1,0 kA). Így mindkét készülék pillanatkioldó tartományban van, és a szelektivitás nem garantált. Javaslat: ellenőrizni kell a gyártói szelektivitási táblázatot a Q1–Q2 kombinációra. Ha nincs teljes szelektivitás, alkalmazzunk időszelektivitást: a Q1 kompakt megszakítón állítsunk be rövid késleltetést, például 0,1–0,2 s-ot, hogy a motorvédő kapcsoló gyorsabban oldjon. Az ipari elosztóhálózatok tervezésénél ezt a módszert használjuk, erről részletesen az Ipari elosztóhálózatok jellemzői és topológiája alfejezetben lesz szó.

18.4.11. Rövid összefoglaló

A szelektivitás biztosítja, hogy soros védelmek közül a hiba helyéhez legközelebbi oldjon ki, míg a táplálás felőli védelem bekapcsolva marad. Áramszelektivitásnál a kisebb kismegszakító pillanatkioldó tartománya alacsonyabb áramoknál kezdődik, mint a nagyobbé, így a hibaáram csak a kisebbet kényszeríti gyors leoldásra. Ha mindkettő a gyors tartományában van, időszelektivitást alkalmazunk: a főmegszakítón szándékos késleltetést állítunk be. A hátvédelem (cascading) nem üzem-folytonossági, hanem megszakítóképességi kérdés: a gyártói táblázatban igazolt kombinációval az alárendelt készülék nagyobb zárlati áramot is megszakíthat. FI-reléknél S típusú (késleltetett) főFI-t használunk. A pontos értékeket mindig gyártói adatlapból és hatályos szabványból kell ellenőrizni. **Továbbvitt eredmény.** A szelektivitás és hátvédelem elve az ipari elosztóhálózatok méretezésének alapja; ezt az Ipari elosztóhálózatok jellemzői és topológiája alfejezetben alkalmazzuk majd a hálózatfelépítés és a védelmi lánc kiválasztásakor.

18.4.12. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezetben említett szabványok: MSZ HD 60364-4-43 (túláramvédelem), MSZ EN 60947-2 (megszakítók), MSZ EN 60898-1 (kismegszakítók). A konkrét kioldási tartományok (B: 3–5 I_n, C: 5–10 I_n) és a hátvédelmi táblázati példák (megnövelt megszakítóképesség) tájékoztató jellegűek; minden egyes készülék esetén a gyártó aktuális adatlapja és a hatályos szabvány az irányadó. **(ellenőrizendő: gyártói koordinációs táblázatok, kioldási tartományok, szabványkiadások)**

19 Világítástechnika

19.1. Fénytechnikai alapok és fényforrások

19.1.1. Motiváció

A villanyszerelő a gyakorlatban nem csak vezetékeket és kapcsolókat szerel, hanem gyakran világítási áramköröket is épít, lámpatesteket köt be, vagy éppen meglévő fényforrást cserél. Ha csak a „watt” alapján gondolkodunk, nem tudjuk megmondani, hogy egy régi izzó helyére milyen LED-et ajánljunk, vagy hogy hány lámpatest kell egy adott helyiség megfelelő megvilágításához. A fénytechnikai alapmennyiségek – fényáram, fényerősség, megvilágítás, fényhasznosítás – ismerete nélkül nem tudunk szakszerűen dönteni, és könnyen túl sötét vagy éppen kellemetlenül fényes környezetet hozhatunk létre. Ebben az alfejezetben ezeket a fogalmakat építjük fel, összehasonlítjuk a fényforrástípusokat, és megtanuljuk a fényforrás-kiválasztás alapjait.

19.1.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy konyhát, ahol a pult felett egyetlen lámpatest világít. A lámpatest fényt bocsát ki, de ez a fény nem egyenletesen jut mindenhová: a pult felületére például annál több fény érkezik, minél közelebb van a lámpához, és minél merőlegesebben esik rá. A gyártó által megadott lumen érték megmondja, hogy a fényforrás összesen mennyi látható fényt ad le, de az, hogy a munkafelület valójában mennyire lesz világos, a lámpatest kialakításától, a helyiség méretétől, a falak színétől és a távolságtól is függ. Ezt a gondolatot formalizáljuk a következő mennyiségekkel.

19.1.3. Fénytechnikai alapmennyiségek

Definíció. A **fényáram** (Φ) az a látható fényteljesítmény, amelyet a fényforrás kisugároz; mértékegysége a **lumen** (lm). A gyártói adatlapon általában ezt adják meg, mert ez jellemzi a fényforrás „mennyiségét”.

Definíció. A **fényerősség** (I) egy adott irányban kisugárzott fényáram sűrűsége: ha egy pontszerű forrásból kis térszögbe ($\Delta\omega$) adott irányban $\Delta\Phi$ fényáram jut, akkor

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\omega}.$$

Mértékegysége a **kandela** (cd = lm/sr, ahol sr a szteradián, a térszög egysége). Egyenletesen, minden irányban sugárzó pontszerű forrás teljes fényárama

$$\Phi = 4\pi I,$$

mert a teljes térszög 4π sr. A fényerősség a lámpatest optikai kialakításánál (pl. szűk sugárzású spotlámpa) fontos.

Definíció. A **megvilágítás** (E) az egységnyi felületre érkező fényáram:

$$E = \frac{\Phi}{A},$$

ahol A a felület nagysága. Mértékegysége a **lux** (lx = lm/m^2). Ez a gyakorlatban leginkább használt mennyiség, mert a munkafelület, az íróasztal, a pult vagy a közlekedőútvonal világosságát ezzel írjuk le. Fontos, hogy a képlet akkor pontos, ha a fényáram merőlegesen és egyenletesen oszlik el a felületen. Ha a fény ferde szögben érkezik, akkor

$$E = \frac{\Phi}{A}\cos\theta,$$

ahol θ a fénysugár és a felület normálisa (merőlegese) közötti szög.

Definíció. A **fénysűrűség** (L) egy felület egységnyi látszólagos vetületére, adott irányban kisugárzott fényerősség; mértékegysége cd/m^2. A fénysűrűség a gyakorlatban azért fontos, mert a szem a fényforrás vagy a megvilágított felület fénysűrűségét érzékeli; ez határozza meg a káprázást és a vizuális komfortot. A nagyon nagy fénysűrűségű felület (pl. csupasz LED diódák) kellemetlen, ezért a jó lámpatestek fényét opál burával, prizmás diffúzorral szórják.

Definíció. A **fényhasznosítás** (η) a fényforrásból kijövő fényáram és a felvett villamos teljesítmény hányadosa:

$$\eta = \frac{\Phi}{P}.$$

Mértékegysége lm/W. Ez a fényforrás energetikai hatékonyságának legfontosabb mérőszáma. Minél nagyobb, annál több fényt kapunk ugyanannyi villamos energiából.

Definíció. A **színhőmérséklet** (T_c) a fényforrás színérzetét jellemző egyenértékű feketesugárzó hőmérséklete kelvinben. A gyakorlatban három fő csoportot különböztetünk meg:

- **Melegfehér** – kb. 2700–3000 K, sárgás, otthonos, lakótéri hangulat;
- **Semleges fehér / természetes fehér** – kb. 4000 K, tiszta, munkahelyi, konyhai, irodai;
- **Hidegfehér** – kb. 5000–6500 K, kékes, műhelyekbe, ipari környezetbe.

A megfelelő színhőmérséklet nem csupán esztétikai kérdés: a rosszul megválasztott színérzet ronthatja a koncentrációt és a térérzetet.

Definíció. A **színvisszaadási index** (R_a) azt mutatja meg, hogy a fényforrás fényénél mennyire hűen látjuk a tárgyak színét a természetes fényhez képest. Skálája 0–100; a 100 a hű színvisszaadást jelenti. Lakóhelyiségekben általában $R_a \geq 80$ ajánlott, míg olyan helyeken, ahol a színek pontos ítélete fontos (festékbolt, fogorvosi rendelő, textilüzlet), $R_a \geq 90$ szükséges. A LED-ek és fénycsövek többsége ma R_a 80–95 közötti értékkel kapható, a hagyományos izzólámpa $R_a = 100$.

19.1.4. Kidolgozott példák

1. példa – Megvilágítás számítása egyenletes eloszlás esetén.
Egy konyhai pult fölött egy LED-panel fényárama $\Phi = 2400\,\mathrm{lm}$. A panel alatt a pult mérete $2{,}0 \times 0{,}8\,\mathrm{m}$, tehát felülete $A = 1{,}6\,\mathrm{m}^2$. A lámpatest optikája a teljes fényáram 70%-át irányítja a pultra, a maradék a helyiségbe szóródik. Számítsuk ki a pult átlagos megvilágítását!

Adott: $\Phi_{\text{lámpa}} = 2400\,\mathrm{lm}$, $A = 1{,}6\,\mathrm{m}^2$, a pultra jutó hányad $k = 0{,}70$.
Keresett: E.
Képlet: $E = \frac{k\,\Phi}{A}$.
Behelyettesítés:

$$E = \frac{0{,}70 \cdot 2400\,\mathrm{lm}}{1{,}6\,\mathrm{m}^2} = \frac{1680\,\mathrm{lm}}{1{,}6\,\mathrm{m}^2} = 1050\,\mathrm{lx}.$$

Ellenőrzés: 1050 lx konyhai pulton kissé erős, de egy fényes munkaterületen elfogadható; a valóságban a szórt fény visszaverődése tovább növelheti, de a lámpatest kihasználtsági tényezője csökkentheti az értéket. A gyakorlati tervezésben tehát ezt csak becslésnek tekintjük.

2. példa – Fényhasznosítás összehasonlítása.
Egy régi 60 W-os izzólámpa fényárama $\Phi_{\text{izzó}} = 700\,\mathrm{lm}$, felvett teljesítménye $P_{\text{izzó}} = 60\,\mathrm{W}$. Egy modern LED lámpa $\Phi_{LED} = 1200\,\mathrm{lm}$, $P_{LED} = 12\,\mathrm{W}$. Számítsuk ki mindkettő fényhasznosítását!

Izzó:

$$\eta_{\text{izzó}} = \frac{700\,\mathrm{lm}}{60\,\mathrm{W}} \approx 11{,}7\,\mathrm{lm/W}.$$

LED:

$$\eta_{LED} = \frac{1200\,\mathrm{lm}}{12\,\mathrm{W}} = 100\,\mathrm{lm/W}.$$

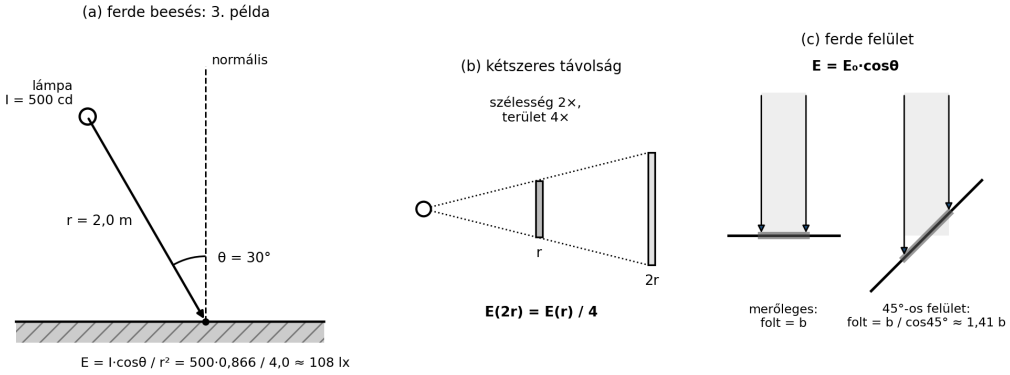
Ellenőrzés: A LED fényhasznosítása több mint nyolcszorosa az izzóénak, ezért ugyanakkora fényáram előállításához sokkal kevesebb villamos teljesítmény és így kevesebb hőtermelés szükséges.

3. példa – Pontszerű forrás és ferde megvilágítás.
Egy spotlámpa fényerőssége a fő sugárzási irányban $I = 500\,\mathrm{cd}$. A lámpa 2,0 m távolságra világít rá egy munkafelületre. A fénysugár a felület normálisától 30°-ban érkezik. Számítsuk ki a megvilágítást a felület megvilágított pontjában, ha a pontszerű forrás közelítését használjuk, és a távolság $r = 2{,}0\,\mathrm{m}$.

Képlet: pontszerű forrásra merőleges beesésnél $E_0 = \frac{I}{r^2}$, ferde beesésnél $E = \frac{I}{r^2}\cos\theta$.
Behelyettesítés:

$$E = \frac{500\,\mathrm{cd}}{(2{,}0\,\mathrm{m})^2} \cdot \cos 30^\circ = \frac{500}{4{,}0} \cdot 0{,}866 = 125 \cdot 0{,}866 \approx 108\,\mathrm{lx}.$$

Ellenőrzés: 108 lx egy munkafelületre valószínűleg kevés; tervezéskor a spotlámpa nyalábszöge és a felület távolsága alapján kell kiválasztani a fényerősséget és a lencsét.



19.1. ábra. Pontszerű fényforrás megvilágítása: (a) a 3. példa geometriája ($E = I\cos\theta / r^2$), (b) kétszeres távolságban a megvilágított terület négyszeres, (c) ferde felületen a folt megnyúlik

Az ábra (a) része a 3. példát mutatja: a lámpa 2,0 m-re van a megvilágított ponttól, a sugár a felület normálisával 30°-ot zár be, így $E \approx 108$ lx. A (b) rész szerint kétszeres távolságban ugyanaz a fénykúp négyszer akkora területre jut, ezért a megvilágítás a negyedére csökken; a (c) rész szerint ferde felületen a folt $1/\cos\theta$-szorosára nyúlik, ezért a megvilágítás $\cos\theta$-szorosára csökken. A HTML-kiadásban a fényerősség, a távolság és a szög csúszkával állítható, így a 4. feladat eredménye is ellenőrizhető vele.

A három példa mutatja, hogy a fontos mennyiségek hogyan kapcsolódnak egymáshoz: a gyártó megadja a fényáramot, a lámpatest optikája és a geometria határozza meg, hogy mekkora lesz a felületen a megvilágítás, a fényhasznosítás pedig az energiafogyasztást minősíti.

19.1.5. Fényforrástípusok

A villanyszerelőnek ismernie kell a leggyakoribb fényforrástípusokat, mert a csere és a kiválasztás során ezek jellemzőit kell mérlegelnie.

Izzólámpa. A hagyományos izzószálas lámpa a hőmérsékleti sugárzás elvén működik: a villamos áram felizzítja a wolframszálat. Fényhasznosítása alacsony, jellemzően 8–15 lm/W, élettartama rövid, kb. 1000 óra. A színvisszaadása tökéletes ($R_a = 100$), a színhőmérséklete kb. 2700 K, és természetes módon dimmelhető. Energiahatékonysági okokból az EU piacán a hagyományos izzólámpákat fokozatosan kivezették; ma már legfeljebb speciális célokra (pl. sütővilágítás) kaphatók.

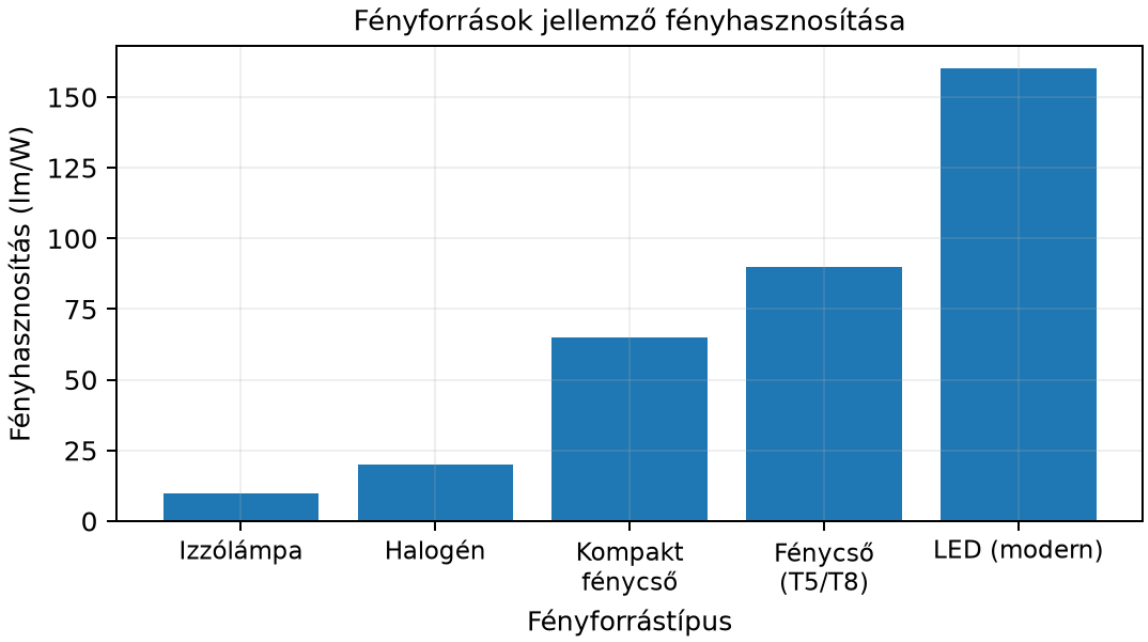
Halogénlámpa. A halogén lámpa szintén izzószálas, de a bura halogéngázt tartalmaz, ami a wolframgőz visszavezetésével magasabb izzószál-hőmérsékletet és jobb hatásfokot tesz lehetővé. Fényhasznosítása 15–25 lm/W, élettartama 2000–4000 óra, színvisszaadása kiváló, színhőmérséklete kb. 2800–3200 K. A halogén pontosan dimmelhető, ezért ahol kiemelt a fényerő-szabályozás (például lakossági hangulatvilágítás, színpadi világítás), még mindig használják, bár energiahatékonysága rosszabb, mint a LED-é.

Fénycső. A fénycső kisülőlámpa: a fényt a higanygőzben létrejövő gázkisülés ibolyántúli sugárzása gerjeszti, amelyet a cső belső fala bevonó por alakít át látható fénnyé. A hagyományos T8/T5 fénycsövek fényhasznosítása 60–100 lm/W, élettartama 15 000–30 000 óra, színvisszaadása R_a 80–90 lehet, színhőmérsékletük a fényportól függően meleg- vagy hidegfehér. Működésükhöz előtét szükséges: régebben elektromágneses előtét és gyújtó, ma már gyakran elektronikus előtét. A fénycsövek higanyt tartalmaznak, ezért veszélyes hulladéknak minősülnek; a törött fénycsövet megfelelően kell gyűjteni. Új berendezésbe ma már LED-megoldást választunk.

Kompakt fénycső (CFL). A kompakt fénycső a hagyományos fénycső csöveit feltekercselt, az előtétet beépített formában tartalmazza, ezért a hagyományos foglalatokba csavarható. Fényhasznosítása 50–80 lm/W, élettartama kb. 8000–15 000 óra, de bekapcsoláskor lassan éri el a teljes fényt, és sok fajtája nem dimmelhető. A higanyt a CFL is tartalmazza, ezért ártalmatlanítása körültekintést igényel. Az EU-ban a beépített előtétes kompakt fénycső (2023 elején) és a T8 fénycső (2023 második felében) forgalomba hozatala a higanytartalmat szabályozó RoHS-mentességek lejártával megszűnt, a T5 fénycsőre és a beépített előtét nélküli, dugaszolós kompakt fénycsőre későbbi határidő vonatkozik **(ellenőrizendő: RoHS-mentességek a hatályos felhatalmazáson alapuló irányelvek szerint, EU ökotervezési rendelet)**; meglévő berendezésben üzemelhetnek, cserénél LED-megoldást választunk. A fénycsöves lámpatest LED-csőre átalakítása a lámpatest módosítása: a gyártói útmutatót és a lámpatest-szabványt (MSZ EN 60598) követni kell **(ellenőrizendő)**.

LED (fénykibocsátó dióda). A LED félvezető fényforrás: a p–n átmenetben az elektron-lyuk rekombináció során fény keletkezik. Fényhasznosítása ma jellemzően 80–200 lm/W, de a fejlődés folyamatos; élettartama 25 000–50 000 óra vagy több, azonnal eléri a teljes fényt, és jól szabályozható. A LED-ek színvisszaadása R_a 80–95 tipikusan, színhőmérsékletük széles tartományban választható (2200–6500 K). A LED-modulok hőre érzékenyek, ezért a lámpatest hűtésére, a LED-illesztő áramkörre (driverre) és a minőségi tápegységre kiemelt figyelmet kell fordítani. A LED-lámpák nem tartalmaznak higanyt, így környezeti szempontból kedvezőbbek, de elektromos és elektronikus hulladékként (WEEE) kezelendők.

A fényforrások összehasonlítását szemlélteti az alábbi diagram, amely a jellemző fényhasznosításokat mutatja:



19.2. ábra. Fényforrások jellemző fényhasznosítása - Szemléltető, gyártói katalógusadatok alapján kiszámolt tipikus értékek; a tényleges értékek a típustól és a gyártótól függenek (ellenőrizendő).

A diagramon látható, hogy a LED fényhasznosítása kiemelkedően magas, ezért az új telepítéseknél és cseréknél ma már ez az általános ajánlat.

19.1.6. LED és meghajtó (driver)

A LED dióda nyitóirányú feszültsége jellemzően 2,5–3,5 V, és a fényárama az átfolyó árammal arányos. A LED-et ezért **nem közvetlenül feszültségről**, hanem áramgenerátoros meghajtóról kell táplálni, hogy az áram ne nőjön túl a megengedett értéken. A legtöbb LED-lámpában a meghajtó (driver) egy kis kapcsolóüzemű tápegység (SMPS), amely a hálózati váltakozó feszültséget állandó egyenárammá alakítja. A driver kimeneti paraméterei közül a névleges kimenő áram (pl. 350 mA, 700 mA) és a kimeneti feszültségtartomány a meghatározó; a szerelőnek a LED-modul és a driver adatlapját össze kell hangolnia. A passzív alkatrészek (tekercs, kondenzátor) szerepét a Passzív alkatrészek: ellenállás, kondenzátor, tekercs alfejezetben tanultuk; az elektronikus előtétek és LED-driverek bemeneti szűrőiben ezek nagy jelentőséggel bírnak.

Fényerő-szabályozás. A LED-ek fényereje az áram módosításával vagy impulzus-szélesség-modulációval (PWM) állítható. A gyakorlati szerelés szempontjából két fő szabályozási módot érdemes ismerni:

- **Fázishasításos dimmer (triacos).** Sok LED-lámpa utólag beszerelhető a meglévő izzólámpás dimmer mögé, de csak akkor, ha a gyártó kifejezetten „dimmelhető” (dimmable) LED lámpát vagy meghajtót minősít. A nem kompatibilis párosítás sistergést, villogást vagy élettartam-csökkenést okozhat.
- **Analóg és digitális vezérlés (0–10 V, DALI, PWM).** Irodai vagy épületautomatikai rendszerekben a LED-meghajtók központi vezérlőjelekkel vezérelhetők. A SELV-ként kialakított vezérlőköröket (pl. KNX TP, SELV-kivitelű 0–10 V) a hálózati vezetékektől elválasztva kell vezetni; a DALI-vezérlőerek viszont csak alapszigetelésűek, ezért hálózati feszültségűként kezelendők, és a gyártó szerint a hálózati erekkel közös kábelben is vezethetők (részletesen: KNX, DALI és más épületautomatikai rendszerek) **(ellenőrizendő: IEC 62386-101, gyártói útmutató)**.

Villogás (flicker). A gyenge minőségű LED-meghajtók kimenő árama nem tökéletesen egyenletes, hanem a hálózati frekvencia kétszeresével (100 Hz) vagy a kapcsolási frekvenciával enyhén ingadozik. Ez a szem számára gyakran láthatatlan, de hosszú távon fejfájást, vizuális fáradtságot okozhat, és videófelvételen csíkozódást eredményezhet. A jó minőségű driverek ezt minimalizálják. A villogást szerelőként úgy ellenőrizhetjük legegyszerűbben, hogy az okostelefon kameráját (lassított felvételi módban) a világító lámpára vagy a megvilágított felületre irányítjuk – ha a képen látható csíkozódás vagy vibrálás jelentkezik, a meghajtó valószínűleg rossz minőségű.

19.1.7. Energiahatékonyság és élettartam

A fényforrás kiválasztásakor nem elég a bekerülési árat nézni, a teljes életciklus költséget kell figyelembe venni: a villamosenergia-fogyasztást és a csere gyakoriságát. A LED magasabb beszerzési ára a jóval kisebb fogyasztás és a hosszú élettartam miatt általában hamar megtérül.

Az energiahatékonyságot az EU energiaosztályokkal jelöli; a jelenlegi rendszerben (2021-től) az osztályok A-tól G-ig terjednek, és az átskálázott címkén az A osztály a jelenleg ritka, igen nagy hatékonyságú termékeké; a szokásos LED-fényforrások jellemzően C–F, a halogénlámpák G osztályúak, a hagyományos izzó forgalomból kivezetett (ellenőrizendő: EU 2019/2015 rendelet osztályhatárai, kb. A $\geq$ 210 lm/W, F $\geq$ 85 lm/W). A villanyszerelőnek a megrendelővel érdemes közölnie: a lámpatestek cseréjekor ne a wattra, hanem a lumenre és az energiaosztályra figyeljen.

Az élettartamot a LED-eknél gyakran olyan jelölésekkel adják meg, mint **L70B50** vagy **L80B10**. Az LxBy jelölés azt adja meg, hogy a megadott üzemidő végén a lámpák legfeljebb y %-ának csökken a fényárama a kezdeti x %-a alá. Például az L70B50 = 50 000 h azt jelenti, hogy 50 000

üzemóra után a lámpák legalább felének fényárama még legalább a kezdeti 70%; az L80B10: a lámpák legfeljebb 10%-a esik 80% alá **(ellenőrizendő: MSZ EN 62717)**. A pontos értékeket mindig a gyártó adatlapján kell ellenőrizni.

19.1.8. Szabvány

Szabvány. A beltéri munkahelyek világítására vonatkozó minimum megvilágítási értékeket az MSZ EN 12464-1 tartalmazza (pl. irodai munkaterületen tipikusan 500 lx, közlekedőútvonalon 100 lx – a konkrét értékeket a szabvány aktuális kiadása szerint kell ellenőrizni). A lámpatestek biztonsági követelményeit az MSZ EN 60598 sorozat határozza meg. A fényforrások energiahatékonysági jelölését és környezetbarát tervezését európai uniós rendeletek szabályozzák; a konkrét energiaosztály-határokat és címkézési követelményeket a gyártói adatlapok és a hatályos EU-rendeletek alapján kell alkalmazni. A villanyszerelőnek nem kell megjegyeznie minden táblázatot, de tudnia kell, hogy a megvilágítási előírások és a lámpatest-szabványok betartása a tervező és a kivitelező közös felelőssége.

19.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasházi lakás konyhájában a megrendelő régi fénycsöves lámpatestet szeretett volna cseréltetni. A szerelő felmérte a konyhát: a pult hossza 3 m, a konyha teljes alapterülete 12 m², a meglévő lámpatest két 36 W-os T8 fénycsövet tartalmazott, ami a fénypor típusától függően csövenként kb. 2500–3350 lm, együtt kb. 5000–6700 lm fényáramot adott **(ellenőrizendő: a régi csövek adatlapja)**. A megrendelő „60 wattos” LED-et kért, mert a boltban így hallotta. A szerelő elmagyarázta, hogy a watt nem a fény mennyiségét jelenti: a régi fénycsöves rendszer – az elektromágneses előtéttel együtt kb. 85–90 W rendszerteljesítmény (ellenőrizendő) – helyett elegendő lehet például egy kb. 40–45 W-os LED-panel, ha fényárama legalább akkora, mint a régi lámpatesté (itt legalább kb. 5000 lm). A kivitelezés során a szerelő feszültségmentesített, ellenőrizte a kapocs L, N, PE jelölését, és a LED-panel meghajtóját a lámpatesten belül kötötte be. Az ügyfél elégedett volt, mert kevesebb fogyasztással kapta a korábbival legalább azonos fényáramot. A döntő érvek tehát a lumen, a színhőmérséklet és az energiafogyasztás voltak.

19.1.10. Tipikus hibák

1. **Watt-egyenérték félreértése.** Sokan azt mondják: „100 wattos LED”, mintha a watt a fényerő egysége lenne. Helyes azt kérdezni: hány lumen? A LED-eknél a watt csak a fogyasztást jelenti, a fényáramot a lumen adja meg.
2. **Rossz színhőmérséklet választása.** Hidegfehér (5000 K) fényforrást tesznek hálószobába, ahol a melegfehér lenne kellemes, vagy melegfehéret műhelybe, ahol a hidegfehér javítaná a figyelmet. A megrendelő igényét és a helyiség funkcióját mindig egyeztetni kell.
3. **Dimmer kompatibilitás figyelmen kívül hagyása.** Nem minden LED-lámpa dimmelhető a meglévő fázishasításos dimmerrel. A helytelen párosítás villogást, zümmögést, sőt a lámpa vagy a dimmer tönkremenetelét okozhatja. Mindig a gyártó által minősített dimmer–LED kombinációt kell alkalmazni.
4. **Megvilágítás mérése rossz helyen.** A luxmérőt közvetlenül a lámpa alá teszik, nem a tényleges munkafelületre. A mért adat így nem jellemzi a felhasználói környezetet. A mérést a szabványban meghatározott magasságon és helyen kell végezni.

19.1.11. Önellenőrzés

1. kérdés. Igaz-e, hogy a fényáram egysége a lux?
2. kérdés. Egy LED-lámpa 12 W teljesítményt vesz fel, fényárama 1500 lm. Mennyi a fényhasznosítása?
3. kérdés. Melyik a nagyobb színhőmérséklet: a melegfehér 2700 K vagy a hidegfehér 5000 K?
4. kérdés. Mi a különbség a megvilágítás és a fénysűrűség között?
5. kérdés. Tartalmaz-e higanyt a LED-lámpa? Melyik fényforrás igen, és miért fontos ez a hulladékkezelésnél?
6. kérdés. Egy lámpatestet nem dimmelhető LED-lámpával kötnek be egy fázishasításos dimmer mögé. Mi lehet a következmény?

19.1.12. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a fényáramot és add meg mértékegységét!
2. feladat (A). Egy 9 W-os LED-lámpa 810 lm fényt ad. Számítsd ki a fényhasznosítását!
3. feladat (B). Egy irodai munkaállomáson 500 lx megvilágítást szeretnénk. Az íróasztal egy 1,2 m × 0,8 m-es felület. A választott lámpatest optikája a teljes fényáram 60%-át irányítja az asztalra. Mekkora legyen a lámpatest teljes fényárama?
4. feladat (B). Egy spotlámpa fényerőssége a fő irányban 800 cd. A megvilágítandó felületet 3,0 m távolságból, a felület normálisával 45° szögben világítja. Számítsd ki a felületre jutó megvilágítást!
5. feladat (C). Két megoldást hasonlítunk össze egy konyhába: (a) halogén lámpa 45 W, 700 lm, élettartama 2000 h, ára 1500 Ft; (b) LED-lámpa 8 W, 700 lm, élettartama 25 000 h, ára 3000 Ft. Az áramenergia díja 60 Ft/kWh. Számítsd ki, mennyi energiát fogyaszt és mennyibe kerül az energia és a csere 25 000 üzemóra alatt! Melyik a kedvezőbb teljes költségben, és miért fontos ez a fényforrás-kiválasztásnál?
6. feladat (D). Egy ügyfél panaszkodik: a nappaliban a LED-lámpa időnként villog, és halk zümmögést ad. A kapcsoló egy régi fázishasításos dimmer. Sorolj fel legalább három lehetséges okot, és írd le, milyen lépésekkel ellenőriznéd a hibát a feszültségmentesítés után!

19.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A fényáram egysége a lumen (lm); a lux a megvilágítás egysége.

2. $\eta = 1500\,\text{lm}/12\,\text{W} = 125\,\text{lm/W}$.

3. A 5000 K nagyobb, tehát a hidegfehér.

4. A megvilágítás a felületre **érkező** fényáram sűrűsége (lx), a fénysűrűség a felületről egy irányba **kisugárzott** fényerősség sűrűsége (cd/m²).

5. A LED-lámpa nem tartalmaz higanyt; a fénycső és a kompakt fénycső igen.

6. Villogás, sistergés, a fényerő nem szabályozható megfelelően, rövidülhet az élettartam.

Feladatok – megoldások

1. feladat (A)
A fényáram a fényforrás által kisugárzott látható fényteljesítmény; jele Φ, egysége a lumen (lm).

2. feladat (A)
Adott: $P = 9\,\mathrm{W}$, $\Phi = 810\,\mathrm{lm}$.
Keresett: η.
Képlet: $\eta = \Phi / P$.
Behelyettesítés: $\eta = 810\,\mathrm{lm} / 9\,\mathrm{W} = 90\,\mathrm{lm/W}$.
Ellenőrzés: A 90 lm/W érték jó LED-es fényhasznosításnak számít.

3. feladat (B)
Adott: $E_{\text{kívánt}} = 500\,\mathrm{lx}$, $A = 1{,}2 \times 0{,}8 = 0{,}96\,\mathrm{m}^2$, $k = 0{,}60$.
Keresett: $\Phi_{\text{összes}}$.
Képlet: A pultra jutó fényáram $\Phi_{\text{felület}} = E \cdot A$, és ez a teljes fényáram k-szorosa: $\Phi_{\text{felület}} = k\,\Phi_{\text{összes}}$, tehát $\Phi_{\text{összes}} = \frac{E \cdot A}{k}$.
Behelyettesítés:

$$\Phi_{\text{összes}} = \frac{500\,\mathrm{lx} \cdot 0{,}96\,\mathrm{m}^2}{0{,}60} = \frac{480\,\mathrm{lm}}{0{,}60} = 800\,\mathrm{lm}.$$

Ellenőrzés: Egy 800 lm-es lámpatesttel a kívánt 500 lx elérhető az adott optika mellett. A valóságban a helyiség visszaverődése is hozzájárul, ezért ez konzervatív becslés.

4. feladat (B)
Adott: $I = 800\,\mathrm{cd}$, $r = 3{,}0\,\mathrm{m}$, $\theta = 45^\circ$.
Keresett: E.
Képlet: $E = \frac{I}{r^2}\cos\theta$.
Behelyettesítés:

$$E = \frac{800\,\mathrm{cd}}{(3{,}0\,\mathrm{m})^2} \cdot \cos 45^\circ = \frac{800}{9{,}0} \cdot 0{,}7071 \approx 88{,}9 \cdot 0{,}7071 \approx 62{,}9\,\mathrm{lx}.$$

Ellenőrzés: 63 lx viszonylag alacsony; ilyen spotlámpa csak kiegészítésnek jó, fővilágításnak nem elegendő.

5. feladat (C)
Adott:
- Halogén: $P = 45\,\mathrm{W} = 0{,}045\,\mathrm{kW}$, élettartam $t = 2000\,\mathrm{h}$, ár 1500 Ft.
- LED: $P = 8\,\mathrm{W} = 0{,}008\,\mathrm{kW}$, élettartam $25\,000\,\mathrm{h}$, ár 3000 Ft.
- Energiaár: 60 Ft/kWh.

Energiafogyasztás 25 000 h alatt:
Halogén: $W = P \cdot t = 0{,}045\,\mathrm{kW} \cdot 25\,000\,\mathrm{h} = 1125\,\mathrm{kWh}$.
LED: $W = 0{,}008 \cdot 25\,000 = 200\,\mathrm{kWh}$.

Energiaköltség:
Halogén: $1125 \cdot 60 = 67\,500\,\mathrm{Ft}$.
LED: $200 \cdot 60 = 12\,000\,\mathrm{Ft}$.

Csere száma 25 000 h alatt:
Halogén: $25\,000 / 2000 = 12{,}5 \rightarrow 13$ db-ra van szükség, mert a cserét egész darabra kell felkerekíteni.
LED: $25\,000 / 25\,000 = 1$ db.

Fényforrás-költség (csere):
Halogén: $13 \cdot 1500 = 19\,500$ Ft.
LED: $1 \cdot 3000 = 3000$ Ft.

Teljes költség 25 000 h alatt:
Halogén: $67\,500 + 19\,500 = 87\,000$ Ft.
LED: $12\,000 + 3000 = 15\,000$ Ft.

Következtetés: A LED teljes költsége kb. hatoda a halogénének (15 000 Ft szemben 87 000 Ft-tal, azaz 72 000 Ft, kb. 83 % megtakarítás) a vizsgált időszakban. Ezért a fényforrás-kiválasztásnál a teljes életciklus költséget kell figyelembe venni, nemcsak a beszerzési árat. **Továbbvitt eredmény.** Ezt a módszert használjuk a Világítás tervezése: beltér és kültér alfejezetben, amikor konkrét lámpatesteket és fényforrásokat választunk ki.

6. feladat (D)
Lehetséges okok:
1. A LED-lámpa nem dimmelhető, a meghajtó nem kompatibilis a fázishasításos dimmerrel.
2. A dimmer minimális terhelése nincs elérve; a LED csekély árama miatt a dimmer nem tud stabilan működni.
3. A meghajtó bemeneti szűrőjében lévő kondenzátor/tekercs hibás, vagy rossz minőségű (lásd Passzív alkatrészek: ellenállás, kondenzátor, tekercs).

Ellenőrzés feszültségmentesítés után:
- Kapcsoljuk le az áramkört, biztosítsuk visszakapcsolás ellen, ellenőrizzük a feszültségmentességet.
- Vizsgáljuk meg a lámpatest adatlapját: szerepel-e rajta a „dimmable” jelölés.
- Ellenőrizzük a dimmer típusát és a minimális terhelési adatokat.
- Cseréljük ki a LED-lámpát egy ismert, dimmelhető típusra, és teszteljük.
- Ha a probléma továbbra is fennáll, cseréljük a dimmert LED-kompatibilis típusra, vagy építsünk be megfelelő LED-meghajtót.
- Dokumentáljuk a beavatkozást.

19.1.14. Rövid összefoglaló

A fénytechnikai alapmennyiségek közül a legfontosabb a fényáram (Φ, lumen), amely a fényforrás által kibocsátott látható fény teljes mennyisége, és a megvilágítás (E, lux), amely az egységnyi felületre érkező fényáram ($E = \Phi/A$, ferde beesésnél $\cos\theta$-val). A fényerősség (I, kandela) az irányított fényáram-sűrűség, a fénysűrűség (L, cd/m^2) a felületről kisugárzott fényerősség-sűrűség, a fényhasznosítás ($\eta = \Phi/P$, lm/W) pedig az energiahatékonyság mutatója. A színhőmérséklet (K) a fény színérzetét, a színvisszaadási index (R_a) a színek hűségét jellemzi. A fényforrások közül a hagyományos izzó és halogén rossz hatásfokú, a fénycső jó, de higanyt tartalmaz, a LED kiemelkedően hatékony, hosszú élettartamú, és áramgenerátoros meghajtót igényel. A fényerő-szabályozásnál a dimmer–LED kompatibilitás kritikus. **Továbbvitt eredmény.** A fényforrás-kiválasztás során ezeket a mennyiségeket és az életciklus-költséget használjuk a Világítás tervezése: beltér és kültér alfejezetben. A villanyszerelőnek mindig a lumen, a színhőmérséklet, az R_a és a teljes költség alapján kell választania, nem a watt alapján.

19.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fénytechnikai mennyiségek definíciói és a fotometriai összefüggések stabil, klasszikus ismeretek. A konkrét szabványi követelményeket (MSZ EN 12464-1, MSZ EN 60598) és az energiahatékonysági osztályhatárokat, valamint a fényforrások kivezetését szabályozó EU-rendeleteket a kiadás előtt ellenőrizni kell. A fényforrástípusok jellemző fényhasznosítása és élettartama gyártói

katalógusadatokon alapul; a pontos értékek típusfüggőek, ezért azokat mindig a gyártói adatlap szerint kell alkalmazni.

19.2. Világítás tervezése: beltér és kültér

19.2.1. Motiváció

Egy lakásfelújítás vagy irodabővítés során a leggyakoribb reklamáció a világítással kapcsolatos: az egyik sarok túl sötét, a másik túl erős, a kültéri lámpa télen beázik, a kerti áramkör este folyton lecsapja a kismegszakítót. A „majd teszünk be pár lámpát” hozzáállás ritkán vezet jó eredményhez. A **világítástervezés** nem művészkedés: egy egyszerű, kézzel számolható módszerrel meghatározható, hány lámpatest és mekkora fényáram szükséges egy adott helyiségbe, illetve milyen védettségű és áramkörű kültéri lámpát válasszunk. Ebben az alfejezetben a mérnöki gyakorlatban is használt **hasznosítási tényező módszert** tanuljuk meg, és a kültéri világítás villamos követelményeit.

19.2.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy 6 m × 8 m-es, 2,8 m belmagasságú tanácstermet. A tulajdonos hallotta, hogy „500 lux kell az irodába”, ezért vett hat darab 4000 lumenes LED-panelt. Vajon elég lesz-e, vagy túl erős? A kérdés megválaszolásához nemcsak a fényáramot kell ismerni, hanem azt is, hogy a lámpatestek fényéből mennyi jut el a munkasíkra, és mennyire szennyeződik a lámpa az évek során. A hasznosítási tényező módszer éppen erre ad képletet.

19.2.3. Definíciók és összefüggések

Definíció. Hasznosítási tényező (utilance factor, UF): annak a lámpatestből kilépő fényáramnak a hányada, amely a munkasíkra (általában 0,75 m magasan vízszintes felületre) jut. Az UF értéke a lámpatest fényeloszlásától, a helyiség méreteitől, a falak és a mennyezet reflexiós tényezőitől függ. Tipikus értéke 0,3 és 0,7 között van, pontos adat a lámpatest gyártójának fotometriai adatlapjáról vehető. **(ellenőrizendő: konkrét UF érték mindig a gyártói adatlapról)**

Definíció. Karbantartási tényező (maintenance factor, MF): azt fejezi ki, hogy a lámpatest fényárama a szennyeződés, a lámpa öregedése és a fényforrás fényáramcsökkenése miatt idővel hányad részére csökken. Tiszta környezetben és LED-nél MF = 0,9–0,95 is lehet, poros műhelyben vagy hagyományos fénycsőnél 0,6–0,8 a jellemző. **(ellenőrizendő: a tényleges MF értéket a szabvány vagy a gyártó adja meg)**

Összefüggés. Átlagos megvilágítás a hasznosítási tényező módszerrel:

$$E_{\text{átl}} = \frac{n \cdot \Phi_{\text{lámpa}} \cdot \text{UF} \cdot \text{MF}}{A},$$

ahol: - $E_{\text{átl}}$ a munkasík átlagos megvilágítása, mértékegysége lux (lx = lm/m²); - n a lámpatestek száma (darab); - $\Phi_{\text{lámpa}}$ egy lámpatestből kilépő teljes fényáram (lumen, lm); - UF a hasznosítási tényező (dimenzió nélkül); - MF a karbantartási tényező (dimenzió nélkül); - A a helyiség alapterülete (m²).

A szükséges lámpatestek számát ebből kifejezve:

$$n = \frac{E_{\text{szüks}} \cdot A}{\Phi_{\text{lámpa}} \cdot \text{UF} \cdot \text{MF}}.$$

Az eredményt mindig egész számra kell felfelé kerekíteni, és érdemes ellenőrizni, hogy a lámpatestek elhelyezése egyenletes megvilágítást ad-e.

Definíció. Helyiségindex (k): a hasznosítási tényező meghatározásához szükséges geometriai jellemző:

$$k = \frac{L \cdot B}{h_m \cdot (L + B)},$$

ahol L a helyiség hossza, B a szélessége, h_m pedig a lámpatest fénypontjának magassága a munkasík felett. A gyártói táblázatok k és a reflexiós tényezők alapján adják meg az UF értékét.

Definíció. Lámpatest védettségi fokozata (IP-kód, MSZ EN 60529): az első számjegy a szilárd testek, a második a víz elleni védettséget jelöli. Beltéri normál környezetben IP20 elegendő; kültéri, esőtől védett helyen IP44; vizes, poros vagy talajszintű kültéri szerelésnél IP65, IP67 vagy magasabb szükséges. **(ellenőrizendő: a pontos követelmény a szerelési környezet és az MSZ HD 60364 sorozat szerint)**

Definíció. Érintésvédelmi osztály: I. osztályú lámpatest védővezetővel (PE), II. osztályú kettős vagy megerősített szigeteléssel (jel: két egymásba rajzolt négyzet), III. osztályú törpefeszültséggel (pl. SELV) működik. Kültéri hálózati feszültségű lámpatestnél általában I. osztályú, PE bekötéssel, vagy II. osztályú kialakítást választunk.

19.2.4. Szabványi követelmények

Szabvány. A beltéri munkahelyi világításra vonatkozó ajánlott megvilágítási értékeket az **MSZ EN 12464-1** szabvány rögzíti (pl. iroda, tárgyaló, raktár, műhely). A kültéri munkahelyekre az **MSZ EN 12464-2** vonatkozik. A lámpatestek védettségi fokozatát az **MSZ EN 60529** (IP-kód), a villamos szerelést és a külső téri áramkörök védelmét az **MSZ HD 60364** sorozat (különösen a 7. rész: különleges helyiségek) szabályozza. Az alábbi táblázatban közölt értékek **tájékoztató jellegűek**, a konkrét tervezésnél mindig az aktuális szabványt és a helyi előírásokat kell ellenőrizni. **(ellenőrizendő: az MSZ EN 12464-1 és -2 pontos táblázatai és a jogszabályi környezet)**

Megjegyzés. A világítás tárgyú szabványokban az értékek gyakran változnak (pl. LED-ek elterjedése miatt az energiahatékonysági osztályok és a karbantartási tényezők). A szerelőnek a gyártói katalógusok és az aktuális szabványok szerint kell dolgoznia.

19.2.5. Kidolgozott példák

19.2.5.1. 1. példa: Irodai világítás méretezése

Egy 5 m × 6 m = 30 m²-es irodába az előírás szerint 500 lx átlagos megvilágítás szükséges a munkasíkon. A kiválasztott LED-panel fényárama $\Phi_{\text{lámpa}} = 3600$ lm. A gyártó adatlapja alapján a hasznosítási tényező UF = 0,60, a karbantartási tényezőt MF = 0,85 értékre vesszük fel. Hány lámpatest szükséges?

Számítás.

Adott: $E_{\text{szüks}} = 500$ lx; $A = 30$ m^2; $\Phi_{\text{lámpa}} = 3600$ lm; UF $= 0{,}60$; MF $= 0{,}85$.

Keresett: n.

Képlet: $n = \frac{E_{\text{szüks}} \cdot A}{\Phi_{\text{lámpa}} \cdot \text{UF} \cdot \text{MF}}$.

Behelyettesítés:

$$n = \frac{500 \text{ lx} \cdot 30 \text{ m}^2}{3600 \text{ lm} \cdot 0{,}60 \cdot 0{,}85} = \frac{15000 \text{ lx} \cdot \text{m}^2}{1836 \text{ lm}} \approx 8{,}17.$$

Eredmény: felfelé kerekítve **9 lámpatest** szükséges.

Ellenőrzés: ha 9 lámpatestet szerelünk be, a tényleges átlagos megvilágítás:

$$E_{\text{tény}} = \frac{9 \cdot 3600 \text{ lm} \cdot 0{,}60 \cdot 0{,}85}{30 \text{ m}^2} = \frac{16524 \text{ lm}}{30 \text{ m}^2} \approx 551 \text{ lx},$$

ami kissé meghaladja az előírt 500 lx-t, tehát megfelelő. A 8 lámpatest csak 490 lx-t adna, ami már nem éri el az előírást.

A bevezető tanácsterem (48 m²) hat 4000 lm-es panellel, UF $= 0{,}60$ és MF $= 0{,}85$ mellett csak $E = 6 \cdot 4000 \cdot 0{,}60 \cdot 0{,}85/48 \approx 255\,\text{lx}$-t kapna; az 500 lx-hez $n = 500 \cdot 48/(4000 \cdot 0{,}60 \cdot 0{,}85) \approx 11{,}8$, vagyis 12 panel kell.

19.2.5.2. 2. példa: Raktárvilágítás méretezése

Egy 12 m × 20 m = 240 m²-es raktárba 150 lx szükséges. Nagy fényáramú (csarnok-) LED-lámpatestek fényárama egyenként 12 000 lm, UF $= 0{,}45$, MF $= 0{,}7$ (poros környezet). Hány lámpatest kell?

Számítás.

Adott: $E_{\text{szüks}} = 150$ lx; $A = 240$ m^2; $\Phi_{\text{lámpa}} = 12000$ lm; UF $= 0{,}45$; MF $= 0{,}70$.

Keresett: n.

Képlet: $n = \frac{E \cdot A}{\Phi \cdot \text{UF} \cdot \text{MF}}$.

Behelyettesítés:

$$n = \frac{150 \text{ lx} \cdot 240 \text{ m}^2}{12000 \text{ lm} \cdot 0{,}45 \cdot 0{,}70} = \frac{36000 \text{ lx} \cdot \text{m}^2}{3780 \text{ lm}} \approx 9{,}52.$$

Eredmény: felfelé kerekítve **10 lámpatest** szükséges.

Ellenőrzés: a tényleges megvilágítás 10 lámpatesttel:

$$E = \frac{10 \cdot 12000 \text{ lm} \cdot 0{,}45 \cdot 0{,}70}{240 \text{ m}^2} = \frac{37800}{240} \approx 157{,}5 \text{ lx},$$

ami megfelel.

19.2.5.3. 3. példa (hibás gyakorlat): karbantartási tényező figyelmen kívül hagyása

Ugyanaz az irodai példa, de a szerelő úgy gondolja, hogy „most még úgyis minden tiszta”, és MF = 1,0 értékkel számol. Képletében:

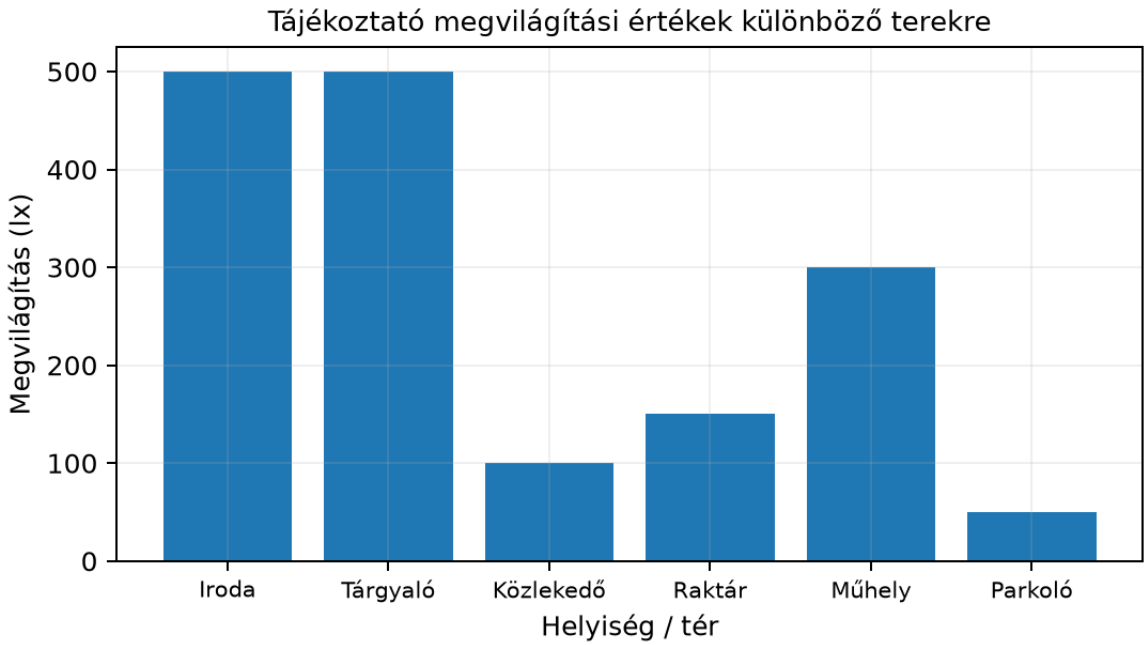
$$n = \frac{500 \cdot 30}{3600 \cdot 0{,}60 \cdot 1{,}00} = \frac{15000}{2160} \approx 6{,}94 \rightarrow 7 \text{ lámpatest.}$$

A 7 lámpatest újonnan, tiszta állapotban körülbelül 504 lx-t ad, ami éppen eléri az előírást. A szennyeződés miatt a fényáram azonban csökken: $MF = 0{,}85$ mellett az átlagos megvilágítás csak $7 \cdot 3600 \cdot 0{,}60 \cdot 0{,}85/30 \approx 428$ lx, vagyis 500 lx alatt van. **Hiba:** az MF elhanyagolása alulméretezéshez vezet. A helyes számítás az 1. példában látható.

Figyelem. A hasznosítási tényező módszer átlagos megvilágítást ad; az egyenletességhez a lámpatestek elrendezését is meg kell tervezni (a lámpatávolság kb. 1–1,5-szerese a lámpatestek munkasík feletti magasságának, faltól fél osztás; **ellenőrizendő: gyártói ajánlás**). A módszer nem alkalmas pontszerű megvilágítás (pl. munkahelyi lámpa) tervezésére.

19.2.6. Szabványos megvilágítási értékek

A következő értékek **tájékoztató jellegűek**, a mindennapi tervezésben gyakran használt irányértékek. A pontos követelményt mindig az aktuális szabvány és a helyi előírás határozza meg. **(ellenőrizendő: MSZ EN 12464-1 és -2 konkrét értékei)**

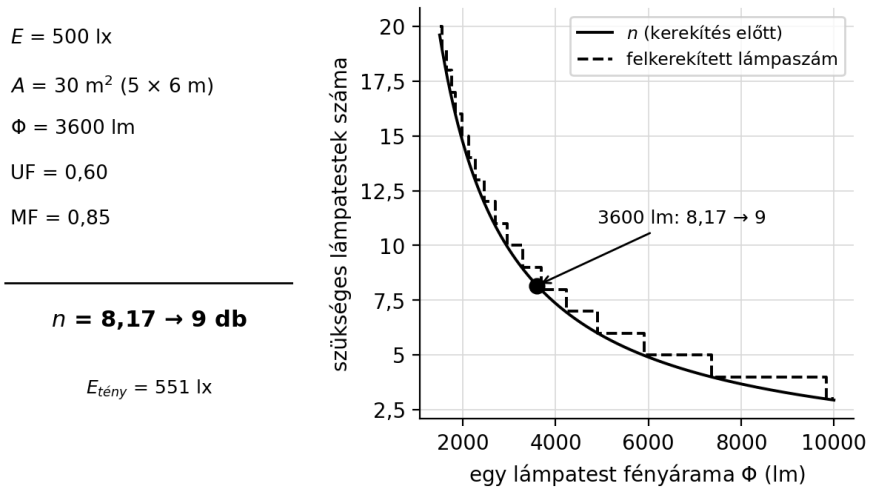


19.3. ábra. Tájékoztató megvilágítási értékek különböző terekre - Az adatok a szabvány szerinti tipikus értékek (tárgyaló: írás, olvasás; műhely: általános; parkoló: kültéri), ellenőrizendők. A diagram csak szemléltető, nem tervezési alap.

Szabály. A tervezés során a megvilágítási értéket a helyiség funkciójához kell igazítani. A szabvány minimumértékeket ad meg; a szerelő feladata, hogy a lámpatestek számát és elrendezését úgy határozza meg, hogy az átlagos megvilágítás legalább ezt elérje, és lehetőleg egyenletes legyen (a maximális és minimális megvilágítás aránya ne legyen túl nagy).

19.2.7. Interaktív kalkulátor

Az alfejezethez tartozó interaktív ábra (a HTML-kiadásban) egy egyszerű lámpaszám-kalkulátort valósít meg. A statikus PNG-változat a következő görbét mutatja: a szükséges lámpatestek száma a lámpatest fényáramának függvényében, rögzített $E = 500$ lx, $A = 30$ m^2, UF = 0,60, MF = 0,85 értékek mellett. Az interaktív változatban a tanuló megváltoztathatja a megvilágítási követelményt, a helyiségméretet, a fényáramot, az UF és MF értékeket, és azonnal látja a szükséges lámpaszámot.



19.4. ábra. Lámpaszám-kalkulátor

19.2.8. Kültéri világítás: áramkörök, védettség, energiaigény, vezérlés

A kültéri világítás (kert, parkoló, bejárat, homlokzat) villamos szempontból több különbséget mutat a beltérihez képest: a nedvesség, a por, az UV-sugárzás, a szélsőséges hőmérséklet és a mechanikai behatások (pl. labda, szerszám) miatt a lámpatesteknek és az áramköröknek fokozott védettséggel kell rendelkezniük.

19.2.8.1. Lámpatestek védettségi fokozata (IP-kód)

A kültéri lámpatest kiválasztásánál az IP-kód második számjegye (vízvédelem) a döntő. Az MSZ HD 60364 szerint a külső téri szerelésnél általában a következő irányértékek érvényesek: **(ellenőrizendő: a pontos besorolás a szerelési környezettől függ)**

- **IPX3**: permetező víz (eső) ellen védett, ha a lámpatest a gyártó szerinti helyzetben van (MSZ EN 60529).
- **IPX4**: minden irányból fröccsenő víz ellen védett; eresz alá, fedett teraszra is alkalmas.
- **IPX5 / IP65**: vízsugár ellen védett (pl. lemosás); az IP65 por ellen teljesen védett is. Esőnek kitett helyen legalább a gyártó által kültérre minősített kivitel kell **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-714 minimális IP-követelménye)**; ott indokolt az IP65, ahol vízsugár, lemosás vagy hó éri a lámpatestet.
- **IP67**: por ellen teljesen védett, rövid idejű vízbe merítésnek is ellenáll; talajba süllyesztett, vizes környezetű lámpákhoz szükséges.
- **IP68**: folyamatos víz alatti használatra (pl. medencevilágítás, szökőkút).

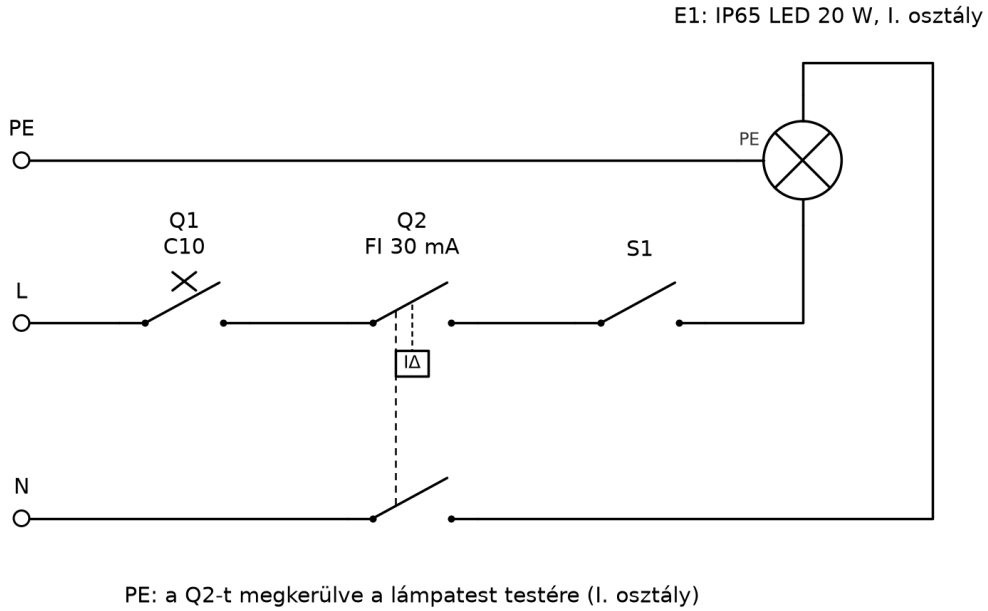
Szabály. A kültéri lámpatest IP védettségét a tényleges környezeti hatások alapján kell megválasztani. A legjobb, ha a lámpatest gyártója kifejezetten „kültéri” kivitelként jelöli, és a szerelési utasításban megadja a megengedett szerelési pozíciót. A csatlakozó dobozok, kábelek és kötések védettsége is legalább akkora legyen, mint a lámpatesté. **(ellenőrizendő: a vonatkozó IP-követelmények a szabványban)**

19.2.8.2. Kültéri áramkör kialakítása

A kültéri világítási áramköröket a beltériektől általában **külön áramkörön** kell szerelni, hogy a kültéri hiba ne tegye sötétté a belső tereket, és a védelmeket szelektíven lehessen méretezni. A tipikus kialakítás:

- **Túláramvédelem:** a kültéri áramkört kismegszakító védi (általában B vagy C karakterisztikájú MCB). A vezetékméretezéshez itt is az $I_b \leq I_n \leq I_z$ szabály érvényes, figyelembe véve a hosszabb vezetékszakaszok feszültségesését.
- **Áram-védőkapcsoló (FI / RCD):** kültéri, kézzel érinthető villamos szerelvényeknél a hibaáram-védelem általában 30 mA-es érzékenységű FI-relét követel. **(ellenőrizendő: az MSZ HD 60364-4-41 és a vonatkozó előírások szerint)** A FI-relé nélküli kültéri aljzat vagy lámpatest balesetveszélyes.
- **Vezetékek:** kültéren, földben a földkábel (pl. **NYY-J**; a HD 603 szerinti jelölése E-YY-J) használható, mechanikai sérülésnek kitett helyen védőcsőben vagy fedlappal; az **NYM-J** csak védőcsőben, UV-tól védetten, vagy beltéren használható. Páncélozott földkábel (pl. NYRY) ott kell, ahol mechanikai igénybevétel várható **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52, gyártói adatlap)**. A kábeljelölésekről lásd a Vezeték- és kábeltípusok, jelölésrendszer alfejezetet, a terhelhetőségről a Terhelhetőség, melegedés és javítótényezők alfejezetet. A kábelsaruk és kötések nedvesség elleni védelme kritikus.
- **Szerelvények:** kültéri kapcsolók, aljzatok, csatlakozódobozok IP44 vagy IP65 védettségűek legyenek. A kültéri aljzatokat általában FI-relével védett áramkörre kell kötni, és lehetőleg időjárástól védett helyre szerelni.

Gyakorlati példa (rajzban). Az alábbi egy egyszerű kültéri világítási áramkör áramút-vázlata (a kapcsolási rajzot a Világítási áramkörök: egypólusú, soros, váltó és kereszt alfejezetben ismertettük):



19.5. ábra. Kültéri világítási áramkör áramút-vázlata (L, N, PE) - Áramúttervszerű vázlat: az L a Q1 kismegszakítón, a kétpólusú Q2 áram-védőkapcsolón és az S1 kapcsolón át jut a lámpatestre; az N is átmegy a Q2-n, a PE nem, hanem közvetlenül a lámpatest testéhez fut. A típusok (C10, 30 mA, IP65) példák (ellenőrizendő a tervvel).

A rajz azt szemlélteti, hogy a fázis (L) sorban a Q1 kismegszakítón, a Q2 FI-relén és az S1 kapcsolón át jut a lámpatestre. A nulla (N) is átmegy a kétpólusú FI-relén (különben a FI nem a teljes áramot mérné), a kapcsoló viszont csak a fázist szakítja meg. A védővezető (PE) a FI-t megkerülve, közvetlenül a lámpatest testéig megy; az I. osztályú lámpatest PE csatlakozóját kötelező bekötni.

19.2.8.3. Energiaigény számítása

A kültéri világítás energiaigénye a lámpatestek összesített teljesítményéből és a napi üzemidőből adódik.

Összefüggés. Energiafogyasztás:

$$W = P_{\text{össz}} \cdot t,$$

ahol W az elfogyasztott villamos energia (kWh), $P_{\text{össz}}$ a lámpatestek összteljesítménye (kW), t pedig az üzemidő (óra). Ha például hat darab 20 W-os LED-lámpát (összesen 0,12 kW) napi 4 órában üzemeltetünk, akkor a napi energiafogyasztás:

$$W = 0{,}12\ \text{kW} \cdot 4\ \text{h} = 0{,}48\ \text{kWh}.$$

Egy hónap (30 nap) alatt ez mintegy 14,4 kWh, ami LED-eknél nagyon szerény költség. A villamos teljesítmény felvételét a lámpatest adattábláján vagy a gyártói adatlapon tüntetik fel; a tervezéskor az összes lámpatest egyidejű üzemével számoljunk.

19.2.8.4. Vezérlés

A kültéri világítás vezérlése történhet: - **hagyományos kapcsolóval** (IP44-es vagy jobb kivitel), jellemzően a belső térből; - **mozgásérzékelővel (PIR)**, amely a sötétben érzékelt mozgásra kapcsolja fel a lámpát. Az érzékelő beépített szürkületkapcsolóval is rendelkezhet, hogy csak sötétben működjön; - **időkapcsolóval (programozható kapcsolóóra, csillagászati óra)**, amely meghatározott időszakokban kapcsol; - **fényérzékelővel (szürkületkapcsolóval)**, amely a természetes fényerőhöz igazodva kapcsol.

A modern rendszerekben a kültéri világítás beépíthető az épületautomatikába (pl. KNX), de ez már túlmutat ezen az alfejezeten (lásd: KNX, DALI és más épületautomatikai rendszerek).

Gyakorlati megjegyzés. A vezérlő eszközöket is a kültéri környezetnek megfelelő védettséggel kell szerelni, vagy védett helyre (pl. fedett előtér, időjárásálló doboz) helyezni. A mozgásérzékelő látószögét úgy kell beállítani, hogy ne jelezzen folyamatosan a járdán elhaladó járókelőkre, hanem csak a saját területre.

19.2.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy családi ház kertvilágításának bővítésekor a kivitelező IP44-es falikarokat szerelt fel, és az áramkörre nem tett FI-relét. A lámpatesteket közvetlenül a házfalra, az eresz alá szerelte, ezért kezdetben nem volt gond. Fél év múlva azonban az egyik lámpatest csatlakozódoboza beázott, a zöld-sárga védővezető és a fázis között nedvesség okozta szivárgás lépett fel; a beázás oka a rosszul tömített kábelbevezetés és csatlakozódoboz volt. Mivel FI-relé nem volt, a néhány tíz–száz mA-es szivárgóáramot semmi nem kapcsolta le: a kötés tovább melegedett és korrodált, és ha a PE-kötés is meglazul, a fémház tartósan feszültség alá kerül, amit csak egy 30 mA-es FI kapcsolna le. A szerelő az érintésvédelmi felülvizsgálat során mérte ki a hibát, és utólag 30 mA-es FI-relét szerelt be, valamint a kábelbevezetéseket és a dobozt újratömítette, a lámpatesteket pedig kültérre minősített, IP65-ös kivitelre cserélte. **Tanulság:** kültéri áramkörhöz mindig FI-relé és a környezetnek megfelelő IP védettségű lámpatest szükséges. A hálózati feszültségű munkát csak jogosult személy végezheti; a hiba kijavítása előtt feszültségmentesítés szükséges az öt biztonsági szabály szerint.

19.2.10. Tipikus hibák

1. **A karbantartási tényező elhanyagolása.** A szerelő csak a kezdeti fényárammal számol, és idővel a megvilágítás az előírt szint alá süllyed. **Helyes gyakorlat:** mindig a reális MF értékkel számoljunk.
2. **Rossz IP védettségű lámpatest kültérre.** Beltéri (pl. IP20-as) lámpatest esőnek kitett helyre szerelése, vagy a kábelbevezetés tömítetlensége beázáshoz, korrózióhoz és érintésveszélyhez vezet. **Helyes gyakorlat:** a gyártó által kültérre minősített kivitel **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-714)**; a minimumnál jobb (IP65) védettség ott indokolt, ahol vízsugár, lemosás vagy hó éri; talajba süllyesztve IP67, víz alá IP68.

3. **A FI-relé elhagyása kültéri áramkörnél.** A kültéri szerelvények fokozott érintésveszélyt jelentenek; FI-relé nélkül a hibaáram nem old le. **Helyes gyakorlat:** 30 mA-es FI-relét minden kültéri áramkörbe be kell építeni, majd működését tesztelni kell.

4. **A feszültségesés figyelmen kívül hagyása hosszú kültéri vezetéknél.** A kert végére hosszú kábelt fektetnek, és a lámpa fényereje már a vezeték végen észrevehetően csökken. **Helyes gyakorlat:** a vezetékméretezésnél a feszültségesést is ellenőrizni kell (lásd a Feszültségesés és a vezeték méretezése alfejezetben).

5. **A lámpatest védővezetőjének elhagyása.** I. osztályú (fémházas) lámpatest sorkapcsában a PE bekötését elmulasztják, így hiba esetén a fémház veszélyes feszültségre kerülhet. **Helyes gyakorlat:** mindig bekötni a PE-t, és folytonosságát megmérni.

19.2.11. Önellenőrzés

1. kérdés (igaz/hamis). A hasznosítási tényező (UF) a lámpatest hatásfoka (a lámpatestből kilépő és a fényforrás fényáramának hányadosa).

2. kérdés (gyors számolás). Egy 20 m²-es helyiségbe 300 lx szükséges. A lámpatest fényárama 2500 lm, UF = 0,5, MF = 0,8. Hány lámpatest szükséges?

3. kérdés (gyakorlati). Milyen IP védettséget választanál egy kültéri, közvetlen esőnek kitett fali lámpához? Indokold!

4. kérdés (rajzolvasás). Az egyvonalas rajzon egy kapcsoló előtt van a FI-relé és a kismegszakító. Melyik készüléknek mi a szerepe, és mi a helyes sorrend?

5. kérdés (számítási hiba keresése). Egy szerelő egy 100 m²-es műhelyt 500 lx-re tervez, lámpatest 8000 lm, UF = 0,4, MF = 0,7. Képlete: n = (500 · 100) / (8000 · 0,4) = 15,6 → 16 db. Mi a hiba?

6. kérdés (rövid indoklás). Miért kell kültéri áramkörbe 30 mA-es FI-relét szerelni?

19.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Egy öltöző 4 m × 5 m, az előírt átlagos megvilágítás 100 lx. A lámpatest fényárama 2400 lm, UF = 0,45, MF = 0,8. Hány lámpatest kell?

2. feladat (A). Sorold fel az IP-kód első és második számjegyének jelentését, és adj példát IP44, IP65, IP67 védettségű lámpatestek használati helyére!

3. feladat (B). Egy tárgyaló 8 m × 10 m, 500 lx szükséges (MSZ EN 12464-1, tárgyaló: írás, olvasás; ellenőrizendő a hatályos kiadás táblázata). Két jelölt lámpatest van: A típus: 4200 lm, UF = 0,55; B típus: 6000 lm, UF = 0,48. Mindkettőhöz MF = 0,85. Melyik típusból hány darab kell, és melyik a gazdaságosabb, ha az A ára 12 000 Ft/db, a B ára 18 000 Ft/db?

4. feladat (B). Egy kültéri parkolóvilágításhoz 10 db 30 W-os LED-lámpatestet szerelnek, IP65-ös kivitelben. A lámpatestek egy egyfázisú 230 V-os áramkörre kerülnek, a kismegszakító C10 A-es. Az áramkör hossza a legtávolabbi lámpáig 80 m, réz vezeték, keresztmetszet 2,5 mm². Ellenőrizd, hogy a feszültségesés a megengedett 3%-on belül van-e! (Réz fajlagos ellenállása $\rho = 0{,}0178\ \frac{\Omega \cdot \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$; a feszültségesés képlete egyfázisú körben: $\Delta U = \frac{2\,l\,I\cos\varphi\,\rho}{A}$, itt $\cos\varphi \approx 1$.)

5. feladat (C). Egy 200 m²-es üzemcsarnokba 500 lx szükséges. A rendelkezésre álló lámpatestek: 12 000 lm, UF = 0,4, MF = 0,7. A lámpatestek ára 25 000 Ft/db, a szerelési költség 5 000 Ft/db. Az energiaár 50 Ft/kWh. A lámpatestek teljesítménye 100 W/db. Hány lámpatest kell, és mennyi lesz az éves energiafogyasztása, ha napi 10 órában, évi 250 munkanapon üzemel?

6. feladat (D). Egy kültéri lépcsővilágítást építesz: 5 db 12 V-os, 5 W-os LED-lámpatestet szeretnél, az MSZ HD 60364 szerint törpefeszültségű (SELV) táplálással. A lámpatestek IP67 védettségűek, III. érintésvédelmi osztályúak (SELV-ről működnek), és műanyag házasak. Rajzold fel az áramkör blokkvázlatát, és válaszd ki a szükséges tápegységet (AC/DC LED-tápegység, állandó feszültségű, 12 V, legalább 30 W). Ismertesd, miért nem kell FI-relé a törpefeszültségű oldalon, és miért kell a hálózati oldalon FI-relé és kismegszakító!

19.2.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A hasznosítási tényező a munkasíkra jutó és a lámpatestből kilépő fényáram hányadosa (UF < 1). A lámpatest hatásfoka (LOR) a lámpatestből kilépő és a fényforrás fényáramának hányadosa; a fényáram és a villamos teljesítmény hányadosa pedig a fényhasznosítás (lm/W). Egyik sem azonos az UF-fel.

2. n = (300 · 20) / (2500 · 0,5 · 0,8) = 6000 / 1000 = 6. Tehát 6 db lámpatest.

3. Esőnek kitett falikarhoz legalább a gyártó által kültérre minősített, IPX4 (fröccsenő víz ellen védett) kivitel kell; ha vízsugár, lemosás vagy hó is érheti, IP65 (a második számjegy 5-ös értéke vízsugár elleni védelmet, az első 6-os a por elleni teljes védelmet jelent) **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-714)**.

4. A kismegszakító a túláram (zárlat, túlterhelés) ellen véd, a FI-relé a hibaáram ellen. A lakáselosztóban jellemzően a FI egy csoport elején áll, mögötte a csoport kismegszakítói (Lakás- és épületelosztó felépítése); egy önálló kültéri körnél kombinált FI/kismegszakító (MSZ EN 61009-1) is alkalmazható. Mindkét esetben a FI-t a gyártó által megadott túláramvédelem védi zárlat ellen **(ellenőrizendő: gyártói koordinációs adat)**. Nincs egyetlen „helyes” sorrend: az alfejezet kültéri áramkörének rajzán a Q1 kismegszakító a Q2 FI előtt áll, és ez is szabályos, ha a kismegszakító a FI-t a gyártói koordináció szerint védi zárlat és túlterhelés ellen; a lakáselosztóban a FI csoportonként elöl áll. A lényeg: a kapcsoló a védelmek után van, és a FI-t túláramvédelem védi.

5. A karbantartási tényezőt (MF = 0,7) elfelejtette a nevezőbe írni. A helyes n = (500 · 100)/(8000 · 0,4 · 0,7) = 50000/2240 ≈ 22,3 → 23 db.

6. Kültéren nagyobb az érintésveszély (nedvesség, csupasz talaj, fémház). A 30 mA-es FI-relé olyan hibaáramnál lekapcsol, amely már veszélyes lehet az emberre, így megelőzi az áramütést.

Feladatok – megoldások

1. feladat (A). Adott: A = 20 m², E = 100 lx, Φ = 2400 lm, UF = 0,45, MF = 0,8. Képlet: n = (E · A)/(Φ · UF · MF). n = (100 · 20)/(2400 · 0,45 · 0,8) = 2000/864 ≈ 2,31 → felfelé kerekítve **3 db** lámpatest. Ellenőrzés: 3 db-bal E = (3 · 2400 · 0,45 · 0,8)/20 = 2592/20 = 129,6 lx, ami meghaladja a 100 lx-t.

2. feladat (A). IP-kód: első számjegy: 0–6 szilárd testek elleni védelem (pl. 6 = porálló); második: 0–8 víz elleni védelem (pl. 4 = fröccsenő víz, 5 = vízsugár, 7 = időszakos vízbe merítés). Példák: IP44 – fedett terasz, eresz alatti vagy esőnek kitett falikar (kültérre minősített kivitel); IP65 – lemosásnak, vízsugárnak, hónak kitett lámpatest (pl. homlokzat alsó része, parkoló); IP67 – talajba süllyesztett, vizes környezet.

3. feladat (B). A típus: n_A = (500 · 80)/(4200 · 0,55 · 0,85) = 40000/1963,5 ≈ 20,4 → 21 db. B típus: n_B = (500 · 80)/(6000 · 0,48 · 0,85) = 40000/2448 ≈ 16,3 → 17 db. Költség A: 21 · 12000 = 252 000 Ft; B: 17 · 18000 = 306 000 Ft. Az A típus olcsóbb, bár több darab kell belőle.

4. feladat (B). A teljesítmény: P = 10 · 30 W = 300 W. Áram: I = P/U = 300/230 ≈ 1,30 A. Vezeték hossza a legtávolabbi lámpáig: l = 80 m (oda-vissza: 2 · l = 160 m). Ellenállás: R = ρ · (2l)/A = 0,0178 · 160/2,5 = 0,0178 · 64 = 1,139 Ω. Feszültségesés: ΔU = I · R = 1,30 · 1,139 ≈ 1,48 V. Százalékban: 1,48/230 · 100 ≈ 0,64 %, ami jóval a 3 % alatt van. **(Megjegyzés: a képlet egyszerűsítve, a cosφ=1 miatt pontos.)**

5. feladat (C). Lámpaszám: n = (500 · 200)/(12000 · 0,4 · 0,7) = 100000/3360 ≈ 29,76 → 30 db. Összes bekerülési költség: 30 · (25000+5000) = 900 000 Ft. Éves energiafogyasztás: P_össz = 30 · 100 W = 3 kW. Napi 10 h, évi 250 nap → t = 2500 h. Energia: W = 3 kW · 2500 h = 7500 kWh. Költség: 7500 · 50 = 375 000 Ft/év. **(Az energiaár csak példa, a valós érték változhat.)**

6. feladat (D). Blokkvázlat: hálózati betáplálás → kismegszakító (C6 A) → FI-relé (30 mA) → LED-tápegység (AC/DC, 230 V/12 V, 30 W vagy nagyobb) → törpefeszültségű kábel (keresztmetszet a hosszból és a 12 V-on megengedett feszültségesésből számolandó, az áram 25 W/12 V ≈ 2,1 A) → 5 db párhuzamosan kapcsolt 12 V/5 W LED (összesen 25 W). A lámpatestek III. osztályúak, a SELV-kör nem földelhető, ezért nincs védővezető a kimeneti oldalon. A törpefeszültségű oldalon 12 V alacsony, érintése biztonságos (SELV áramkör), ezért ott nincs szükség FI-relére; a védelem a tápegységben biztosított (a hálózat és a kimenet galvanikus elválasztása). A hálózati oldalon viszont kötelező a kismegszakító (túláram) és a FI-relé (hibaáram), mert a tápegység csatlakozó oldala 230 V-os, és a törpefeszültségű oldal biztonsága a tápegység épségétől függ. Ha a tápegység meghibásodik, a hálózati oldal FI-reléje véd. A biztonsági korlát itt is érvényes: hálózati feszültségű munkát csak jogosult végezhet, feszültségmentesítés után.

19.2.14. Rövid összefoglaló

A világítástervezés gyakorlati eszköze a **hasznosítási tényező módszer**, amely az átlagos megvilágítást a lámpatestek számából, a fényáramból, a hasznosítási tényezőből (UF) és a karbantartási tényezőből (MF) számítja: $E = \frac{n \cdot \Phi \cdot \mathrm{UF} \cdot \mathrm{MF}}{A}$. A szükséges lámpaszámot ebből fejezzük ki, majd felfelé kerekítünk. A megvilágítási követelményeket az **MSZ EN 12464-1** és **-2** szabványok adják meg; az értékek ellenőrizendők. Kültéri világítás esetén a lámpatest **IP-védettségét** a környezet határozza meg (esőnek kitett helyen a gyártó által kültérre minősített kivitel kell, vízsugárnak vagy lemosásnak kitett helyen IP65; ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-714). A kültéri áramkörbe **kismegszakító és 30 mA-es FI-relé** kötelező, a vezetékeket a feszültségesésre is méretezni kell. A lámpatest védelmi osztálya (I., II., III.) meghatározza a védővezető bekötésének szükségességét. **Továbbvitt eredmény.** A hasznosítási tényező módszer és a megvilágítási követelmények ismerete közvetlenül hasznosul a Biztonsági világítás méretezésében, valamint az Érzékelők: fény, mozgás, jelenlét, hőmérséklet alfejezetben, ahol a vezérlés világítási paramétereit is figyelembe vesszük.

19.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ EN 12464-1, MSZ EN 12464-2, MSZ EN 60529, MSZ HD 60364 sorozat – a szabványszámok és a konkrét előírások a kiadás előtt ellenőrizendők.
- UF és MF értékek a gyártói katalógusokból, a példákban közölt számértékek tájékoztató jellegűek.

19.3. Biztonsági világítás

19.3.1. Miért kell értened a biztonsági világítást szerelőként?

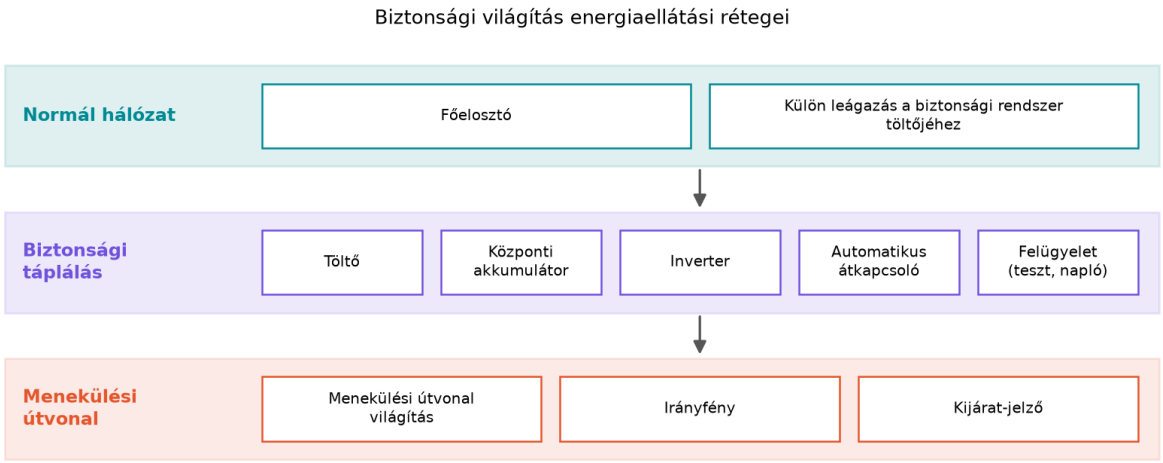
Egy áruházban vagy irodaházban áramszünetkor a normál világítás kialszik. A bent tartózkodó embereknek pánik nélkül, gyorsan kell eljutniuk a kijáratig, és látniuk kell, merre van a kijárat. Ha a biztonsági világítás nem működik, az életveszélyt, tűz esetén füstben való tájékozódási zavart és balesetet okoz. Villanyszerelőként neked kell tudnod:

- milyen fajtái vannak a biztonsági világításnak,
- hogyan kap táplálást, ha a hálózat kiesik,
- milyen követelményeket kell ellenőrizni a telepítéskor és a későbbi felülvizsgálatokkor,
- hogyan kell a rajzokon felismerni és a dokumentációban szerepeltetni.

Ez az alfejezet a Világítás tervezése: beltér és kültér alfejezetre épül, de itt nem a kényelmi világításról, hanem a veszélyhelyzeti világításról beszélünk.

19.3.2. Szemléltető kép: a biztonsági világítás rétegei

Az alábbi rétegábra a normál hálózattól a menekülési útvonalig mutatja az energiaellátás útját. A normál hálózat kiesésekor a biztonsági táplálás automatikusan átveszi a szerepet.



19.6. ábra. Biztonsági világítás energiaellátási rétegei - Szemléltető rétegábra központi akkumulátoros rendszerre. A biztonsági rendszer töltője saját leágazásról, nem a normál világítási körökről kap táplálást; hálózatkieséskor az automatikus átkapcsoló az akkumulátor–inverter ágra vált, és ez látja el a menekülési útvonal lámpatestjeit. A központi egység felügyeleti része (tesztkapcsoló, naplózás) a működőképességet ellenőrzi; nem része az energiaútnak, ezért nem külön réteg.

A rajzon látható, hogy a normál hálózati köröktől elkülönülő, biztonsági táplálású áramkör szolgálja ki a menekülési világítást. A központi egység felügyeleti része (tesztkapcsoló, naplózás) folyamatosan vagy időszakosan ellenőrzi, hogy a rendszer tényleg működőképes-e.

19.3.3. Alapfogalmak: biztonsági világítás, vészvilágítás, irányfény

A köznyelvben gyakran keverik a „vészvilágítás”, „biztonsági világítás” és „irányfény” kifejezéseket. A szabványos felosztás szerint érdemes megkülönböztetni.

Definíció. A **vészvilágítás** (emergency lighting) olyan világítási rendszer, amely a normál világítási táplálás kiesésekor működik. Az MSZ EN 1838 / MSZ EN 50172 szerinti felosztásban két fő része van **(ellenőrizendő: magyar szakkifejezések az OTSZ és az MSZ EN 1838 magyar szövege szerint)**:

- **Biztonsági (menekülési) világítás** (safety / escape lighting): a személyek biztonságos meneküléséhez szükséges látási feltételeket biztosítja. Része a menekülési útvonal világítása, a térvilágítás és a nagy kockázatú munkahelyek világítása. A köznyelvben ezt is gyakran „vészvilágításnak” hívják.
- **Tartalékvilágítás** (standby lighting): a normál munkavégzés folytatásához vagy biztonságos leállításához szükséges világítás; nem helyettesíti a biztonsági (menekülési) világítást.

A biztonsági (menekülési) világítás további fajtái:

- **Menekülési útvonal világítás** (escape route lighting): a menekülési utak mentén elegendő fényt biztosít a biztonságos haladáshoz és a menekülési irányok felismeréséhez. A legfeljebb 2 m széles útvonal középvonalán a padlón legalább 1 lx szükséges (a középső sávban legalább 0,5 lx) **(ellenőrizendő: MSZ EN 1838 aktuális kiadása)**.
- **Térvilágítás** (open area / anti-panic lighting): nagyobb helyiségekben, ahol a menekülési út nem egyértelműen kijelölt, a pánik elkerülésére alacsony, de elegendő megvilágítást ad. Itt a padló területén legalább 0,5 lx a jellemző követelmény **(ellenőrizendő: MSZ EN 1838)**.
- **Nagy kockázatú munkahelyek világítása** (high risk task area lighting): a veszélyes folyamat biztonságos leállításához; a normál megvilágítás 10 %-a, de legalább 15 lx a jellemző követelmény **(ellenőrizendő: MSZ EN 1838)**.
- **Kijárat-jelzés és irányfény** (exit sign, direction sign): a kijáratot és a menekülési irányt jelző, általában zöld alapon fehér piktogrammal ellátott lámpatest. Az irányfény akkor felel meg, ha a felirat egyértelmű, a piktogram szabványos, és a lámpatest saját akkumulátorral vagy központi biztonsági táplálással működik.

Szabvány. A létesítési kötelezettséget és a követelményeket hazánkban az OTSZ (54/2014. BM rendelet) és a biztonsági világításra vonatkozó Tűzvédelmi Műszaki Irányelv adja; ezekhez kapcsolódnak az MSZ EN 1838, MSZ EN 50172 és MSZ EN 50171 szabványok **(ellenőrizendő: hatályos jogszabály és TvMI)**. A telepítés villamos követelményeire az MSZ HD 60364 sorozat vonatkozik; a biztonsági célú táplálásra az 5-56 rész ad irányelveket **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadások és magyar bevezetésük)**.

19.3.4. Energiaellátás: központi és egyedi akkumulátoros rendszerek

A biztonsági világítás csak akkor ér valamit, ha a normál hálózat kiesése után is működik. A gyakorlatban két fő megoldás terjedt el.

Központi akkumulátoros rendszer. Egy központi szekrényben helyezik el az akkumulátorokat, a töltőt és az invertert. A biztonsági világítási köröket erről a központi egységről táplálják. Előnye, hogy az akkumulátorok karbantartása egy helyen történik, a lámpatestek egyszerűbbek, és egy központi felügyelet figyelhető. Hátránya, hogy a központi egység meghibásodása az egész vészvilágítást érintheti, és a biztonsági körök vezetékeinek tűzállósága kiemelt követelmény.

Egyedi akkumulátoros lámpatestek. Minden lámpatestbe beépített akkumulátor, töltő és elektronika kerül. Normál üzemben a hálózat tölti az akkumulátort; hálózatkieséskor a lámpatest saját akkumulátoráról világít. Előnye a decentralizált működés: egy lámpatest hibája nem viszi el a többit. Hátránya, hogy minden lámpatestet külön kell ellenőrizni, és az akkumulátorok egyenként öregszenek.

Üzemidő és átkapcsolási idő. A vészvilágításnak a hálózat kiesése után rövid időn belül el kell érnie a szükséges fényszintet. A gyakorlatban elterjedt követelmény az 5 másodpercen belüli átkapcsolás, de a szabvány pontos értéket ad meg **(ellenőrizendő: MSZ EN 1838)**. Az üzemidő általában legalább 1 óra, de gyakran 3 órát írnak elő; ez attól függ, hogy az épületet milyen gyorsan lehet kiüríteni, illetve hogy az üzemeltető milyen kockázatértékelést fogadott el. Az értékek mindig a tervben szerepelnek, és a lámpatest adattábláján is jelölni kell őket.

Példa. Egy iroda menekülési útvonalán 12 darab, egyenként 8 W felvételű vészvilágítási lámpatest van. A tervező 3 órás üzemidőt ír elő. A központi akkumulátorból kiveendő minimális energia:

$$W = P \cdot t = (12 \cdot 8\,\mathrm{W}) \cdot 3\,\mathrm{h} = 96\,\mathrm{W} \cdot 3\,\mathrm{h} = 288\,\mathrm{Wh}.$$

Ez a számítás a lámpatestek névleges teljesítményfelvételét veszi alapul, de a valós méretezésnél az akkumulátor öregedését, a töltéshatásfokot és a hőmérsékleti tényezőket is figyelembe kell venni, ezért a gyártói adatlap az irányadó **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.

Példa. Egy egyedi akkumulátoros irányfény lámpatest normál üzemben 1,5 W-ot vesz fel, vészüzemben 2 W-ot. Az előírt üzemidő 3 óra. Az akkumulátor minimális kapacitása energiában:

$$W_{\text{vész}} = 2\,\mathrm{W} \cdot 3\,\mathrm{h} = 6\,\mathrm{Wh}.$$

Ha az akkumulátor névleges feszültsége 3,6 V, akkor a minimális töltésmennyiség amperórában:

$$Q = \frac{W}{U} = \frac{6\,\mathrm{Wh}}{3{,}6\,\mathrm{V}} \approx 1{,}67\,\mathrm{Ah}.$$

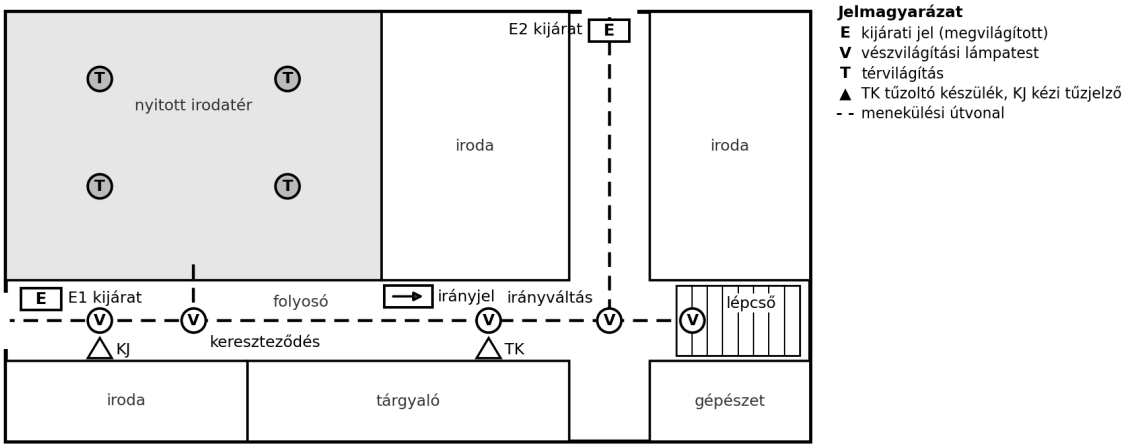
A gyakorlatban ennél nagyobb, jellemzően 2–4 Ah kapacitású akkumulátort építenek be, hogy az öregedés és a hőmérséklet hatását kompenzálják.

19.3.5. Telepítési szabályok és kivitelezési szempontok

A biztonsági világítás telepítésekor a legfontosabb szempont, hogy a rendszer akkor is működjön, amikor a normál világítási áramkör meghibásodik vagy tűz miatt lekapcsol. Ezért:

- A vészvilágítási áramköröket **elkülönítetten** kell vezetni, vagy a vezetékeknek tűzálló kivitelűeknek kell lenniük (a szabvány a kábelezésre és a szerelési módra követelményeket ad, **ellenőrizendő**).
- A lámpatesteket a **menekülési út minden irányváltásánál**, a kijáratoknál, a lépcsőknél, a folyosók kereszteződésénél és a tűzvédelmi berendezések (tűzoltó készülék, kézi tűzjelző) közelében kell elhelyezni.
- Az **irányfény** magasságát és méretét úgy kell megválasztani, hogy a felismerési távolság elegendő legyen. A piktogramot a szabványos jelkép szerint kell kialakítani.

- A **táplálás** nem lehet azonos a normál világítási körrel. A központi akkumulátoros rendszernél a biztonsági táplálást önálló elosztói mezőből kell kiépíteni. Az egyedi akkumulátoros lámpatesteknél a lámpatest állandó fázist kap, hogy az akkumulátor folyamatosan töltődjön; a normál világítási kapcsoló nem szakíthatja meg a vészvilágítási lámpatest töltését.
- A **működést tesztelő kapcsoló** segítségével szimulálni kell a hálózatkiesést, hogy az egyedi lámpatestek és a központi rendszer valós körülmények között ellenőrizhetők legyenek.



19.7. ábra. Vészvilágítási lámpatestek elhelyezése egy irodai alaprajzon (szemléltető, nem léptékes)

Az alaprajzon a menekülési útvonal (szaggatott vonal) a nyitott irodatérből a folyosón át két kijárathoz (E1, E2) és a lépcsőhöz vezet. Vészvilágítási lámpatest (V) áll a folyosó és az irodatér ajtajának kereszteződésénél, a folyosó irányváltásánál, a lépcsőnél, a tűzoltó készüléknél (TK) és a kézi tűzjelzőnél (KJ); a kijáratok fölött megvilágított kijárati jel (E), a hosszú folyosón irányjel van. A nagy, kijelölt út nélküli irodatér térvilágítást (T) kap. A HTML-kiadásban az elhelyezés lépésenként követhető (útvonal → kijáratok → irányváltások → lépcső és tűzvédelmi eszközök → térvilágítás).

Biztonsági korlát. A biztonsági világítás bekötése hálózati feszültségű (230 V) munka, ezért azt csak jogosult, arra képesített személy végezheti. A tanuló tanműhelyi környezetben, törpefeszültségű modellen gyakorolhat, vagy jogosult oktató felügyelete mellett dolgozhat.

19.3.6. Tervdokumentáció és rajzjelek

A biztonsági világítást a villamos tervdokumentációban egyértelműen el kell különíteni a normál világítástól. A rajzon jellemzően külön jelkulcs mutatja a vészvilágítási lámpatesteket, az irányfényeket és a biztonsági táplálású köröket. Az egyvonalas rajzon a biztonsági táplálású elosztó külön mezőként jelenik meg, és feltüntetik az üzemidőt.

A tervnek tartalmaznia kell:

- a menekülési útvonalak és a kijáratok helyét,
- a vészvilágítási lámpatestek típusát, teljesítményét, üzemidejét,
- a táplálás módját (központi/egyedi akkumulátor) és az átkapcsolás logikáját,
- a teszteléshez szükséges kapcsolók és felügyeleti jelzések helyét,
- a kábelezésre és a vezetékek tűzállóságára vonatkozó követelményeket.

Villanyszerelőként a rajzolvasásnál figyelj arra, hogy a vészvilágítási kör ne legyen összekeverhető a normál világítással; a bekötésnél a lámpatest sorkapcsain jelölik, melyik a folyamatos táplálás, a kapcsolt fázis és a védővezető.

19.3.7. Ellenőrzés, karbantartás és naplózás

A biztonsági világítás csak akkor megbízható, ha rendszeresen ellenőrzik és karbantartják. A tipikus ellenőrzési ciklusok:

- **Napi vagy heti szemrevételezés:** a központi egység jelzőfénye, az egyedi lámpatestek töltésjelző LED-je, a lámpatestek sérülése.
- **Havi funkcióteszt:** szimulált hálózatkiesés rövid időre (jellemzően néhány percre), annak ellenőrzése, hogy minden lámpatest átkapcsol-e vészüzemre.
- **Éves teljes üzemidő teszt:** a lámpatesteket a teljes előírt üzemidőre (pl. 3 óra) vészüzemben kell működtetni, és ellenőrizni kell a megvilágítást, az akkumulátor feszültségét és a jelzéseket.

Szabvány. Az ellenőrzési és karbantartási követelményeket az MSZ EN 50172 szabvány írja le, amely a vészvilágítási rendszerek üzemeltetését tárgyalja. A pontos vizsgálati időközök és a mért értékek határértékei a szabvány aktuális kiadásától függnek **(ellenőrizendő: MSZ EN 50172)**.

A tesztek eredményét **naplóban** kell rögzíteni. A napló bejegyzései tartalmazzák:

- a teszt dátumát és időpontját,
- a teszt típusát (szemrevételezés, havi, éves),
- az érintett lámpatestek vagy központi egység azonosítóját,
- a mért üzemidőt és a tapasztalt hibákat,
- a javítási intézkedéseket és azok határidejét,
- a vizsgálatot végző személy aláírását.

A naplózás nem papírmunka-kérdés, hanem a biztonsági rendszer működőképességének bizonyítéka. Egy tűz utáni hatósági vizsgálatnál a napló hiánya súlyos megállapítás lehet.

19.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy bevásárlóközpont bővítésekor a kivitelező az egyedi akkumulátoros irányfény lámpatesteket a normál világítási kapcsoló után kötötte be. A beszállító szerint a lámpatestek rendben működtek, de csak akkor kaptak feszültséget, amikor a normál világítást felkapcsolták. Mivel a kapcsoló lekapcsolásakor a lámpatestek vészüzembe kapcsoltak és lemerítették az akkumulátorukat, éjszakai áramszünetkor már üres akkumulátorral nem világítottak. A hibát a havi funkcióteszt során vették észre: a lámpatestek a tesztkapcsolóval szimulált hálózatkieséskor azonnal kialudtak. A javítás során a tápellátást át kellett kötni állandó fázisra, és minden lámpatestet újra kellett tesztelni teljes üzemidővel. Árulkodó tünet: a világítás lekapcsolása után a vészvilágítási lámpatestek kigyulladtak, majd néhány óra múlva kialudtak. Tanulság: a bekötésnél ellenőrizni kell, hogy a vészvilágítási lámpatest folyamatos táplálást kapjon, és a funkcióteszttel ezt igazolni kell.

19.3.9. Tipikus hibák

Tilos a vészvilágítási lámpatest tápellátását a normál világítás kapcsolójával megszakítani. A lámpatest a kapcsoló lekapcsolását hálózatkiesésnek érzékeli: vészüzembe kapcsol, és lemeríti az akkumulátorát; valódi hálózatkieséskor így nincs tartalék, és a vészüzemi próbák is félrevezetők.

Gyakori hiba: a központi akkumulátoros rendszernél a biztonsági köröket ugyanabba a kábeltálcába fektetik, mint a normál köröket, tűzálló elválasztás nélkül. Tűz esetén a normál kábel égése a biztonsági kört is tönkreteheti. A helyes megoldás a tűzálló kábelezés és a fizikai elkülönítés.

Másik gyakori hiba: az irányfényt túl magasra (pl. magas csarnok mennyezetére) vagy takart helyre szerelik, ezért a felismerési távolságon belül nem látható, illetve a jel mérete nem felel meg a felismerési távolságnak. A kijárati jelet a kijárat fölé, jól látható magasságba (jellemzően 2,0–2,5 m; **ellenőrizendő: MSZ EN 1838, gyártói adat**) kell szerelni; füstveszélyes helyen kiegészítő, alacsony szintű útvonaljelzés is szóba jöhet.

Hiba: a tesztelés alkalmával csak a lámpatest világítását nézik, de nem mérik a tényleges megvilágítást. Egy elöregedett akkumulátorral a lámpatest világít, de a fényszint nem éri el a szabványos minimális értéket. A helyes gyakorlat a luxmérővel végzett ellenőrzés és az éves teljes üzemidő teszt.

19.3.10. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a biztonsági (menekülési) világítás és a tartalékvilágítás között?
2. Miért kell az egyedi akkumulátoros vészvilágítási lámpatestet állandó fázisról táplálni?
3. Egy központi akkumulátoros rendszer 20 lámpatestet táplál, mindegyik 6 W-ot vesz fel vészüzemben. Az előírt üzemidő 3 óra. Számítsd ki a szükséges minimális energiát Wh-ban.
4. Milyen gyakran kell teljes üzemidejű tesztet végezni a biztonsági világításon?
5. Mi a szerepe a tesztkapcsolónak a vészvilágítási rendszerben?
6. Igaz vagy hamis: az irányfény lámpatestek csak a kijárat fölé szerelhetők, máshová nem. Indokold röviden.

19.3.11. Feladatok

1. feladat (A)
Sorold fel a biztonsági (menekülési) világítás fő fajtáit (menekülési útvonal, térvilágítás, kijáratjelzés), és írd le egy-egy mondatban, mire valók.

2. feladat (A)
Egy irányfény lámpatest akkumulátora 6 V névleges feszültségű, és a vészüzemi teljesítményfelvétel 3 W. Mennyi az akkumulátor árama vészüzemben?

3. feladat (B)
Egy menekülési útvonalon 8 db, egyenként 5 W-os vészvilágítási lámpatest van, és a rendszer központi akkumulátorról működik. Az előírt üzemidő 3 óra.
a) Mekkora a minimális szükséges energia Wh-ban?
b) Ha a központi akkumulátor névleges feszültsége 24 V, mekkora a minimális töltésmennyiség Ah-ban?
c) Miért kell a gyakorlatban ennél nagyobb kapacitást választani?

4. feladat (B)
Egy egyedi akkumulátoros lámpatest normál üzemben a hálózatról 1,2 W-ot vesz fel, vészüzemben 2,4 W-ot. A tervezett üzemidő 3 óra. Mekkora legyen az akkumulátor minimális kapacitása

Wh-ban, és ha a feszültsége 3,6 V, akkor Ah-ban? Az öregedési tényezőt 1,25-nek véve mekkora legyen a tényleges beépített kapacitás?

5. feladat (C)
Egy felülvizsgálat során a villanyszerelő azt tapasztalja, hogy a központi akkumulátoros rendszer biztonsági körében a kábelek a normál világítási körökkel azonos kábeltálcán futnak, minden tűzálló elválasztás nélkül. Magyarázd el, miért jelent ez kockázatot, és mit kellene tenni a hiba kijavításához.

6. feladat (D)
Egy irodaházban éves ellenőrzéskor a tesztkapcsolóval szimulált hálózatkieséskor az egyik irányfény lámpatest nem világít. Sorold fel a hibakeresés lépéseit a feszültségmentesítéstől a javításig. Milyen méréseket végeznél, és milyen dokumentumot kell kiállítani?

19.3.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. A biztonsági (menekülési) világítás a menekülést szolgálja a normál táplálás kiesésekor; a tartalékvilágítás a munkafolyamat biztonságos folytatásához vagy leállításához kell, de nem helyettesíti a biztonsági (menekülési) világítást.
2. Azért, mert az akkumulátor csak folyamatos hálózati táplálás mellett marad feltöltve. Ha a normál világítás kapcsolója szakítja meg, a lámpatest a lekapcsolást hálózatkiesésnek érzékeli, vészüzembe kapcsol és lemeríti az akkumulátort; valódi hálózatkieséskor így nincs tartalék.
3. $$W = P \cdot t = (20 \cdot 6\,\mathrm{W}) \cdot 3\,\mathrm{h} = 120\,\mathrm{W} \cdot 3\,\mathrm{h} = 360\,\mathrm{Wh}.$$
4. Jellemzően évente, de az üzemeltetési előírás és a szabvány alapján kell meghatározni **(ellenőrizendő: MSZ EN 50172)**.
5. A tesztkapcsolóval a normál táplálást lehet szimuláltan megszakítani, hogy a lámpatestek vészüzemre kapcsolását a hálózat tényleges kikapcsolása nélkül ellenőrizzük.
6. Hamis. Az irányfényeket a menekülési út mentén, irányváltásoknál, kereszteződéseknél és a kijáratoknál kell elhelyezni, nem csak a kijárat fölött.

Feladatok megoldásai

1. feladat (A)
A biztonsági (menekülési) világítás fő fajtái:
- Menekülési útvonal világítás: a kijelölt menekülési út megvilágítása.
- Térvilágítás (anti-panic): nagyobb terekben a pánik megelőzésére szolgáló megvilágítás.
- Kijárat-jelzés és irányfény: a kijáratot és a menekülési irányt mutató lámpatestek.

2. feladat (A)
Adott: $U = 6\,\mathrm{V}$, $P = 3\,\mathrm{W}$. Keresett: I.
Képlet:
$$I = \frac{P}{U} = \frac{3\,\mathrm{W}}{6\,\mathrm{V}} = 0{,}5\,\mathrm{A}.$$

3. feladat (B)
Adott: $n = 8$, $P_{\text{lámpa}} = 5\,\mathrm{W}$, $t = 3\,\mathrm{h}$, $U_{\text{akk}} = 24\,\mathrm{V}$.

a) Minimális energia:

$$P_{\text{össz}} = n \cdot P_{\text{lámpa}} = 8 \cdot 5\,\text{W} = 40\,\text{W},$$
$$W = P_{\text{össz}} \cdot t = 40\,\text{W} \cdot 3\,\text{h} = 120\,\text{Wh}.$$

b) Minimális töltésmennyiség:

$$Q = \frac{W}{U} = \frac{120\,\text{Wh}}{24\,\text{V}} = 5\,\text{Ah}.$$

c) A gyakorlatban az akkumulátor öregedése, a hőmérsékleti hatások és a töltéshatásfok miatt nagyobb kapacitást kell beépíteni; a gyártói adatlapok szerint méreteznek.

4. feladat (B)
Vészüzemi teljesítmény: $P_{\text{vész}} = 2{,}4\,\text{W}$.
Minimális energia:

$$W_{\text{vész}} = P_{\text{vész}} \cdot t = 2{,}4\,\text{W} \cdot 3\,\text{h} = 7{,}2\,\text{Wh}.$$

Minimális töltésmennyiség:

$$Q = \frac{7{,}2\,\text{Wh}}{3{,}6\,\text{V}} = 2\,\text{Ah}.$$

Öregedési tényezővel:

$$Q_{\text{beépített}} = Q \cdot 1{,}25 = 2\,\text{Ah} \cdot 1{,}25 = 2{,}5\,\text{Ah}.$$

Tehát legalább 2,5 Ah kapacitású akkumulátort kell választani.

5. feladat (C)
A biztonsági kör kábelei és a normál körök közös kábeltálcán való vezetése tűz esetén veszélyes, mert a normál kábelek égése a biztonsági világítás kábeleit is tönkreteheti, így a vészvilágítás nem működik. A javításhoz a biztonsági köröket tűzálló kábelekkel, a normál köröktől fizikailag elkülönítve kell szerelni, a szabvány és a terv szerint.

6. feladat (D)
Hibakeresési lépések:
1. Feszültség alatt (csak jogosult személy, megfelelő műszerrel): a tápfeszültség megléte a lámpatest állandó fázisú kapcsán.
2. Feszültségmentesítés az öt biztonsági szabály szerint (lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése kétpólusú vizsgálóval, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése), majd szemrevételezés (lámpatest állapota, töltésjelző LED, bekötés), akkumulátor és szükség szerint lámpatest cseréje a gyártói előírás szerint.
3. Visszakapcsolás, majd a töltési idő kivárása a gyártó előírása szerint (a lámpatest előbb töltődjön hálózatról).
4. Tesztelés: tesztkapcsolóval szimulált hálózatkiesés és a vészüzem ellenőrzése, majd teljes üzemidőteszt.
5. Naplózás: a hiba, a javítás és a teszt eredményének rögzítése.
A dokumentum: a biztonsági világítási napló, valamint szükség szerint jegyzőkönyv.

19.3.13. Rövid összefoglaló

A vészvilágítás a normál világítás kiesésekor működik; két fő része a biztonsági (menekülési) világítás és a tartalékvilágítás. A biztonsági (menekülési) világításon belül megkülönböztetjük a menekülési útvonal világítását, a térvilágítást, a nagy kockázatú munkahelyek világítását és az irányfényt/kijárat-jelzést. Az energiaellátás lehet központi akkumulátoros vagy egyedi akkumulátoros lámpatestes; a lámpatesteknek állandó fázist kell kapniuk, hogy az akkumulátoruk töltődjön. A fényszint és az üzemidő követelményei szabványban rögzítettek, jellemzően menekülési útvonalon 1 lx, térvilágításnál 0,5 lx a padlón és 1–3 óra üzemidő, de mindig az aktuális szabványt kell ellenőrizni **(MSZ EN 1838, MSZ EN 50172)**. A telepítéskor biztosítani kell a biztonsági körök elkülönítését és tűzállóságát. Az ellenőrzés és karbantartás során havi funkciótesztet és éves teljes üzemidőtesztet kell végezni, és minden eredményt naplózni kell. A legfontosabb összefüggés a szükséges energia méretezésére: $W = P \cdot t$, az akkumulátor kapacitása: $Q = W/U$. **Tilos** a vészvilágítási lámpatestet a normál világítás kapcsolójáról táplálni. A biztonsági világítás tápellátásának méretezése és a tesztelési napló vezetése a kivitelező és az üzemeltető közös felelőssége.

20 Épületautomatika és vezérlők

20.1. Érzékelők: fény, mozgás, jelenlét, hőmérséklet

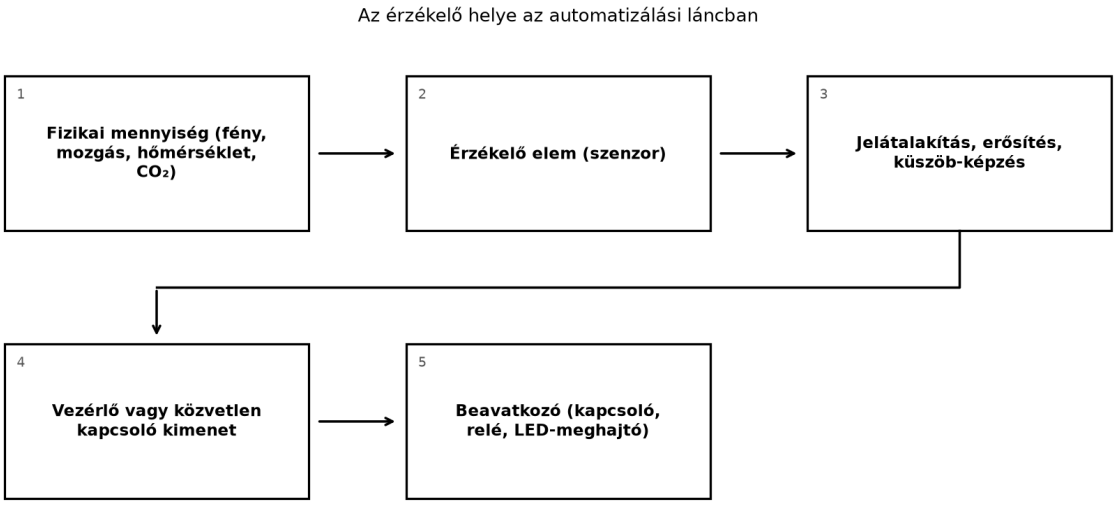
20.1.1. Miért van szükséged érzékelőkre?

Egy családi ház udvari világítását úgy szeretnéd beállítani, hogy alkonyatkor magától kapcsoljon be, de csak akkor, ha valaki a kocsibeállón mozog. Napközben egyáltalán ne égjen a lámpa, mert a tulajdonos szerint pazarlás lenne. Ha a mozgás megszűnt, a lámpa még maradjon bekapcsolva két percig, hogy a lakó beérjen az ajtóig.

Ehhez két érzékelőt kell összehangolnod: egy **fényérzékelőt**, amely a sötétedést érzékeli, és egy **mozgásérzékelőt**, amely a területen belüli embert vagy járművet. Ugyanez a gondolatmenet vezet a társasházi lépcsőházak, a kávézók mosdói, az irodai tárgyalók vagy a hűtőházak automatizálásáig is. Az érzékelő az épület „szeme és füle”, a beavatkozók – például mágneskapcsolók, relék, LED-meghajtók – pedig a „keze”. Ebben az alfejezetben az érzékelők oldalát tanulod meg: hogyan működnek, hogyan választasz közülük, hová telepítsd, és hogyan állítsd be őket, hogy ne legyen téves bekapcsolás vagy bosszantó kimaradás.

20.1.2. Szemléletes kép: az érzékelő mint „bemeneti láncszem”

Egy épületautomatikai rendszerben az érzékelő nem önmagában dolgozik: jelet ad egy vezérlőnek vagy közvetlenül egy beavatkozónak. Például egy szabadon álló mozgásérzékelős reflektorban a szenzor, a vezérlőelektronika és a kapcsolórelé egyetlen házban van. Egy KNX-rendszerben viszont az érzékelő a buszra küld táviratot, és a döntést egy másik eszköz hozza meg.



20.1. ábra. Az érzékelő helye az automatizálási láncban - A szabadon álló érzékelős kapcsolóban ez a lánc egy házban van; buszrendszerben az érzékelő és a beavatkozó külön eszköz.

A gyakorlatban ezért az érzékelő kiválasztásakor mindig a teljes láncot kell nézned: milyen terhet kapcsol, milyen feszültséggel működik, milyen a kimenete, és hogyan viselkedik áramkimaradás után.

20.1.3. Fényérzékelők

20.1.3.1. Fotoellenállás (LDR)

A **fotoellenállás** (LDR, Light Dependent Resistor) olyan félvezető rétegből készült alkatrész, amelynek ellenállása erős megvilágításban lecsökken, sötétben pedig megnő. Régebbi kivitelben kadmium-szulfid (CdS), újabb berendezésekben környezetbarát anyagok is lehetnek **(ellenőrizendő: aktuális RoHS-korlátozások)**. Az LDR nem ad ki feszültséget, hanem az ellenállásváltozását használjuk fel egy feszültségosztóban vagy komparátor bemenetén.

Szabály. Egy tipikus szürkületkapcsoló jelkondicionálása: az érzékelőt egy ellenállással feszültségosztóba kötik, és az osztópont feszültségét hasonlítják egy beállított küszöbfeszültséghez. Ha nappalból estébe megyünk, az LDR ellenállása nő, az osztópont feszültsége pedig áthalad a küszöbön, és a készülék kapcsol.

A fotoellenállás előnye az olcsósága és az egyszerű elektronikája, hátránya a lassabb reakció, a nagy szórás és az, hogy a kapcsolási küszöb hőmérsékletfügghet. Pontos fényméréshez vagy gyors fényjel-átvitelhez ezért más érzékelőt válassz.

20.1.3.2. Fotodióda és fénytranzisztor

A **fotodióda** fény hatására záróirányú áramot ad; ez az áram közel arányos a megvilágítással, és gyorsan változik. A **fénytranzisztor** a fotodióda áramát tranzisztorral erősíti, ezért nagyobb jelszintet ad, de valamivel lassabb. A gyakorlati szerelő számára ezek nem alkatrészszinten, hanem kész érzékelők formájában jelennek meg: fénysorompó, fénymérő, világításszabályozó érzékelő, jeladó.

Továbbvitt eredmény. Az érzékelő mint jeladó és a beavatkozó kapcsolatát a Beavatkozók: mágneskapcsolók, szelepek, szervomotorok alfejezetben használjuk fel: ott azt nézzük meg, milyen jelszintet kell az érzékelő kimenetének szolgáltatnia ahhoz, hogy a beavatkozót megbízhatóan vezérelje.

20.1.3.3. Szürkületkapcsoló

A **szürkületkapcsoló** (twilight switch) fotóérzékelőt, komparátort és kimeneti kapcsolót tartalmazó készülék. Beállítható küszöbértéke luxban van megadva, például 2–100 lx. A kikapcsolás és a bekapcsolás küszöbe között hiszterézis van, hogy felhős égbolt vagy elhaladó fényszóró ne okozzon villódzást.

Példa. Egy szürkületkapcsoló beállítási tartománya 3–80 lx, késleltetése bekapcsolásnál 10 s, kikapcsolásnál 30 s. A beállított érték 20 lx. Ez azt jelenti, hogy amikor a fényerő 20 lx alá esik, a készülék vár 10 másodpercet, majd bekapcsol; ha a fényerő 20 lx + hiszterézis fölé emelkedik, 30 másodperc múlva kapcsol ki. A késleltetés azt akadályozza meg, hogy egy rövid árnyék vagy egy éjszakai autó fényszórója zavarja a működést.

A szürkületkapcsoló érzékelőjét lehetőleg északi égbolt felé néző, árnyékos helyre szereld, ne közvetlen napfényre vagy a vezérelt lámpa fényébe. Ha a lámpa az érzékelőt is megvilágítja,

a rendszer öngerjesztő villódzásba kezdhet: a lámpa bekapcsol, a fényhatás miatt a kapcsoló kikapcsol, a sötét miatt újra bekapcsol, és ez így ismétlődik.

20.1.4. Mozgás- és jelenlétérzékelők

20.1.4.1. PIR mozgásérzékelő

A **PIR mozgásérzékelő** (passive infrared) a mozgó, meleg testek hősugárzását érzékeli. Az emberi test felszíne körülbelül 9–10 µm hullámhosszú infravörös sugárzást bocsát ki; a PIR érzékelő erre a tartományra érzékeny. A PIR látómezejét optikai lencse, általában Fresnel-lencse osztja zónákra. Ha egy meleg tárgy az egyik zónából a másikba lép, az érzékelő jelet ad.

Definíció. A PIR érzékelő olyan passzív infravörös szenzor, amely a látómezőjében mozgó, a környezeténél melegebb testeket a zónák közötti jelváltozás alapján érzékeli. „Passzív”, mert maga nem sugároz ki semmilyen jelet, csak érzékel.

A PIR tipikusan 5–12 m távolságra, nagyjából 90–180°-os látószögben érzékel. A legérzékenyebb mozgásirány a zónákat keresztülmetsző irány; a feléjük vagy tőlük távolodó mozgás kevésbé vált ki jelet.

Hiba. A PIR-t úgy szerelték, hogy a látómezőjét egy meleg levegős radiátor, klíma vagy légfüggöny „látja”. Az érzékelő akkor is kapcsolhat, ha ember nincs a helyiségben. Helyes gyakorlat: a látómezőt a hőforrásoktól elfordítani, és az érzékelőt a huzat irányából kitakarni.

20.1.4.2. Mikrohullámú (radar) érzékelő

A **mikrohullámú jelenlétérzékelő** nagy frekvenciájú elektromágneses jelet bocsát ki, és a visszaverődés Doppler-eltolódását értékeli. A mozgó tárgy által visszavert jel frekvenciája eltolódik; az érzékelő ebből mozgást érzékel. Két fontos tulajdonsága van: **áthatol** nem fémes akadályokon (például faajtón, gipszkartonon, üvegen), és nagyon érzékeny, ezért a mozdulatlan embert is érzékelheti, ha apró légzési vagy mozgási jelet ad.

Szabály. A mikrohullámú érzékelőt akkor válaszd, ha:

- az érzékelő nem lehet kint a helyiségben (például álmennyezet fölött kell lennie),
- a helyiségben a PIR számára rossz a hőháttér,
- mozdulatlan jelenlétet is érzékelni kell.

A nagyobb érzékenységért cserébe a mikrohullámú érzékelő több téves kapcsolást okozhat, ha rosszul állítod be. Nem fém ajtó mögül, hanem a ténylegesen figyelendő tér felé kell irányítani, és a tartományát a szükséges értékre kell csökkenteni. Általában van érzékenység- és tartományszabályzó, valamint a teszteléshez rövid késleltetésű üzemmód.

20.1.4.3. Jelenlétérzékelő

A **jelenlétérzékelő** (presence detector) olyan mozgásérzékelő, amely nem csak a nagyobb mozgást, hanem az apró, munka közbeni mozgást is érzékeli, és nagyobb érzékenységgel, finomabb zónabontással dolgozik. Irodai tárgyalókban, tantermekben, mosdókban arra használják, hogy a világítást mindaddig bekapcsolva tartsa, amíg valaki a helyiségben van, akkor is, ha az illető hosszabb ideig mozdulatlanul ül.

A szerelő szempontjából a fő különbség az, hogy a jelenlétérzékelő kimenete gyakran buszjel vagy 0–10 V-os/relés jel, és az érzékenységet a helyiség méretéhez, a tartózkodási zónához kell

hangolni. A mennyezetre szerelt jelenlétérzékelő látómezeje kúpos; a padlón lévő érzékelési kör átmérője nő, ha magasabbra szereled, de ugyanakkor az érzékenység a távolsággal csökken.

20.1.5. Hőmérséklet-, nedvesség- és CO_2-érzékelők

20.1.5.1. Hőmérséklet-érzékelők

Az épületautomatikában leggyakrabban **ellenállás-hőmérőt** (Pt100, Pt1000) vagy **NTC-termisztort** (negatív hőmérsékleti együtthatójú ellenállást), illetve félvezetős digitális érzékelőt találsz. A Pt100 0 °C-on 100 Ω ellenállást mutat, és 100 °C-on körülbelül 138,5 Ω-ot; a Pt1000 ennek a tízszerese. A termisztor nagyobb érzékenységű, de nemlineáris, ezért a készülék jelfeldolgozója linearizálja.

Szabály. Az érzékelőt úgy helyezd el, hogy a helyiség **tényleges** levegőhőmérsékletét mérje, ne pedig a fal hőmérsékletét vagy a fűtőtest közvetlen hősugárzását. Falra szerelt szobaérzékelőnél:

- ne kerüljön közvetlenül a radiátor fölé,
- ne szereld fűtetlen belső falra vagy hőhídra,
- ne takarja függöny, szekrény vagy kép,
- ne érje közvetlen napsugárzás vagy légkondicionáló légárama.

20.1.5.2. Nedvesség- és páratartalom-érzékelők

A **relatív páratartalom** (RH) érzékelése kapacitív érzékelővel történik: a nedvesség hatására a szigetelőréteg dielektromos állandója megváltozik, ami a kapacitás mérhető változását okozza. Az érzékelő a hőmérsékletet is méri, mert a relatív páratartalom csak a hőmérséklettel együtt értelmezhető. Fürdőszobában, konyhában, pincében vagy medencehelyiségben a helyi páraérzékelő gyakran közvetlenül egy ventilátort vezérel, vagy a szellőztető rendszernek ad jelet.

20.1.5.3. CO_2-érzékelők

A **CO_2-érzékelő** a levegő szén-dioxid-koncentrációját méri ppm-ben. Az épületautomatikában leggyakrabban **NDIR** (nem diszperzív infravörös) elven működik: a CO_2-molekula elnyeli az infravörös fény egy meghatározott hullámhossz-tartományát, ebből következtet a koncentrációra. Az iskolai tantermekben, irodákban, tárgyalókban a CO_2-érzékelő a frisslevegő-befúvást vezérli, és a világításhoz hasonlóan a jelenlétfüggő szellőztetést teszi lehetővé.

Figyelem. A CO_2-érzékelő nem szén-monoxid-érzékelő! A CO (szén-monoxid) égésből származó mérgező gáz, és teljesen más érzékelő elven működik. A fűtőberendezés mellé CO-érzékelőt kell tenni, nem CO_2-érzékelőt.

20.1.6. Telepítési hibák és beállítás

Az érzékelők telepítési hibái sokszor nem azonnal, hanem csak az első téves kapcsolásnál vagy a felülvizsgálatnál derülnek ki. A leggyakoribb hibák: rossz irányba állított vagy hőforrás felé fordított érzékelő, a lámpa fényét látó szürkületérzékelő, túl nagy érzékenység. A beállítás sorrendje mindig: fényküszöb, majd érzékenység, végül késleltetési idő (részletesen a gyakorlati útmutatóban, a tipikus hibákat az alfejezet „Tipikus hibák” szakasza sorolja fel).

20.1.7. Szabványi háttér

Szabvány. Az épületautomatikai érzékelők szerelése és csatlakoztatása a kisfeszültségű villamos berendezésekre vonatkozó MSZ HD 60364 sorozat hatálya alá tartozik, tipikusan az áramkörök kialakítása, a vezetékezés és az érintésvédelem szempontjából. Az automatizálási eszközök közötti kommunikációra a gyártói rendszerszabványok, például a KNX és a DALI esetén a rendszerleírások vonatkoznak. A pontos típusjeleket, tűréshatárokat és a készülékek minősítését mindig a gyártói adatlap alapján kell ellenőrizni **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és terméktanúsítás)**.

Megjegyzés. A DALI és KNX protokollok érzékelői buszra küldik az adatot, így a hagyományos „érzékelő-kapcsoló” funkciók szoftverben is beállíthatók. A DALI szabványosítja az érzékelők és beavatkozók együttműködését, míg a KNX rendszerben az érzékelők és beavatkozók a helyi buszon kommunikálnak. A részleteket a KNX, DALI és más épületautomatikai rendszerek alfejezetben tanulod.

20.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasház belső lépcsőházában a tulajdonos azt kérte, hogy a világítás alkonyatkor és mozgásra kapcsoljon, de éjszaka ne teljes, hanem csökkentett fényerővel. A szerelő egy kombinált készüléket épített be: a lépcsőház ablaka mellett elhelyezett szürkületérzékelő adta a sötétedés feltételt, a mozgásérzékelő pedig a lépcsőre irányult. A kimenet két fényerőt kapcsolt: erős fényt a mozgás pillanatában, majd 30 másodperc után csökkentett fényt. A rendszer az első télen tévesen kapcsolt: kiderült, hogy az érzékelő a radiátor légáramlását érzékelte. Az áthelyezés és a látómező átállítása megszüntette a hibát.

A tanulság: egy érzékelő csak akkor működik jól, ha a telepítési helye a fizikai működés elvének is megfelel, nem csak a bekötési rajznak.

20.1.9. Gyakorlati útmutató: kombinált szürkület- és mozgásérzékelő beállítása

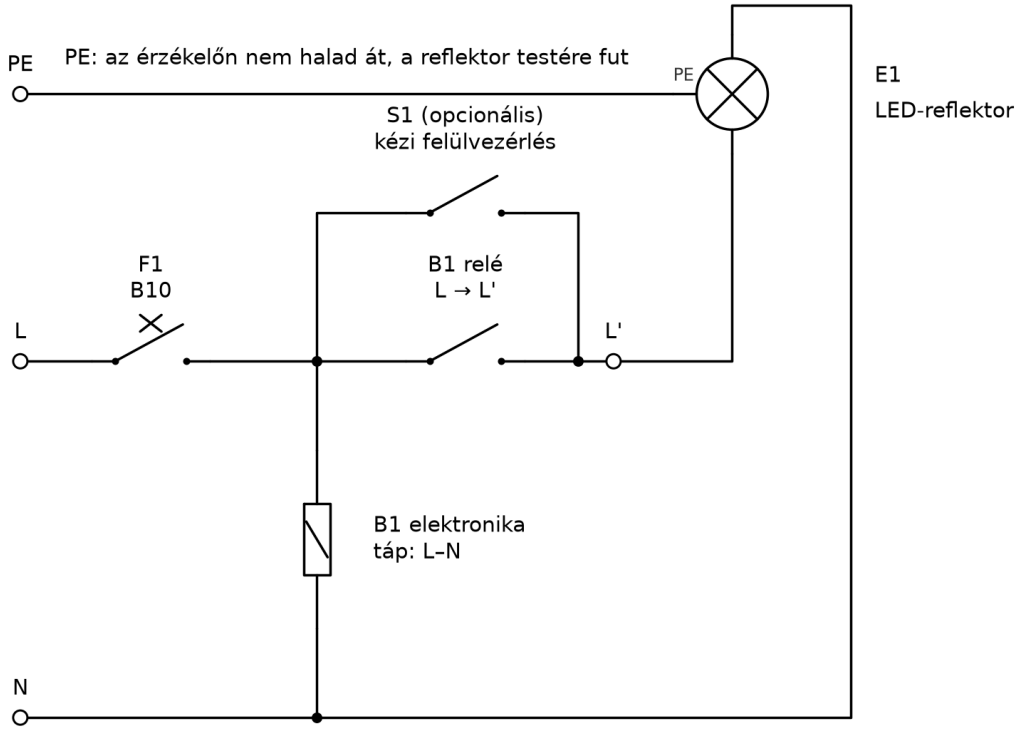
Cél. Egy udvari LED-reflektort vezérlő kombinált érzékelő beállítása úgy, hogy nappal ne kapcsoljon, este mozgásra kapcsoljon, és a mozgás megszűnése után 2 percig égjen.

Eszközök és anyagok.

- Kombinált szürkület- és mozgásérzékelő kapcsoló, a terhelésnek megfelelő árammal,
- feszültségmérő (CAT III vagy magasabb, ellenőrzött),
- csavarhúzó a beállító potenciométerekhez,
- elsötétítő takaró vagy karton,
- stopper.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Az éles szerelést csak jogosult személy végezheti.

Bekötési rajz. A háromvezetékes érzékelő (kapcsai: L, N és a kapcsolt L’ kimenet) a leggyakoribb hibaforrás: a kapcsolt kimenet a fázist kapcsolja a lámpatestre, a nulla és a védővezető közvetlenül a lámpatesthez fut. Hibás, ha az N kerül a kimenetre, vagy ha a nullát kapcsolja az érzékelő.



20.2. ábra. Kombinált szürkület- és mozgásérzékelő bekötése (L, N, L', PE) - Szemléltető bekötési rajz: az F1 kismegszakító után az L a B1 érzékelő L kapcsára jut; a B1 elektronikája L és N között kap tápot, belső relé-érintkezője az L-t kapcsolja az L' kimenetre. L' → E1 reflektor → N. A PE az érzékelőn nem halad át, közvetlenül a reflektor testére fut. S1 opcionális kézi felülvezérlő. Színek: L barna, L' fekete, N világoskék, PE zöld-sárga. A típusok példák (ellenőrizendő a gyártói bekötési rajzzal).

A rajzon az F1 kismegszakító után a fázis a B1 érzékelő L kapcsára jut. Az érzékelő elektronikája L és N között kap tápot, a belső relé-érintkezője zárja az L–L' utat; az L' kimenet az E1 reflektoron át az N-re zárul. A PE az érzékelőn nem halad át, a reflektor fém testére fut. Az S1 kapcsoló (ha van) a relével párhuzamosan, kézzel kapcsolja be a lámpát.

20.1.9.1. Lépések

1. **Öt biztonsági szabály.** Lekapcsolás (F1), visszakapcsolás elleni biztosítás (lakat, tábla), a feszültségmentesség ellenőrzése kétpólusú feszültségvizsgálóval minden vezető között (a vizsgálót előtte és utána ismert forráson próbáld ki; nem fázisceruzával), földelés és rövidre zárás – kisfeszültségű végáramkörnél, ha a munkautasítás nem írja elő, indoklással elhagyható –, a szomszédos feszültség alatti részek lefedése. A tanműhelyi gyakorlatnál is ezt a sorrendet kövesd.
2. **Bekötés ellenőrzése.** Győződj meg arról, hogy a fázis, nulla és védővezető a kapcsolási rajz szerint csatlakozik, a terhelés árama nem haladja meg a készülék terhelhetőségét.

3. **Visszakapcsolás és beállítás feltételei.** A bekötés befejezése, a burkolat visszahelyezése után a feszültséget jogosult személy kapcsolja vissza; a beállítás csak a gyártó által kialakított, érintésvédett beállítóelemeken, szigetelt szerszámmal végezhető, a készülék fedelének zárt állapotában. Hálózati feszültségen önállóan ne dolgozz.
4. **Alapbeállítás.** Állítsd a fényküszöböt a legkisebb (legsötétebb) értékre, a világítási időt a legrövidebbre, az érzékenységet közepesre.
5. **Fényküszöb beállítása.** A kívánt szürkületi fényviszonyok között (vagy részleges takarással, luxmérővel ellenőrizve kb. 20 lx; ellenőrizendő: gyártói ajánlás) lassan növeld a küszöböt, amíg a lámpa mozgásra éppen bekapcsol. Ezután teljes nappali fényben ellenőrizd, hogy nem kapcsol; sötétben kapcsoljon.
6. **Mozgásérzékenység beállítása.** Állítsd az érzékenységet a kívánt tartományra. Sétálj keresztbe a látómezőn, ne pontosan az érzékelő felé. Ha a lámpa a kívánt helytől távolabb is bekapcsol, csökkentsd az érzékenységet.
7. **Késleltetés beállítása.** A mozgás megszűnése után mérd a világítási időt. Állítsd 2 percre. Ellenőrizd, hogy a lámpa valóban kikapcsol-e.
8. **Végellenőrzés.** Ismételd meg a tesztet nappali és sötét állapotban is, majd rögzítsd a beállításokat a készülék feliratán vagy a karbantartási naplóban.

Ellenőrzési pontok.

- Nincs folyamatos villódzás (a hiszterézis és a késleltetés együtt működik),
- a lámpa nem világít nappal,
- a mozgásra a kívánt távolságból kapcsol,
- a mozgás megszűnése után a lámpa kb. 2 perc múlva (a beállított utánfutási idő után) kikapcsol.

20.1.10. Tipikus hibák

1. **A szürkületkapcsoló érzékelője a lámpát látja.** A lámpa fénye miatt a kapcsoló kikapcsol, a sötétben újra bekapcsol, és ez villódzást okoz. A helyes megoldás az érzékelő elfordítása, árnyékolása vagy a fénypont irányának megváltoztatása.
2. **A PIR érzékelőt a fűtőtest felé irányítják.** A meleg levegő vagy a radiátor mint meleg tárgy téves kapcsolást okoz. A helyes irány a valószínű mozgásirány keresztirányú lefedése, a hőforrás kizárásával.
3. **A CO_2-érzékelőt összetévesztik a CO-érzékelővel.** A CO_2-érzékelő nem riaszt égéstermékre, a CO a tüzelőberendezések mellé való. A gyakorlatban mindkettőt feliratozni kell, és a rendeltetésnek megfelelően kell elhelyezni.
4. **Az érzékelő kimenetét közvetlenül motorhoz kötik.** A legtöbb érzékelő csak kis áramú relés kimenetet ad; közvetlen motorindítás nem szabad. A kimenetet a beavatkozó tekercsére, LED-meghajtóra vagy jelfogóra kell kötni.

20.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a PIR érzékelő elektromágneses jelet bocsát ki?
2. Miért van szükség hiszterézisre a szürkületkapcsolóban?
3. Melyik érzékelő alkalmas mozdulatlan ember érzékelésére, és miért?
4. Mi a teendő, ha a szürkületkapcsoló a saját lámpáját látja?
5. Miért nem szabad a hőmérséklet-érzékelőt radiátor fölé szerelni?
6. Mire használunk NDIR-érzékelőt?

20.1.12. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg egy mondatban, mi a lényegi különbség a PIR és a mikrohullámú mozgásérzékelő között.

2. feladat (A). Egy szürkületkapcsoló 20 lx alatt kapcsol be, és a kioldási hiszterézise 5 lx. Mekkora a kikapcsolási fényerő?

3. feladat (B). Egy PIR érzékelőt 2,5 m magasra szerelnek, és a padlón körülbelül 6 m átmérőjű körben érzékel. A folyosón a 4 m-nél távolabb lévő ajtón ki-be járók ne kapcsolják a lámpát. Milyen beállítási (érzékenység, maszkolás/takarólap) és tesztelési lépéseket tennél?

4. feladat (B). Rajzolj egy kapcsolási vázlatot, amelyen egy szürkületkapcsoló egy LED-reflektort vezérel. Jelöld a fázist, a nullát és a védővezetőt, valamint az érzékelő terheléskimenetét.

5. feladat (C). Egy tárgyalóban a világítás akkor is lekapcsol, ha az ülő emberek hosszabb ideig mozdulatlanul dolgoznak. Milyen érzékelőt válassz, és milyen beállításokkal oldanád meg?

6. feladat (D). Egy udvari szürkületkapcsolós lámpa éjszaka 2 percenként ki- és bekapcsol. Sorold fel a lehetséges okokat, és mindegyikhez adj hibafeltárási mérést vagy megfigyelést.

20.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A PIR passzív, nem sugároz ki semmilyen jelet, csak a hőmérsékleti sugárzást érzékeli. A mikrohullámú érzékelő viszont aktív jelet bocsát ki.
2. A hiszterézis a bekapcsolási és kikapcsolási fényszint közötti sáv. Megakadályozza, hogy a fényviszonyok kismértékű ingadozása, felhő vagy elhaladó fényszóró villódzást okozzon.
3. A mikrohullámú érzékelő, mert a visszavert jel Doppler-eltolódását a légzés vagy apró mozgás is megváltoztatja. A PIR elsősorban a meleg testek zónaváltását érzékeli.
4. Az érzékelőt el kell fordítani a lámpától, árnyékolni kell, vagy a lámpa fényét más irányba kell állítani.
5. Mert a radiátor hője a helyiség levegőhőmérsékleténél magasabb értéket mutat, és nem a tényleges komfortérzetet méri.
6. Szén-dioxid-koncentráció mérésére, tipikusan szellőztetés-vezérléshez.

Feladatok – megoldások

1. feladat. A PIR a meleg testek infravörös sugárzását érzékeli passzívan, a mikrohullámú érzékelő pedig saját nagyfrekvenciás jelének Doppler-eltolódását méri aktívan, és nem fémes akadályokon is áthatol.

2. feladat. A kikapcsolási küszöb 20 lx + 5 lx = 25 lx. A bekapcsolás 20 lx alatt történik, a kikapcsolás 25 lx fölött.

3. feladat. A 6 m átmérő 3 m sugarú érzékelési kör; $3\,\text{m} < 4\,\text{m}$, az ajtót a névleges lefedés nem éri el. A szélső zónák érzékenysége azonban a szerelési magasság és a lencse függvénye, ezért az érzékenységet csökkentjük, vagy takarólappal szűkítünk. Sétapróbával ellenőrizzük, hogy 3 m-en belül kapcsol, a 4 m-es ajtónál nem. Ezután a késleltetést is tesztelni kell.

4. feladat. Egyvonalas ábrán: az L1 fázis a szürkületkapcsoló L kapcsára, a kapcsoló terhelés-kimenete a lámpára, a lámpa nullája az N-re, a PE vezető a lámpa testére. Az érzékelő saját tápfeszültségét is az L és N közé kell kötni. A kapcsolási rajzon az érzékelőt mint kapcsolót

jelöljük, a terhelése a lámpa. A megoldás rajza megegyezik a gyakorlati útmutató bekötési rajzával (S1 nélkül): ott az érzékelő L, N és L' kapcsa, a reflektor és a PE bekötése is látható.

5. feladat. Jelenlétérzékelőt kell választani, amelyik mikrohullámú vagy finomabb PIR zónákkal dolgozik. A késleltetést 15–30 percre állítjuk, az érzékenységet a tárgyaló asztal körüli zónára irányítjuk, és beállítjuk, hogy a mozgás megszűnése után a lámpa ne azonnal kapcsoljon ki. Ha szellőztetés is van, a jelenlétérzékelő azt is vezérelheti.

6. feladat. Lehetséges okok:

- A szürkületkapcsoló a saját lámpáját látja: takarjuk le az érzékelőt, ha a villódzás megszűnik, ez az ok.
- A hiszterézis túl kicsi, vagy a fényküszöb a kikapcsolás közelében ingadozik: luxmérővel mérjük az érzékelő helyén a megvilágítást a ki- és bekapcsolás pillanatában, és figyeljük a környező fényforrásokat.
- Hőmérsékletfüggő érzékenység: hidegben a fényküszöb eltolódhat, ezért a gyártói adatlapot ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: a készülék specifikációja)**.
- Rossz bekötés, például a terhelés visszahat az érzékelőre: a kapcsolási rajz alapján ellenőrizni kell.

20.1.14. Rövid összefoglaló

Az épületautomatikai érzékelők a fizikai mennyiséget – fény, mozgás, jelenlét, hőmérséklet, nedvesség, CO_2 – villamos jellé alakítják, amely tovább vezérli a beavatkozókat. A **fényérzékelők** közül a fotoellenállás egyszerű, a fotodióda gyors és pontos, a szürkületkapcsoló készülékben foglalt megoldás. A **PIR mozgásérzékelő** passzív infravörös zónaváltozást érzékel, a **mikrohullámú** érzékelő aktív radarelvet használ, a **jelenlétérzékelő** apró mozgásokat is érzékel. A **hőmérséklet-érzékelő** Pt100, Pt1000 vagy termisztor alapú lehet, a **páratartalom** kapacitív elven, a **CO_2** jellemzően NDIR elven működik. A telepítésnél figyelni kell a hőforrásokra, a fényforrásra, a látómezőre és a beállításokra (küszöb, hiszterézis, késleltetés). **Továbbvitt eredmény:** az érzékelők kimeneti jelét és csatlakoztatását a Beavatkozók: mágneskapcsolók, szelepek, szervomotorok alfejezetben használjuk fel, a hálózatba kötés szempontjából pedig a KNX, DALI és más épületautomatikai rendszerek alfejezet tárgyalja a rendszerszintű integrációt.

20.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

A leírás a klasszikus érzékelői működési elveket tartalmazza, amelyek stabil fizikai ismeretek, de a konkrét terméktípusok, lux-értékek, érzékelési távolságok és a szabványhivatkozások pontos kiadása ellenőrzést igényel. A gyártói adatlapokon szereplő tűréshatárok, beépítési magasságok és kapcsolási küszöbök mindig az adott készülékre vonatkoznak **(ellenőrizendő: aktuális gyártói adatlapok és szabványkiadások)**.

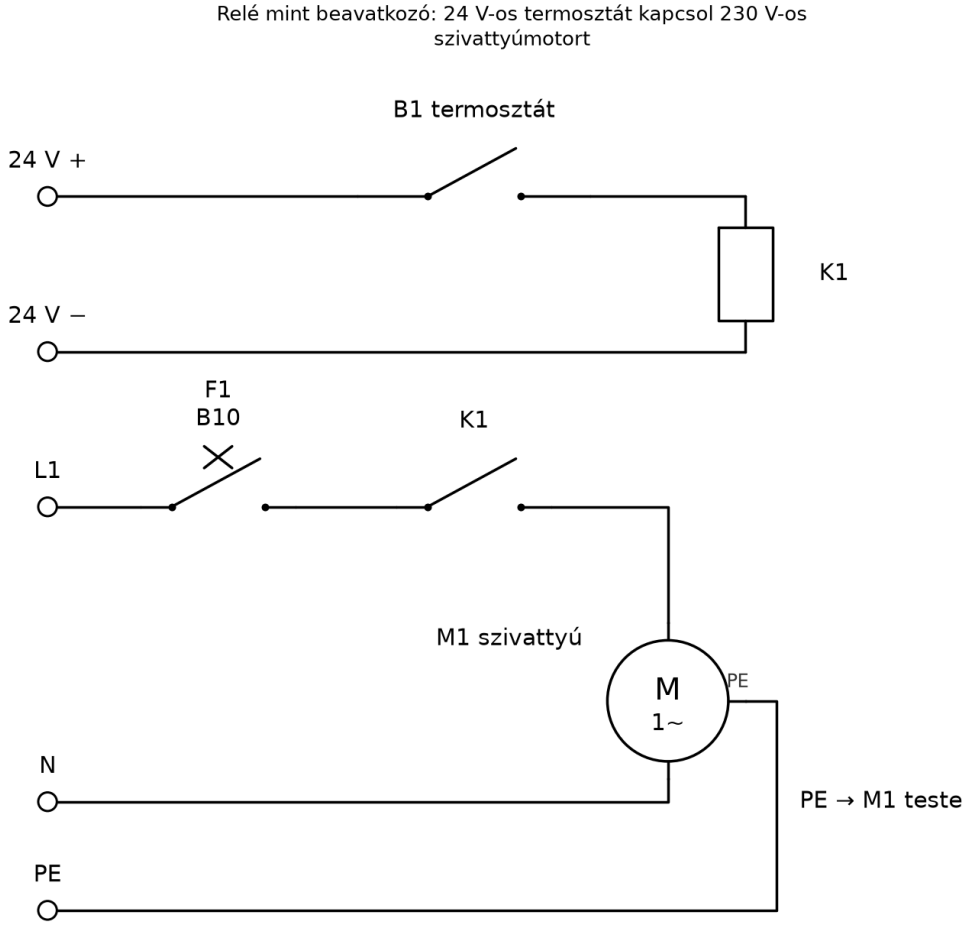
20.2. Beavatkozók: mágneskapcsolók, szelepek, szervomotorok

A külső hőmérséklet-érzékelő jele önmagában még nem fűt, és a jelenlétérzékelő sem kapcsolja fel helyettünk a lámpát. A szabályozó kimenete csak egy kis teljesítményű jel: egy relétekercs, egy analóg feszültség vagy egy busztávirat. Ahhoz, hogy ez a jel valódi fogyasztót kapcsoljon – motort, fűtőbetétet, szelepet, zsalut –, **beavatkozó készülékekre** van szükség. Ebben az alfejezetben ezeket a készülékeket és bekötési elveiket tanuljuk meg.

A beavatkozó az épületautomatika „keze és izma”: kis vezérlési energiával nagyobb teljesítményt kapcsol, és a folyamat fizikai mennyiségét – áramlás, hőmérséklet, fény, mozgás – megváltoztatja.

20.2.1. Szemléltető kép: relé választja le a vezérlést a 230 V-os körről

A legegyszerűbb beavatkozói minta az, amikor egy 24 V-os termosztátjel egy relé tekercsét kapcsolja, a relé munkaérintkezője pedig a 230 V-os szivattyúmotort. A vezérlési és a terhelési kör galvanikusan elválik egymástól.



20.3. ábra. Relé mint beavatkozó: 24 V-os termosztát kapcsol 230 V-os szivattyúmotort - A rajz szemlélteti a vezérlési és terhelési oldal szétválasztását. A B1 termosztát a K1 relé tekercsét táplálja (24 V), a K1 munkaérintkezője külön, 230 V-os áramkörben az F1 kismegszakító után a fázist kapcsolja az M1 szivattyúmotorra; a motor másik kapcsa az N-re, fém teste a PE-re csatlakozik. A típusok (B10, 24 V) példák (ellenőrizendő a tervvel).

A rajzon a felső hurok a vezérlőáramkör: a B1 termosztáról a 24 V a K1 tekercsre jut. Az alsó hurok a terhelőáramkör: az F1 kismegszakító után a K1 érintkező a fázist (L1) az M1 szivattyúmotorra kapcsolja, a motor másik kapcsa a nullára (N), fém teste a védővezetőre (PE)

csatlakozik. A relé tekercse és érintkezője között nincs fémes kapcsolat, ezért a vezérlőoldal feszültségszintje és a terhelőoldal feszültségszintje eltérhet.

20.2.2. Relé, mágneskapcsoló és tirisztoros kapcsoló

Definíció. A **relé** (jelfogó) olyan kapcsolókészülék, amelyben egy elektromágneses tekercs által létrehozott erő mozgat egy vagy több érintkezőt. A vezérlő oldal (tekercs) és a kapcsolt oldal (érintkezők) galvanikusan el van választva.

A relét kisteljesítményű jelek kapcsolására használjuk: épületfelügyeleti kimenet, termosztát, PLC-kimenet, egy másik relé segédérintkezője. A tekercs jellemző feszültsége lehet 12 V DC, 24 V DC, 24 V AC vagy 230 V AC. A relé nem motorindító eszköz, hanem jelfogó; katalógusban az érintkezőket gyakran **AC-15** (váltakozó áramú vezérlőáramkör) vagy **DC-13** (egyenáramú vezérlőáramkör) kategóriával adják meg.

Definíció. A **mágneskapcsoló** (kontaktor) nagyobb megszakítóképességű, mágneses működtetésű kapcsoló, amelyet motorok, fűtőkörök, szellőzők és más teljesítmény-fogyasztók kapcsolására terveztek. A főérintkezők mellett általában segédérintkezők is vannak.

A mágneskapcsoló főérintkezői motorindításra alkalmasak, mert elviselik a bekapcsolási áramlökést és a kikapcsoláskor keletkező ívet. A katalógusban a főérintkezőt **AC-3** vagy **AC-1** kategóriával jelölik; motoroknál az **AC-3** a jellemző, ellenállásos fűtésnél az **AC-1**. A tekercs itt is 24 V DC, 24 V AC vagy 230 V AC lehet.

Definíció. A **tirisztoros kapcsoló** (SSR, angolul solid-state relay) félvezetőkből – triacból, tirisztorból vagy MOSFET-ből – felépülő, mozgó alkatrész nélküli kapcsoló. A bemeneti kis jel vezérli a teljesítmény-félvezetőt, ezért nincs mechanikus kopás és nincs kapcsolási ív.

Az épületautomatikai gyakorlatban az SSR-t akkor választjuk, ha nagyon gyakori kapcsolásra, zajtalan működésre vagy hosszú élettartamra van szükség. Hátránya, hogy a kimeneti félvezetőn nyugalmi áramban is lehet kis szivárgó áram, és a hűtéséről gondoskodni kell. Ellenállásos terhelésnél gyakran **zérusátmenetnél kapcsoló** (zero-cross) kivitelt használnak, amely a váltakozó feszültség nullaátmeneténél kapcsol, ezért kisebb a zavarkeltés.

Megjegyzés. A tirisztoros kapcsoló nem azonos a fényerő-szabályozó triaccal. Előbbi főként ki-be kapcsol, utóbbi a feszültség pillanatnyi kivezérlésével folyamatosan szabályoz.

20.2.3. Mágnesszelep, szervomotor és léptetőmotor

Definíció. A **mágnesszelep** olyan elektromágneses beavatkozó, amelyben a tekercs mágneses tere egy mozgó vasmagot (dugattyút) húz be, és ezzel folyadék- vagy gázáramlást nyit, zár vagy vált át.

A mágnesszelepekben a villamos oldal a tekercs, a hidraulikus oldal pedig a szelep. Fűtési és légtechnikai rendszerekben tipikusak a 24 V AC, 24 V DC vagy 230 V AC tekercsű, kétállású (nyit/zárt) mágnesszelepek. A terven régebbi (DIN-alapú) gyakorlat szerint gyakran **Y** betűjelet kapják, az MSZ EN IEC 81346-2 szerinti jelölést a terv jelmagyarázata adja **(ellenőrizendő: MSZ EN IEC 81346-2)**, a motoros fogyasztók pedig **M** jelölést. A tekercs teljesítményét látszólagos teljesítményként (VA) adják meg; gyártói adatból tudjuk, mekkora a bekapcsolási és a tartóáram.

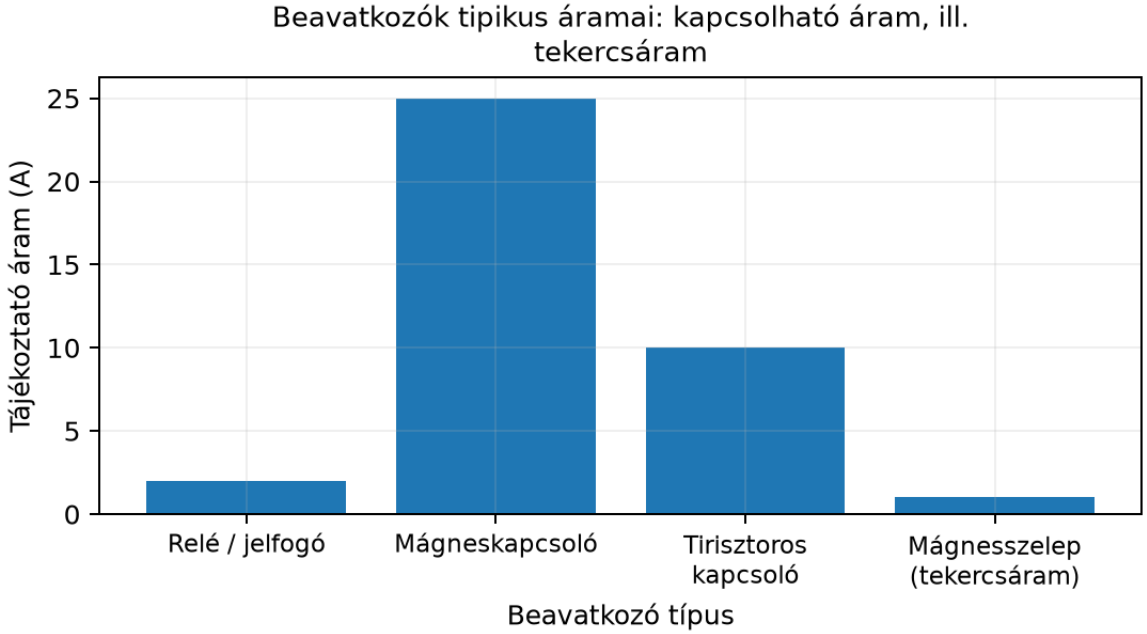
Definíció. A **szervomotoros beavatkozó** (épületautomatikában gyakran „szelepmozgató” vagy „zsalumozgató”) hajtóművel és pozíció-visszajelzéssel ellátott motor. A bemenő jel általában

0–10 V, **2–10 V**, **0–20 mA**, **4–20 mA** vagy buszjel, a tengely/mozgató kar pedig a jelnek megfelelő helyzetbe áll.

A szervomotoros mozgatót használjuk moduláló fűtési, hűtési és szellőzési szelepekhez, zsalukhoz, ablaknyitó karokhoz. Két alapfajtája a **kétpontos** mozgató (teljesen nyit vagy zár) és a **folytonos** mozgató (0–100 % között arányosan áll). A 2–10 V-os jel gyakran azt jelenti, hogy 2 V a 0 % állás, 10 V a 100 % állás; így a jelkábel szakadása esetén a mozgató biztonsági állásba állítható. Egyes mozgatók **rugós visszatérésűek** (spring return): feszültségkimaradáskor a rugó a szelepet lezárja vagy nyitja, ami tűzvédelmi és fagyvédelmi szempontból fontos lehet.

Definíció. A **léptetőmotor** olyan motor, amelynek tengelye a vezérlőimpulzusok hatására meghatározott, rögzített szöglépésekkel forog. Nyílt hurkú pozíció-beállításra alkalmas, mert a lépésszámból számítható a tengely helyzete, amennyiben nem lép fel lépésvesztés.

Az épületautomatikában a léptetőmotort kisebb golyóscsapok, motoros radiátorszelepek, laboratóriumi szellőzőfúvókák és precíziós zsaluk mozgatására használják. A gyakorlatban a szervomotoros mozgató és a léptetőmotor közötti választást a pontosság, a nyomatékigény, a visszajelzés és a költség dönti el.



20.4. ábra. Beavatkozók tipikus áramai: kapcsolható áram, ill. tekercsáram - Szemléltető nagyságrendek épületautomatikai alkalmazásokhoz: a relé, a mágneskapcsoló és a tirisztoros kapcsoló oszlopa a kapcsolható áram, a mágnesszelepé a tekercs saját áramfelvétele (ezt kell a vezérlőkimenetnek kapcsolnia). A tényleges értékek a gyártói adatlaptól, a terhelés típusától, a kapcsolási gyakoriságtól és a hűtéstől függnek.

Az ábra csak arányokat mutat: a relé kis vezérlőáramot, a mágneskapcsoló motorokat, az SSR közepes és gyakori kapcsolású ellenállásos terhelést, a mágnesszelep oszlopa pedig nem kapcsolási képesség, hanem a tekercs saját áramfelvétele, amelyet a vezérlő kimenetének kell kapcsolnia. A pontos értéket minden esetben a gyártói adatlap alapján kell megválasztani.

20.2.4. Készülékválasztás a tervdokumentáció és terhelési adatok alapján

A tervlapon a beavatkozót a rajzjel, a referenciajel és a kapocsjelölés azonosítja. A kiválasztás előtt az alábbi adatokat kell kiolvasni vagy a tervezői kiírásból pótolni:

1. **Terhelés típusa:** ellenállásos (fűtőbetét, izzólámpa), induktív (motor, transzformátor, mágnesszelep), kapacitív (egyes LED-meghajtók) vagy vegyes.
2. **Kapcsolt feszültség és áram:** a fogyasztó névleges adataiból számolva vagy a tervezői listából.
3. **Bekapcsolási áram:** motoroknál, transzformátoroknál és LED-meghajtóknál a névleges áram többszöröse is lehet.
4. **Kapcsolási gyakoriság:** óránként néhány kapcsolástól a másodpercenkénti kapcsolásig.
5. **Környezet:** hőmérséklet, pára, por, vegyi anyag, kültér.
6. **Bemenő jel:** 24 V AC/DC, 230 V AC, 0–10 V, 4–20 mA, PWM vagy buszjel.
7. **Kívánt viselkedés:** kétállású, folytonos, rugós visszatérés, késleltetés.

A gyakorlati képlet egyfázisú motoros fogyasztó áramfelvételéhez:

$$I = \frac{P}{U \cos\varphi \, \eta}$$

ahol P a leadott mechanikai teljesítmény, U a kapocsfeszültség, $\cos\varphi$ a teljesítménytényező, η a hatásfok.

Számítás. Egy 230 V-os, 1,5 kW-os keringtető szivattyú adatai: $\cos\varphi = 0{,}8$, $\eta = 0{,}85$. Keressük a névleges áramfelvételt.

$$I = \frac{1\,500\,\mathrm{W}}{230\,\mathrm{V} \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}85} = \frac{1\,500}{156{,}4} \approx 9{,}6\,\mathrm{A}$$

Motorhoz AC-3 használati kategóriájú mágneskapcsolót választunk (MSZ EN 60947-4-1), amelynek AC-3 névleges üzemi árama legalább a motor névleges árama: 9,6 A → pl. 12 A AC-3 **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**. Az AC-3 kategória már tartalmazza a kalickás motor közvetlen indításának áramlökését; nagyobb kapcsolót gyakori kapcsolásnál, léptetésnél, ellenáramú fékezésnél (AC-4) vagy nehéz indításnál választunk. A 9,6 A-es üzemi áramra méretezett 10 A-es relé, ha csak ellenállásos terhelésre készült, nem megfelelő motorindításhoz.

Számítás. Egy fűtési zóna mágnesszelepe 24 V AC, 12 VA látszólagos teljesítményű. Az áramfelvétel:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{12\,\mathrm{VA}}{24\,\mathrm{V}} = 0{,}5\,\mathrm{A}$$

Ez a tartóáram. Váltakozó áramú tekercsnél a behúzás pillanatában az áram ennek többszöröse is lehet (a gyártói adatlap behúzó VA-értékéből: $I_{\mathrm{be}} = S_{\mathrm{be}}/U$), ezért a vezérlőkimenetnek a bekapcsolási áramot is el kell viselnie. Ha a vezérlő kimenete csak 0,1 A-es relé, akkor nem szabad közvetlenül a mágnesszelepet kapcsolni, hanem egy nagyobb segédrelét kell beiktatni, vagy a mágnesszelepet önálló tápegységről kell megtáplálni.

Továbbvitt eredmény. A beavatkozó kiválasztásához használt osztályozás – relékimenet, analóg 0–10 V / 4–20 mA, PWM, két- vagy többállású működés, rugós visszatérés – alapja annak, hogy a KNX, DALI és más épületautomatikai rendszerek alfejezetben a beavatkozókat buszrendszerre illesszük.

20.2.5. Védettség és környezeti hatások

A beavatkozót a környezetéhez kell illeszteni. Az IP-kód (MSZ EN 60529) két számjeggyel jelzi a védettséget: az első a szilárd testek és por elleni, a második a víz elleni védelmet adja meg.

- **IP20**: zárt elosztószekrényben, száraz, pormentes környezetben; relék, SSR-ek gyakori kivitele.
- **IP44**: csepegő, fröccsenő víz ellen védett; nedves helyiségekben.
- **IP65**: por ellen védett, vízsugár ellen védett; kültéri szelepmozgatók, zsalumozgatók tipikus kivitele.

Szabvány. A védettségi fokozatot az MSZ EN 60529 szerinti IP-kóddal kell jelölni; az előírt fokozatot a gyártói adatlap és az adott helyiség kialakítása határozza meg. A kapcsolókészülékek használati kategóriáit és az élettartam-adatokat a vonatkozó kapcsolókészülék-szabvány (például MSZ EN 60947 sorozat) szerint kell figyelembe venni (ellenőrizendő: aktuális kiadás és a gyártói dokumentáció).

A környezeti hőmérséklet is terhelhetőséget befolyásol: a relé- és SSR-kimenet árama magas környezeti hőmérsékleten csökkenhet, az SSR esetében pedig a hűtőborda mérete és a szekrény szellőzése a kiválasztás része.

20.2.6. Bekötési és kiválasztási recept

Biztonsági korlát. A bekötést csak feszültségmentes állapotban, megfelelő jogosultsággal és a helyszíni munkaengedély szerint végezd. Hálózati feszültségű munka önálló gyakorlása tanulóként tilos.

20.2.6.1. Lépéssor: beavatkozó kiválasztása és bekötése

1. **A terv ellenőrzése.** Keresd a referenciajelet (K, Y, M), a rajzjelet, a kapcsolási és huzalozási rajzot, majd azonosítsd a csatlakozópontokat.
2. **A terhelési adatok felvétele.** Gyűjtsd ki a feszültséget, áramot, teljesítményt, $\cos\varphi$-t, kapcsolási gyakoriságot.
3. **A biztonsági feszültségmentesítés elvégzése.** Kapcsold le a kört, biztosítsd a visszakapcsolás ellen, ellenőrizd a feszültségmentességet, szükség szerint földelj és rövidre zárj, és a szomszédos feszültség alatti részeket takard le.
4. **Az érintkező terhelhetőségének ellenőrzése.** Ellenőrizd a gyártói adatlapon a feszültséget, az áramot és a használati kategóriát.
5. **A tekercskör ellenőrzése.** A tekercsfeszültség egyezzen a vezérlőkimenettel; ha nem egyezik, válassz segédrelét.
6. **Bekötés.** A vezetékeket a kapocsjelölés szerint kösd be, a nyomatékot a gyártói előírás szerint húzd meg, és a laza szálakat távolítsd el.
7. **Jelölés és feliratozás.** A készüléket, a kábeleket és a kapcsokat a terv szerint jelöld.
8. **Ellenőrzés.** A terhelőkör leválasztott állapotában kapcsold be a vezérlőkört, és figyeld meg, hogy a relé/mágneskapcsoló meghúz-e. Ezután a vezérlőkört kapcsold ki, a terhelőkört kösd be (az öt biztonsági szabály szerint), majd jogosult személy helyezze feszültség alá a teljes kört.

A fenti sorrend a hibák nagy részét megelőzi, mert előbb a kis energiájú, törpefeszültségű vezérlőkört vizsgáljuk, és csak utána kapcsoljuk a nagyobb energiájú terhelőkört.

20.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasház fűtési elosztójában a helyiségtermosztát 24 V-os, potenciálmentes relékimenettel vezérelte a keringtető szivattyút. A kivitelező először közvetlenül a termosztát reléjére kötötte a 230 V-os szivattyút. A kapcsolás egy ideig működött, majd a termosztát belső reléjének érintkezője összeégett, mert a relé csak a 24 V-os vezérlőkört és nem a motoros terhelést volt hivatott kapcsolni. A helyes megoldás az lett, hogy a termosztát kimenete egy teljesítményrelét vezérelt, és a teljesítményrelé zárta a szivattyú 230 V-os áramkörét. Ennél súlyosabb következmény is lehetett volna: a törpefeszültségű vezérlőkörre tervezett reléhez kötött 230 V a 24 V-os vezetékekre és a termosztátra is átkerülhet (az elválasztás nem 230 V-ra készült), ami áramütésveszély. Hálózati feszültséget csak arra méretezett, ennek megfelelően jelölt kimenetre szabad kötni. A tanulság: a beavatkozó kiválasztásakor nemcsak a kapcsolt feszültséget, hanem a terhelés áramát, bekapcsolási löketét és a gyártói használati kategóriát is ellenőrizni kell.

20.2.8. Tipikus hibák

Hiba 1: a relé érintkezőjét egyszerűen „10 A-esnek” tekinti, áramlökés nélkül. Egy motor névleges árama 9 A lehet, de az indítási lökés ennél többszörös. Az ellenállásos terhelésre szánt AC-1 érintkező az indítási ív miatt heged, összeéghet. A helyes gyakorlat: motorhoz AC-3 mágneskapcsolót vagy motorrelét kell választani.

Hiba 2: a 24 V-os vezérlőrelé 230 V-os tekercsűre cserélése. Ha a vezérlő kimenete 24 V-ot ad, a 230 V-os tekercs nem húz meg, vagy veszélyes hálózati feszültség kerül a törpefeszültségű (24 V-os) vezérlőáramkörbe. A tekercsfeszültséget mindig a vezérlőjelhez kell igazítani.

Hiba 3: az SSR rossz terhelésre kötve. Ha egy zérusátmenetnél kapcsoló SSR-t induktív motorhoz vagy rossz minimális terhelésű LED-hajtáshoz kötünk, a kimenet szivárgó árama miatt a LED halványan világíthat, vagy a motor megzavarodhat. Az SSR-t a terhelés típusához és a gyártói adatlaphoz kell illeszteni, a szükséges hűtéssel együtt.

Hiba 4: a szervomotoros mozgató analóg bemenetére 230 V-ot kötnek. A 0–10 V-os bemenet nem hálózati feszültségű bemenet; 230 V rákapcsolása azonnal tönkreteszi a vezérlő elektronikát. A jel- és a hálózati kábelt külön kell vezetni, és a bekötést a kapocsjelölés szerint kell elvégezni.

20.2.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A mágneskapcsoló kisteljesítményű relé, amely nem alkalmas motorok kapcsolására.
2. Számold ki egy 24 V-os, 18 VA-es mágnesszelep tekercsáramát!
3. Mire szolgál a 0–10 V-os jel egy szervomotoros szelepmozgatónál?
4. Mit jelent az IP54 jelölés?
5. Miért kell motorok kapcsolásához AC-3 kategóriájú készüléket választani?
6. Miért használunk gyakran relét a termosztát jele és a 230 V-os szivattyú között?

20.2.10. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg, mi a különbség a relé és a mágneskapcsoló között a felhasználás és a kapcsolási képesség szempontjából.

2. feladat (A). Egy beavatkozó tekercsét 24 V DC-ről táplálják, felvett teljesítménye 2,4 W. Mennyi a tekercs árama?

3. feladat (B). Válassz mágneskapcsolót egy háromfázisú, 400 V-os, 5,5 kW-os szellőzőmotorhoz. Adott: $\cos\varphi = 0{,}82$, $\eta = 0{,}88$. Számítsd ki a névleges áramot, és indokold a választott mágneskapcsoló névleges áramát.

4. feladat (B). Rajzold le szövegben vagy kapcsolási vázlaton, hogyan kapcsol egy 24 V-os épületfelügyeleti kimenet egy 230 V-os fűtőkört: a vezérlő K1 reléjének tekercsét a 24 V-os kimenet táplálja, a K1 érintkező pedig a fűtőkört zárja. Nevezd meg a kapcsokat és a védelmet.

5. feladat (C). Egy tervező egy 10 A-es, AC-1 kategóriájú relét írt ki egy 230 V-os, 1,5 kW-os szivattyú kapcsolására. Értékeld, hogy elfogadható-e a megoldás, és ha nem, mit javasolnál.

6. feladat (D). Egy mágnesszelep nem nyitja ki a fűtési kört. A vezérlő kimenetén 24 V AC mérhető, a tekercs kapcsán azonban nincs feszültség. Milyen hiba valószínű, és milyen méréssel ellenőriznéd?

20.2.11. Megoldások

20.2.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A mágneskapcsoló éppen motorok és nagyobb terhelések kapcsolására való, megszakítóképessége és érintkező-kialakítása miatt.
2. $I = S/U = 18\,\text{VA}/24\,\text{V} = 0{,}75\,\text{A}$.
3. A 0–10 V-os jel a mozgató kívánt pozícióját adja meg; például 0 V = zárva, 10 V = nyitva, a közbenső feszültség pedig arányos nyitást jelent.
4. Első számjegy 5: por ellen védett, második 4: minden irányból fröccsenő víz ellen védett.
5. Mert az AC-3 kategória a kalickás motor közvetlen indítására és kikapcsolására van méretezve, az indítási áramlökést is figyelembe véve; az AC-1 ellenállásos terhelésre való.
6. A termosztát kis relékimenete nem biztos, hogy elviseli a 230 V-os terhelés áramát, és a relével a vezérlési kör galvanikusan elválik a hálózati körtől.

20.2.11.2. Feladatok megoldása

1. megoldás. A relé elsősorban vezérlési jelek, kis teljesítmények kapcsolására való, érintkezője kisebb megszakítóképességű. A mágneskapcsoló nagyobb motoros és fűtési terheléseket kapcsol, főérintkezői nagyobb áramot és ívet viselnek el, gyakran segédérintkezőkkel is rendelkezik.

2. megoldás. Adott: $U = 24\,\text{V}$, $P = 2{,}4\,\text{W}$. Keresett: I.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2{,}4\,\text{W}}{24\,\text{V}} = 0{,}1\,\text{A}$$

A tekercs árama 0,1 A.

3. megoldás. Adott: $P = 5\,500\,\text{W}$, $U = 400\,\text{V}$, $\cos\varphi = 0{,}82$, $\eta = 0{,}88$. Keresett: I.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\,U\cos\varphi\,\eta}$$

$$I = \frac{5\,500}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0{,}82\cdot 0{,}88}$$

Számoljuk a nevezőt: $\sqrt{3} \cdot 400 \approx 692{,}8$; $692{,}8 \cdot 0{,}82 \approx 568{,}1$; $568{,}1 \cdot 0{,}88 \approx 500$. Ezért

$$I \approx \frac{5\,500}{500} = 11\,\mathrm{A}$$

Motorhoz AC-3 kategóriájú mágneskapcsoló választható, amelynek AC-3 névleges üzemi árama legalább a motor névleges árama: 11 A-hez pl. 12 A AC-3 **(ellenőrizendő: gyártói táblázat)**. Az AC-3 érték már tartalmazza a közvetlen indítást; a 16 A-es készülék is megfelel, de nem indítás miatt kell nagyobb.

4. megoldás. A kapcsolás szöveges leírása: a 24 V-os kimenet egyik pólusa a K1 tekercs A1 kapcsára, a másik pólusa az A2 kapcsára kerül. A K1 relé egy munkérintkezője a 230 V-os fűtőkört zárja: a fázis (L1) a K1 érintkező egyik kapcsára, az érintkező másik kapcsa a fűtőtestre, a fűtőtest másik oldala pedig a nullára (N) csatlakozik. A fűtőkört a terheléshez méretezett kismegszakító védi, és a vezérlőkört is megfelelően kell védeni.

5. megoldás. A megoldás nem megfelelő, mert a szivattyú motoros, induktív terhelés, és az AC-1 kategóriájú relé nem motorindításra készült. Bár a névleges áram mintegy 9,6 A, a bekapcsolási áramlökés az érintkezőt hegesztheti. Motoros terheléshez AC-3 mágneskapcsolót javaslunk, amelynek AC-3 névleges árama legalább 9,6 A (pl. 12 A; ellenőrizendő: gyártói adatlap).

6. megoldás. Ha a tekercs kapcsán nincs 24 V, de a vezérlő kimenetén van, akkor a hiba a vezetékben, a csatlakozóban vagy a biztosítóban lehet. Ellenőrizd a vezeték folytonosságát feszültségmentes állapotban, mérd meg a tekercs ellenállását, és ellenőrizd a kötések meghúzását. Ha a folytonosság ép, és a tekercs ellenállása nem szakadt, akkor a vezérlő felé visszafelé is mérj, hogy a vezérlő valóban terhelhető-e.

20.2.12. Rövid összefoglaló

A relé kis vezérlőjeleket kapcsol, a mágneskapcsoló motorokat és nagyobb terheléseket, a tirisztoros kapcsoló pedig mozgó alkatrész nélkül, gyakori kapcsolásra alkalmas. A mágnesszelep villamos jelből áramlást nyit vagy zár, a szervomotoros beavatkozó analóg jel alapján arányos pozícióba áll, a léptetőmotor pedig rögzített lépésekkel mozog. Kiválasztáskor a terhelés típusát, áramát, a bekapcsolási lökést, a kapcsolási gyakoriságot, a vezérlőjel fajtáját és a környezeti védettséget kell figyelembe venni. Motorhoz AC-3 kategóriájú mágneskapcsolót, ellenállásos terheléshez AC-1 relét vagy SSR-t választunk. Az áramfelvételt a $P = UI\cos\varphi\eta$ összefüggésből számítjuk. A bekötés előtt a feszültségmentesítés öt szabályát kell alkalmazni, és először a törpefeszültségű (24 V-os) vezérlőkört kell ellenőrizni. **Továbbvitt eredmény:** a beavatkozó típusa, jelkezelése (relé, analóg, PWM) alapozza meg a KNX, DALI és más épületautomatikai rendszerek alfejezetben tárgyalt buszos beavatkozók kiválasztását.

20.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezetben használt védettségi jelölés forrása az MSZ EN 60529, a kapcsolókészülékek használati kategóriáinak forrása a vonatkozó MSZ EN 60947 szabványsorozat. A konkrét névleges áram, kapcsolási kategória, IP-fokozat és hűtési adat gyártónként és típusonként eltér, ezért a kivitelezés előtt mindig ellenőrizni kell az aktuális gyártói adatlapot és a vonatkozó kivitelezési előírást.

20.3. KNX, DALI és más épületautomatikai rendszerek

20.3.1. A buszrendszer alapgondolata: miért kell ez a villanyszerelőnek?

Hagyományos épületvillamosságnál a kapcsoló a lámpát közvetlenül, saját erekkel vezérli. Ha egy lakásban öt kapcsoló és öt lámpa van, akkor öt különálló áramkör fut a kapcsolókhoz és a lámpákhoz. Ha később egy új mozgásérzékelőt szeretnénk beépíteni, vagy egy kapcsolóról másik lámpát is működtetnénk, gyakran falat kell vésni, új vezetéket húzni és új kötődobozt szerelni.

A busz-alapú épületautomatika ezt a logikát megfordítja. A kapcsoló és a lámpa már nem közvetlenül egymáshoz tartozik, hanem egy közös táp- és adatbuszhoz. A kapcsoló megnyomásakor távirat (telegram) megy a buszra, a lámpát vezérlő aktor pedig megkapja a táviratot, és bekapcsol. Ez hasonlít a számítógépes hálózatokhoz, ezért a Számítógépes hálózatok és adatkommunikáció alfejezetben tanult elvek itt is felhasználhatók.

Figyelem. A buszrendszer kényelmes, rugalmas és bővíthető, de bevezetése nem jelenti azt, hogy a hagyományos, szabványos érintésvédelmi és túláramvédelmi ismereteket el lehet hagyni. A 230/400 V-os áramköröket ugyanúgy meg kell méretezni, védeni, mérni és dokumentálni, mint egy hagyományos rendszernél. A buszos eszközök táplálását is az érintésvédelmi és tűzvédelmi szabályok szerint kell kialakítani.

20.3.2. Szemléletes kép: hagyományos és buszos kapcsolás összehasonlítása

Az alábbi kapcsolási vázlat a buszos rendszer egyszerű szerkezetét mutatja: a busztáp és a buszeszközök párhuzamosan csatlakoznak a busz két erére (+ és −), a lámpát pedig egy külön, 230 V-os áramkör táplálja.

20.5. ábra. KNX buszos kapcsolás egyszerű vázlata: buszrész és 230 V-os lámpakör - Szemléltető vázlat: a G1 busztáp, az S1 buszos nyomógomb és a K1 kapcsolóaktor párhuzamosan csatlakozik a két buszérre (+ és −); a buszérek között nincs közvetlen összeköttetés. A nyomógomb nem zárja rövidre a buszt, hanem táviratot küld; a K1 aktor relékimenete (K1.1) a külön, 230 V-os körben az F1 kismegszakító után a fázist kapcsolja az E1 lámpatestre, amely az N-re zárul, teste a PE-re csatlakozik. A rajz nem helyettesíti a gyártói bekötési útmutatót.

A vázlatban S1 egy buszos nyomógomb, amely érintéskor a buszra ír egy „én S1 vagyok, megnyomtak” táviratot. A K1 aktor figyeli a buszt, felismeri, hogy ez a távirat neki szól, és behúzza a reléjét. A relé érintkezője a 230 V-os lámpakört kapcsolja. A 230 V-os lámpakört hagyományos módon a kismegszakító védi, és az aktor relékimenete kapcsolja; a lámpa és a védővezető bekötése az épületvillamossági szabályok szerint történik.

Rajz–valóság–mérés hármas. A `circuit` rajzon a busz külön van vezetve a 230 V-os áramkörtől. A valós szerelésnél ezt a távolságot és a bekötést is ellenőrizni kell: a buszkábelt tilos a 230 V-os erekkel azonos kötődobozban, azonos védőcsőben vagy azonos kábeltálcán úgy vezetni, hogy az érintésvédelmi és jel-átviteli szabályok sérüljenek. A mérés során a busz tápfeszültségét és a távirat-átvitelt is ellenőrizni kell.

20.3.3. Busz topológia, címzés, csoportcímek és ETS-projekt

Definíció. A busz-alapú épületautomatika olyan rendszer, amelyben a résztvevők közös átviteli közegen (buszon) keresztül, címzett táviratokkal cserélnek adatot. A rendszerben a bemeneti eszközök (nyomógombok, érzékelők) adják a jeleket, a kimeneti eszközök (aktorok) hajtják végre a parancsokat.

A busz topológiája szabadabb, mint egy hagyományos vezérlés, de nem korlátlan. A KNX TP (twisted pair, csavart érpár) buszon fa-, csillag- vagy vegyes topológia alakítható ki; gyűrű nem engedélyezett. A hálózat méretét eszköz- és feszültségesés-korlátok határolják (ellenőrizendő: aktuális KNX-topológiai adatok a gyártótól vagy szabványos KNX-dokumentációból).

Címrendszer. Minden buszkészüléknek van egyedi fizikai címe, ami az eszközt a hálózaton azonosítja. A címzés hasonló a hálózati IP-címzéshez, de egyszerűbb: a fizikai cím három részből áll: terület.vonal.eszköz, pl. 1.1.15 = 1. terület, 1. vonal, 15. készülék. A csoportcím a funkciót jelöli, általában háromszintű formában: főcsoport/középcsoport/alcsoport, pl. 2/1/0 **(ellenőrizendő: KNX Association dokumentáció)**.

Csoportcímek és távirattovábbítás. A csoportcím a funkciót azonosítja. Ha egy nyomógombot és egy aktort ugyanarra a csoportcímre helyezünk, akkor a nyomógomb által küldött táviratot az aktor végrehajtja. A csoportcímzés fontos előnye, hogy egy nyomógomb több csoportcímhez is tartozhat, így egyszerre kapcsolhat több fogyasztót, vagy indíthat egy világítási jelenetet.

ETS-projekt. Az ETS (Engineering Tool Software) a KNX-eszközök tervezésére, címzésére, programozására és diagnosztikájára szolgáló szoftver. A szerelő az ETS-ben létrehoz egy projektet, felveszi a készülékeket, beállítja a fizikai címeket és a csoportcímeket, majd letölti a konfigurációt az eszközökre. Az ETS a projektet dokumentumként is tárolja, ezért a későbbi módosítás és hibakeresés is könnyebb.

Szabvány. A KNX az épületautomatika nemzetközi szabványa, melyet európai szabványként is elismernek (EN 50090, ISO/IEC 14543 sorozat – **ellenőrizendő: pontos hivatkozás**). A szabványosítás célja, hogy a különböző gyártók KNX-eszközei együttműködjenek egy buszon.

20.3.4. KNX TP kábelezés és buszkapcsolás

Kiinduló helyzet. A villanyszerelő lakáselosztótól a szobákig húz vezetékeket. A buszos rendszerben a 230 V-os kábelek mellett egy buszkábelt is el kell helyezni. A KNX TP esetén jellemzően egy speciális, csavart érpárú, árnyékolt buszkábel szolgál a buszra (pl. YCYM 2x2x0,8, **ellenőrizendő: aktuális jelölés**). A két érpár közül az egyik (piros = +, fekete = −) a buszjel, a másik (sárga–fehér) tartalék. Az árnyékolást és a kísérőeret a KNX telepítési irányelvek szerint nem kötjük be és nem földeljük **(ellenőrizendő: KNX Association / gyártói útmutató)**.

A busz tápfeszültsége névlegesen 29 V egyenáram, de a buszeszközök szélesebb tartományban működnek, és a táviratok váltakozó jelekkel ülnek ezen az egyenfeszültségen. A busztáp áramfelvételét és a vonal eszközeinek áramigényét össze kell vetni; egy vonalra csak meghatározott számú eszköz telepíthető (ellenőrizendő: topológiai és áramterhelési határok).

A buszkészülékek bekötése gyártónként eltérő, de a csavarozható vagy rugós kapcsokon általában a buszpólusok (+, − vagy piros/fekete jelölés) a készülék hátoldalán vagy külön csatlakozón érhetők el. A bekötésnél ügyelni kell a pólushelyes bekötésre, mert a rendszer érzékeny lehet a felcserélt vezetékre. A buszkábelt a 230 V-os vezetékektől elkülönítve kell vezetni, hogy elkerüljük a zavaró átbeszélést és a szigetelési hibák kockázatát.

Rajz–valóság–mérés. A busz mérésénél digitális multiméterrel ellenőrizhetjük a tápfeszültséget, de a távirat-átvitelt oszcilloszkóppal vagy buszdiagnosztikai eszközzel vizsgálhatjuk. A telepítés előtt a buszkábel folytonosságát és a busz tápellátását ellenőrizni kell.

20.6. ábra. KNX TP buszkábelezés egyszerű vázlata - Szemléltető vázlat: a G1 busztáp és minden buszeszköz (S1, A1, B1) párhuzamosan, pólushelyesen csatlakozik a buszkábel két erére (+ piros, − fekete). A buszkábel vonal-, fa- vagy csillagszerűen ágazhat, de minden eszköz a + és a − ér közé kerül; a két ér soha nincs összekötve. A busztáp 230 V-os bemenete nincs rajzolva. A pontos kötést a gyártói adatlap és a KNX-előírás adja (ellenőrizendő).

Megjegyzés. Az ábrán minden buszeszköz a busz + és − ere közé, egymással párhuzamosan csatlakozik; a buszkábel eszközről eszközre felfűzve vagy elosztóból ágazva is vezethető (a KNX TP topológia a vonal-, fa- és csillagkialakítást is engedi), de az eszközöket soha nem kötjük sorba, és a két eret nem kötjük össze.

20.3.5. DALI: vezérlőegység, hálózat és címzés

Helyzet. Egy irodában 40 lámpatestet szeretnénk fényerő-szabályozni, csoportokra osztani, esetleg jelenlét-érzékelőkhöz rendelni. Hagyományosan ehhez minden lámpatesthez külön fényerő-szabályzó és sok vezeték kellene. A DALI (Digital Addressable Lighting Interface) ezt a világítási vezérlést két buszére, címzett táviratokkal oldja meg.

Definíció. A DALI egy világítástechnikai buszrendszer, amely digitálisan, címzetten vezérli a DALI-kompatibilis előtéteket, LED-illesztőket és fénycsöves előtéteket. A DALI busz jellemzője, hogy minden DALI-egység egyedi címmel rendelkezik (legfeljebb 64 rövid címmel, short address; ellenőrizendő: aktuális szabvány). A DALI a fényerő-szabályozást, a csoportosítást, a jelenlétfüggő vezérlést és az állapot-visszajelzést is támogatja.

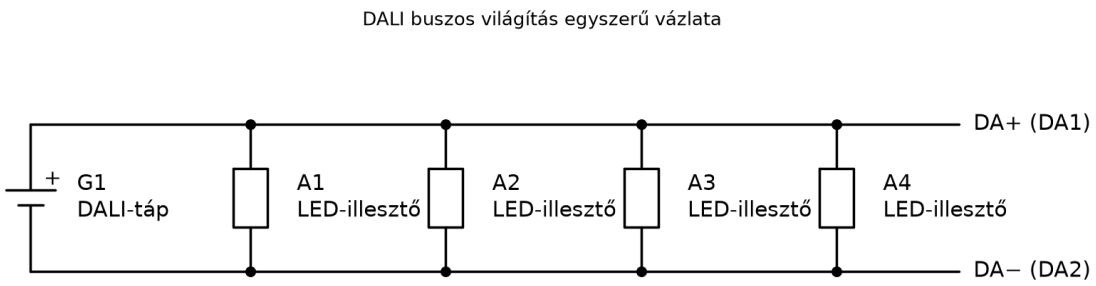
A DALI busz egy kétvezetékes, polaritásfüggetlen rendszer (a legtöbb kialakításban), amelyen a táp és az adat együtt halad. A hálózatot egy DALI-táp (gateway vagy tápmodul) látja el, amely a busz feszültségét biztosítja, és lehetővé teszi a táviratok küldését. A DALI-eszközök bekötése tipikusan párhuzamosan történik a buszra.

Címzés és csoportok. A DALI-eszközöket programozással kell címezni. Az egyszerű DALI-vezérlő (pl. DALI-táp) vagy egy épületautomatikai gateway címzi fel a lámpatesteket. A DALI-eszközök csoportjai és jelenetei használhatók arra, hogy az irodában egyetlen nyomógomb egyszerre több lámpát állítson egy meghatározott fényerőre. A DALI kétirányú kommunikációjának köszönhetően a rendszer kiolvashatja a lámpatest állapotát, hibáját és működési idejét is.

Szabvány. A DALI az IEC 62386 sorozatban szabványosított (pl. IEC 62386-101, -201, **ellenőrizendő: aktuális részek**). A szabványosítás célja a különböző gyártók eszközeinek együttműködése.

Rajz–valóság–mérés. A DALI busz bekötése egyszerűnek tűnik, de a DALI-vezérlőerek nem törpefeszültségűek (csak alapszigetelésűek): hálózati feszültségű vezetékként kell kezelni őket, ezért

a gyártói útmutató szerint a 230 V-os erekkel közös kábelben is vezethetők (pl. 5 eres kábel: L, N, PE, DA+, DA−), de érintésvédelmi szempontból nem tekinthetők SELV-nek **(ellenőrizendő: IEC 62386-101 és gyártói útmutató)**. A KNX TP busz ezzel szemben SELV: külön kábelben, a hálózati erektől a KNX-irányelv szerinti elválasztással vezetendő. A szerelő a DALI busz feszültségét (üres buszon vagy nyugalmi állapotban) multiméterrel vizsgálhatja, a táviratokat pedig DALI-címzővel vagy diagnosztikai eszközzel elemezheti.



20.7. ábra. DALI buszos világítás egyszerű vázlata - Szemléltető vázlat: a G1 DALI-táp és a négy DALI-s LED-illesztő (A1–A4) párhuzamosan csatlakozik a két DALI-érre (DA+, DA−); az illesztők nincsenek sorba kötve, a két ér nincs összekötve. Az illesztők 230 V-os L, N, PE táplálása külön áramkörről jön, és a rajzon nem szerepel. A polaritásfüggetlenséget és a vezetékhossz-határokat a gyártói adatlap és az IEC 62386 rögzíti (ellenőrizendő).

Megjegyzés. Az ábrán a DALI-illesztők párhuzamosan csatlakoznak a buszra; a gyakorlatban a busz polaritás-függetlenségét és a távolság-/árnyékolási előírásokat a gyártói adatlap és a szabvány rögzíti.

20.3.6. KNX és DALI összehasonlítása, valamint más buszrendszerek

KNX és hagyományos vezetékezés összehasonlítása. A hagyományos kapcsolásban a kapcsoló és a fogyasztó közötti logika a vezetékezésben van elrejtve. Minden új funkcióhoz új vezeték, új kapcsoló vagy új relé kell. A KNX-rendszerben a logika a konfigurációban – nem a falban – van. Ezért a KNX nagy előnye a rugalmasság: egy nyomógomb átprogramozható, a funkció megváltoztatható anélkül, hogy a falat megbontanánk.

Hátránya, hogy a buszos rendszer bonyolultabb tervezést és programozást igényel, a hibák pedig nem mindig szemmel láthatóak. A villanyszerelőnek ismernie kell a busz mérését, az ETS-projektet és a készülékek paraméterezését. A költségek is összetettebbek: a buszos készülékek drágábbak, de a szerelési idő és a későbbi módosítási igény gyakran kisebb.

DALI és KNX szerepe. A DALI a világítási eszközök digitális kommunikációját valósítja meg; a KNX az épületautomatika általános busza. Gyakori megoldás, hogy a KNX-rendszer egy DALI-gateway-n keresztül vezérli a DALI-buszra fűzött lámpatesteket. Ekkor a felhasználó a KNX oldali nyomógombbal kapcsol, a KNX a gateway-nek küld táviratot, a gateway pedig lefordítja azt DALI-parancsra. Ez a kombináció jól mutatja a buszrendszerek rétegződését.

Más buszrendszerek. Az épületautomatikában ismert még a Modbus, a BACnet, az M-Bus (fogyasztásmérés), az IP-alapú épületautomatika és a vezeték nélküli rendszerek. Ebben a könyvben ezeket csak megemlítjük, mert a vizsgán a KNX és a DALI a legfontosabb buszos rendszer.

20.3.7. Szabványi és biztonsági követelmények

Szabvány. Az épületautomatikai rendszerek kialakításánál a kisfeszültségű villamos berendezésekre vonatkozó MSZ HD 60364 sorozatot kell alkalmazni. A buszvezetékek is villamos berendezések, ezért az áramütés elleni védelmet (MSZ HD 60364-4-41), a vezetékek méretezését (MSZ HD 60364-5-52) és a felülvizsgálatot (MSZ HD 60364-6) ugyanúgy be kell tartani. Emellett a KNX- és DALI-szabványok előírják a busz topológiáját, a tápáramot, a kábelezést és az elektromágneses összeférhetőséget.

Biztonság és megbízhatóság. A buszrendszerek gyakran életbiztonsági funkciókat is hordozhatnak (pl. vészvilágítás figyelése). Ezért a tervezésnél meg kell különböztetni a normál üzemű buszos funkciókat és a szabványos védelmi funkciókat. A védővezető soha nem építhető a buszos táviratokra; a védővezetőt mindig folytonos, mechanikailag rögzített vezetőként kell kiépíteni. A hálózati feszültségű áramkörök védelmét nem szabad a buszos reléktől függővé tenni. A buszrendszerben a tápellátás kimaradása vagy a busz sérülése legfeljebb a komfortfunkciókat érintheti, a biztonsági funkciókat nem.

Bővíthetőség. A KNX és a DALI rendszerek jól bővíthetők, mert új eszközök csatlakoztathatók a buszra, és új csoportcímekkel vehetők fel. Ugyanakkor a bővítés is tervezést igényel: ellenőrizni kell a tápáramot, a busz hosszát, az eszközök számát és a dokumentációt. A bővítés után a rendszert újra kell mérni, és a jegyzőkönyvet aktualizálni kell.

20.3.8. Valós életbeli alkalmazás: irodai világítás vezérlése DALI-val

Egy kisebb irodaházban a bérlő azt kéri, hogy a világítás jelenlétfüggő legyen, és a tárgyalóban jeleneteket lehessen kapcsolni. A villanyszerelő a lámpatestekhez DALI-illesztős LED-paneleket szerel. A lámpatestek 230 V-os táplálása a mennyezeti áramkörből jön, a DALI-busz pedig a lámpatestek DALI-kapcsaira kerül. A tárgyaló nyomógombja DALI-nyomógombillesztőhöz (bemeneti egységhez) csatlakozik, vagy DALI-s nyomógomb kerül a buszra.

Az üzembe helyezés során a szerelő laptoppal vagy DALI-kézi programozóval felcímzi a lámpatesteket, majd csoportokat hoz létre. A tárgyaló lámpái egy csoportba kerülnek, a nyomógomb egy jelenetet aktivál, amely 80%-os fényerőt állít be; a jelenlétérzékelő utánfutási ideje 15 perc. A rendszer kipróbálásakor a szerelő megfigyeli, hogy a távirat a nyomógombból az összes lámpatesthez eljut, és a lámpatestek visszajelzik az állapotot.

A tanulság: a buszos rendszer üzembe helyezése nem csupán összekötés, hanem programozás és ellenőrzés is. Aki kihagyja a címzést vagy rossz csoportcímet ad meg, az gyakran ugyanolyan hibát keres, mint egy laza sorkapocsnál.

20.3.9. Gyakorlati útmutató: egyszerű KNX/DALI buszhálózat előkészítése és címzése

Cél. A tanuló ismerje a buszos rendszer kábelezésének és programozásának alapvető lépéseit, és értse, hogy hol kell a 230 V-os és a buszköri munkát szétválasztani.

Eszközök és anyagok. KNX TP busztáp, buszos nyomógomb, KNX aktor, buszkábel, ETS-képes számítógép, KNX/USB-csatlakozó, multiméter. DALI egység esetén DALI-táp, DALI-címző, LED-illesztő.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A 230/400 V-os készülékek bekötését csak jogosult személy végezheti, az öt biztonsági szabály betartása után.

Lépések.

1. **Feszültségmentesítés.** A tanműhelyi táp esetén is győződj meg róla, hogy a gyakorlópanel nincs feszültség alatt. Ellenőrizd a táp feszültségmentességét.
2. **Busztáp bekötése.** Kösd a busztáp + és − kapcsait a buszkábel megfelelő pólusaira a gyakorlótáblán. Ellenőrizd a kapcsolatot multiméterrel, és ne keverd a buszt a 230 V-os sorkapcsokkal.
3. **Eszközök felfűzése.** Kösd a nyomógombot és az aktort a buszra. A bekötésnél ügyelj a pólusokra, ahol a gyártó előírja.
4. **Busz tápellátása.** Kapcsold be a busztápot, és mérd a busz feszültségét. Jellemzően 29 V körül kell lenni (ellenőrizendő: konkrét érték a gyártói adatlapon).
5. **ETS-projekt létrehozása.** Indítsd az ETS-t, hozz létre egy projektet, add hozzá a busztápot, a nyomógombot és az aktort.
6. **Fizikai címzés.** Rendeld a készülékeket fizikai címekre (pl. 1.1.1, 1.1.2) az ETS-ben, és töltsd le a címzést.
7. **Csoportcím létrehozása.** Hozz létre egy csoportcímet (pl. 0/0/1), és rendeld hozzá a nyomógomb és az aktor megfelelő funkciójához.
8. **Letöltés és teszt.** Töltsd le a konfigurációt, majd nyomd meg a nyomógombot, és figyeld az aktor kapcsolását.
9. **Dokumentálás.** Jegyezd fel a busztáp feszültségét, a fizikai címeket, a csoportcímeket és a teszt eredményét a Szerelési dokumentáció, referenciajelölés és átadás alfejezetben tanultak szerint.

Ellenőrzési pontok. A busz feszültsége stabil; a nyomógomb megnyomására az aktor reléje kapcsol; az ETS diagnosztikában nincs kommunikációs hiba; a 230 V-os oldali feszültségmentesítés és a védővezető bekötése megtörtént.

Tipikus hibák.

- A buszkábelt a 230 V-os áramkörrel közös csőben vezetik.
- A busztáp feszültségét nem ellenőrzik bekapcsolás előtt.
- Kihagyják a fizikai címzést, ezért a készülék nem válaszol.
- Rossz csoportcím miatt a nyomógomb nem a kívánt lámpát kapcsolja.

20.3.10. Tipikus fogalmi és szerelési hibák

Hiba 1: „A buszrendszer nem igényel vezetékméretezést." Ez téves. A 230 V-os fogyasztói áramköröket a buszos aktorok mögötti oldalán is a megszokott szabályok szerint kell méretezni, túláramvédelemmel ellátni és hurokimpedanciát mérni. A buszos rendszer csak a vezérlőjelet digitalizálja, a teljesítményt nem.

Hiba 2: „A DALI busz polaritásfüggetlen, tehát a pólusokat sosem kell ellenőrizni." Bár a DALI-busz sok eszköznél polaritásfüggetlen, nem mindenütt. A bekötés előtt mindig ellenőrizni kell a gyártói adatlapot. A polaritás felcserélése adott eszköznél hibás működést okozhat.

Hiba 3: „A busz táviratai nem érnek el a nagy távolságra, ezért a táp feszültségét növelem." A busztáp feszültségét nem szabad önkényesen növelni. A hosszabb vonalak tervezésénél a topológiai korlátokat, a busz hosszát és a tápáramot kell betartani. A helyes megoldás a szabályos szegmens-/vonalbővítés.

Hiba 4: „A buszos eszközök nem igényelnek védővezetőt." A busztápok és aktorok 230 V-os táplálása esetén a védővezető bekötése kötelező. A védővezetőt soha nem szabad a busz távirataival összekeverni.

20.3.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: a KNX TP buszon a készülékek tápellátása és adatátvitele ugyanazon az érpáron zajlik. Indokold.
2. Mi a különbség a fizikai cím és a csoportcím között?
3. Miért kell a KNX TP buszkábelt (SELV) a 230 V-os erektől elválasztva vezetni, és miért nem kezelhetők a DALI-erek törpefeszültségű, érinthető vezetékként?
4. Egy KNX nyomógomb táviratot küld az aktornak. Mit kell ellenőrizni, ha az aktor nem kapcsol?
5. Sorolj fel legalább három tipikus hibát a DALI-címzés során.

20.3.12. Feladatok

1. feladat (A). Határozd meg a buszos rendszer fő előnyét a hagyományos vezérléssel szemben, és mondj egy példát, amikor ez az előny megjelenik.

2. feladat (A). Egy KNX-rendszerben a nyomógomb fizikai címe 1.1.5, az aktoré 1.1.20. A csoportcím 2/1/0. Magyarázd el, miért kell mindkét eszközt ugyanarra a csoportcímre helyezni, és mi történik, ha a csoportcím eltérő.

3. feladat (B). Rajzolj egy egyszerű buszkapcsolást, amelyben egy buszos nyomógomb egy KNX-aktort vezérel, az aktor pedig egy 230 V-os lámpát kapcsol. A `diagram` blokkban a fenti vázlatot használhatod; jelöld a csoportcímet, amely a nyomógombot az aktor kimenetéhez rendeli. A nyomógombot – mint minden buszeszközt – a busz `+` és `-` ere közé, párhuzamosan kösd; a két ér között soha nem lehet közvetlen összeköttetés.

4. feladat (B). Egy irodai DALI-rendszerben 8 LED-illesztő csatlakozik a buszra. A DALI-táp üresjárási feszültsége 16 V, terhelés alatt a legtávolabbi illesztőnél 12 V. Az adatlap szerint a busz feszültségének 9,5–22,5 V között kell lennie, és a buszon a megengedett feszültségesés legfeljebb 2 V **(ellenőrizendő: IEC 62386-101, gyártói adat)**. Megfelel-e a rendszer? Indokold a hosszabb kábel és a feszültségesés szerepét.

5. feladat (C). Egy KNX-bővítés során a meglévő vonalra további 10 eszközt szeretnek kötni. Milyen szempontokat kell ellenőrizni a bővítés előtt? Gondolj a tápáramra, a busz hosszára, a címzésre és a dokumentációra.

6. feladat (D). Egy buszos világítási rendszerben a nyomógomb benyomásakor a lámpa nem kapcsol. A multiméterrel a busztáp feszültsége 29 V, az aktor 230 V-os oldalán nincs feszültség. Milyen hibát gyanítasz? Írj le egy hibakeresési lépéssort, ahol a méréssel elkülöníted a buszhibát, a programozási hibát és a 230 V-os oldali hibát.

20.3.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

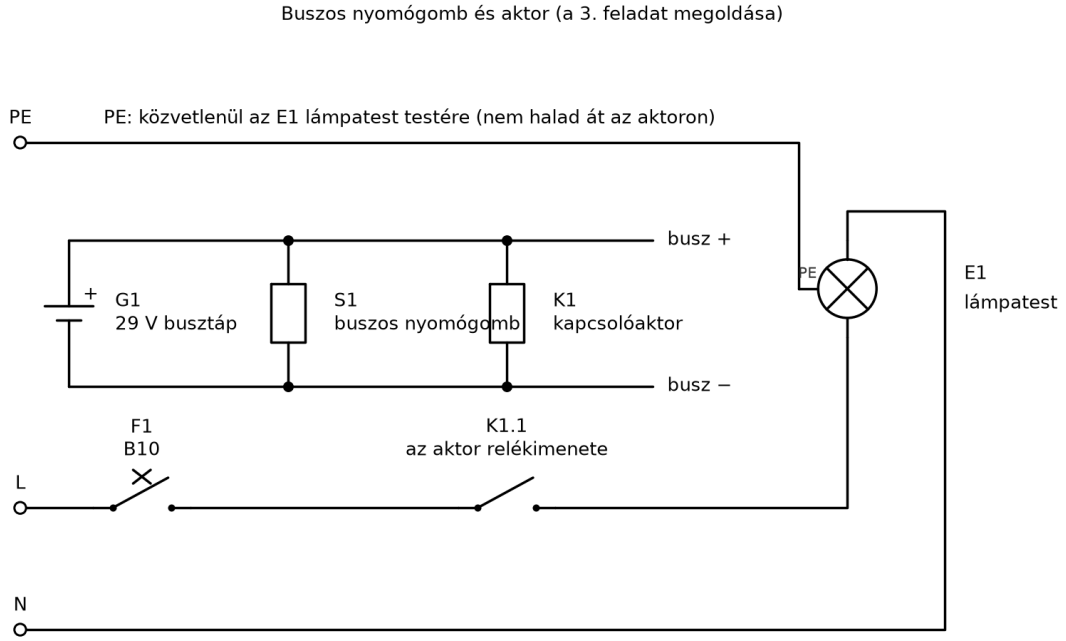
1. Igaz: a KNX TP az érpáron 29 V DC tápot és a ráültetett adatjelet viszi, külön tápvezeték nélkül.
2. A fizikai cím a készülék azonosítója (terület.vonal.eszköz); a csoportcím a funkciót jelöli (pl. „nappali világítás be/ki”), és a nyomógomb és az aktor ugyanazon a csoportcímen kommunikál.

3. A KNX TP busz SELV, ezért a hálózati erektől elválasztva kell vezetni (az érintésvédelmi és zavarvédelmi szabályok miatt). A DALI-vezérlőerek csak alapszigetelésűek, hálózati feszültségűként kezelendők, ezért nem tekinthetők érinthető törpefeszültségű vezetéknek **(ellenőrizendő: IEC 62386-101, KNX telepítési irányelv)**.
4. Ellenőrizd a busz feszültségét, az aktor csoportcímét és az ETS-letöltés állapotát, a 230 V-os betáp meglétét a feszültségmentesítés öt szabályának betartása mellett, majd az aktor relé működését.
5. Kihagyott vagy kétszer kiosztott rövid cím, az illesztő rossz csoportba sorolása, a címzés utáni mentés és dokumentálás hiánya.

1. feladat (A). A buszos rendszer legfőbb előnye a rugalmasság. A hagyományos kapcsolásnál a funkció a vezetékezésből adódik, így módosításkor vezetéket kell bontani. A buszos rendszernél a funkciót szoftveresen lehet megváltoztatni. Például egy nyomógombhoz újabb csoportcímet rendelve ugyanaz a nyomógomb egy másik lámpát is vezérelhet anélkül, hogy a falat megbontanánk.

2. feladat (A). A fizikai cím az eszköz hálózati azonosítója, a csoportcím a funkciót jelöli. Ha a nyomógomb és az aktor ugyanazt a csoportcímet használja, akkor a nyomógomb táviratát az aktor megkapja és végrehajtja. Ha a csoportcímük eltér, akkor az aktor figyelmen kívül hagyja a nyomógomb táviratát, mert az nem neki szól.

3. feladat (B). A vázlat a fent bemutatott KNX/DALI kapcsolási rajz mintájára módosítható, ahol S1 a buszos nyomógomb, G1 a busztáp, K1 az aktor (mindhárom a busz + és − ere közé kötve), K1.1 az aktor relékimenete, E1 a lámpa, F1 a lámpakör kismegszakítója. A busz és a 230 V-os kör külön van vezetve; a 230 V-os kör L → F1 → K1.1 → E1 → N, a lámpatest teste a PE-re csatlakozik.



20.8. ábra. Buszos nyomógomb és aktor (a 3. feladat megoldása) - Szemléltető vázlat: S1 és K1 a busz + és − ere közé kötve (párhuzamosan), G1 a busztáp; a K1 aktor K1.1 relékimenete a 230 V-os körben az F1 kismegszakító után kapcsolja az E1 lámpát (L → E1 → N), az E1 teste PE-re kötve.

4. feladat (B). A feszültségesés $16\,\mathrm{V} - 12\,\mathrm{V} = 4\,\mathrm{V}$. A 12 V a 9,5–22,5 V tartományon belül van, de a 4 V-os esés több a megengedett 2 V-nál, ezért a rendszer nem felel meg: nagyobb keresztmetszetű vezetékre vagy rövidebb vonalra van szükség, és az eszközök áramfelvételét is ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: IEC 62386-101, gyártói adat)**.

5. feladat (C). A bővítés előtt ellenőrizni kell: - a busztáp terhelhetőségét (a 10 új eszköz áramfelvételét hozzáadva), - a busz hosszát és az eszközök közötti feszültségesést, - a rendelkezésre álló fizikai címeket és csoportcímeket, - az ETS-projektben a készülékadatbázis elérhetőségét, - a kábelezés állapotát és az árnyékolást, - a dokumentáció frissítését.

6. feladat (D). Ha a busztáp feszültsége rendben van, de az aktor 230 V-os oldalán nincs feszültség, akkor a hiba lehet az aktor konfigurációjában (nem kapott csoportcímet, nincs letöltve a program), az aktor buszkapcsolatában (buszpólus laza, törött ér), vagy a 230 V-os oldal védelmében (kismegszakító kioldott, csatlakozó laza). A hibakeresési lépéssor: 1. Jogosult személy feszültség alatt, megfelelő (CAT III) műszerrel mérje meg az aktor 230 V-os bemenő kapcsán a feszültséget (F1 állapota). 2. Ha a bemeneten van feszültség, mérje meg a kimeneten is kapcsolás közben. Ha javítani kell, előbb feszültségmentesíts az öt biztonsági szabály szerint. 3. Ellenőrizd a busz feszültségét az aktor kapcsain. 4. Olvasd ki az ETS-ből a csoportcímeket és a letöltés állapotát. 5. Küldj kézzel táviratot a buszra, és figyeld az aktor LED-jét. 6. Ha az aktor reléje nem húz be, cseréld vagy programozd újra az aktort.

20.3.14. Rövid összefoglaló

A busz-alapú épületautomatika a kapcsolási logikát a vezetékezésből a konfigurációba helyezi. A KNX TP rendszer csavart érpárú buszon, 29 V DC tápfeszültség mellett címzett táviratokat küld; a fizikai cím az eszközt, a csoportcím a funkciót azonosítja. Az ETS-projektben készül a címzés, a csoportcímzés és a letöltés. A DALI a világítási komponensek digitális vezérlésére szolgál, tipikusan kétvezetékes buszon; minden DALI-egység címzett, és a rendszer állapot-visszajelzést is ad. A buszos rendszerek előnye a rugalmasság és bővíthetőség, hátrányuk a programozási igény és az összetettebb hibakeresés. A 230 V-os áramköröket a buszos aktorok mögött is a hagyományos szabványok szerint kell méretezni, védeni és mérni. A védővezetőt és a tápellátást soha nem szabad a busz távirataival helyettesíteni. Az Intelligens épület: tervezés, üzembe helyezés, energiahatékonyság alfejezetben ezeket az elveket használjuk az intelligens épület komplex tervezéséhez.

20.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg a KNX és DALI alapfogalmakat a szakterület általánosan ismert, stabil elvei alapján tárgyalja. A pontos szabványszámok, topológiai határok, buszfeszültség-értékek, eszközszám-korlátok és címzési szabályok gyártónként és kiadásonként változhatnak, ezért ezeket a KNX Association és a DALI Alliance aktuális dokumentációjából, valamint a gyártói adatlapokból kell ellenőrizni. A szabványhivatkozásoknál (EN 50090, ISO/IEC 14543, IEC 62386) a pontos részek és kiadások megállapításához az aktuális szabványkatalógust kell használni. A 230/400 V-os szerelési követelményeket az MSZ HD 60364 sorozat aktuális kiadásai és a hazai jogszabályok határozzák meg.

20.4. Intelligens épület: tervezés, üzembe helyezés, energiahatékonyság

20.4.1. Motiváció

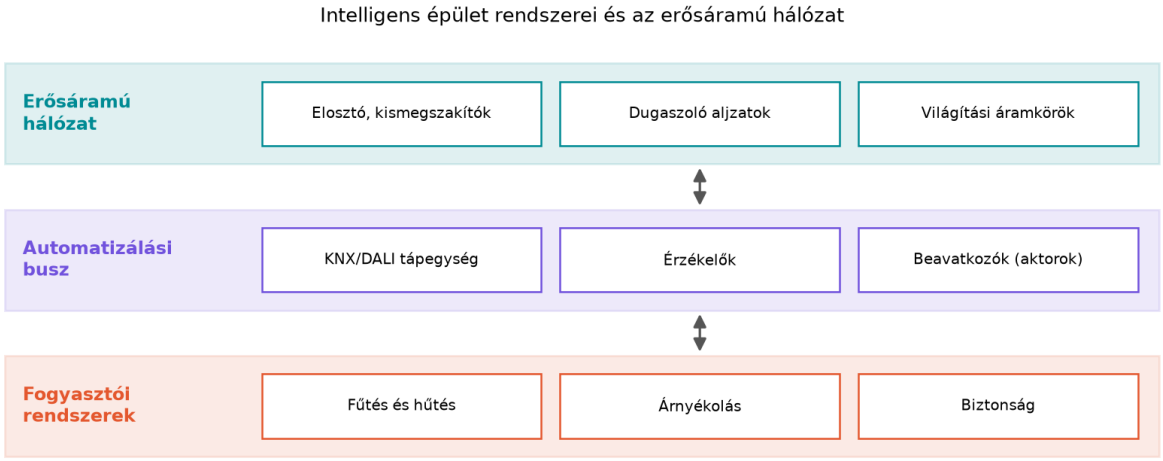
Egy felújított családi házban a tulajdonos csak egy dolgot szeretne: minden funkciót egyetlen felületről – vagy akár automatikusan – vezérelni. Reggel a redőny felmegy, a fűtés a nappali hőmérsékletet hozza, a biztonsági rendszer kikapcsol, este pedig a mozgásérzékelő csak a szükséges helyen kapcsolja a villanyt. Villanyszerelőként nem elég tudni, hogyan kell bekötni egy kapcsolót vagy egy mágneskapcsolót – azt is érteni kell, hogyan épül fel egy buszrendszer, hogyan választjuk el az erősáramú és az automatizálási kábelezést, és hogyan bizonyítjuk az üzembe helyezés során, hogy minden úgy működik, ahogy a megrendelő kérte. Ez az alfejezet a KNX, DALI és más épületautomatikai rendszerek alfejezetre épít, és abból a szempontból tárgyalja az intelligens épületet, hogy a szerelő milyen tervet készít, milyen lépésekkel helyezi üzembe, és hogyan számolja ki, mekkora energia-megtakarítást ér el a rendszer.

20.4.2. Az intelligens épület rendszerei és felépítése

Az intelligens épület nem egyetlen termék, hanem több, egymással kommunikáló alrendszer összessége:

- **Világítás:** kapcsolás, dimmelés, színhőmérséklet-szabályozás, jelenlét-, mozgás- és fényérzékelőkkel. Beavatkozók: DALI/DSI előtétek, KNX aktuátorok, fénydimmer.
- **Árnyékolás:** redőnyök, zsaluziák, függönyök. Érzékelők: időjárás- és nappalifény-mérő, szél- és fagyjelző. Beavatkozók: redőny- vagy zsaluziamotorok.
- **Fűtés, hűtés, szellőzés:** szobai hőmérséklet-érzékelők, termosztátok, szelepmozgatók, hővisszanyerős szellőztető vezérlése, esetleg hőszivattyú vagy kazán illesztése.
- **Biztonság:** nyitásérzékelők, mozgásérzékelők, üvegtörés-jelzők, füst-, szén-monoxid- és vízszivárgás-érzékelők. Beavatkozók: sziréna, zárvezérlők, vészjelzések.
- **Egyéb fogyasztók:** energiafigyelés, dugaszoló aljzatok lekapcsolása, öntözés, szórakoztatóelektronika.

Ezek a rendszerek jellemzően közös buszon kommunikálnak. A KNX, DALI és más épületautomatikai rendszerek alfejezetben megismertük a KNX, DALI és más buszok alapjait. Itt a tervezési és üzembe helyezési kérdésekre koncentrálunk.



20.9. ábra. Intelligens épület rendszerei és az erősáramú hálózat - Réteges ábrázolás: a feladat az erősáramú hálózat és az automatizálási busz elválasztása, valamint a fogyasztók rendszerezése. Érzékelők: jelenlét-, hőmérséklet-, fényérzékelő; beavatkozók: kapcsoló- és dimmeraktorok. A rajz vázlatos, nem méretarányos.

A fenti ábra azt mutatja, hogy a buszrendszer nem helyettesíti az erősáramú hálózatot, hanem fölé épül: a 230 V-os hálózat biztosítja a fogyasztók tápfeszültségét, a busz pedig a vezérlési üzeneteket szállítja. A szerelő feladata a két világ tudatos szétválasztása.

20.4.3. Tervezési vázlat egy lakás automatizálásához

Szabály. A tervezés első lépése a funkciólista és a felhasználói elvárások rögzítése, majd az érzékelők és beavatkozók kiválasztása, végül a kábelezési útvonalak és az elosztó kialakítása.

Egy tipikus lakás vázlata:

- **Nappali:** mennyezeti világítás DALI-val, mozgás- és fényérzékelő, redőnymotor, radiátorszelep-mozgató. Az ablaknál kombinált nyomógomb a világításhoz és a redőnyhöz.
- **Hálószoba:** kapcsolható világítás, ágy melletti nyomógomb, fűtésszabályzó, riasztó nyitásérzékelő.
- **Fürdőszoba:** pára- és hőmérséklet-érzékelő, szellőzőventilátor, fénykapcsoló.
- **Előszoba:** központi kezelőpanel, riasztópanel, mozgásérzékelő, tűzjelző.

A tervben minden elemet referenciajelöléssel látunk el (például `B1` fényérzékelő, `K1` (vagy `A1`) világítási kapcsolóaktor, `M1` redőnymotor), és a buszkábelezést külön színnel, vagy külön vonaltípusban jelöljük. A következő lépés a busz és az erősáramú hálózat kábelezésének megtervezése.

20.4.4. Erősáramú és buszkábelezés elválasztása

Definíció. Az erősáramú hálózat a 230/400 V-os hálózati feszültségű vezetékeket jelenti, míg a buszrendszer – tipikusan SELV/PELV törpefeszültség, például KNX esetén 29 V DC, DALI esetén nem leválasztott, de a gyártói előírás szerint szerelendő – a vezérlési jeleket szállítja. **Elválasztásnak** nevezzük azokat a szerelési intézkedéseket, amelyek megakadályozzák, hogy a két hálózat feszültségszintjei, tranziens zavarai vagy hibái egymásra hassanak.

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések szerelési előírásai (MSZ HD 60364-5-52) és a gyártói adatlapok rögzítik a kábeltípusokat és a minimális távolságokat. Mindig az aktuális szabványkiadás és a gyártói utasítás az irányadó; az itt megadott értékek szemléltető példák **(ellenőrizendő)**.

Szabály. A gyakorlatban a következő elválasztási módokat alkalmazzuk:

1. **Külön csatorna vagy védőcső:** az erősáramú kábel fém vagy műanyag csatornában, a KNX TP buszvezeték (SELV) külön csatornában vagy csőben halad.
2. **Tartótávolság:** párhuzamos szakaszokon legalább 50–100 mm távolságot tartunk, ha nincs árnyékolás; árnyékolt buszkábellel kisebb távolság is megengedett lehet, de gyártói adattól függ **(ellenőrizendő)**.
3. **Keresztezés derékszögben:** a keresztezéseket lehetőleg 90°-ban oldjuk meg, a közelítés hossza minimális legyen.
4. **Árnyékolt buszkábel:** a KNX buszkábel jellemzően árnyékolt (pl. YCYM 2×2×0,8 mm, ahol a 0,8 az érátmérő); az árnyékolást és a kísérőeret a KNX telepítési irányelvek szerint nem kötjük be **(ellenőrizendő: KNX Association / gyártói útmutató)**. A DALI-erek nem SELV-ek: a gyártói útmutató szerint a hálózati erekkel közös kábelben (pl. 5×1,5 mm²: L, N, PE, DA+, DA−) is vezethetők, de hálózati feszültségűként kezelendők **(ellenőrizendő: IEC 62386-101)**.
5. **Leválasztott törpefeszültség:** ha a busz SELV/PELV, akkor a szigetelést és a szerelést olyan módon kell kialakítani, hogy a hálózati feszültségű vezetékekkel ne kerülhessen közvetlenül érintkezésbe.

Indoklás. A zavaró forrás a hálózati kábelben folyó váltakozó áram mágneses tere, valamint a kapcsolási tranziensek és túlfeszültségek. Ha a buszvezeték ezek közelében fut, a kommunikáció megszakadhat, a DALI jelek hibásan értelmeződnek, vagy a rendszer összeomlik. A szétválasztás nemcsak a zavarvédelmet, hanem a szerelési biztonságot is szolgálja: hiba esetén a 230 V ne juthasson át a törpefeszültségű (SELV/PELV) buszkörre.

20.4.5. Üzembe helyezés, tesztelés és dokumentáció

Az üzembe helyezésnél a korábban tanult öt biztonsági szabályt alkalmazzuk, még akkor is, ha a buszrendszer törpefeszültségű – az erősáramú hálózattal közös elosztóban a hálózat lekapcsolása nélkül nem dolgozunk.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

20.4.5.1. Gyakorlati útmutató – buszrendszer üzembe helyezése

Cél: a rendszer minden funkciójának ellenőrzése, a hibák dokumentálása és a biztonságos átadás.

Eszközök: feszültségvizsgáló, multiméter, szigetelési ellenállásmérő, buszdiagnosztikai eszköz (pl. KNX/DALI interfész), gyártói szoftver, laptop.

1. **Feszültségmentesítés az öt biztonsági szabály szerint:** lekapcsolás (a kapcsolótábla főkapcsolója), visszakapcsolás elleni biztosítás, a feszültségmentesség ellenőrzése kétpólusú vizsgálóval (nem fázisceruzával), földelés és rövidre zárás (ha indokolt), a szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

2. **Szemrevételezés:** ellenőrizd, hogy a busz- és erősáramú kábelek elválasztása megfelelő, a kábelek sértetlenek, a sorkapcsok meghúzottak, a vezetékjelölés olvasható.
3. **Szigetelési ellenállás-mérés:** a buszkészülékeket, a busztápot és az elektronikus előtéteket/illesztőket a mérés idejére válaszd le (vagy kövesd a gyártói útmutatót), mert rákötött állapotban károsodhatnak vagy hamis eredményt adnak. SELV/PELV buszkör: 250 V DC mérőfeszültség, $\geq 0{,}5$ MΩ; hálózati kör: 500 V DC, ≥ 1 MΩ **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-6 aktuális táblázata)**. A tápellátás visszakapcsolását jogosult személy végzi.
4. **Tápfeszültség ellenőrzése:** kapcsold be a rendszer tápegységét (jogosult személy által), mérd a kimenő feszültséget a buszra kapcsolás előtt (KNX: 29–31 V DC, DALI: kb. 16 V tipikus, de gyártófüggő; **ellenőrizendő**).
5. **Fizikai címzés:** minden buszeszközt gyári szoftverrel vagy programozógombbal azonosíts, és a terv szerinti egyedi címre állíts.
6. **Paraméterezés:** töltsd be a funkciókat: csoportcímek, időzítések, jelenléti logika, dimmerszintek, redőnyvégállások, fűtési görbék.
7. **Funkcióteszt:** minden érzékelő-bemenetet és beavatkozó-kimenetet tesztelj: nyomd meg a gombokat, ellenőrizd a relé, a dimmer, a redőny, a fűtés működését; DALI lámpáknál ellenőrizd a minimális és maximális dimmerszintet.
8. **Hibanapló:** minden eltérést jegyezz fel, javítsd ki, majd a javítás után ismételt tesztet végezz.
9. **Dokumentálás:** készíts kapcsolási rajzot, címzési listát, paraméter-beállításokat, mérési jegyzőkönyvet; a szoftveres projektet mentsd el és adj át a tulajdonosnak.

A gyakorlat során a hálózatot csak akkor kapcsolhatod vissza, ha a munkát befejezted, a földelést/rövidzárat és a lefedéseket eltávolítottad, a burkolatok a helyükön vannak, és mindenki tud a visszakapcsolásról.

20.4.6. Energiamegtakarítás számítása és megtérülés

Az intelligens épület egyik fő érve az energiamegtakarítás. A leggyakoribb számítás a világítási és fűtési energia csökkentése.

Összefüggés. Az éves energiafogyasztás a névleges teljesítmény és az üzemórák szorzata:

$$E = P_{\text{névl}} \cdot t_{\text{üzem}}.$$

Ha az automatizálás csökkenti a tényleges használati időt vagy a leadott teljesítményt (dimmelés, hőmérséklet-csökkentés távollétkor), akkor a megtakarított energia:

$$E_{\text{megt}} = P_{\text{névl}} \cdot t_{\text{üzem}} \cdot \left(1 - \frac{t_{\text{valós}}}{t_{\text{üzem}}}\right) = E \cdot r_{\text{megt}},$$

ahol r_{megt} a megtakarítási arány (pl. $0{,}30 = 30\ \%$). A pénzben kifejezett éves megtakarítás:

$$S_{\text{Ft}} = E_{\text{megt}} \cdot c_{\text{e}},$$

ahol c_{e} az elektromos energia ára Ft/kWh-ban. Az egyszerű megtérülési idő pedig:

$$T_{\text{megt}} = \frac{B}{S_{\text{Ft}}} \quad \text{(év)},$$

ahol B a beruházás teljes költsége.

Példa. Egy lakás világítási rendszere összesen 0,5 kW névleges teljesítményű. A régi kapcsolás napi 5 órán át égette a lámpákat, évente 365 napon keresztül:

$$E = 0{,}5\,\text{kW} \cdot 5\,\text{h/nap} \cdot 365\,\text{nap} = 912{,}5\,\text{kWh/év}.$$

Jelenlét-érzékelők és DALI-dimmelés hatására a tényleges használat 30%-kal csökken (a lámpák csak akkor égnek, ha valaki a helyiségben van, és fényerő-szabályozással a fényforrás kisebb teljesítményt vesz fel). A megtakarítás:

$$E_{\text{megt}} = 912{,}5\,\text{kWh} \cdot 0{,}30 = 273{,}75\,\text{kWh/év}.$$

Ha az áram ára 70 Ft/kWh **(ellenőrizendő: aktuális tarifa)**, az éves pénzbeli megtakarítás:

$$S_{\text{Ft}} = 273{,}75\,\text{kWh} \cdot 70\,\text{Ft/kWh} \approx 19\,163\,\text{Ft/év}.$$

Ha a világítás-automatizálás beruházása (érzékelők, aktuátorok, programozás, kábelezés) 120 000 Ft **(ellenőrizendő: piaci árak)**, a megtérülési idő:

$$T_{\text{megt}} = \frac{120\,000\,\text{Ft}}{19\,163\,\text{Ft/év}} \approx 6{,}3\,\text{év}.$$

Ez elfogadható lehet, de a valódi megtérülés a használati szokásoktól és az energiaáraktól függ. Fűtésnél a megtakarítás nagyságrenddel nagyobb lehet, de ott a fűtési rendszer típusát (hőszivattyú, gáz) és a hőszükségletet is számításba kell venni.

20.4.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy irodaház felújítása során a villanyszerelő a KNX buszt és az erősáramú kábeleket – takarékosságból – közös kábeltálcára fektette, a buszvezetéket nem a KNX-előírás szerinti, árnyékolt buszkábellel vezette, és a párhuzamos szakaszok hossza több méter volt. Az üzembe helyezéskor a KNX-nyomógombok parancsai szakaszosan elvesztek, az ETS-buszmonitor ismételt táviratokat mutatott. A mérési hibakeresés során a buszfeszültség a tápegységnél névleges volt, de a hibás szakaszon jelentős, 50 Hz-es zavar volt megfigyelhető. A megoldás az volt, hogy a buszkábelt külön, fémtálcán vezették (az árnyékolást és a kísérőeret a KNX-irányelv szerint nem kötötték be), és a keresztezéseket derékszögben alakították ki **(ellenőrizendő: KNX telepítési irányelv)**. A zavar megszűnt, a KNX-kommunikáció stabil lett. Ez az eset jól mutatja, hogy az elválasztási szabályok nem papírmunkák, hanem a rendszer működőképességét garantálják.

20.4.8. Tipikus hibák

1. **Közös csatorna erősáramú és buszvezetéknek.** Az erősáramú kábel induktív és kapacitív zavarokat kelt; a buszrendszer hibásan működik. Helyes: külön szerelés, árnyékolt kábel.
2. **A buszvezeték polaritásának felcserélése.** A KNX busznál gyakran piros-fekete vezetékpár; a felcserélés a készülék hibás működését, kommunikációs hibát okoz. Helyes: a tápegység és az eszközök bekötésénél mindig ellenőrizni a színkódot és a polaritást.
3. **A funkcióteszt elhagyása vagy a dokumentáció hiánya.** A későbbi hibakeresés lehetetlenné válik, a megrendelő nem tudja átvenni a rendszert. Helyes: minden tesztet jegyzőkönyvben rögzíteni, a szoftverprojektet elmenteni.

20.4.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az intelligens épületben a buszrendszer teljesen kiváltja a hagyományos 230 V-os erősáramú hálózatot. Indokolj.
2. Miért fontos az erősáramú és a buszkábelezés elválasztása? Nevezd meg a legfontosabb fizikai okot.
3. Egy iroda világítási fogyasztása 4 MWh/év. Ha a jelenlét-érzékelőkkel 25%-ot takarítunk meg, mennyi lesz az új fogyasztás?
4. Milyen mérési lépést végzel a busztápfeszültség visszakapcsolása előtt?

20.4.10. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel az intelligens épület négy fő rendszerét, és adj meg mindegyikhez egy-egy tipikus érzékelőt és beavatkozót.

2. feladat (A). Nevezz meg három módot az erősáramú és a buszkábelezés elválasztására.

3. feladat (B). Egy irodai folyosó 240 W-os világítását jelenlét-érzékelő naponta átlagosan 2 órával rövidebb ideig működteti (250 munkanap/év). Mennyi az éves energia-megtakarítás? Adj választ Wh-ban és kWh-ban.

4. feladat (B). Egy lakás világítási fogyasztása 800 kWh/év. A DALI + jelenlét-érzékelő rendszer után 560 kWh/év. a) Számítsd ki a megtakarítás százalékát. b) Mennyi az éves pénzbeli megtakarítás, ha az áram ára 70 Ft/kWh? (ellenőrizendő)

5. feladat (C). Egy KNX-rendszerben a busztáp 29 V DC-t ad, de a hálózati feszültségű vezetékekkel egy vályúban vezetett buszkábelen a szoftver szakaszos buszhibát jelez. Milyen hibalehetőségeket és milyen méréseket végzel? (Tételezzük fel, hogy a telepítés előtt az elválasztási szabályt nem tartották be.)

6. feladat (D). Tervezz meg egy kis lakás automatizálási vázlatát (szövegesen vagy ábrával): világítás, árnyékolás, fűtés, biztonság. Sorold fel a szükséges érzékelőket és beavatkozókat, és jelöld, hol választod el az erősáramú és a buszkábelezést. Ez a tervezési feladat előkészíti a záró részek komplex feladatait.

20.4.11. Megoldások

20.4.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A buszrendszer a vezérlési jeleket szállítja, de a fogyasztók (lámpák, motorok, fűtés) továbbra is a 230 V-os hálózatból kapják a táplálást.
2. Az erősáramú vezetékben folyó váltakozó áram és a kapcsolási tranziensek zavaró mágneses és elektromos teret keltenek, ami a busz kommunikációját megzavarhatja.
3. $4{,}0\,\text{MWh} \cdot 0{,}75 = 3{,}0\,\text{MWh/év}$.
4. Szigetelési ellenállás-mérést a buszkészülékek, a busztáp és az elektronikus illesztők leválasztása után kell végezni (SELV/PELV buszkör: 250 V DC, $\geq 0{,}5\ \text{M}\Omega$; **ellenőrizendő: MSZ HD 60364-6**), majd a tápegység kimenő feszültségét ellenőrizni, mielőtt a buszt rákapcsoljuk.

20.4.11.2. 1. feladat (A)

- Világítás: érzékelő – jelenlét-, fényérzékelő; beavatkozó – DALI-dimmer.
- Árnyékolás: érzékelő – időjárás-érzékelő, szélmérő; beavatkozó – redőnymotor.
- Fűtés/hűtés: érzékelő – hőmérséklet-érzékelő; beavatkozó – szelepmozgató, termosztát.
- Biztonság: érzékelő – mozgás-, nyitásérzékelő; beavatkozó – sziréna, zárvezérlő.

20.4.11.3. 2. feladat (A)

Külön csatorna vagy védőcső, tartótávolság tartása (pl. 50–100 mm), árnyékolt buszkábel alkalmazása, keresztezések derékszögben.

20.4.11.4. 3. feladat (B)

A napi megtakarított idő: 2 h. A megtakarított energia naponta:

$$E_{\text{nap}} = 240\,\text{W} \cdot 2\,\text{h} = 480\,\text{Wh}.$$

Éves szinten:

$$E_{\text{éves}} = 480\,\text{Wh} \cdot 250 = 120\,000\,\text{Wh} = 120\,\text{kWh}.$$

20.4.11.5. 4. feladat (B)

a) A fogyasztáscsökkenés: $800 - 560 = 240\,\text{kWh/év}$. A megtakarítás aránya:

$$\frac{240}{800} \cdot 100 = 30\,\%.$$

b) Az éves pénzbeli megtakarítás:

$$S = 240\,\text{kWh} \cdot 70\,\text{Ft/kWh} = 16\,800\,\text{Ft/év}.$$

(Ez a számítás az energiaárat adottnak veszi; a tényleges tarifát ellenőrizni kell.)

20.4.11.6. 5. feladat (C)

A hiba jellege szakaszos buszhiba, ami zavarérzékenységre utal. A lehetséges okok:

- Az erősáramú kábelek és a busz közelsége miatt induktív/csatorna-csatolás.
- A buszkábel nem a KNX-előírás szerinti (árnyékolt, csavart érpárú) kábel.
- Hosszú, párhuzamos szakaszok kedvezőtlen elrendezésben.
- Sérült vagy rosszul meghúzott sorkapcsok.

Mérések:

- Buszfeszültség oszcilloszkóppal a zavarforrás közelében; ha 50 Hz-es moduláció látható, a zavar jelen van.

- Szigetelési ellenállás mérése az erősáramú és a buszvezeték között, a buszeszközök leválasztása után, a gyakorlati útmutató 3. lépése szerint.
- Folytonosságmérés a sorkapcsoknál.
- A gyártói diagnosztikai szoftverrel buszminőség-vizsgálat.

Javítás: a buszkábelt külön, lehetőleg fém védőcsőben vagy árnyékolt kivitelben vezetni, a távolságot növelni, a keresztezéseket derékszögben kialakítani, az árnyékolást és a kísérőeret a KNX telepítési irányelv szerint nem kötjük be **(ellenőrizendő: KNX Association / gyártói útmutató)**. Ezután ismételt teszt.

20.4.11.7. 6. feladat (D)

Például egy kétszobás lakás terve:

- **Nappali:** DALI mennyezeti világítás, kombinált fény- és jelenlét-érzékelő, redőnymotor, falon KNX nyomógomb. Az erősáramú tápkábel a redőnymotort táplálja, a buszkábel a nyomógombtól a buszhoz megy.
- **Hálószoba:** világítási kör, hőmérséklet-érzékelő, radiátorszelep-mozgató. A buszvezetéket külön, a hálózati kábelektől legalább 10 cm távolságra vezetjük, közös csatornában nem.
- **Előszoba:** központi betáp, busztáp, IP-kapcsoló, riasztóközpont. Itt az elosztóban külön sínre kerülnek a modulok.
- **Biztonság:** mozgásérzékelő az előszobában, nyitásérzékelők ajtókon, sziréna. A riasztóbusz lehet a KNX-busz része, de a gyártói előírás szerint.

A kábelezési terven az erősáramú kábelek vastag, a buszkábelek vékony vonallal szerepelnek, a keresztezések derékszögben, a tartótávolságokkal. Az elosztóban a busztáp törpefeszültségű részét elkülönítve, a hálózati sorkapcsoktól távol helyezzük el.

20.4.12. Rövid összefoglaló

Az intelligens épület tervezésekor a szerelő a világítás, árnyékolás, fűtés, biztonság és egyéb rendszerek igényeit gyűjti össze, majd buszrendszerrel (KNX, DALI) köti össze az érzékelőket és beavatkozókat. A legfontosabb szerelési szabály az erősáramú hálózat és a buszkábelezés elválasztása: külön csatorna, tartótávolság, árnyékolt kábel, derékszögű keresztezés. Az üzembe helyezés az öt biztonsági szabály után szemrevételezéssel, szigetelési ellenállásméréssel, busztáp-ellenőrzéssel, címzéssel, paraméterezéssel, funkcióteszttel és dokumentációval zárul. Az energiamegtakarítás a névleges teljesítmény, az üzemidő és a csökkentési arány szorzatából számítható, a megtérülési idő a beruházás és az éves megtakarítás hányadosa. Minden konkrét paramétert (feszültségek, távolságok, energiaárak) az aktuális szabvány és gyártói adatlap alapján kell ellenőrizni. Az itt tárgyalt tervezési és üzembe helyezési módszert a könyv záró, gyakorlati vizsgafelkészülési részei tovább mélyítik.

20.4.13. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezethez kapcsolódó szabványok és gyártói dokumentációk a következők (ellenőrizendő): MSZ HD 60364-5-52 – kábelek és vezetékek szerelése; MSZ EN 60669, MSZ EN 61439; a KNX és DALI szövetségek aktuális szerelési és tanúsítási útmutatói. A számításokban használt energiaárat és beruházási költségeket a helyi viszonyok és az aktuális tarifák szerint ellenőrizni kell. A megadott buszfeszültség-értékek (KNX 29–31 V DC, DALI 16 V tipikus) gyártófüggőek, ezért a konkrét eszközök adatlapját kell mindig használni.

V. RÉSZ – Hibavédelem, földelés, villámvédelem és ellenőrzés

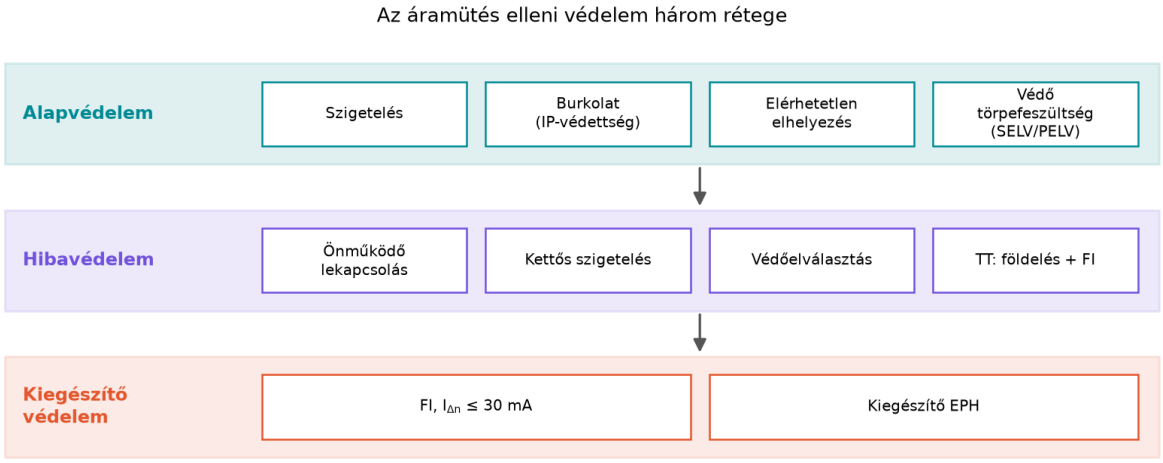
21 Áramütés elleni védelem

21.1. Alapvédelem, hibavédelem, kiegészítő védelem

A villanyszerelő a munkahelyén gyakran találkozik régi tervekkel, régi elosztókkal és olyan szóhasználattal, amely már nem egyezik a mai szabványokkal. Az ügyfél „érintésvédelemről”, „nullázásról” vagy „védőföldelésről” beszél, a mai terv pedig alapvédelemről, hibavédelemről és kiegészítő védelemről. Ha nem értjük ezeknek a fogalmaknak a pontos tartalmát, rosszul tervezünk, hibásan szerelünk, és akár életveszélyes állapotot is létrehozhatunk. Ez az alfejezet azt tanítja meg, hogyan gondolkodjunk az áramütés elleni védelemről mai, szabványos szemlélettel, és hogyan fordítsuk le a régi kifejezéseket.

21.1.1. Szemléltetés: a védelem három rétege

Az áramütés elleni védelem nem egyetlen eszközből áll, hanem egymásra épülő rétegekből. Képzeld el úgy, mint egy védelmi hagymát: a legbelső réteg a hibamentes, normál üzemre vonatkozik; ha ez megsérül, a következő rétegnek kell mentenie; ha még ez sem elég, a harmadik réteg ad többletvédelmet.



21.1. ábra. Az áramütés elleni védelem három rétege - A három védelmi réteg egymásra épül: az alapvédelem a hibamentes állapotra, a hibavédelem a hibaállapotra, a kiegészítő védelem a két réteg esetleges kudarcára ad többletvédelmet. Az önműködő lekapcsolás PE-vel és túláramvédelemmel vagy FI-vel működik; a kettős szigetelés (II. érintésvédelmi osztály) kiegészítő szigetelése a hibavédelemhez tartozik. A kettős szigetelés, a védőelválasztás és a SELV/PELV teljes védelmi mód: alap- és hibavédelmi elemet is tartalmaz; az ábra a kettős szigetelést és a védőelválasztást a hibavédelmi elemük szerint, a SELV/PELV-t (a feszültség korlátozása miatt) az alapvédelem sorában mutatja. A TT-rendszerben a FI az önműködő lekapcsolás eszköze, tehát hibavédelem. (Sematikus ábra, nem tervdokumentáció.)

Az ábra azt mutatja, hogy az alapvédelem a normál üzemre, a hibavédelem a hibahelyzetre, a kiegészítő védelem pedig a maradék kockázatra válaszol. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy egy ép szigetelésű, elérhetetlen helyre szerelt vezeték alapvédelmet ad; ha mégis testzárlat keletkezik, a védővezető és a megszakító hibavédelmet; ha pedig a fürdőszobában egy hajszárítót ejtenek a vízbe, a 30 mA-es FI kiegészítő védelmet.

21.1.2. Definíciók és a hármas tagolás

Definíció. Közvetlen érintés: az emberi test olyan, szigeteletlen, feszültség alatt álló részt érint meg, amelynek normál üzemben is feszültsége van (például a fázisvezető csupasz rézere).

Definíció. Közvetett érintés: az emberi test olyan, normál üzemben feszültségmentes részt érint meg, amely csak hiba (például szigetelési hiba, testzárlat) következtében kerül feszültség alá. Tipikus példa a motorszivattyú fémteste.

Definíció. Alapvédelem (basic protection): a közvetlen érintés elleni védelem. Célja, hogy a feszültség alatt álló részek normál üzemben ne legyenek megérinthetők. Ide tartozik a szigetelés, a zárt burkolat és az elérhetetlen elhelyezés; a védő törpefeszültség (SELV/PELV) önálló védelmi mód, amely a feszültség korlátozásával az alap- és a hibavédelmet egyszerre adja.

Definíció. Hibavédelem (fault protection): a közvetett érintés elleni védelem. Célja, hogy ha hiba következtében egy test feszültség alá kerül, az áramütés kockázata ne álljon fenn vagy azonnal lekapcsoljon a hiba. Ide tartozik az automatikus lekapcsolás, a kettős vagy megerősített szigetelés, a védőelválasztás és a védőföldeléssel kombinált FI.

Definíció. Kiegészítő védelem (additional protection): olyan védelmi intézkedés, amely az alapvédelem és a hibavédelem mellett további biztonságot ad, különösen laikusok, gyermekek, nedves helyiségek vagy hordozható eszközök esetén. Leggyakoribb eleme a legfeljebb 30 mA névleges hibaáramú áram-védőkapcsoló (FI), és a kiegészítő egyenpotenciálra hozás.

Szabvány. A mai magyarországi és európai gyakorlatban az áramütés elleni védelmet az MSZ HD 60364-4-41 sorozat és az MSZ EN 61140 szerint három kategóriára osztjuk: alapvédelemre, hibavédelemre és kiegészítő védelemre. A korábbi magyar szóhasználatban a „közvetlen érintés elleni védelem” feleltethető meg az alapvédelemnek, a „közvetett érintés elleni védelem” a hibavédelemnek, a „kiegészítő védelem” pedig részben új fogalom. A régi „érintésvédelem” szó általában a hibavédelmet jelentette, de a mai szabványok ezt a szót kerülik, mert nem egyértelmű. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadások és pontos megnevezések.)**

21.1.3. A régi és a mai terminológia megfeleltetése

A régi dokumentációkban és a szakmai köznyelvben még ma is gyakran hallani az alábbi kifejezéseket. Ezeket a mai szabványos nyelvre így fordíthatjuk le:

Régi: „érintésvédelem”. Általában a közvetett érintés elleni védelmet, azaz a mai hibavédelmet jelentette. A régi „érintésvédelem” nem tartalmazta az alapvédelmet, és a kiegészítő védelmet sem a mai értelemben. **Régi: „nullázás”.** Olyan hibavédelmi megoldás, amelynél a készülék testét a hálózat PEN-vezetőjéhez vagy a nullavezetőhöz kötötték, hogy a testzárlat rövidzárlatot okozzon, és a túláramvédelem lekapcsoljon. A mai TN-rendszerekben ennek a szerepét a védővezető (PE) és a túláramvédelem vagy FI látja el. A „nullázás” kifejezést ma már nem használjuk a szabványban, mert a nullavezető és a védővezető szétválasztása miatt félrevezető lehet. **Régi: „védőföldelés”.** Kettős jelentésű volt: jelenthette a fémtest közvetlen földelését (TT-rendszerben), vagy a védővezetőhöz kötést. Mai értelemben a védőföldelés a test és a földelő közötti fémes kapcsolat, amely a hibavédelem része. **Régi: „FI-relé”.** A mai hivatalos

megnevezés áram-védőkapcsoló (RCD). Az FI-relé köznyelvi név, a gyakorlatban mindenki érti, de a tervdokumentációban lehetőleg az RCD vagy áram-védőkapcsoló kifejezést használjuk.

21.1.4. Alapvédelem a gyakorlatban

Az alapvédelem a tervezés és a szerelés legegyszerűbb, de legfontosabb rétege. Célja, hogy a feszültség alatt álló részeket senki ne érhesse meg szándékosan vagy véletlenül.

Alapvédelem módjai:

- **Szigetelés:** a vezetőt szigetelőanyaggal burkoljuk (például PVC, XLPE). A szigetelésnek a gyártói adatok szerinti feszültségre, hőmérsékletre és mechanikai igénybevételre alkalmasnak kell lennie. A sérült, repedt, elöregedett szigetelést azonnal javítani kell.
- **Burkolat és védettség:** a szerkezeti elemek (elosztószekrény, sorkapocs, kapcsoló) olyan zárt házat kapnak, amely megakadályozza a feszültség alatt álló részek érintését. A védettség IP-kódját az MSZ EN 60529 szerint kell megválasztani **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**.
- **Elhelyezés elérhetetlen távolságban:** szabadvezetéknél, gyűjtősínnél vagy nyitott kapcsolóberendezésnél a feszültség alatt álló részeket olyan magasságban vagy térrészben kell elhelyezni, ahová a kezünkkel, szerszámmal, létrával nem érhetünk el. Ez a módszer ipari elosztókban jellemző, nem lakossági környezetben.
- **Védő törpefeszültség (SELV/PELV):** a tápfeszültséget biztonságos, legfeljebb jellemzően 50 V AC vagy 120 V DC értékre csökkentjük **(ellenőrizendő: pontos határérték a környezettől függ)**, és a feszültségforrást galvanikusan leválasztjuk. Ekkor a feszültség alatt álló rész megérintése sem okoz veszélyes testáramot. Ezt a témakört bővebben a Védőkisfeszültség, II. osztály, védőelválasztás és egyéb módok alfejezetben tárgyaljuk.

21.1.5. Hibavédelem a gyakorlatban

A hibavédelem akkor lép működésbe, ha az alapvédelem valamelyik eleme meghibásodik, például egy motor belső szigetelése testzárlatossá válik. A hiba következtében a motor fémteste feszültség alá kerülhet; ezt a fémtestet a szabványos szóhasználat „testnek” nevezi.

Definíció. Test: a villamos készülék olyan, ember által megérinthető vezető (általában fém) része, amely normál üzemben nincs feszültség alatt, de hibánál feszültség alá kerülhet.

Definíció. Testzárlat: a fázisvezető vagy más feszültség alatt álló rész és a test közötti véletlen, fémes vagy íves kapcsolat.

Ha egy test testzárlat miatt feszültség alá kerül, és egy ember megérinti, közvetett érintés jön létre. A hibavédelem feladata, hogy ilyenkor megakadályozza a veszélyes testáram kialakulását.

Példa (közvetlen érintés). Egy hosszabbító vezeték szigetelése megsérült, a rézér szabaddá vált. Egy felnőtt kézzel megérinti a fázisvezetőt. A testellenállás legyen $R_b = 1{,}5\,\mathrm{k\Omega}$. A testáram:

$$I_b = \frac{U}{R_b} = \frac{230\,\mathrm{V}}{1{,}5\,\mathrm{k\Omega}} = \frac{230}{1500}\,\mathrm{A} \approx 0{,}153\,\mathrm{A} = 153\,\mathrm{mA}.$$

Ez az áram messze a veszélyes tartományban van, hiszen 50 mA felett már szívkamra-fibrilláció alakulhat ki. Az alapvédelem (ép szigetelés, zárt burkolat) éppen ezt a helyzetet akadályozza meg. ∎

Példa (közvetett érintés, hibavédelem nélkül). Egy mosógép belső fázisvezetője a rezgés következtében kidörzsölődött, és hozzáér a mosógép fémdobjához. A fémdob normál üzemben

feszültségmentes, de most $U_t = 230\,\mathrm{V}$ érintési feszültségre kerül. Ha egy ember megérinti a mosógép dobját, és a testellenállása $R_b = 1\,\mathrm{k\Omega}$, a testáram:

$$I_b = \frac{U_t}{R_b} = \frac{230\,\mathrm{V}}{1\,\mathrm{k\Omega}} = 230\,\mathrm{mA}.$$

Ez azonnali, életveszélyes áramütést okozhat. Ha azonban a mosógép fémteste a PE-védővezetőre van kötve, a testzárlat a fázis–védővezető hurkon keresztül rövidzárlatot hoz létre, és a kismegszakító vagy a FI lekapcsolja az áramkört. Ez a hibavédelem. ∎

21.1.6. Kiegészítő védelem

A kiegészítő védelem nem helyettesíti sem az alapvédelmet, sem a hibavédelmet, hanem további biztonságot nyújt olyan helyzetekben, ahol a két fő védelmi réteg ellenére is nagy a kockázat. Ilyen helyzet például:

- a fürdőszoba, ahol a víz csökkenti a testellenállást, és a testzárlat következménye súlyosabb;
- hordozható, gyakran mozgatott, sérülékeny eszközök (fűnyíró, fúrógép, hajszárító);
- gyermekek által is használt dugaszoló aljzatok;
- kültéri, nedves, erősen vezető környezet.

Leggyakoribb kiegészítő védelmi elemek:

- **30 mA névleges hibaáramú FI (RCD):** ha a fázis és a nulla áramának különbsége eléri a névleges 30 mA-t (a gyakorlatban már 15–30 mA között), az eszköz rövid időn belül lekapcsol. Ez a védelem akkor is működik, ha az ember közvetlenül érint meg egy fázisvezetőt, vagy ha a testzárlat következtében a testen át folyik áram. A FI azonban nem véd meg minden esetben, és soha nem pótolja a védővezetőt vagy a szigetelést.
- **Kiegészítő egyenpotenciálra hozás:** a fürdőszobában a fém kád, zuhanytálca, fűtőtest, vízcső, villamos földelő- és védővezetők közötti feszültségkülönbséget csökkenti, így az érintési feszültség kicsi marad.
- **Nem tartozik ide a kiegészítő szigetelés:** a II. érintésvédelmi osztály (kettős vagy megerősített szigetelés) kiegészítő szigetelése nem kiegészítő védelem, hanem a hibavédelem része.

Példa (kiegészítő védelem hatása). Egy fürdőszobai hajszárító sérült vezetékét véletlenül megérinti egy gyermek. A fázisvezető és a föld közötti hibaáram a testen keresztül folyik, de a FI már 30 mA-nél lekapcsol. A FI nem korlátozza a testáram nagyságát (nedves bőrnél, 230 V és 1 kΩ esetén akár 230 mA is folyhat), de néhány tíz ms alatt lekapcsol, így az áram–idő szorzat a veszélyes tartomány alatt marad **(ellenőrizendő: MSZ EN 60479-1 áram–idő tartományai)**. A FI itt kiegészítő védelmet ad, nem pedig hibavédelmet, mert a hiba nem a készülék testén, hanem közvetlenül a vezetőn keresztül jött létre. ∎

21.1.7. Összefüggések és védelmi szemlélet

A három védelmi réteg nem felcserélhető, és nem pótolhatja egymást. A tervezés és a szerelés során mindig az alábbi sorrendben kell gondolkodni:

1. **Először az alapvédelem:** minden feszültség alatt álló rész legyen szigetelt, burkolt vagy elérhetetlen. Ha az alapvédelem hiányzik, a többi réteg csak kockázatcsökkentő.

2. **Másodszor a hibavédelem:** minden érinthető vezető testet kössünk be a védőrendszerbe (PE, PEN), vagy lássuk el dupla szigeteléssel, védőelválasztással. Ha a hibavédelem hiányzik, a testzárlat életveszélyes marad.
3. **Végül a kiegészítő védelem:** ahol a környezet, a használat vagy a laikusok jelenléte indokolja, építsünk be 30 mA-es FI-t és/vagy kiegészítő EPH-t.

Továbbvitt eredmény. A hármas tagolás alapozza meg a későbbi védelmi fejezeteket: a Hálózati rendszerek: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT alfejezetben a hibavédelem hálózati feltételeit, az Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel alfejezetben a lekapcsolási időket és a hurokimpedancia feltételt, az Áram-védőkapcsoló (FI) és kiegészítő védelem alfejezetben a FI működését és határait, a Védőkisfeszültség, II. osztály, védőelválasztás és egyéb módok alfejezetben pedig az alapvédelem speciális módozatait.

21.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasházi lakás felújításakor a szerelő azt tapasztalja, hogy a régi villanybojler fémköpenye a PEN-vezetőre van kötve, külön védővezető nincs, és az elosztóban FI sincs. Az ügyfél kéri, hogy „az érintésvédelmet nézze meg, mert néha megráz a zuhanyzóban”.

Mivel a panasz aktív veszélyhelyzetre utal, a szerelő az öt biztonsági lépés szerint jár el: leválasztja a kört a mérőhely utáni főkapcsolóval, biztosítja a visszakapcsolás ellen, kétpólusú feszültségvizsgálóval megállapítja a feszültségmentességet, szükség esetén földel és rövidre zár, a szomszédos feszültség alatt maradó részeket pedig lefedi. Ezután méri a szigetelési ellenállást a bojler felé. A mérés kimutatja, hogy a fűtőbetét testzárlatos. A régi úgynevezett nullázás csak akkor működne, ha a PEN-vezető végig hibátlan, és a testzárlat elég nagy zárlati áramot hoz létre a kismegszakító lekapcsolásához. Ha a PEN-vezető a mérő előtt megszakad, a bojler teste teljes fázisfeszültségre kerülhet, és a zuhanyzóban álló, földelt vízcsőhöz érve az emberen át záródik az áramkör.

A hiba gyökere, hogy a bojler teste a PEN-vezetőre van kötve, külön PE nincs. A helyes megoldás: a fürdőszobai körhöz külön PE-vezető kiépítése, a PEN szétválasztása az elosztóban (TN-C-S), a testzárlatos fűtőbetét (vagy a bojler) cseréje, a fürdőszobában kiegészítő egyenpotenciálra hozás, az elosztóban pedig 30 mA-es FI beépítése a fürdőszobai áramkörre. A régi „érintésvédelem” tehát nem feleltethető meg automatikusan a mai hibavédelemnek, és a „nullázás” kifejezés mögött sokszor korszerűtlen, veszélyes megoldás rejtőzik.

21.1.9. Tipikus hibák

1. hiba: A FI-t alapvédelemnek tekintik. Sokan azt hiszik, ha van FI, elhagyható a szigetelés vagy a védővezető. A FI csak akkor lép működésbe, ha már van hibaáram, tehát nem gátolja meg a feszültség alatt álló rész megérintését, és nem pótolja a védővezetőt. **Helyes gyakorlat:** a FI nem pótolja a szigetelést és a védővezetőt; TN-rendszerben kiegészítő védelemként, TT-rendszerben a földeléssel együtt hibavédelemként (önműködő lekapcsolásként) építjük be, mindig az alapvédelem és a védővezető megléte mellett.

2. hiba: A régi „nullázás” és a mai védővezetős rendszer összekeverése. A nullázásnál a test PEN-re kötése azt eredményezi, hogy a PEN szakadása esetén a test feszültség alá kerül. A mai TN-S rendszerben a PE és az N külön van, és a védővezető soha nem terhelőáramot visz. **Helyes gyakorlat:** a régi kifejezéseket lefordítjuk, de a szerelést a mai szabvány szerint végezzük: külön PE, FI, kiegészítő EPH.

3. hiba: Az érintésvédelmet csak a fi-relével azonosítják. A FI fontos kiegészítő védelem, de a hibavédelem önmagában a túláramvédelemmel is működhet TN-rendszerben. A FI nélküli, de jó védővezetős TN-rendszer is lehet szabványos hibavédelem, míg a FI nem teszi szabványossá a rossz védővezetős rendszert. **Helyes gyakorlat:** mindig a teljes védelmi láncot vizsgáljuk: szigetelés, védővezető, hurokimpedancia, megszakító/FI.

4. hiba: A kiegészítő egyenpotenciálra hozást nem kötik be a fürdőszobában. Ha a vízcső és a villamos védővezető között nincs összekötés, akkor egy testzárlatos készülék érintésekor az emberen keresztül nagy feszültségkülönbség léphet fel. **Helyes gyakorlat:** a fürdőszobában minden érinthető vezető fémszerkezetet be kell kötni a kiegészítő EPH-ba.

21.1.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az alapvédelem a közvetlen érintés ellen, a hibavédelem a közvetett érintés ellen véd. Indokold!
2. Mi a különbség a test és a testzárlat között?
3. Egy készülék fémteste testzárlat miatt 230 V-ra kerül. Az emberi test ellenállása 2 kΩ. Mekkora testáram folyik? Veszélyes-e?
4. Melyik védelemnek része a 30 mA-es FI? Helyettesítheti-e a védővezetőt?
5. Miért félrevezető a régi „nullázás” kifejezés a mai TN-S rendszerben?
6. Sorolj fel legalább három alapvédelmi módot!

21.1.11. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld röviden az alapvédelem és a hibavédelem közötti különbséget, és adj mindkettőre egy-egy gyakorlati példát!

2. feladat (A). Számítsd ki a testáramot, ha az érintési feszültség $U_t = 230\,\mathrm{V}$, és a testellenállás a) $R_b = 2\,\mathrm{k\Omega}$ (száraz bőr, 230 V-on a bőr átüt, a testimpedancia 1–2 kΩ körüli; ellenőrizendő: MSZ EN 60479-1), b) $R_b = 1\,\mathrm{k\Omega}$ (nedves bőr). Értelmezd az eredményt az áramütési határértékek alapján!

3. feladat (B). Egy mosógép fázisvezetője testzárlatos, a hurok névleges feszültsége $U_0 = 230\,\mathrm{V}$. A teljes hibahurok impedanciája (a védővezetővel együtt) $Z_s = 1{,}2\,\Omega$ (egyszerűsített érték), ebből a védővezető ellenállása $R_{PE} = 0{,}5\,\Omega$. a) Mekkora hibaáram folyik a hurokban? b) Mekkora a test érintési feszültsége a lekapcsolásig? c) Lekapcsol-e gyorsan a B karakterisztikájú, 16 A névleges áramú kismegszakító? (Továbbvitt eredmény: a hibavédelem alapja.)

4. feladat (B). Készíts vázlatot vagy táblázatot a három védelmi réteghez, és mindegyikhez sorolj fel legalább két-két védelmi intézkedést! Jelöld meg, melyik réteg mire lép működésbe.

5. feladat (C). Régi, TN-C rendszerű elosztóban a villanybojler teste a PEN-vezetőre van kötve, FI nincs. Mi történik, ha a PEN-vezető a mérőhely előtt megszakad? Indokold, miért veszélyes, és melyik mai védelmi intézkedés (helyes hálózati kialakítás, FI, EPH) hogyan csökkenti a kockázatot!

6. feladat (D). Helyszíni bejáráson egy fürdőszobában azt látod, hogy a fém kád nincs bekötve a kiegészítő EPH-ba, az aljzati körön nincs FI, és a vízcső csak egy régi földelőszondához csatlakozik. Milyen védelmi hiányosságokat állapítasz meg? Milyen sorrendben javasolsz javításokat? (Biztonsági szempontból indokold.)

21.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** Az alapvédelem a szigeteléssel, burkolattal, elhelyezéssel a normál üzemben feszültség alatt álló részek érintését akadályozza; a hibavédelem akkor lép működésbe, ha hiba miatt a test válik feszültség alá.
2. **Test** az ember által megérinthető, normál üzemben feszültségmentes vezető rész; **testzárlat** a fázis és a test közötti véletlen kapcsolat.
3. $I_b = 230\,\mathrm{V}/2\,\mathrm{k\Omega} = 115\,\mathrm{mA}$, ami veszélyes, mert 50 mA feletti áram már fibrillációt okozhat.
4. A 30 mA-es FI a **kiegészítő védelem** tipikus eleme, de az önműködő lekapcsolás eszközeként (TT-rendszerben szinte mindig) hibavédelmi feladatot is ellát. A védővezetőt nem helyettesíti: PE nélkül a testzárlat nem hoz létre differenciaáramot, a FI csak akkor old, amikor valaki megérinti a feszültség alá került testet, és az áram már rajta folyik át.
5. A „nullázás” a fázis–nulla hurokra épült, és a test a PEN-vezetőre volt kötve; a PEN szakadásakor a test fázisfeszültségre kerülhet. A mai TN-S rendszerben a PE és az N külön van, így a védővezetőn normál üzemben nem folyik üzemi áram.
6. Alapvédelmi módok: szigetelés, burkolat, elérhetetlen elhelyezés, védő törpefeszültség.

1. feladat megoldása (A). Az alapvédelem a közvetlen érintés ellen véd, például a vezeték PVC-szigetelése. A hibavédelem a közvetett érintés ellen véd, például a mosógép testének PE-védővezetőre kötése, így a testzárlat lekapcsolást vált ki. ∎

2. feladat megoldása (A).

a) Száraz bőr (230 V-on a bőr átüt, ezért kb. 2 kΩ-mal számolunk):

$$I_b = \frac{230\,\mathrm{V}}{2\,\mathrm{k\Omega}} = \frac{230}{2000}\,\mathrm{A} = 0{,}115\,\mathrm{A} = 115\,\mathrm{mA}.$$

Ez a fibrilláció veszélyét jelentő tartomány: a száraz bőr sem véd 230 V-on. (Az 50 kΩ-os „száraz bőr” érték csak néhány tíz V feszültségen érvényes.)

b) Nedves bőr:

$$I_b = \frac{230\,\mathrm{V}}{1\,\mathrm{k\Omega}} = 230\,\mathrm{mA}.$$

Ez azonnal veszélyes, fibrillációt okozhat. Ugyanaz a feszültség a bőr állapotától függően nagyon eltérő testáramot ad, ezért van szükség többszintű védelemre. ∎

3. feladat megoldása (B). A hibaáram közelítőleg:

$$I_k = \frac{U_0}{Z_s} = \frac{230\,\mathrm{V}}{1{,}2\,\Omega} \approx 192\,\mathrm{A}.$$

A test érintési feszültsége a védővezető feszültségesése:

$$U_t \approx I_k R_{PE} = 192\,\mathrm{A} \cdot 0{,}5\,\Omega \approx 96\,\mathrm{V}.$$

Ez veszélyes érték, ezért kell a lekapcsolásnak gyorsnak lennie. A 16 A-es B karakterisztikájú kismegszakító mágneses kioldója 3–5-szörös névleges áramnál (48–80 A) old; mivel $192\,\mathrm{A} > 5 \cdot 16\,\mathrm{A} = 80\,\mathrm{A}$, a mágneses kioldó azonnal lekapcsol. A 0,5 Ω tehát nem elhanyagolható: a hurok mintegy 42%-a. **Továbbvitt eredmény:** ez az alapja az Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel alfejezetben tárgyalt $Z_s \le U_0/I_a$ feltételnek. ∎

4. feladat megoldása (B). Táblázat:

Védelem	Mire lép működésbe	Példa intézkedések
Alapvédelem	Normál állapot, közvetlen érintés	Szigetelés, burkolat (IP), elérhetetlen elhelyezés, SELV/PELV
Hibavédelem	Hibaállapot, közvetett érintés	PE/PEN védővezető + túláramvédelem vagy FI, II. érintésvédelmi osztály, védőelválasztás
Kiegészítő védelem	Maradék kockázat, laikusok, nedves környezet	FI ≤ 30 mA, kiegészítő EPH

5. feladat megoldása (C). Ha a PEN-vezető a mérőhely előtt megszakad, akkor a szakadás utáni PEN-szakasz a bekapcsolt fogyasztókon (pl. a bojler fűtőbetétjén) keresztül fázisfeszültség közelébe kerül, és vele együtt a PEN-re kötött bojlertest is. Testzárlat nélkül sincs hurok, amely a kismegszakítót lekapcsolná. Az ember, aki a bojlert vagy a zuhanyzóban a vízcsövet érinti, bekerül az áramkörbe, és a testen át folyik az áram. A megoldás: a mai TN-C-S rendszerben a PEN-t a mérőhely után szétválasztják PE-re és N-re, a fürdőszobában FI-t és kiegészítő EPH-t alkalmaznak, a testet külön PE-vezetőre kötik. A szétválasztás a szétválasztási pont UTÁNI PEN-/N-szakadás veszélyét megszünteti, a szétválasztási pont ELŐTTI PEN-szakadás ellen azonban sem a szétválasztás, sem a FI nem véd: ilyenkor a testek a bekapcsolt fogyasztókon át veszélyes feszültségre kerülhetnek, és a FI sem érzékeli, mert nincs különbözeti áram az általa védett körben. Ezt a kockázatot a fő és kiegészítő EPH (a testek és az idegen vezetőképes részek azonos potenciálon tartása), a PEN ismételt földelése és a PEN-vezető megfelelő keresztmetszete és kötései csökkentik. ∎

6. feladat megoldása (D). Hiányosságok: a fém kád nincs bekötve a kiegészítő EPH-ba, ezért a kád és a vízcső között veszélyes feszültségkülönbség jöhet létre; az aljzati kör FI nélkül kiegészítő védelem nélkül marad; a vízcső régi földelőszondája nem biztosít megbízható, kis ellenállású földelést, és nem helyettesíti az EPH-t. Javasolt sorrend: (1) feszültségmentesítés után minden érinthető vezető fémszerkezetet be kell kötni a kiegészítő EPH-ba a fürdőszobai elosztó PE-sínjéhez; (2) a fürdőszobai aljzati és világítási körre 30 mA-es FI-t kell beépíteni; (3) ellenőrizni kell a fő EPH meglétét, a földelő rendszert és a szigetelést; (4) a munkát csak jogosult villanyszerelő végezheti, és jegyzőkönyvben kell dokumentálni. ∎

21.1.13. Rövid összefoglaló

Az áramütés elleni védelmet a mai szabvány három rétegre bontja: **alapvédelem** (a közvetlen érintés ellen), **hibavédelem** (a közvetett érintés ellen) és **kiegészítő védelem** (többletvédelem, jellemzően 30 mA-es FI és kiegészítő EPH). Az alapvédelem a normál üzemben feszültség alatt álló részeket szigeteléssel, burkolattal, elérhetetlen elhelyezéssel vagy védő törpefeszültséggel teszi érinthetetlenné. A hibavédelem akkor lép működésbe, ha hiba következtében egy test feszültség alá kerül; leggyakrabban a test védővezetőre kötése és a túláramvédelem vagy FI automatikus lekapcsolása. A kiegészítő védelem nem helyettesíti ezeket, hanem a maradék kockázatot csökkenti. A régi „érintésvédelem” általában a mai hibavédelemnek feleltethető meg, a „nullázás” a test PEN-vezetőre kötésének (TN-C) régi neve, amelyet ma a különálló PE-vel kiépített TN-S/TN-C-S megoldás vált fel; a „védőföldelés” a régi szövegekben a test földelését vagy a védővezetőre kötést jelentette. **Továbbvitt eredmény:** ez a hármas tagolás alapozza meg a Hálózati rendszerek: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT, az Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel, az Áram-védőkapcsoló (FI) és kiegészítő védelem és a Védőkisfeszültség, II. osztály, védőelválasztás és egyéb módok alfejezeteket. A legfontosabb biztonsági szabály:

hálózati feszültségű munkát csak jogosult személy végezhet, és a védelmi rétegek közül egyet sem szabad elhagyni.

21.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

A szabványi hivatkozások tájékoztató jellegűek: MSZ HD 60364-4-41, MSZ EN 61140, MSZ EN 60529, MSZ EN 61557. A pontos szakasz- és táblázatszámok, az aktuális kiadások és a határértékek a kiadás előtt ellenőrizendők. A példákban szereplő testellenállások, áramértékek és hurokimpedancia-értékek tanulási célú, egyszerűsített értékek.

21.2. Hálózati rendszerek: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT

21.2.1. Motiváció

Egy lakásfelújítás során a villanyszerelő a mérőhelynél azt látja, hogy a bejövő elosztó kábel négy eres: három fázis és egy zöld-sárga, a végein világoskékkel jelölt vezető. Ez a vezető egyszerre látja el a nullavezető és a védővezető feladatát, ezért PEN-nek hívják. A fürdőszoba felújításakor azonban az áram-védőkapcsoló (FI-relé) és a külön védőérintkezős dugaljak miatt a védővezetőt és a nullavezetőt szét kell választani. Ha a szerelő rossz ponton köti össze a PE és N vezetőt, a védelmi rendszer nem működik, sőt életveszélyes helyzetet teremthet.

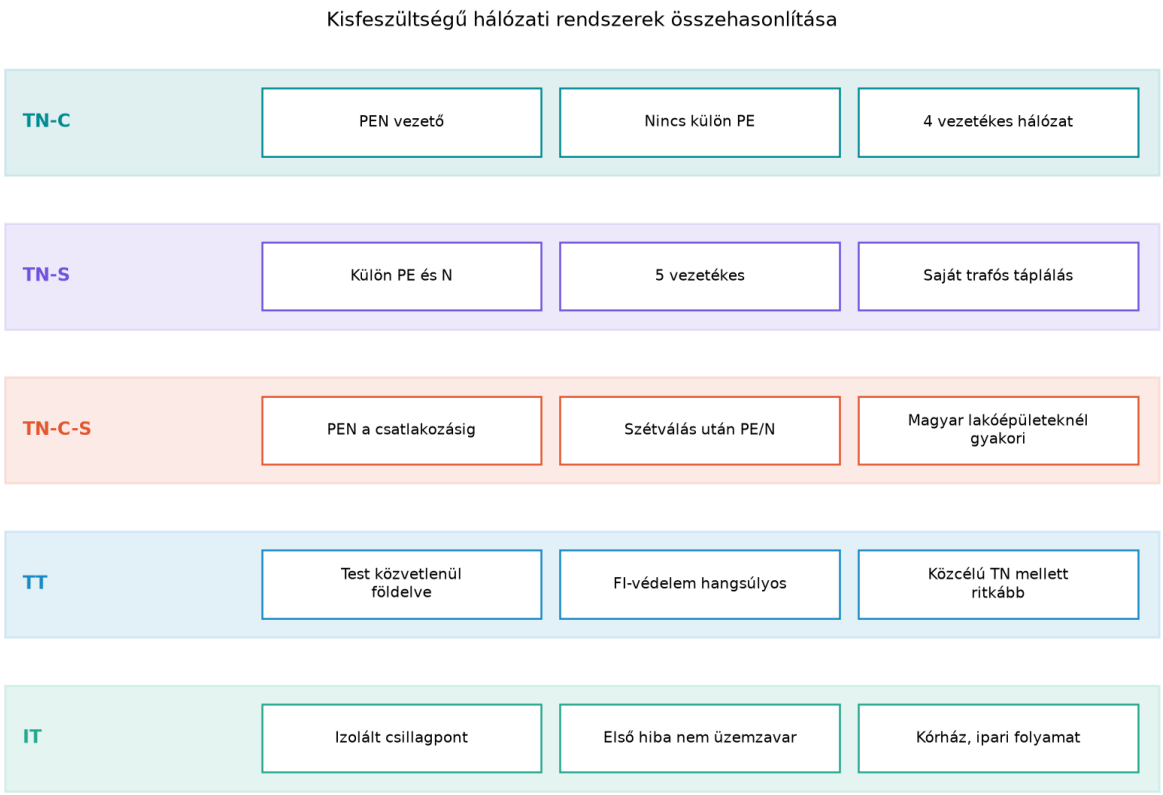
Ebben az alfejezetben a kisfeszültségű hálózati rendszerek földelési viszonyait és betűjelölését tanuljuk meg. A téma azért munkahelyi szempontból alapvető, mert a hálózati rendszer ismerete nélkül nem lehet eldönteni, hol szabad a védővezetőt és a nullavezetőt összekötni, hol kell áram-védőkapcsolót használni, és miért tilos a PEN vezetőt megszakítani.

21.2.2. A hálózati rendszer betűjelölése

A villamos berendezések áramütés elleni védelmét a hálózat földelési viszonyai határozzák meg. A hálózati rendszerek nemzetközi betűjelölése két vagy három betűből áll, és a betűk pontos sorrendje mondja meg, hogy a tápláló oldal és a fogyasztói testek hogyan viszonyulnak a földhöz.

Definíció. A kisfeszültségű hálózati rendszer betűjelölése: - Az **első betű** a tápláló rendszer (transzformátor vagy generátor) földelési viszonyát mutatja: - **T** = a tápláló rendszer egy pontja (általában a csillagpont) közvetlenül földelve, - **I** = a tápláló rendszer aktív részei nincsenek közvetlenül földelve, vagy nagy impedancián keresztül földeltek (izolált). - A **második betű** a fogyasztói testek (készülékburkolatok, fémházak) földelési viszonyát mutatja: - **T** = a test közvetlenül földelve, függetlenül a tápláló rendszer földelésétől, - **N** = a test a tápláló rendszer földelt pontjához (a nullaponthoz) közvetlenül, fémhálózati vezetővel kapcsolódik. - A **harmadik betű** csak TN rendszereknél létezik, és azt mutatja, hogy a földelt csillagponthoz menő nullavezető (N) és a védővezető (PE) közös vagy külön vezető-e: - **C** = közös (combined) PEN vezető, - **S** = külön (separated) PE és N vezető, - **C-S** = a táplálás egy szakaszán közös PEN, majd szétválasztott PE és N.

A `layers` ábra összefoglalja az egyes rendszerek legfontosabb jellemzőit.



21.2. ábra. Kisfeszültségű hálózati rendszerek összehasonlítása - Az első betű a tápláló rendszer földelését, a második a testek földelését jelzi; a harmadik betű csak TN rendszernél értelmezett. Az IT rendszer csillagpontja izolált vagy nagy impedancián át földelt; a TN-S tisztán saját transzformátoros táplálásnál fordul elő.

Fontos, hogy a betűjelölés nem a kábel ereinek számát, hanem a földelési viszonyokat írja le. A vezetékszám ezért nem azonosítja a rendszert: egy háromfázisú TN-C hálózat 4 vezetékes (L1, L2, L3, PEN), a TN-S 5 vezetékes, de egy TT-rendszerű háromfázisú csatlakozás is 4 vezetékkel (L1, L2, L3, N) érkezik, mert a PE ott a helyi földelőről jön; egyfázisú körben ugyanezek 2, illetve 3 eres kialakítások.

21.2.3. TN rendszerek: a földelt csillagpont közös védő- és üzemi vezetője

A TN rendszerekben a tápláló transzformátor csillagpontja közvetlenül földelve van, és a készülékek testjei egy fémhálózati vezetőn, a PEN vagy a PE vezetőn keresztül csatlakoznak ehhez a földelt ponthoz. A hibaáram ilyenkor fémes hurkon folyik vissza a transzformátorhoz, ezért általában elég nagy ahhoz, hogy a túláramvédelem (kismegszakító vagy biztosító) leoldjon.

21.2.3.1. TN-C rendszer

A TN-C rendszerben a nullavezető és a védővezető feladatait egyetlen közös vezető, a **PEN** vezető látja el. A PEN vezető egyszerre üzemi áramot vezet (mint a nulla) és védővezetőként is működik, mert a készülékek testjei erre csatlakoznak.

Szabály. A TN-C rendszerben a PEN vezető: - zöld-sárga színű, de a végein világoskékkel meg kell jelölni, hogy ott nullavezetőként is szolgál; - nem szakítható meg, nem tartalmazhat kapcsolót vagy biztosítót, mert akkor a védővezetői funkció megszűnne; - minimális keresztmetszete külön követelmény, amelyet a hatályos szabvány és a hálózati engedélyes előírása határoz meg **(ellenőrizendő: aktuális érték)**.

A TN-C rendszer előnye az egyszerűség és az alacsonyabb kábelköltség, mert négy vezetékkel (L1, L2, L3, PEN) kiépíthető. A hátránya az, hogy a PEN vezető szakadásakor a fázisfeszültség-terhelések aszimmetriája miatt a készülékek fémtestén életveszélyes feszültség jelenhet meg, és a rendszer érzékeny a védővezetőben folyó üzemi áram okozta zavarokra is.

21.2.3.2. TN-S rendszer

A TN-S rendszerben a PE és az N vezető a transzformátortól kezdve végig külön van. A készülékek testjei a PE vezetőre csatlakoznak, amelyben normál üzemben nem folyik áram, így nem alakul ki rajta feszültségesés, és a zavarérzékenység is kisebb.

Szabály. A TN-S rendszerben: - a fázisvezetők L1, L2, L3; - a nullavezető N világoskék; - a védővezető PE zöld-sárga; - a PE és N vezetőt tilos bárhol a szétválasztás után összekötni.

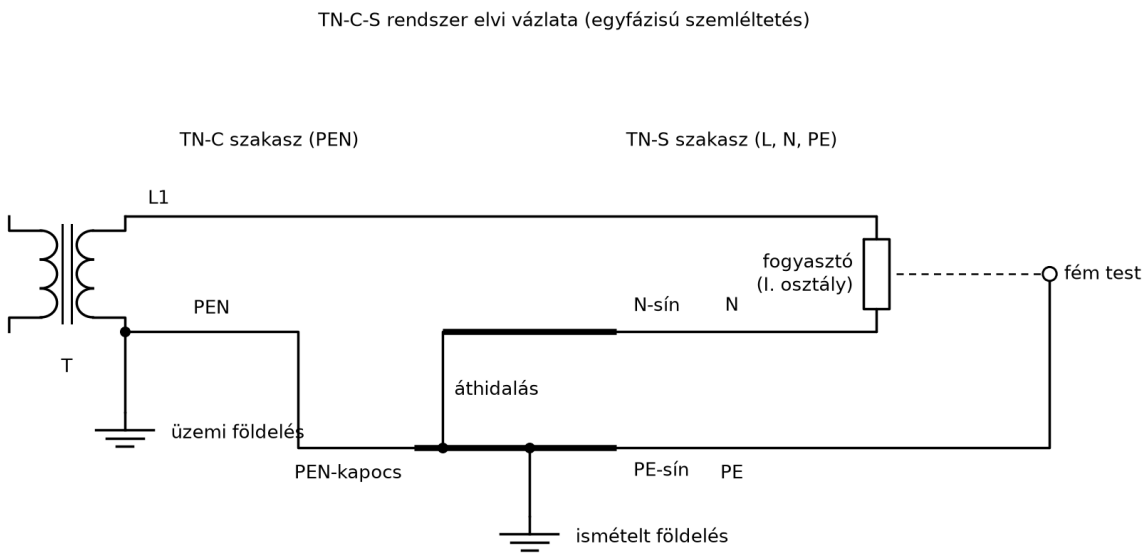
A TN-S rendszer 5 vezetéket igényel (három fázis, N, PE), ezért drágább, de biztonságosabb. Valódi TN-S rendszer ott van, ahol a PE és az N már a transzformátortól külön fut – jellemzően saját transzformátorról táplált ipari létesítményekben. A közcélú hálózatról táplált új épületek TN-C-S rendszerűek: a szétválasztás utáni rész ötvezetékes (TN-S jellegű) kiépítésű.

21.2.3.3. TN-C-S rendszer

A TN-C-S rendszer a két előbbi kombinációja: a tápláló oldal (általában a közcélú hálózat) TN-C, tehát PEN vezetővel érkezik, majd egy meghatározott ponton – például a mérőhely vagy a főelosztó bejövő oldalán – a PEN vezetőt szétválasztják PE és N vezetőre. A szétválasztás után a fogyasztói berendezés már TN-S-ként működik.

Szabály. A PEN vezető szétválasztásakor: - a PE és N sínt külön kell kialakítani; - a PE vezetőt a szétválasztásnál lehetőség szerint ismételten földelni kell; - a szétválasztás után a PE és N vezető semmilyen ponton nem köthető össze; - a szétválasztás előtti PEN vezetőt nem szabad megszakítani.

A következő elvi ábra a TN-C-S rendszert mutatja.



21.3. ábra. TN-C-S rendszer elvi vázlata (egyfázisú szemléltetés) - A transzformátor szekunder csillagpontja földelt (üzemi földelés); innen indul a PEN vezető. A szétválasztási ponton a PEN a PE-sín PEN-kapcsára fut, onnan áthidalás megy az N-sínre; a PE-sín ismételten földelt. A szétválasztás után az N és a PE külön halad, és többé nem köthető össze. Az I. osztályú fogyasztó L1 és N közé kapcsolódik, fém teste (szaggatott vonal) a PE-re.

Az ábrán a transzformátor szekunder csillagpontja (a szekunder tekercs alsó kivezetése) közvetlenül földelve van, innen indul a PEN vezető, amely a szétválasztási pontig egyetlen vezetőként viszi az üzemi és a védő feladatot. A szétválasztási ponton a PEN a PE-sín PEN-kapcsára fut, innen áthidalás vezet az N-sínre; a PE-sínt helyben ismételten földeljük. A szétválasztás után az N (világoskék) és a PE (zöld-sárga) külön halad tovább. A fázisvezető L1 a felső ágon érkezik a fogyasztóhoz, a fogyasztó üzemi árama az N-en tér vissza, a fém teste a PE-re csatlakozik.

21.2.4. TT rendszer

A TT rendszerben a tápláló transzformátor csillagpontja közvetlenül földelve van, de a fogyasztói testeket **nem** a csillagponthoz csatlakoztatjuk, hanem egy saját, független földelőhöz. A „T-T” jelentése tehát: mindkét oldal közvetlenül földelve, de a két földelő egymástól független.

Szabály. A TT rendszer előnye, hogy nincs PEN vezető, így a tápláló oldali PEN-szakadás veszélye nem érinti a fogyasztót. Hátránya, hogy a földzárlati áram a két földelő talajellenállásán keresztül folyik, ezért kicsi lehet, és a túláramvédelem nem feltétlenül old le elég gyorsan. Ezért a TT rendszerben az áram-védőkapcsoló (FI-relé) alkalmazása gyakorlatilag nélkülözhetetlen.

A TT rendszerben a védelem feltétele a földelési ellenállás és az áram-védőkapcsoló érzékenységének összehangolása. A testzárlatkor fellépő érintési feszültség ne haladja meg a váltakozó áramra megengedett, szabványos 50 V értéket (ellenőrizendő: aktuális határérték), mielőtt a FI-relé leold.

Összefüggés. TT rendszerben a FI-relé $I_{\Delta n}$ névleges kioldási áramával és a testföldelő R_A ellenállásával:

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \le U_L,$$

ahol U_L a megengedett érintési feszültség (tanulási érték: 50 V).

Számítás.
Adott: $I_{\Delta n} = 0{,}3\,\mathrm{A}$ (300 mA-es FI-relé), $U_L = 50\,\mathrm{V}$.
Keresett: a testföldelő legnagyobb megengedett ellenállása R_A.

$$R_A \le \frac{50\,\mathrm{V}}{0{,}3\,\mathrm{A}} = 166{,}7\,\Omega.$$

Az eredmény nagyságrendileg helyes: egy 300 mA-es FI-reléhez legfeljebb körülbelül 167 Ω-os földelési ellenállás volna elméletileg elég, de a gyakorlatban a jó földelő ellenállása általában jóval kisebb (néhány ohm vagy néhány tíz ohm) a stabil működés érdekében. Ha a FI-relé érzékenyebb, például 30 mA-es, akkor a határ:

$$R_A \le \frac{50\,\mathrm{V}}{0{,}03\,\mathrm{A}} = 1667\,\Omega,$$

de ilyen nagy talajellenállás már bizonytalan, ezért a földelőt itt sem szabad csak a képlettel méretezni; a szabvány és a helyi adottságok miatt kisebb értéket kell elérni (ellenőrizendő).

21.2.5. IT rendszer

Az IT rendszerben a tápláló rendszer aktív részei nincsenek közvetlenül földelve, vagy nagy impedancián keresztül földeltek. A készülékek testjei viszont egy vagy több földelőhöz csatlakoznak. Az „I” betű tehát a tápláló oldal izoláltságát, a „T” a testek közvetlen földelését jelzi.

Definíció. Az IT rendszerben az első földzárlati hiba esetén a hibaáram nagyon kicsi, mert a hurok nem záródik fémesen a transzformátorhoz, hanem a szigetelési ellenálláson és a szórt kapacitásokon át. Emiatt a berendezés **első hibánál nem kapcsol le**, hanem üzemelhet tovább, de a hibát jelezni kell.

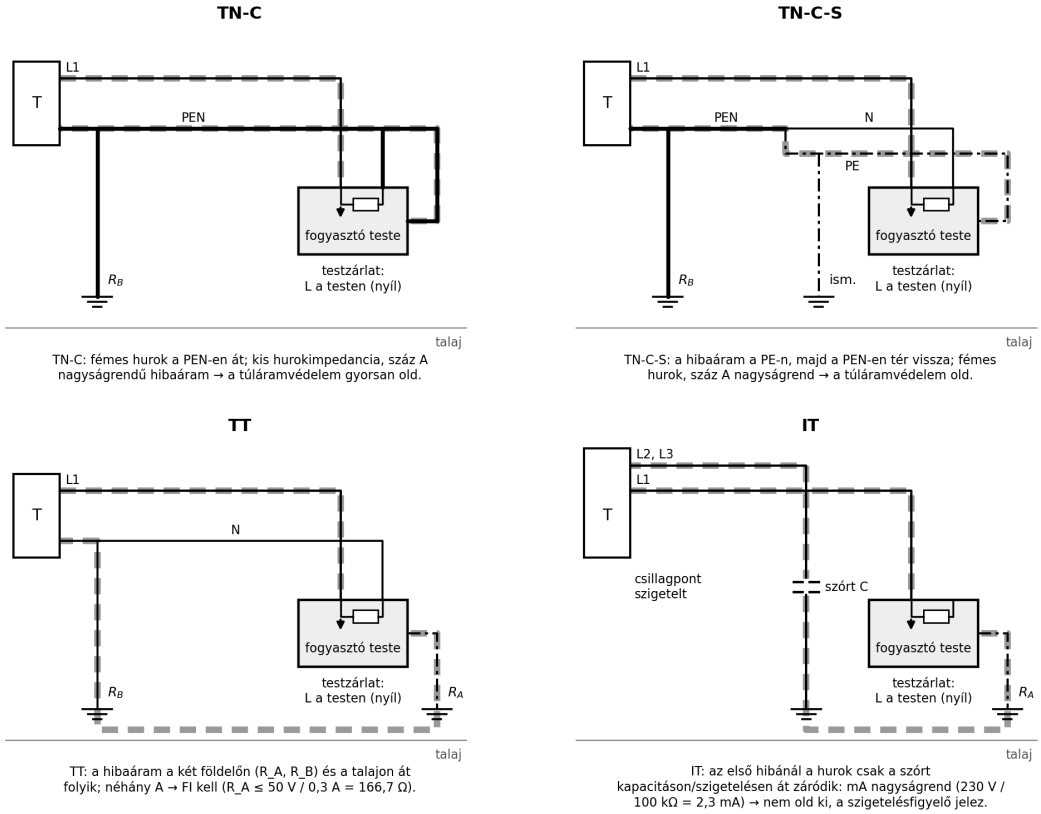
A második földzárlat már veszélyes, mert az két különböző fázisú testzárlat esetén fémes zárlati hurkot hozhat létre, és nagy áram folyhat. Ezért az IT rendszerben szigetelésfigyelőt kell alkalmazni, és a második hiba után a védelmi lekapcsolást biztosítani kell.

Számítás.
Adott: a fázisfeszültség $U_f = 230\,\mathrm{V}$, az első hiba fémes testzárlat, a hálózat ép vezetőinek eredő szigetelési ellenállása a földhöz $R_{iso} = 100\,\mathrm{k}\Omega$ (a szórt kapacitást ebben a példában elhanyagoljuk).
Keresett: a földzárlati áram nagysága.

$$I_d = \frac{230\,\mathrm{V}}{R_{iso}} = \frac{230\,\mathrm{V}}{100\,000\,\Omega} = 0{,}0023\,\mathrm{A} = 2{,}3\,\mathrm{mA}.$$

Ez az áram önmagában nem elég a kismegszakító leoldásához, és az emberi testen átfolyva sem okoz közvetlenül nagy kockázatot ebben a példában, de a szigetelésfigyelőnek jeleznie kell. Kiterjedt hálózatnál a szórt kapacitások miatt az első hiba árama ennél jóval nagyobb is lehet, ezért ez az eredmény nem általánosítható. A második hiba esetén az áram már a zárlati hurok impedanciájától függ, és jóval nagyobb lehet.

21.2.6. A négy rendszer összehasonlítása: a hibaáram útja



21.4. ábra. A testzárlati áram útja TN-C, TN-C-S, TT és IT rendszerben (egyfázisú elvi szemléltetés)

Az ábra ugyanazt a testzárlatot (a fázis a fogyasztó fém testére kerül) mutatja a négy rendszerben. TN-C és TN-C-S rendszerben a hibaáram fémes hurokban, a PEN-en, illetve a PE-n és a PEN-en át tér vissza a transzformátor csillagpontjához; a hurok impedanciája kicsi, a hibaáram száz amper nagyságrendű, így a túláramvédelem gyorsan old. TT rendszerben a hurok a testföldelőn (R_A), a talajon és az üzemi földelőn (R_B) át záródik; a hibaáram néhány amper, ezért FI-relé kell (300 mA-es FI-nél $R_A \leq 166{,}7\ \Omega$). IT rendszerben az első hibánál a hurok csak a szórt kapacitásokon és a szigetelési ellenálláson át záródik, a hibaáram mA nagyságrendű (a fenti példában 2,3 mA). A HTML-kiadásban a rendszer gombbal választható, a testzárlat ki-be kapcsolható, a TN-C-S rendszernél pedig a szétválasztás előtti PEN-szakadás is kipróbálható: ekkor a testekre a fogyasztón át fázisfeszültség kerülhet, amit a FI-relé nem érzékel.

21.2.7. Magyarországi gyakorlat és a rendszerváltás a telepen

A magyarországi közcélú kisfeszültségű hálózat jellemzően **TN-C** vagy **TN-C-S** rendszerű. A szolgáltatói oldal általában TN-C, vagyis a transzformátor nullapontja földelve van, és a fogyasztóhoz négy vezeték (L1, L2, L3, PEN) érkezik. A fogyasztói berendezés a csatlakozási ponton vagy a mérőhelynél gyakran **TN-C-S**-re vált: a PEN vezetőt itt szétválasztják PE és N vezetőre, és a fogyasztói elosztó már ötvezetékes rendszerben épül.

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések védelmére vonatkozó magyar harmonizált szabvány az MSZ HD 60364 sorozat. A hálózati rendszerek betűjelölését és a berendezésre

vonatkozó alapelveket az MSZ HD 60364-1 (ellenőrizendő: aktuális kiadás és pontos cím) írja le. Az áramütés elleni védelmet az MSZ HD 60364-4-41 (ellenőrizendő: aktuális kiadás) tartalmazza. A jelen alfejezetben megadott feszültséghatárok (pl. az érintési feszültség 50 V-os értéke) tanulási értéknek tekintendők; a kiviteli munkák során a hatályos kiadást és a hálózati engedélyes előírásait kell figyelembe venni.

Az épületeken belüli átalakítás során a legfontosabb szabály, hogy ha a régi TN-C rendszerű vezetékrendszert felújítják, a PEN vezetőt a megfelelő ponton szét kell választani, és attól kezdve a PE és N vezetőt külön kell vezetni. A régi „nullázás” kifejezésnek nagyjából a TN rendszer felel meg, a régi „védőföldelés” kifejezés pedig a TT rendszerhez áll közel; a mai szabványos terminológia ezeket a hálózati rendszer betűjelölésével írja le (lásd Alapvédelem, hibavédelem, kiegészítő védelem).

A rendszerváltás tipikus munkahelyi feladat: egy régi, TN-C rendszerben szerelt lakásban például a fürdőszoba vagy a konyha felújításakor a hálózatot TN-C-S-re kell alakítani ahhoz, hogy az áram-védőkapcsoló megbízhatóan működjön. Ilyenkor a PEN vezetőt a főelosztóban vagy a mérőhelyben szétválasztják, majd a fürdőszobai és konyhai köröket már ötvezetékes, külön PE és N vezetős szereléssel építik ki.

21.2.8. Továbbvitt eredmény

Továbbvitt eredmény. A hálózati rendszer betűjele és a benne folyó hibaáram útja határozza meg az automatikus lekapcsolás feltételét. Ezt használjuk majd az Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel alfejezetben, ahol a $Z_s \cdot I_a \le U_0$ összefüggést vezetjük le, valamint a Földelők és földelési ellenállás alfejezetben, ahol a földelőket és a földelési ellenállás mérését tárgyaljuk. A most tanult PEN, PE, N vezetők szerepét mindkét későbbi alfejezet felhasználja.

21.2.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy régi, négylakásos társasház felújításakor a kivitelező a lépcsőházi elosztóban a régi TN-C rendszert úgy alakította át, hogy a PEN vezetőből a mérőhelynél leválasztott egy N vezetőt, a PE sínt pedig a szekrény fémvázára kötötte. A lakásokba már 5 vezeték ment, de a mester az egyik lakásban a konyha felújításakor a mosogatógép fémburkolatát a PE helyett a kék N vezetőre kötötte. Az áram-védőkapcsoló felszerelése után a gép bekapcsolásakor a FI-relé azonnal leoldott.

A FI helyesen működött: a gép üzemi árama részben a testen, a vízvezetéken és a PE-n át, a FI érzékelőjét megkerülve tért vissza, ezért a differenciaáram nem volt nulla. A helyes megoldás az volt, hogy a mosogatógép testét a PE sínre kötötték, az N vezető pedig csak az üzemi áram visszavezetését látja el. A hiba tanulsága: a test N-re kötése N-szakadáskor a testet fázisfeszültségre emeli, a FI kioldása pedig itt nem téves, hanem a hibát jelzi; a szétválasztás után a PE és az N összekötése tilos.

21.2.10. Tipikus hibák

Hiba 1: A PEN vezető megszakítása.
Ha a PEN vezetőt kapcsolóval vagy biztosítóval megszakítják, a védővezetői funkció megszűnik, és a lekapcsolt szakaszon a fázisterhelések aszimmetriája miatt a fémtesteken életveszélyes feszültség léphet fel. Helyes: a PEN vezetőt folyamatosan kell kötni, és a szétválasztás előtt semmiképpen sem szabad megszakítani.

Hiba 2: PE és N összekötése a szétválasztás után.
A TN-C-S rendszerben a szétválasztás után a védővezető és a nullavezető ismételt összekötése miatt a FI-relé leold (helyesen, mert a PE-n üzemi áram folyik), vagy a védelem hatástalanná válik. Helyes: a PE és N sínt külön kell vezetni, és a szétválasztási ponton kívül nem szabad összekötni őket.

Hiba 3: TT rendszerben FI-relé nélküli védelem.
Ha a test földelése TT rendszerű, de nincs áram-védőkapcsoló, a földzárlat árama a talajon át gyakran olyan kicsi, hogy a kismegszakító nem old le, és a test folyamatosan veszélyes feszültség alatt marad. Helyes: TT rendszerben mindig áram-védőkapcsolót kell alkalmazni, és a földelési ellenállást az érzékenységhez kell méretezni.

Hiba 4: IT rendszerben a szigetelésfigyelő jelzésének figyelmen kívül hagyása.
Az IT rendszerben az első földzárlat nem kapcsol le, de a második hiba már életveszélyes lehet. Ha a jelzőberendezés visszajelzését nem veszik komolyan, a berendezés veszélyes állapotban üzemel tovább. Helyes: az első hiba jelzésekor a hibát mielőbb meg kell szüntetni, és a második hiba esetén a lekapcsolást biztosítani kell.

21.2.11. Önellenőrzés

Válaszold meg a kérdéseket, majd nézd meg a `### Megoldások` elején az „Önellenőrzés – válaszok” részt!

1. Mit jelent a TN-S rendszer második betűje (N)?

2. Miben különbözik a TN-C rendszer a TN-C-S rendszertől?

3. Milyen színű a PEN vezető, és milyen jelölést kap a végein?

4. Miért nélkülözhetetlen a TT rendszerben az áram-védőkapcsoló?

5. IT rendszerben az első földzárlat után szabad-e tovább üzemelni?

6. Miért tilos a PEN vezetőt megszakítani?

21.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Értelmezd a következő hálózati rendszer jelölést: TT.

2. feladat (A). Sorold fel, hogy a TN-C-S rendszerben hol kell a PEN vezetőt szétválasztani, és mi történik a szétválasztás után.

3. feladat (B). Egy TT rendszerben 30 mA érzékenységű FI-relét alkalmaznak, és a megengedett érintési feszültség 50 V. Mekkora lehet elvileg a testföldelő legnagyobb ellenállása? Számold ki, és ellenőrizd a nagyságrendet!

4. feladat (B). Rajzold le (szövegesen vagy a `circuit` diagramhoz hasonló vázlaton) a TN-S rendszer elvi kapcsolását a transzformátortól a fogyasztóig, jelölve az L1, N, PE vezetőket és a transzformátor földelt csillagpontját!

5. feladat (C). Egy régi, TN-C rendszerű lakóépületben a felújítás után a mosógép fémteste enyhén „bizserget”, a FI-relé pedig néha leold. Milyen hibákat érdemes keresni? Sorolj fel legalább két lehetőséget, és indokold meg mindegyiket!

6. feladat (C). Egy új építésű társasházban a közcélú hálózat PEN vezetővel érkezik. Hová kell helyezni a PEN szétválasztást ahhoz, hogy a lakásokban ötvezetékes (a szétválasztás után TN-S jellegű) hálózat legyen, és a fürdőszobai körökben 30 mA-es FI-relé is megbízhatóan működjön? Indokold a választ!

7. feladat (D). Feszültségmentes állapotban egy lakáselosztóban ellenőrizned kell a TN-C-S rendszer védő- és nullavezetőinek jelölését és folytonosságát. Milyen lépéseket teszel a feszültségmentesítés öt biztonsági szabálya szerint, és milyen mérést végeznél a PE és N vezető szétválasztásának igazolására?

21.2.13. Megoldások

21.2.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Az N a második helyen azt jelenti, hogy a fogyasztói testek a tápláló rendszer földelt csillagpontjához közvetlen fémhálózati vezetővel (PE vagy PEN) kapcsolódnak, nem pedig saját földelőhöz.

2. TN-C-ben a PE és az N közös PEN vezető, TN-C-S-ben a bejövő PEN vezető egy ponton szétválik PE és N vezetőre, és attól kezdve külön futnak.

3. A PEN vezető zöld-sárga, a végein világoskékkel jelölik, mert ott nullavezetőként is szolgál.

4. Mert a testzárlati áram a talajon át nagyon kicsi lehet, és a túláramvédelem nem old le; a FI-relé kis differenciaáramra is lekapcsol.

5. Igen, az első hiba után a berendezés tovább üzemelhet (ez az IT-rendszer lényege), de a szigetelésfigyelő jelzését ki kell vizsgálni, és a hibát mielőbb meg kell szüntetni, mert a második hiba már veszélyes, és ekkor a lekapcsolást biztosítani kell.

6. A PEN vezető megszakításakor a védővezetői funkció megszűnik, és a fázisfeszültség-terhelések aszimmetriája miatt a testeken életveszélyes feszültség jelenhet meg.

21.2.13.2. 1. feladat (A)

A TT jelölés első betűje T: a tápláló rendszer egy pontja (rendszerint a csillagpont) közvetlenül földelve. A második betű T: a fogyasztói testek szintén közvetlenül, de egymástól független földelőhöz csatlakoznak. Tehát a TT rendszerben a készülékek testjei nem a tápláló rendszer nullapontjához kapcsolódnak, hanem saját földelőn keresztül a talajhoz.

21.2.13.3. 2. feladat (A)

A PEN vezetőt a fogyasztói berendezés bejövetelénél, általában a mérőhelynél vagy a főelosztóban kell szétválasztani. A szétválasztás után PE és N vezetőt külön kell vezetni, a PE sínt lehetőleg ismételten földelni kell, és a PE és N vezetőt a továbbiakban tilos összekötni.

21.2.13.4. 3. feladat (B)

Adott: $U_L = 50\,\mathrm{V}$, $I_{\Delta n} = 30\,\mathrm{mA} = 0{,}03\,\mathrm{A}$.
Keresett: R_A legnagyobb megengedett értéke.

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_{\Delta n}} = \frac{50\,\mathrm{V}}{0{,}03\,\mathrm{A}} = 1666{,}7\,\Omega.$$

Az elméleti maximum körülbelül 1,67 kΩ, ami nagyon nagy, és a gyakorlatban nem tekinthető jó földelésnek. A méréseknél és a kivitelezésnél általában ennél jóval kisebb, néhány ohm vagy néhány tíz ohm a cél, mert a talajellenállás időben változik, és a FI-relé megbízhatóságát is meg kell őrizni. **(ellenőrizendő: a hatályos szabvány és a helyi követelmények szerinti gyakorlati érték)**

21.2.13.5. 4. feladat (B)

A TN-S rendszerben a transzformátor csillagpontja földelve van, és a földelt pontból indul a N vezető (világoskék). A PE vezető (zöld-sárga) is erre a földelt pontra csatlakozik, de külön ágként megy a fogyasztóhoz. A fogyasztó fázist kap az L1 vezetőről (barna), a nulla a N vezetőre, a fémtest pedig a PE vezetőre köt. Így a fázis és a PE között testzárlatkor a hibaáram a védővezetőn fémesen folyik vissza a transzformátorhoz, és a védelmi lekapcsolás gyorsan működhet.

21.2.13.6. 5. feladat (C)

Három jellemző lehetőség:

- **PE és N összekötése a szétválasztás után:** a mosógép testje és a nulla összefolyik, ezért a FI-relé differenciaáramot érzékel, és leold. A bizsergetést a védővezetőben folyó üzemi áram okozhatja, ha a PE funkciójú vezetőt nullaként is használják.

- **Hiányzó vagy megszakadt PE + szivárgóáram a készülékben:** a fűtőbetét vagy a motor szigetelése romlott, a test a PE hiánya miatt nem földpotenciálon van, ezért bizsereg; amikor a szivárgó áram valamilyen úton (vízcső, padló) eléri a 15–30 mA-t, a FI kiold. Ellenőrzés: a PE folytonossága az aljzattól a gép testéig, az aljzat PE-érintkezőjének bekötése (régi kétpólusú aljzat), a készülék szigetelési ellenállása.
- **PE- vagy N-szakadás a lakáson belül:** a szétválasztás után a hiba nem PEN-, hanem PE- vagy N-szakadás; a szétválasztás előtti PEN-szakadás veszélyét az Alapvédelem, hibavédelem, kiegészítő védelem alfejezet tárgyalja. Ezt folytonosságméréssel kell ellenőrizni.

21.2.13.7. 6. feladat (C)

A PEN szétválasztást a csatlakozási ponton vagy a mérőhelyen, de mindenképpen a lakáselosztók előtt kell elvégezni. Így a lakások felé már ötvezetékes (a szétválasztás után TN-S jellegű) hálózat megy, és a fürdőszobai körök külön PE és N vezetőt kapnak. A FI-relé a szétválasztás után érzékeli a differenciaáramot; ha a PE és N vezeték bárhol össze lenne kötve, a FI-relé leoldana, vagy a védelme hatástalanná válna.

21.2.13.8. 7. feladat (D)

Biztonsági korlát. Hálózati feszültségű munkát csak jogosult személy végezhet; a feladat tanműhelyi környezetre vagy oktatói felügyeletre vonatkozik.

Az öt biztonsági szabály szerint: 1. Lekapcsolás: a lakáselosztó feszültségmentesítése a főkapcsolóval vagy kismegszakítóval. 2. Visszakapcsolás elleni biztosítás: a kapcsolót le kell zárni vagy táblázni. 3. Feszültségmentesség ellenőrzése: előzetesen ellenőrzött kétpólusú feszültségvizsgálóval minden vezetőpár között (L1–L2, L2–L3, L1–L3, Lx–N, Lx–PE, N–PE), majd a vizsgáló újbóli ellenőrzése ismert feszültségforráson (nem fázisceruzával). 4. Földelés és rövidre zárás: kisfeszültségű lakáselosztóban általában nem szükséges, de a munkavégzés szabályai szerint, ha indokolt, el kell végezni. 5. Szomszédos feszültség alatti részek lefedése: ha a közelben van feszültség alatt lévő rész, le kell takarni.

Ezután folytonosságméréssel igazoljuk a PE-sín és a testek, illetve az N-sín és a nullapontok összeköttetését. Az N és a PE különállását úgy ellenőrizzük, hogy a lakáselosztóban a bejövő N-vezetőt (feszültségmentes állapotban) az N-sínről leválasztjuk, és az N-sín (a lakás összes N-vezetője) és a PE-sín között szigetelési ellenállást mérünk; a vártnál kisebb érték lakáson belüli N–PE összekötést jelez. A szétválasztási ponton az N–PE összekötés szándékos, ezért leválasztás nélkül a két sín között kis ellenállású folytonosság is mérhető, ami nem hiba. A szemrevételezés során ellenőrizzük a színjelöléseket és a feliratozást is.

21.2.14. Rövid összefoglaló

A kisfeszültségű hálózati rendszerek betűjelölésének első betűje a tápláló rendszer földelését (T: földelt, I: izolált vagy nagy impedancián földelt), második betűje a testek földelését (T: közvetlenül földelt, N: a tápláló rendszer földelt pontjához kötött), harmadik betűje pedig TN rendszernél a PE és N viszonyát (C: közös PEN, S: külön) mutatja. A TN-C rendszerben a PEN vezető egyesíti a nulla és a védővezető feladatát; a TN-S rendszerben külön PE és N vezető fut; a TN-C-S rendszer a PEN szétválasztásával hoz létre fogyasztói oldalán TN-S rendszert. A TT rendszerben a testek saját földelőhöz csatlakoznak, ezért a FI-relé alkalmazása nélkülözhetetlen, és az $R_A \cdot I_{\Delta n} \leq U_L$ feltételt kell betartani. Az IT rendszer első földzárlatnál nem kapcsol le, de a második hiba veszélyes, ezért szigetelésfigyelőt kell alkalmazni. **Továbbvitt eredmény.** A hálózati rendszer és a hibaáram útjának ismerete közvetlenül szükséges az Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel alfejezethez, ahol a $Z_s \cdot I_a \leq U_0$ feltételt vezetjük le, és a Földelők és földelési ellenállás alfejezethez, ahol a földelőket méretezzük és mérjük. A PEN vezetőt tilos megszakítani, és a szétválasztás után a PE és N vezetőt tilos összekötni.

21.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezetben hivatkozott szabványok: MSZ HD 60364-1 és MSZ HD 60364-4-41. A betűjelölések és a rendszerek klasszikus villamos biztonsági ismeretnek tekinthetők, de a pontos kiadásokat, a PEN vezető minimális keresztmetszetét, az 50 V-os érintési feszültség határértéket és a vezetőszínek aktuális előírásait a kiadás előtt ellenőrizni kell a hatályos MSZ EN / MSZ HD szabványokban és a hazai hálózati engedélyes előírásaiban. A hálózati rendszerek váltásával kapcsolatos gyakorlati követelményeket (pl. a PEN szétválasztás pontos helye, ismételt földelés szükségessége) szintén ellenőrizni kell a helyi elosztói feltételek alapján.

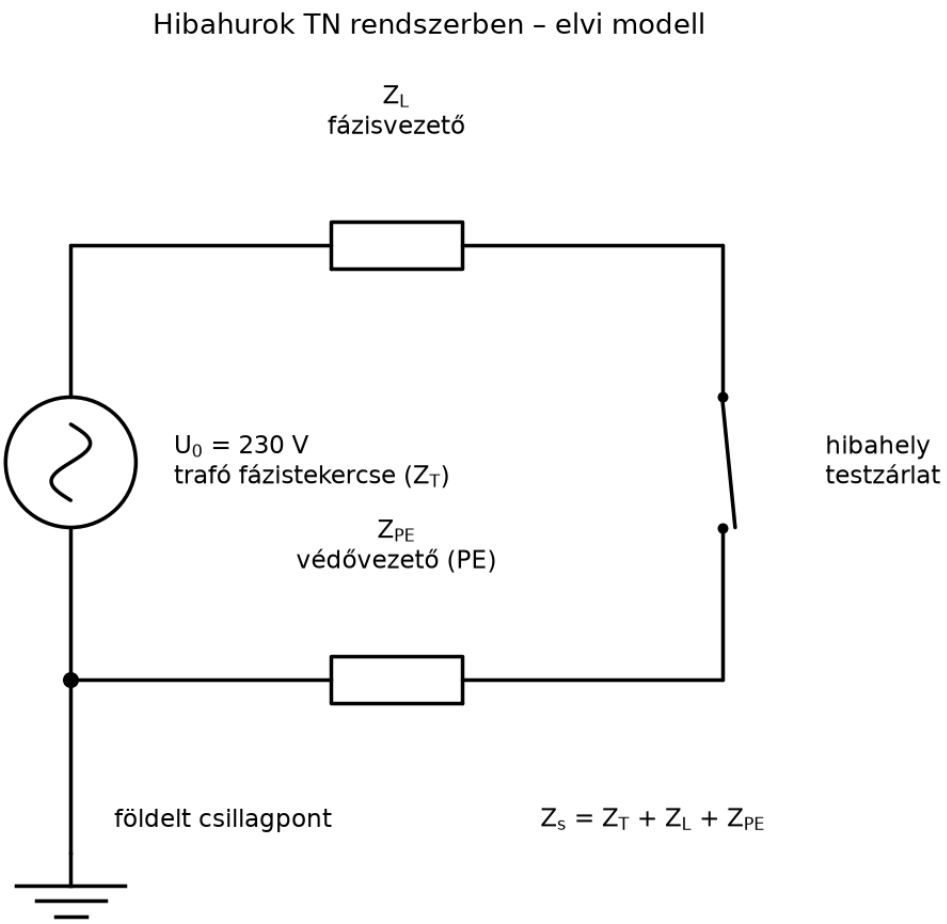
21.3. Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel

21.3.1. Miért éppen a hurokimpedancia dönti el, hogy leold-e a védelem?

Egy lakásfelújításon a kismegszakító bekötése után a kolléga megkérdezi: „Most már ugye ha testzárlat lesz, lekapcsol azonnal a 16 A-es C kismegszakító?” A válasz nem az, hogy „persze”, hanem az, hogy **meg kell mérni a hibahurok impedanciáját**. Hiába van 16 A-es C kismegszakító, ha a hálózat hurokimpedanciája túl nagy, a zárlati áram kicsi marad, a kismegszakító pedig nem old ki a megkövetelt időn belül. Ebben az alfejezetben megtanulod, hogyan lehet ezt számszerűen ellenőrizni.

21.3.2. Szemléletes kép: a hibaáram útja

Amikor egy fázisvezető a készülék fémházához ér, a hibaáram nem „eltűnik”, hanem visszazár a transzformátor csillagpontjához. TN-rendszerben ez az út: transzformátor fázistekercse → fázisvezető → hibahely → készülékház → védővezető (PE vagy PEN) → vissza a transzformátor csillagpontjához. Az egész hurok ellenállása és reaktanciája együtt a **hurokimpedancia**.



21.5. ábra. Hibahurok TN rendszerben – elvi modell - A transzformátor fázistekercse (U0 = 230 V) a fázisvezetőn (ZL) át a hibahelyhez jut; a testzárlat (záródó érintkezőként ábrázolva, a működést szemléltető állapotban) a készülék testét köti a fázisra; az áram a védővezetőn (ZPE) át tér vissza a földelt csillagponthoz. Zs = ZT + ZL + ZPE.

A rajz azt szemlélteti, hogy a hiba nem más, mint egy záródó kapcsoló (a rajzon működtetett, zárt állapotban), amely a fázisfeszültséget a hurok impedanciájára kapcsolja. Ha a hurok nagy, az áram kicsi; ha kicsi, az áram nagy.

21.3.3. Definíciók és alapösszefüggések

Definíció. Hibahurok. A hibahurok a hibaáram teljes útja a fázisfeszültség forrásától a hibahelyen át a védővezetőn keresztül vissza a forrás csillagpontjához. TN-rendszerben ez a fázisvezető, a hibahely, a védővezető (PE), a PEN-vezeték, valamint a transzformátor belső impedanciája és az összes csatlakozás.

Definíció. Hurokimpedancia (Z_s). A hibahurok teljes impedanciáját hurokimpedanciának nevezzük. Értéke a fázis–védővezető hurok teljes ellenállásából és reaktanciájából adódik, mértékegysége ohm.

Definíció. Kioldási áram (I_a). Az a legkisebb hibaáram, amelynél a védőeszköz a megkövetelt kioldási időn belül biztosan lekapcsol. Kismegszakítónál ez a pillanatkioldó (mágneses kioldó) megbízhatóan működő áramértékének felső határa; olvadóbiztosítónál a kioldási görbéből meghatározott érték.

Definíció. Automatikus lekapcsolás. A hibavédelem azon módja, amely testzárlat esetén a védőeszközzel a hibaáramkört meghatározott időn belül önműködően lekapcsolja, így a hálózatról az érinthető test feszültségét megszünteti.

21.3.4. A TN-rendszer kioldási feltételének levezetése

TN-rendszerben a hibaáramot a fázisfeszültség és a hurokimpedancia határozza meg:

$$I_k = \frac{U_0}{Z_s},$$

ahol U_0 a névleges fázisfeszültség (230 V), Z_s pedig a hibahelyen mérhető hurokimpedancia.

A védelem akkor működik megbízhatóan, ha a hibaáram legalább akkora, mint a védőeszköz kioldási árama:

$$I_k \geq I_a.$$

Behelyettesítve:

$$\frac{U_0}{Z_s} \geq I_a \quad \Rightarrow \quad Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}.$$

Összefüggés. TN-rendszer kioldási feltétele.

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a},$$

ahol Z_s a mért hurokimpedancia, U_0 a névleges fázisfeszültség (230 V), I_a a védőeszköz kioldási árama.

Ebből adódik a maximális megengedett hurokimpedancia:

$$Z_{s,\max} = \frac{U_0}{I_a}.$$

Ha a mérés szerint Z_s nagyobb, mint $Z_{s,\max}$, a védőeszköz nem old ki a megkövetelt időn belül, tehát a hiba fennmarad, és a készülék teste tartósan veszélyes feszültségre kerülhet.

Megjegyzés. A gyakorlatban a hurokimpedanciát fázis és védővezető (PE) között mérjük. A mérést a későbbiekben a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezetben részletezzük.

21.3.5. Kioldási áram kismegszakítónál

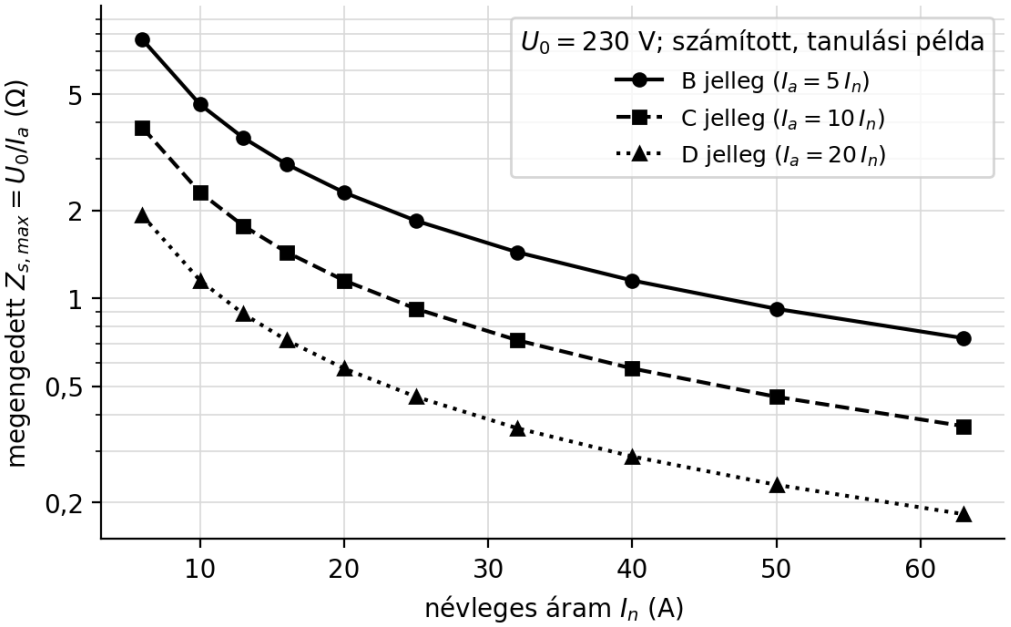
A lakossági és ipari elosztókban leggyakrabban B, C és D kioldási jellegű kismegszakítókat használunk. A pillanatkioldó sávja:

- B jelleg: $3 \cdot I_n \le I_a \le 5 \cdot I_n$
- C jelleg: $5 \cdot I_n \le I_a \le 10 \cdot I_n$
- D jelleg: $10 \cdot I_n \le I_a \le 20 \cdot I_n$

Szabály. A legnagyobb kioldási árammal számolunk. A megengedett maximális hurokimpedanciát a pillanatkioldó sáv **felső határával** kell számolni, mert a zárlati áramnak a megszakítót biztonsággal működtető legnagyobb áramot is el kell érnie. Például C 16 A esetén $I_a = 10 \times 16 = 160$ A; B 25 A esetén $I_a = 5 \times 25 = 125$ A. Az alsó határ csak tájékoztató, a tervezéshez nem elegendő.

Figyelem. A pontos kioldási sávok és a hozzájuk tartozó hurokimpedancia-értékek a gyártói adatlapról vagy a vonatkozó szabványból ellenőrizendők; az itt közölt szorzók tanulási példák.

Ábra: a megengedett hurokimpedancia a névleges áram függvényében. A $Z_{s,\max} = U_0/I_a$ határ a három kioldási jellegre, a pillanatkioldó sáv felső határával ($I_a = 5$, 10, illetve $20 \cdot I_n$) és $U_0 = 230\,\text{V}$-tal számolva, 6 A-től 63 A-ig (függőleges tengely logaritmikus). Látszik, hogy azonos névleges áramnál a D jellegű kismegszakítóhoz négyszer kisebb hurokimpedancia kell, mint a B jellegűhöz, és a névleges áram növelésével a határ fordított arányban csökken (B16: 2,88 Ω; C16: 1,44 Ω). A HTML-változatban a mért Z_s beállítható, és a program jelzi, hogy teljesül-e a kioldási feltétel.



21.6. ábra. A megengedett hurokimpedancia (Zs,max = U0/Ia) a névleges áram függvényében B, C és D jellegű kismegszakítóra

21.3.6. Szabványi környezet

Szabvány. Az automatikus lekapcsolás követelményeit az MSZ HD 60364-4-41 tartalmazza. A kismegszakítókra vonatkozó kioldási jellemzőket az MSZ EN 60898-1 (háztartási és hasonló

alkalmazások) és az MSZ EN 60947-2 (ipari megszakítók) írja le. A hurokimpedancia-mérő műszerekre az MSZ EN 61557 szabvány vonatkozik. A pontos kioldási időket és határértékeket az aktuális szabványkiadás és a gyártói adatlap tartalmazza, ezért mindig ellenőrizendők.

Szabály. Kioldási idő követelmény. A megengedett lekapcsolási idő a rendszertől és az áramkör fajtájától függ (tanulási értékek, $U_0 = 230\,\mathrm{V}$):

Rendszer	Legfeljebb 32 A-es végáramkör	Elosztó áramkör és 32 A feletti végáramkör
TN	0,4 s	5 s
TT	0,2 s	1 s

(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41 aktuális kiadása, a feltételek pontos megfogalmazása). A pillanatkioldó felső határával számolt $Z_{s,max}$ mellett a kismegszakító mágneses kioldása (jellemzően 0,1 s alatt) a 0,4 s-ot bőven teljesíti; az 5 s-os idő annál számít, ahol a hőkioldó is elég lehet. TT-rendszerben a hibavédelmet általában FI látja el (lásd az Áram-védőkapcsoló (FI) és kiegészítő védelem alfejezetet).

21.3.7. Számítási példák

21.3.7.1. Kidolgozott példa: 16 A C kismegszakító

Adott: TN-rendszer, $U_0 = 230$ V, kismegszakító $I_n = 16$ A, C jelleg. **Keresett:** maximális megengedett hurokimpedancia, $Z_{s,\max}$.

Képlet és behelyettesítés:

C jellegnél a felső kioldási határ:

$$I_a = 10 \cdot I_n = 10 \cdot 16 = 160\ \mathrm{A}.$$

$$Z_{s,\max} = \frac{U_0}{I_a} = \frac{230\ \mathrm{V}}{160\ \mathrm{A}} = 1{,}4375\,\Omega.$$

Eredmény: $Z_{s,\max} \approx 1{,}44\,\Omega$.

Ellenőrzés: ha $Z_s = 1{,}4375\,\Omega$ (a határérték, kerekítve 1,44 Ω), akkor a zárlati áram $I_k = 230/1{,}4375 = 160$ A: a határértéknél a hibaáram éppen 160 A, a mért értéknek ennél kisebbnek kell lennie, tartalékkal. **Tartalék.** A hurokimpedanciát hideg vezetőn mérjük, zárlatkor a vezető felmelegszik (az ellenállása nő), a műszernek pedig mérési bizonytalansága van (MSZ EN 61557-3). Ezért a mért (hideg) Z_s-t a megengedett érték csak egy hányadával szabad összevetni; tanulási szabályként $Z_{s,\text{mért}} \le \frac{2}{3} Z_{s,max}$ **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-6 és a műszer adatlapja).** A gyártói táblázatban megadott értéket kell használni. **Jelölés a példákban:** a „megfelel” a számított $Z_{s,\max}$ elméleti összevetését jelenti (tartalék nélkül); a mérés kiértékelésénél a $\frac{2}{3}$-os tartalékot is megnézzük, és az eredményt külön kimondjuk.

21.3.7.2. Kidolgozott példa: 25 A B kismegszakító

Adott: TN-rendszer, $U_0 = 230$ V, $I_n = 25$ A, B jelleg. **Keresett:** $Z_{s,\max}$, és annak eldöntése, hogy egy mért $Z_s = 1{,}5\,\Omega$ érték megfelel-e.

Számítás:

B jellegnél:

$$I_a = 5 \cdot I_n = 5 \cdot 25 = 125 \text{ A}.$$

$$Z_{s,\max} = \frac{230 \text{ V}}{125 \text{ A}} = 1{,}84\,\Omega.$$

A mért érték:

$$Z_s = 1{,}5\,\Omega \leq 1{,}84\,\Omega,$$

tehát a számított határértékkel összevetve (tartalék nélkül) **megfelel**. A $\frac{2}{3}$-os tartalékkal ($\frac{2}{3} \cdot 1{,}84 = 1{,}23\,\Omega$) a mért 1,5 Ω már **nem** felel meg: a kör felülvizsgálandó (a kötések, a vezetékhossz ellenőrzése, vagy kisebb névleges áramú védőeszköz).

Ellenőrzés: a tényleges hibaáram $I_k = 230/1{,}5 = 153{,}3$ A, ami nagyobb, mint 125 A, ezért a kismegszakító pillanatkioldója gyorsan kiold.

21.3.8. TT-rendszer: a földelési ellenállás és az áram-védőkapcsoló feltétele

TT-rendszerben a fogyasztó testét saját földelőhöz kötik, nem a transzformátor csillagpontjához visszavezetett PE-vezetőhöz. A hibaáram útja: fázisvezető → hibahely → készüléktest → helyi földelés → föld → a transzformátor csillagpontjának földelése. Mivel a földelési ellenállások viszonylag nagyok (például 10–100 Ω), a hibaáram kicsi, gyakran csak néhány amper. A kismegszakító ilyenkor általában **nem** old ki, ezért a TT-rendszerben a hibavédelem eszköze tipikusan az áram-védőkapcsoló (RCD, köznyelvi FI-relé).

A TT-rendszerben az érintési feszültség akkor marad a megengedett érték alatt, ha:

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq U_L,$$

ahol R_A a fogyasztói oldal földelési ellenállása, $I_{\Delta n}$ az áram-védőkapcsoló névleges kioldási árama, U_L a megengedett érintési feszültség (jellemzően 50 V, nedves környezetben 25 V – ellenőrizendő).

Összefüggés. TT-rendszer feltétele FI-relével.

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50 \text{ V}.$$

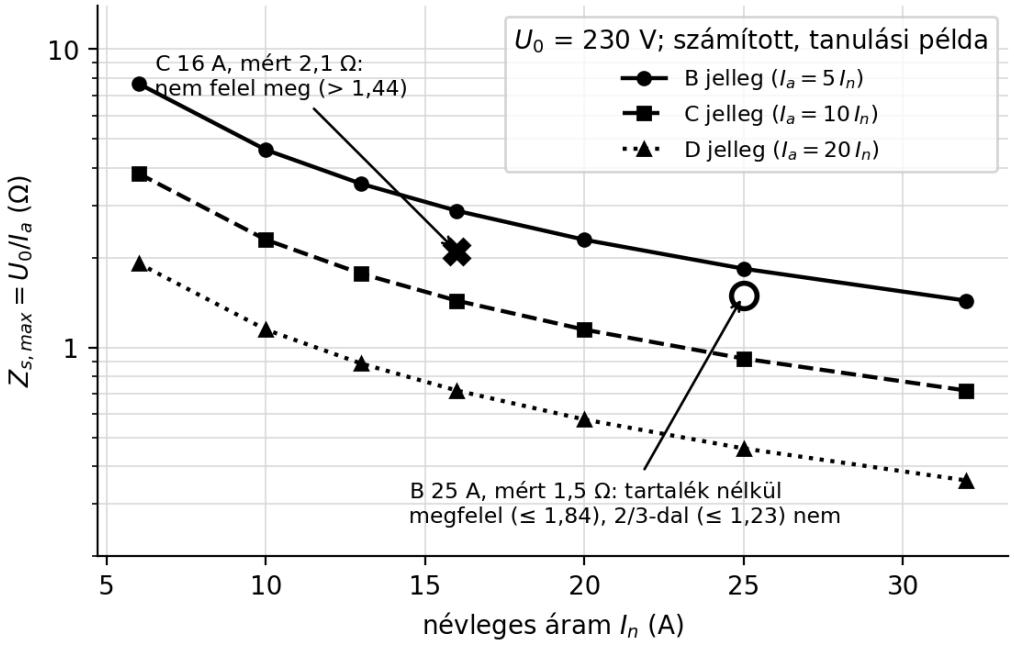
Ha például 30 mA érzékenységű FI-relét használunk, a földelési ellenállás legfeljebb:

$$R_A \leq \frac{50 \text{ V}}{0{,}03 \text{ A}} = 1667\,\Omega$$

lehet elméletileg. A gyakorlatban a földelőt sokkal kisebbre, legfeljebb néhány tíz ohmra méretezik, mert a nagy érték nem stabil, és az érintési feszültség már kisebb hibánál is ingadozhat. A földelési ellenállás méréséről a Földelők és földelési ellenállás alfejezetben lesz részletesen szó.

21.3.9. Interaktív kalkulátor

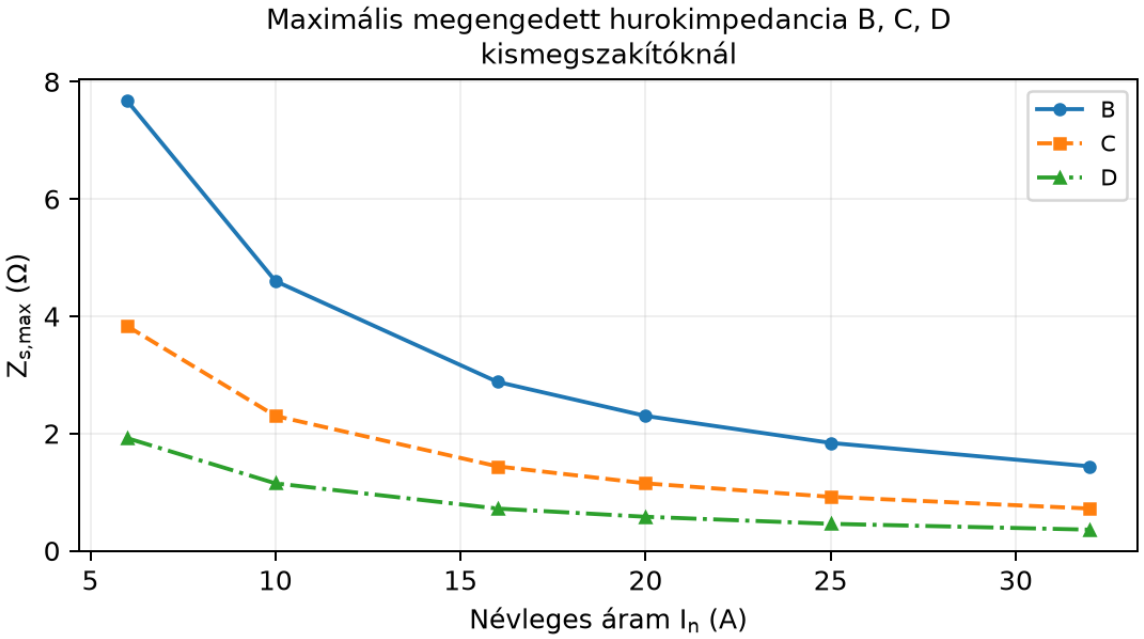
A következő ábra a maximális megengedett hurokimpedanciát mutatja a kismegszakító jellegének és névleges áramának függvényében.



21.7. ábra. Maximális megengedett hurokimpedancia kalkulátor

Mit lehet kipróbálni? A kalkulátorban megadható a hálózati feszültség (jellemzően 230 V), a kismegszakító névleges árama és a kioldási jelleg (B, C, D), valamint a mért hurokimpedancia. A program kiszámolja a $Z_{s,\max}$ értéket, és jelzi, hogy a mért érték megfelel-e a kioldási feltételnek.

Statikus tartalék ábra leírása: A grafikon vízszintes tengelyén a kismegszakító névleges árama (6–32 A), a függőleges tengelyen a maximális megengedett hurokimpedancia ohmban látható. Három lefelé hajló görbe mutatja a B, C és D jellegeket; a B jelleg a legmagasabban, a D a legalacsonyabban fut. Az ábra szemlélteti, hogy nagyobb névleges áramnál és nagyobb kioldási szorzónál kisebb hurokimpedancia szükséges.



21.8. ábra. Maximális megengedett hurokimpedancia B, C, D kismegszakítóknál - Szemléltető, U0 = 230 V, a pillanatkioldó felső határával (B:5×In, C:10×In, D:20×In) számolva. A pontos értékek a gyártói adatlapról/aktuális szabványból ellenőrizendők.

21.3.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy régi lakás felújításánál a szerelő a hálózat átalakítása után hurokimpedanciát mért a konyhai aljzatkörnél. A kör 16 A-es C jellegű kismegszakítóval volt védve. A mért érték $Z_s = 2{,}1\,\Omega$ lett, míg a megengedett maximum 1,44 Ω. A mérés azt mutatta, hogy a megszakító ugyan a hosszan tartó túlterhelés ellen véd, de gyors hibaleválasztáshoz nem elegendő. A javítás kétirányú volt: a szerelő a hosszú, kis keresztmetszetű tápvezeték egy részét nagyobb keresztmetszetre cserélte, majd 30 mA-es áram-védőkapcsolót épített be. A FI biztosította a hibavédelmet akkor is, ha a hurokimpedancia a jövőben megnő, például egy csatlakozás öregedése miatt.

21.3.11. Mérési gondolkodásmód

A hurokimpedanciát a feszültség alatt lévő hálózaton, arra alkalmas műszerrel mérjük. **Biztonsági korlát.** A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A méréshez megfelelő CAT III vagy CAT IV besorolású műszer, hibátlan mérőzsinór és a mérés előtti műszerellenőrzés szükséges. A mérési módszert és a hibakeresést a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezetben tanuljuk meg.

21.3.12. Tipikus hibák

1. Hiba: csak a kismegszakító névleges áramát nézik, a hurokimpedanciát nem mérik. A 16 A-es C megszakító 16 A-re véd, de a testzárlat esetén 160 A-nek kellene folynia. A túl nagy hurok miatt ez nem alakul ki, ezért a kismegszakító nem old le. A helyes gyakorlat: mindig mérjük a hurokimpedanciát, és hasonlítsuk a megengedetthez.

2. Hiba: a kioldási sáv alsó határával számolnak. C karakterisztikánál azt gondolják, hogy 5-szörös névleges áram is elég, ezért 80 A-nél kiold. A valóságban a pillanatkioldó csak 160 A-nél garantált C 16 A-nél. A megengedett hurokimpedanciát a felső határral kell meghatározni.

3. Hiba: TT-rendszerben túláramvédelemre bízzák a hibavédelmet. A nagy földelési ellenállás miatt a hibaáram kicsi, a kismegszakító nem old ki. TT-ben mindig megfelelően érzékeny FI-relét kell beépíteni, a feltételt a $R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50$ V egyenlőtlenséggel ellenőrizni.

21.3.13. Önellenőrzés

1. kérdés. Igaz vagy hamis? A hurokimpedancia a hibaáram útjának teljes impedanciája, ezért minél nagyobb, annál nagyobb lesz a testzárlati áram.

2. kérdés. Miért kell C jellegnél 10-szeres névleges árammal számolni a kioldási feltételt?

3. kérdés. Számold ki fejben: B 10 A kismegszakító esetén mennyi a maximális megengedett hurokimpedancia? ($U_0 = 230$ V)

4. kérdés. TT-rendszerben 100 Ω földelési ellenállás és 30 mA FI-relé esetén mekkora az érintési feszültség, és megfelel-e az 50 V-os határnak?

5. kérdés. Mi a hiba a szerelő érvelésében? A szerelő azt állítja, hogy a mérés során a hurokimpedanciát nem kell ellenőrizni, mert a kismegszakító katalógusban megadott zárlati áramot önmagában meg tudja szakítani.

21.3.14. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a hibahurkot és írd fel a TN-rendszer kioldási feltételét.

2. feladat (A). Számítsd ki a maximális megengedett hurokimpedanciát B 10 A és C 20 A kismegszakítókra, $U_0 = 230$ V mellett.

3. feladat (B). Egy mérés során 20 A C jellegű megszakítónál $Z_s = 1{,}1\,\Omega$ értéket kaptunk. Ellenőrizd, megfelel-e a kioldási feltételnek.

4. feladat (B). TT-rendszerben a fogyasztói földelő ellenállása $R_A = 25\,\Omega$. 30 mA-es FI-relé esetén mekkora a maximális érintési feszültség, és megfelel-e?

5. feladat (C). Egy elosztóban mérve $Z_s = 2{,}0\,\Omega$. Milyen jellegű és névleges áramú kismegszakítót lehet legfeljebb beépíteni, ha a kioldási feltételt mindenképpen teljesíteni kell? Válassz az alábbi lehetőségek közül: B 10 A, B 16 A, C 16 A, C 25 A, D 16 A. Számolással indokold.

6. feladat (D). Egy régi lakáselosztóban 16 A C kismegszakító véd egy aljzatkört, a mért hurokimpedancia 2,2 Ω. Mit javasolsz? Fogalmazz meg legalább két intézkedést, és magyarázd el, miért javítják a hibavédelmet.

21.3.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. Hamis. Minél nagyobb a hurokimpedancia, annál kisebb a hibaáram ($I_k = U_0/Z_s$), tehát rosszabb a kioldási feltétel.
2. C jellegnél a pillanatkioldó 5–10-szeres névleges áram között működik; a biztonsághoz a felső határral, azaz 10-szeres értékkel kell számolni, mert a zárlati áramnak ezt is el kell érnie.
3. B 10 A: $I_a = 5 \times 10 = 50$ A; $Z_{s,\max} = 230/50 = 4{,}6\,\Omega$.
4. $U_t = R_A \cdot I_{\Delta n} = 100 \cdot 0{,}03 = 3$ V, ami jóval kisebb, mint 50 V, tehát megfelel.
5. A hiba az, hogy a megszakító zárlati megszakítóképessége nem helyettesíti a hurokimpedancia ellenőrzését. A megszakítóképesség csak azt mondja meg, mekkora áramot tud megszakítani; a hibaáram nagyságát a hurok határozza meg, és a kioldási feltétel ebből adódik.

1. feladat megoldása (A): A hibahurok a hibaáram útja a fázisfeszültség forrásától a hibahelyen át a védővezetőn keresztül vissza a forrás csillagpontjához. TN-rendszer kioldási feltétele: $Z_s \le U_0/I_a$, ahol Z_s a hurokimpedancia, U_0 a fázisfeszültség, I_a a védőeszköz kioldási árama.

2. feladat megoldása (A): B 10 A: $I_a = 5 \times 10 = 50$ A; $Z_{s,\max} = 230/50 = 4{,}6\,\Omega$. C 20 A: $I_a = 10 \times 20 = 200$ A; $Z_{s,\max} = 230/200 = 1{,}15\,\Omega$.

3. feladat megoldása (B): 20 A C: $I_a = 10 \times 20 = 200$ A; $Z_{s,\max} = 230/200 = 1{,}15\,\Omega$. Mért 1,1 Ω ≤ 1,15 Ω, tehát a tartalék nélküli összevetés szerint megfelel. Ellenőrzés: $I_k = 230/1{,}1 = 209$ A > 200 A, de a feltétel csak 4,5%-os tartalékkal teljesül, ami a melegedést és a mérési bizonytalanságot nem fedi le: a $\frac{2}{3}$-os szabály szerint ($\frac{2}{3} \cdot 1{,}15 = 0{,}77\,\Omega$) nem felel meg.

4. feladat megoldása (B): $U_t = R_A \cdot I_{\Delta n} = 25 \cdot 0{,}03 = 0{,}75$ V. Ez messze 50 V alatt van, tehát megfelel.

5. feladat megoldása (C): A mért $Z_s = 2{,}0\,\Omega$. Minden kismegszakítónál ki kell számolni a megengedett maximális hurokot:

- B 10 A: $I_a = 50$ A; $Z_{s,\max} = 4{,}6\,\Omega \rightarrow$ megfelel (a tartalékkal is: $\frac{2}{3} \cdot 4{,}6 = 3{,}07\,\Omega > 2{,}0\,\Omega$).
- B 16 A: $I_a = 80$ A; $Z_{s,\max} = 2{,}875\,\Omega \rightarrow$ tartalék nélkül megfelel ($2{,}0 < 2{,}875$), de a $\frac{2}{3}$-os tartalékkal ($1{,}92\,\Omega$) nem.
- C 16 A: $I_a = 160$ A; $Z_{s,\max} = 1{,}4375\,\Omega \rightarrow$ nem felel meg ($2{,}0 > 1{,}44$).
- C 25 A: $I_a = 250$ A; $Z_{s,\max} = 0{,}92\,\Omega \rightarrow$ nem felel meg.
- D 16 A: $I_a = 320$ A; $Z_{s,\max} = 0{,}71875\,\Omega \rightarrow$ nem felel meg.

Tehát a tartalék nélküli összevetésben a B 10 A és a B 16 A használható; a $\frac{2}{3}$-os tartalékkal biztonsággal csak a B 10 A. A C 16 A, C 25 A és D 16 A egyik módszerrel sem felel meg.

6. feladat megoldása (D): A mért 2,2 Ω meghaladja a 16 A C maximumot (1,44 Ω). Javaslatok:

1. A körre 30 mA érzékenységű FI-relét építenek be. A FI hibavédelemként lekapcsol már kis szivárgó áramnál is, nem kell nagy zárlati áram.
2. A vezetékméretezést felülvizsgálják, a hosszú, kis keresztmetszetű szakaszt nagyobbra cserélik, vagy a csatlakozásoknál megszüntetik a laza, korrodált kötéseket, ami csökkenti a hurokimpedanciát.

3. Szükség esetén a kismegszakító jellegét B jellegűre cserélik, ha a terhelés jellege megengedi. B 16 A-nél $I_a = 5 \cdot 16\,\mathrm{A} = 80\,\mathrm{A}$, így $Z_{s,\max} = 230\,\mathrm{V}/80\,\mathrm{A} = 2{,}875\,\Omega$; a mért 2,2 Ω tartalék nélkül megfelel, a $\frac{2}{3}$-os tartalékkal ($\frac{2}{3} \cdot 2{,}875\,\Omega \approx 1{,}92\,\Omega$) azonban nem. A jellegcsere ezért csak a 30 mA-es FI-vel vagy a hurok csökkentésével együtt elfogadható. (A határértékek tanulási példák; a mérvadó a hatályos MSZ HD 60364 és a gyártói kioldási görbe.)

21.3.16. Rövid összefoglaló

A hibavédelem automatikus lekapcsolással a testzárlati hibaáramra épül. TN-rendszerben a hibaáramot a fázisfeszültség és a hurokimpedancia határozza meg: $I_k = U_0/Z_s$. A védelem akkor megfelelő, ha $Z_s \le U_0/I_a$, ahol I_a a védőeszköz kioldási árama. Kismegszakítóknál a pillanatkioldó sáv felső határával számolunk: B 5 I_n, C 10 I_n, D 20 I_n. A hurokimpedanciát fázis és védővezető között mérjük, és a megengedett értékkel hasonlítjuk össze. TT-rendszerben a hibaáram kicsi, ezért áram-védőkapcsolóra van szükség; a feltétel $R_A \cdot I_{\Delta n} \le 50$ V. A mérés és a kioldási feltétel ellenőrzése továbbvisz az Áram-védőkapcsoló (FI) és kiegészítő védelem és a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezetekbe. **Továbbvitt eredmény.** A kioldási feltétel $Z_s \le U_0/I_a$ a hibavédelmi mérések alapja; a hurokimpedancia-mérés során ezt használjuk fel.

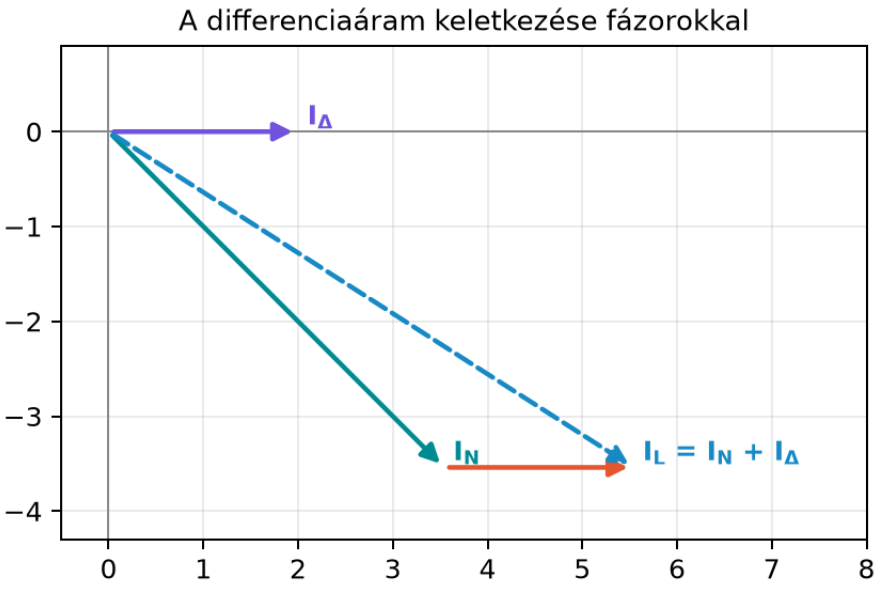
21.4. Áram-védőkapcsoló (FI) és kiegészítő védelem

21.4.1. Motiváció

Egy lakásfelújításon a megrendelő azt kérdezi: „Miért kell ez az FI-relé a fürdőszobai mosógép elé? Nem elég a kismegszakító?” A válasz nem egyszerű: a kismegszakító túláram és zárlat ellen véd, de akkor is üzemel, ha például a fázisvezető sérülése miatt a mosógép fémházát megérintő személyen át áram folyik a föld felé. Ezt a hibát **differenciaáram** okozza, és erre való az áram-védőkapcsoló. Ebben az alfejezetben megismered a működését, a típusait, az alkalmazási szabályait, valamint azt, hogyan ellenőrizheted a próbagombbal és méréssel.

21.4.2. Szemléletes kép: a hibaáram útja

Képzelj el egy egyfázisú áramkört, amelyben egy fázisvezető (L) és egy nullavezető (N) viszi az áramot a fogyasztóhoz. Normál üzemben az L-en folyó áram ugyanakkora, mint az N-en visszafolyó áram, csak az irányuk ellentétes. Ha a készülék fémházát feszültség éri – például megsérül a szigetelés, és a fázisvezető hozzáér a fémházhoz –, akkor az áram egy része a védővezetőn (PE) vagy a testen, illetve az emberi testen keresztül folyik a föld felé. Ezáltal az L-ben folyó áram nagyobb lesz, mint az N-ben visszafolyó áram. A két áram közötti különbséget nevezzük differenciaáramnak, és ez az áram-védőkapcsoló jelzését szolgáltatja.



21.9. ábra. A differenciaáram keletkezése fázorokkal - Testzárlatnál az L-en befolyó áram két részre oszlik: a fogyasztón át az N-en visszatérő IN áramra és a hibahelyen át a PE/föld felé folyó IΔ hibaáramra; a szaggatott IL = IN + IΔ (paralelogramma-szabály). A Σ-áramváltó a befolyó és a visszafolyó áram különbségét, IΔ = IL − IN-t érzékeli. Szemléltető fázorábra: induktív fogyasztó (φ = 45°), ohmos hibaáram a vízszintes (feszültség-) irányban; a hibaáram a láthatóság kedvéért nagyítva, nem méretarányos.

Az ábrán a fázisáram I_L vektora a nullavezetőn visszatérő I_N vektorából és a hibahelyen át a PE/föld felé folyó kis **differenciaáramból** (I_Δ) tevődik össze: $\vec{I}_L = \vec{I}_N + \vec{I}_\Delta$. Ép áramkörben $I_L = I_N$, a különbség nulla; hiba esetén a különbség jelenik meg a Σ-áramváltóban.

21.4.3. Definíciók és a működési elv

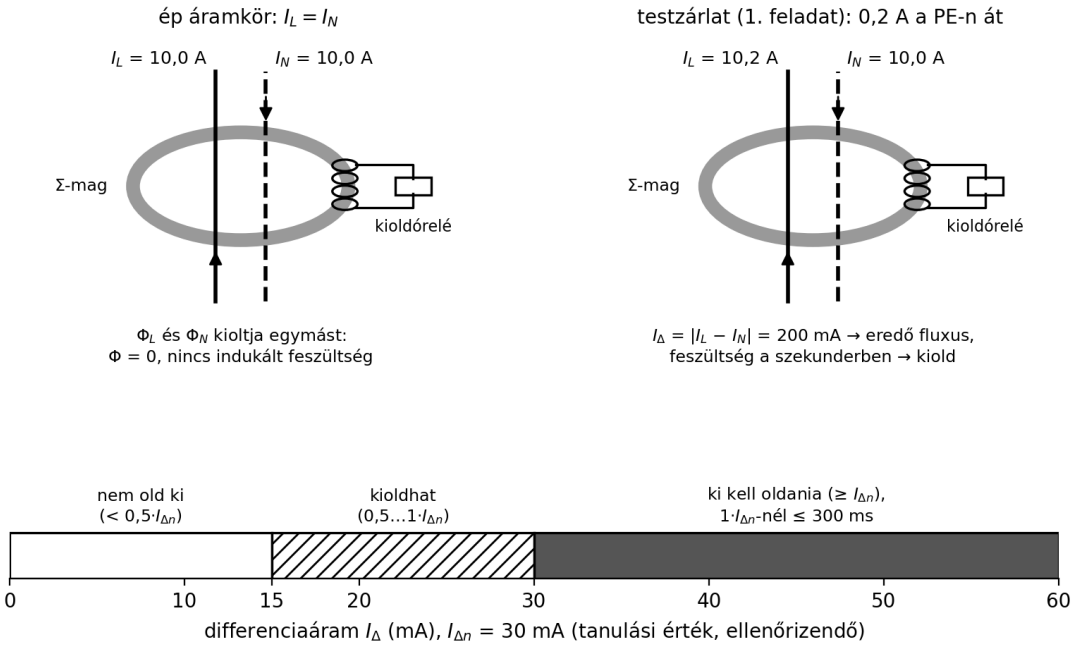
Definíció. Differenciaáram. Egy áramkörben a fázisvezetők és a nullavezető eredő áramának **vektori összege**:

$$I_\Delta = \left|\vec{I}_{L1} + \vec{I}_{L2} + \vec{I}_{L3} + \vec{I}_N\right|$$

Egészséges áramkörben ez az összeg nulla, mert a fázisokon folyó áramok a nullavezetőn visszafolynak, és a Kirchhoff csomóponti törvény értelmében a vektori összeg zérus. Ha bárhol hibaáram folyik a védővezető vagy a föld felé, ez az összeg nem nulla, és a különbség jelzi a hibát.

Definíció. Áram-védőkapcsoló (FI-relé, RCD). Olyan kapcsolókészülék, amely az áramkör differenciaáramát folyamatosan méri, és ha az meghaladja a beállított névleges hibaáramot ($I_{\Delta n}$), az áramkört megszakítja.

A működés elve. Az FI-relé központi eleme a **Σ-áramváltó** (szumma áramváltó). Ez egy gyűrű alakú mágneses mag, amelyen a védendő áramkör összes fázis- és nullavezetője egyszer át van fűzve. A védővezeték (PE) **nem** megy át rajta, mert azon normál üzemben nem folyik áram. Ha a fázis és a nulla áramok vektori összege nulla, a magban a mágneses fluxus nulla, és a szekunder tekercsben nincs feszültség. Hiba esetén a differenciaáram a magban fluxust hoz létre, ami a szekunder tekercsben feszültséget indukál. Ez a feszültség a kioldórelét működteti, amely mechanikusan megnyitja az érintkezőket, és leválasztja az áramkört.



21.10. ábra. Az FI-relé Σ-áramváltója ép áramkörben és testzárlatnál, alatta a kioldási tartomány ($I_{\Delta n} = 30$ mA)

Az ábra bal oldalán ép áramkör látható: az L-en befolyó és az N-en visszafolyó 10,0 A fluxusa kioltja egymást. A jobb oldalon testzárlat van (az 1. feladat adataival): az L-en 10,2 A folyik, az N-en csak 10,0 A tér vissza, a 200 mA különbség eredő fluxust és a szekunder tekercsben feszültséget hoz létre, a kioldórelé bont. Alul a kioldási tartomány: $0{,}5 \cdot I_{\Delta n}$ (15 mA) alatt a FI nem oldhat ki, 15 és 30 mA között kioldhat, $I_{\Delta n}$ felett ki kell oldania. A HTML-kiadásban a hibaáram csúszkával állítható, és kipróbálható a hibás bekötés is: ha a FI után az N és a PE össze van kötve, a hibaáram egy része az N-en a Σ-magon át tér vissza, és a FI kisebb különbséget érzékel.

Fontos tulajdonság. Az FI-relé **nem** véd túláram vagy zárlat ellen, ezért mindig túláramvédelmi eszközzel (biztosítóval vagy kismegszakítóval) kell együtt alkalmazni. Vannak kombinált készülékek is: a kismegszakítóval egybeépített áram-védőkapcsoló (RCBO), amely mind a túláramot, mind a differenciaáramot kezeli.

21.4.4. Névleges érzékenységek és alkalmazások

Az FI-relék legfontosabb jellemzője a **névleges hibaáram** ($I_{\Delta n}$). Ez az a differenciaáram-érték, amelynél a készülék megszakít. A gyakorlatban három érték a leggyakoribb:

- **30 mA**: kiegészítő védelem, amely közvetlen érintés esetén is csökkenti a halálos áramütés kockázatát. Tanulási értékként kötelező: a laikusok által használt, legfeljebb 32 A-es dugaszolóaljzat-körök, a szabadban használt, legfeljebb 32 A-es hordozható készülékek köre, a lakások világítási végáramkörei és a különleges helyiségek (fürdőszoba stb.) körei **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41 és a 7-es részek aktuális kiadása)**. A lakossági végáramkörökben a 30 mA a leggyakoribb érték; egyedi készülékkörökre 10 mA-es kivitel is létezik.
- **100 mA**: főként **tűzvédelemre** használják, ahol a kisebb hibákból származó tartós szivárgóáram melegedést és tüzet okozhat. Gyakran az elosztókban, nagyobb szakaszokon

alkalmazzák, ahol a 30 mA túl érzékeny lenne a természetes szivárgóáramok miatt. A 100 mA nem ad kiegészítő védelmet közvetlen érintés ellen, ezért azokban a végáramkörökben, ahol a 30 mA-es kiegészítő védelem kötelező (aljzatkörök, fürdőszoba stb.), nem elég; más körökben hibavédelemként (pl. TT-ben) alkalmazható, ha a feltétele teljesül.

- **300 mA**: az elosztói szintű **tűzvédelem** és nagyobb berendezések hibajelzése. Ritka a lakossági gyakorlatban, inkább ipari vagy közületi főelosztókban találkozunk vele.

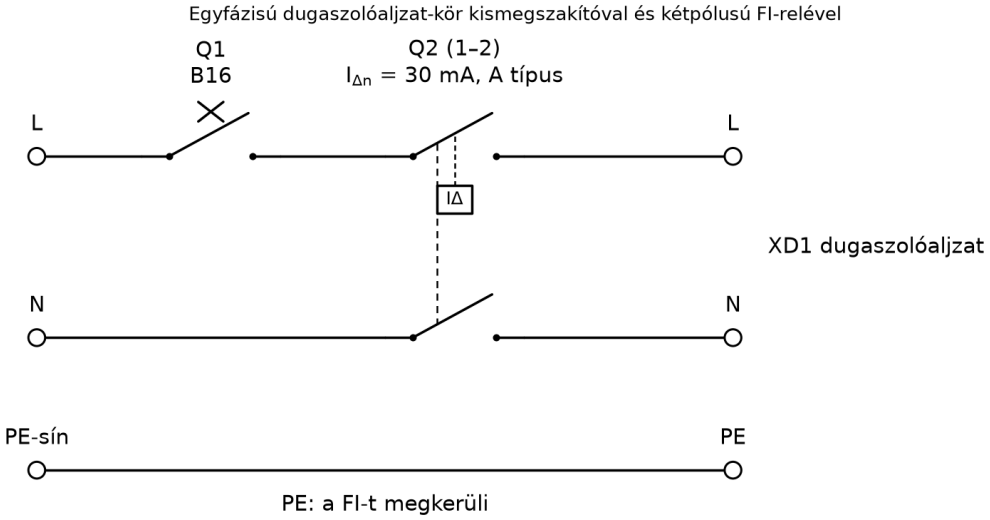
A fentieken kívül léteznek nagyobb, 500 mA vagy 1 A névleges hibaáramú készülékek is, de ezeket a könyvben nem tárgyaljuk. A szelektivitás biztosítására használják az **S típusú** (szelektív) FI-reléket: ezek rövid késleltetéssel oldanak, hogy a mögöttük lévő, gyorsabb FI-relé előbb szakítson, így csak a hibás áramkör marad feszültségmentes.

21.4.5. Típusok: AC, A, F, B és frekvenciaváltók

A differenciaáram jellege szerint az FI-relék különböző típusai léteznek. A típus betűjele azt mutatja meg, milyen alakú hibaáram esetén működik a készülék.

- **AC típus**: csak **szinuszos váltakozó áramú** differenciaáramra érzékeny. Ez a legrégebbi típus, ma már csak olyan helyeken alkalmazható, ahol nincs elektronikus fogyasztó (ellenőrizendő: a mai előírások). Például tisztán fűtőbetétes készülékeknél működik, de elektronikus tápegység, LED, számítógép vagy frekvenciaváltó mellett nem megbízható.
- **A típus**: a szinuszos váltakozó áram mellett **lüktető egyenáramú** differenciaáramra is kiold. A lüktető egyenáram olyan, amikor az áram iránya nem váltakozik, hanem csak a nagysága változik időben (pl. félvezetős áramkörök, dimmerek, egyenirányítók). A modern háztartási és ipari fogyasztók nagy része ilyen hibaáramot generálhat, ezért **ma már általában A típus ajánlott**.
- **F típus**: az A típusnál tovább: érzékeli a **nagyfrekvenciás** szinuszos és lüktető hibaáramokat is, és rövid késleltetéssel rendelkezik, ami csökkenti a téves kioldást olyan környezetben, ahol frekvenciaváltó, szivattyúk, mosógépek inverteres motorjai üzemelnek.
- **B típus**: az előzőeken túl **egyenáramú** és nagyfrekvenciás hibaáramokra is működik. Ezt a típust használják például frekvenciaváltós hajtásoknál, napelemes rendszereknél, akkumulátortöltőknél, ahol a hibaáram tartalmazhat egyenáramú összetevőt.

A gyakorlatban: ha egy mosógépben inverteres, frekvenciaváltós motor dolgozik, az AC és az A típusú FI-relé a nagyfrekvenciás szivárgóáramra tévesen oldhat, a sima egyenáramú hibaáramra pedig nem old le; egyfázisú frekvenciaváltós készüléknél F típus ajánlott (a gyártó előírása szerint), háromfázisú frekvenciaváltónál, töltőnél, napelemes invertereknél (ha a gyártó előírja) B típus szükséges **(ellenőrizendő: MSZ EN 62423 és a hajtás gyártói előírása)**. Az F típus a sima egyenáramú hibaáramot nem érzékeli. A frekvenciaváltós hajtások a készülékükben nagyfrekvenciás zajt és kapacitív szivárgóáramot generálnak, amely az AC és A típusnál téves kioldáshoz vezethet.



21.11. ábra. Egyfázisú dugaszolóaljzat-kör kismegszakítóval és kétpólusú FI-relével - A Q1 kismegszakító az L-ben, a kétpólusú Q2 FI-relé az L-ben (1–2) és az N-ben (N–N) is bont; mindkét vezető átmegy a Σ-áramváltón. A PE a PE-sínről a FI-t megkerülve, közvetlenül az XD1 aljzat védőérintkezőjére fut; a FI utáni N és a PE sehol nincs összekötve. A típusok (B16, 30 mA, A) példák (ellenőrizendő a tervvel).

A kapcsolási rajzon látható, hogy a fázisvezető (L) és a nullavezető (N) együtt halad át a kétpólusú FI-relén (az L a Q1 kismegszakítón is), míg a védővezető (PE) a PE-sínről a FI-t megkerülve, közvetlenül a dugaszolóaljzat védőérintkezőjére jut. A bekötésnél ügyelni kell a bemeneti és kimeneti oldal jelölésére.

21.4.6. Szabványi környezet

Szabvány. Az áram-védőkapcsolókra vonatkozó részletes követelményeket a termékszabványok tartalmazzák. A beépített túláramvédelem nélküli áram-védőkapcsolókra (RCCB) az MSZ EN 61008, a túláramvédelemmel kombinált kivitelre (RCBO) az MSZ EN 61009, az F és B típusra az MSZ EN 62423 vonatkozik (ellenőrizendő: aktuális kiadások és módosítások). A kisfeszültségű berendezések hibavédelmére az MSZ HD 60364-4-41, a készülékek kiválasztására és telepítésére az MSZ HD 60364-5-53 ad előírásokat (ellenőrizendő: aktuális szakaszok). A szabványok pontos időértékei és alkalmazási feltételei a kiadás előtt ellenőrizendők; az itt közölt értékek tanulási példák.

21.4.7. Valós életbeli alkalmazás: hibakeresés téves kioldásnál

Tünet: Egy családi ház új konyhájában a beépített inverteres mosogatógép indításakor a 30 mA-es FI-relé rendszeresen leold, pedig a készülék egyébként jól működik, és a kismegszakító nem kapcsol le.

Hipotézis: Túláram vagy zárlat nincs, mert a kismegszakító nem old. A jelenség differenciaáramra utal. A szerelő mérésekkel ellenőrzi a szivárgóáramot: a lakatfogóval átfogott fázis- és

nullavezetőn mért állandó differenciaáram 4 mA körüli volt, de a gép indításakor néhány ms-ra 40 mA-es csúcs is megjelent.

Ok: A mosogatógép frekvenciaváltós szivattyúja nagyfrekvenciás szivárgóáramot generál, amely indításkor rövid csúcsot okoz, és erre az AC típusú FI-relé kiold. A lüktető vagy vegyes frekvenciájú hibaáramot az AC típus ráadásul nem is érzékelné, ezért is cserélendő.

Javítás: A szerelő kicserélte az AC típusú FI-relét egy **F típusú** FI-relére (vagy a gyártó ajánlása szerint B típusra). A csere után a téves kioldás megszűnt: az állandó szivárgás 4 mA maradt (jóval a $0{,}5 \cdot I_{\Delta n} = 15\,\text{mA}$ alatt), és az F típus az indítási csúcsra nem old ki.

Megelőzés: Frekvenciaváltós vagy inverteres fogyasztókkal rendelkező áramkörökben mindig a gyártói ajánlásnak és a szabványnak megfelelő FI-típust kell választani, és a rendszer szivárgóáramát ellenőrizni kell.

21.4.8. Gyakorlati útmutató: a próbagomb és a mérés ellenőrzése

Biztonsági korlát. A FI-vizsgáló műszeres mérés tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A próbagomb megnyomása nem nyitja meg a burkolatot, ezért nem tartozik ide. Hálózati feszültségű munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet.

Próbagomb ellenőrzése. Az FI-relén mindig találsz egy „T” vagy „Test” feliratú nyomógombot. Ez egy mesterséges differenciaáramot hoz létre, amely a készülék belső áramkörén keresztül folyik, de nem jelent veszélyes hibát. Az ellenőrzés lépései:

1. **Figyelmeztesd a kör felhasználóit**, mert a próbagomb megnyomásakor a kör lekapcsol. A próbagomb csak névleges feszültség alatt álló, bekapcsolt FI-n működik (feszültségmentes állapotban vagy törpefeszültségen nem old ki, ez nem a készülék hibája); a megnyomás nem nyitja meg a burkolatot, ezért a felhasználó is elvégezheti.
2. **Ellenőrizd**, hogy az FI-relé be van-e kapcsolva (a kapcsolókar „I” állásban).
3. **Nyomd meg a próbagombot.** A készüléknek azonnal le kell oldania: a kar „0” állásba ugrik, az áramkör feszültségmentes lesz.
4. **Kapcsold vissza** a kapcsolókart „I” állásba, és ellenőrizd, hogy az áramkör ismét üzemel.
5. **Dokumentáld** az ellenőrzést: a felülvizsgálati jegyzőkönyvbe kerül, hogy a próbagomb működött, és a készülék leoldott.

A próbagombot **havonta egyszer** ajánlott ellenőrizni (ez a gyártói és szabványos ajánlás; ellenőrizendő: pontos gyakoriság). Ha a próbagomb nem old le, a FI-relé hibás vagy elakadt, és cserélni kell.

Mérés szerinti ellenőrzés. A FI-relé valódi védelmi paramétereit **FI-vizsgáló műszerrel** (RCD tester) mérjük. Ez a műszer mesterséges differenciaáramot hoz létre az áramkörben, és méri a kioldási időt, valamint a kioldási áramot. A mérés részletes lépéseit a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezetben tanulod meg. Itt csak a lényeget emeljük ki:

- **Kioldási áram**: a FI-relének $\mathbf{0{,}5}\times I_{\Delta n}$ differenciaáramnál **nem szabad** kioldania, $\mathbf{1}\times I_{\Delta n}$-nél pedig **ki kell** oldania. (A pontos értékek és a mérési eljárás a szabványban vannak; ellenőrizendő.)
- **Kioldási idő**: 30 mA-es FI-relénél $1\times I_{\Delta n}$ esetén általában 300 ms-on belül kell kioldani, de a pontos idő a szabványtól és a mérési feltételektől függ (ellenőrizendő).

A méréshez a műszer beállításainál meg kell adni a névleges hibaáramot és a típust, majd a mérést a megfelelő tesztárammal végrehajtani.

21.4.9. Tipikus hibák

1. **Hiba.** A FI-relé után a nulla és a védővezető (PE) közé bekötés kerül, például egy régi TN-C rendszerben a nullavezetőt használják védővezetőként is. Ekkor a FI-relé mögött a nulla és a PE gyakorlatilag össze van kötve, így a differenciaáram egy része a nullavezetőn visszafolyik, és a FI-relé tévesen leold, vagy nem old le hiba esetén. A helyes megoldás: a FI-relé mögött külön N és PE sín, a TN-C rendszerben a FI-relé előtt kell a PEN-t szétválasztani.
2. **Hiba.** A FI-t megfelelő túláramvédelem nélkül építik be, vagy a FI névleges áramát kisebbre választják, mint az utána lévő kismegszakítók összegéből adódó tartós terhelés. Helyes: a FI-t a gyártó által megadott előtét-túláramvédelemmel kell védeni; a sorrend (kismegszakító $\rightarrow$ FI, vagy FI $\rightarrow$ kismegszakítók) mindkét módon szabályos lehet **(ellenőrizendő: gyártói adatlap, MSZ EN 61008)**. Mindkét esetben igaz, hogy a FI-relé mögötti nullavezetőt nem szabad a PE-vel összekötni, és a FI-relé nulla kimenete nem terhelhető más áramkör nullavezetőjével, mint ami a fázisán megy.
3. **Hiba.** A próbagombot soha nem nyomják meg. Ha a FI-relé mechanikusan elakadt vagy a kioldórelé hibás, a próbagomb tesztje felfedi ezt. A rendszeres ellenőrzés elmulasztása azt eredményezi, hogy hiba esetén a FI-relé nem old le, és az áramütéses baleset bekövetkezik.
4. **Hiba.** Túl nagy szivárgóáram miatt 30 mA-es FI-relét választanak olyan körre, ahol a természetes szivárgóáram meghaladja a 30 mA-t. Ilyenkor a FI-relé folyamatosan old. A megoldás: a szivárgóáram forrásának megkeresése és megszüntetése (szigetelésmérés, hibás készülék javítása), a körök szétbontása több 30 mA-es FI vagy RCBO közé. Nagyobb névleges hibaáramú FI csak olyan körön választható, ahol a 30 mA-es kiegészítő védelem nem kötelező, és a hibavédelem feltétele teljesül **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41)**.

21.4.10. Önellenőrzés

1. Mit mér a Σ-áramváltó egy FI-relében?
2. Igaz-e, hogy a FI-relé túláram ellen is véd?
3. Mi a különbség az AC, A, F és B típusú FI-relék között?
4. Milyen névleges hibaáramot választanál egy fürdőszobai mosógép áramkörébe?
5. Mit jelent az S típusú FI-relé?
6. Miért nem szabad a FI-relé mögött a nullavezetőt és a védővezetőt összekötni?

21.4.11. Megoldások – Önellenőrzés

1. A Σ-áramváltó a rajta átfűzött fázis- és nullavezetők áramainak **vektori összegét**, azaz a differenciaáramot méri.
2. **Hamis.** A FI-relé nem véd túláram vagy zárlat ellen; mindig túláramvédelmi eszközzel együtt kell alkalmazni.
3. Az AC csak szinuszos váltakozó áramú hibaáramra; az A a lüktető egyenáramúra; az F a nagyfrekvenciás jelekre is, és rövid késleltetésű; a B az egyenáramú és nagyfrekvenciás hibaáramokra is működik.
4. 30 mA névleges hibaáramút, mert ez kiegészítő védelmet nyújt közvetlen érintés esetén is.
5. Az S típusú FI-relé rövid késleltetéssel old, így a mögötte lévő gyorsabb FI-relé hamarabb le tud oldani, biztosítva a szelektivitást.
6. Mert akkor a differenciaáram egy része a nullavezetőn visszafolyik, a FI-relé tévesen leold vagy nem érzékeli a hibát, és a védővezető nem tölti be a szerepét.

21.4.12. Feladatok

1. feladat (A). Egy egyfázisú áramkörben az L fázisvezetőn $I_L = 10{,}2\,\mathrm{A}$, az N nullavezetőn $I_N = 10{,}0\,\mathrm{A}$ folyik, az áramok 180°-os fáziseltérésűek. Számítsd ki a differenciaáram értékét! Kiold-e egy 30 mA érzékenységű FI-relé?

2. feladat (A). Sorold fel, milyen típusú FI-relét választanál a következő esetekben: (a) tisztán fűtőbetétes forróvíztároló; (b) inverteres mosógép; (c) frekvenciaváltós szellőzőmotor.

3. feladat (B). Egy lakáselosztóban a szivárgóáram mérése során egy adott áramkörön 22 mA differenciaáramot mérsz. Megfelel-e ez a 30 mA-es FI-relé használatának? Hány ilyen áramkör lehet egy FI-relé mögött, ha a FI névleges hibaárama 30 mA, a kioldási tartomány alsó határa $0{,}5 \cdot I_{\Delta n}$, és tanulási szabályként a tartós szivárgóáram nem haladhatja meg a névleges hibaáram 30%-át (9 mA) **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-53 / gyártói ajánlás)**?

4. feladat (B). Rajzold le egy egyfázisú áramkör kapcsolási rajzát: bejövő táplálás, kismegszakító (B16), FI-relé (30 mA, A típus), dugaszoló aljzat. Jelöld a PE vezető elrendezését!

5. feladat (C). Egy ipari kapcsolószekrényben frekvenciaváltó hajt több motort. A meglévő A típusú FI-relék többször tévesen leoldanak. Magyarázd el, mi lehet az ok, és milyen FI-típust javasolnál?

6. feladat (D). Egy hibakeresés során a FI-relé minden éjszaka leold, de nappal nem. A szerelő megméri a szivárgóáramot nappal: 12 mA. Éjszaka azonban 35 mA-re nő. Mi lehet a valószínű ok? Mit javasolsz?

21.4.13. Megoldások – Feladatok

1. feladat megoldása. A differenciaáram a vektori összeg abszolút értéke. Mivel ellentétes fázisúak, a különbség: $I_\Delta = |I_L - I_N| = |10{,}2 - 10{,}0| = 0{,}2\,\mathrm{A} = 200\,\mathrm{mA}$. Ez jóval meghaladja a 30 mA-t, tehát a FI-relé kiold.

2. feladat megoldása. (a) AC típus is elegendő, de ma már A típus ajánlott, mert később elektronikus eszközök is csatlakozhatnak. (b) F típus (vagy a gyártó által kifejezetten engedett A típus): inverteres, egyfázisú motorvezérlésnél a nagyfrekvenciás hibaáram-összetevők miatt az F típus a biztos választás (ellenőrizendő: a készülék telepítési útmutatója). (c) Háromfázisú frekvenciaváltónál B típus (egyenáramú összetevő is lehet a hibaáramban), egyfázisúnál F típus.

3. feladat megoldása. $22\,\mathrm{mA} > 0{,}5 \cdot 30\,\mathrm{mA} = 15\,\mathrm{mA}$, tehát a kör szivárgása már a FI lehetséges kioldási tartományában van (15–30 mA), a működés tartósan nem megbízható; a 9 mA-es tanulási határhoz képest is $22\ \mathrm{mA} > 9\ \mathrm{mA}$, tehát 0 ilyen áramkör üzemeltethető megbízhatóan a 30 mA-es FI mögött. Meg kell keresni és csökkenteni a szivárgást (szigetelésmérés, hibás készülék), vagy a kört több, külön FI-vel (RCBO-val) védett körre bontani.

4. feladat megoldása. A kapcsolási rajz szöveges leírása: A bejövő L1 az egypólusú kismegszakító (B16) bemenetére csatlakozik, az N közvetlenül a FI-relé N-bemenetére fut. A kismegszakító kimenete a FI-relé L-bemenetére megy. A FI-relé kimenete a dugaszoló aljzat fázis és nulla érintkezőjére. A PE-vezető a PE-sínről indul, és **nem** megy át a FI-relén; közvetlenül a dugaszoló aljzat védőérintkezőjére csatlakozik. A FI-relé nulla kimenete és a PE sínje között nincs összekötés. A megoldás rajza megegyezik a fenti, „Egyfázisú dugaszolóaljzat-kör…” kapcsolási rajzzal.

5. feladat megoldása. A frekvenciaváltó nagyfrekvenciás jeleket és lüktető egyenáramú összetevőt generál a szivárgóáramban. Az A típusú FI-relé a nagyfrekvenciás kapacitív szivárgásra

tévesen kioldhat, a sima egyenáramú hibaáramot pedig nem érzékeli. Háromfázisú frekvenciaváltónál a megoldás **B** típusú FI-relé (a hajtás gyártói előírása szerint; **ellenőrizendő: MSZ EN 62423**); az F típus csak egyfázisú hajtásnál elég, és az egyenáramú hibaáramot nem érzékeli.

6. feladat megoldása. Valószínű ok: olyan fogyasztó vagy áramkörrész, amely csak éjjel kap feszültséget vagy éjjel nedvesedik: a vezérelt (éjszakai) tarifán bekapcsoló bojler vagy hőtároló fűtőbetétjének romló szigetelése, illetve kültéri kötődoboz vagy kerti lámpa páralecsapódása. (A felharmonikus áram önmagában nem okoz differenciaáramot, mert a fázis- és a nullavezetőn egyaránt folyik.) A 12 mA-ről 35 mA-re növekedő szivárgóáram a 30 mA-es FI-relé kioldását okozza. Lépések: az éjjel üzemelő körök azonosítása (vezérelt kör, időkapcsoló); szigetelésmérés feszültségmentesítés után (az öt biztonsági lépés szerint); körönkénti szivárgóáram-mérés lakatfogóval; a hibás fűtőbetét vagy doboz javítása. A 35 mA-es szivárgás 30 mA-es FI mögött hibát jelez, nem a FI cseréjét kívánja.

21.4.14. Rövid összefoglaló

Az áram-védőkapcsoló (FI-relé, RCD) a fázis- és nullavezetők áramainak vektori összegét, a **differenciaáramot** méri a Σ-áramváltó segítségével. Normál üzemben ez az összeg nulla; hibánál a különbség nem nulla, és ha eléri a kioldási értéket (legkésőbb $I_{\Delta n}$-nél), a készülék megszakítja az áramkört. A leggyakoribb érzékenységek: 30 mA (kiegészítő védelem, végáramkörök), 100 mA és 300 mA (tűzvédelem, elosztói szint), valamint S típusú késleltetett kivitel a szelektivitáshoz. A típusok – AC, A, F, B – a hibaáram jellegétől függnek; frekvenciaváltós körökben F vagy B típust kell használni. A FI-relé nem véd túláram ellen, ezért kismegszakítóval együtt alkalmazzuk. A próbagombot havonta ellenőrizni kell, a mérési ellenőrzést FI-vizsgálóval végezzük. A FI-relé mögött a nullavezetőt és a védővezetőt tilos összekötni. A mérési módszereket a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezetben tanuljuk meg, és az így kapott eredményeket a felülvizsgálati jegyzőkönyvben dokumentáljuk.

21.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg a differenciaáram, a mágneses összegzés és a kioldási elv alapvető fizikai összefüggéseire épül, amelyek stabil tudásnak tekinthetők. A szabványi hivatkozások – MSZ EN 61008, MSZ EN 61009, MSZ HD 60364-4-41, MSZ HD 60364-5-53 – és a pontos kioldási idők, érzékenységek, típusbesorolások a kiadás előtt ellenőrizendők. A numerikus példák tanulási célt szolgálnak, nem tervezési előírások.

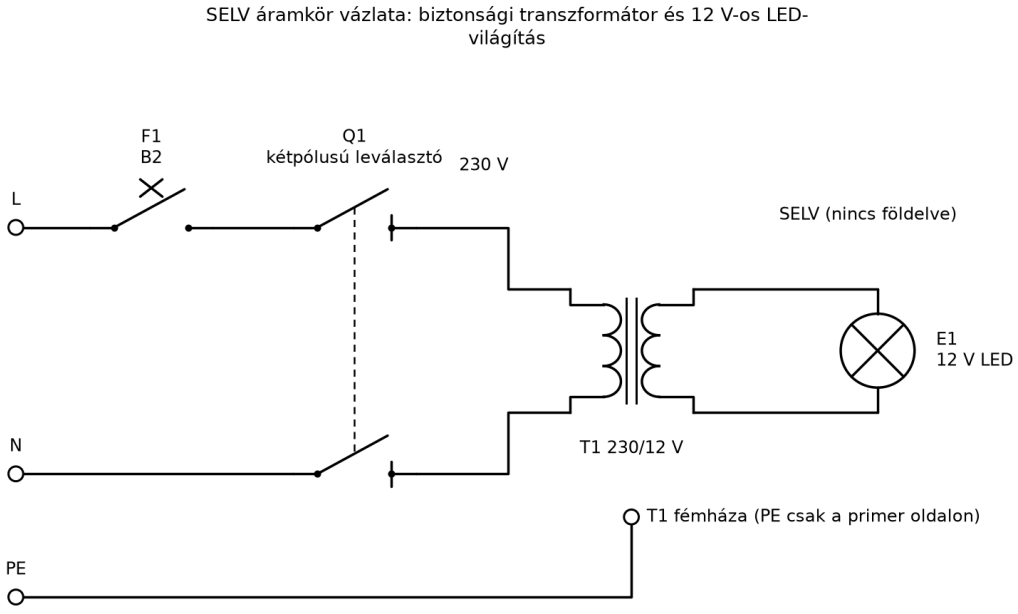
21.5. Védőkisfeszültség, II. osztály, védőelválasztás és egyéb módok

21.5.1. Motiváció

Tegyük fel, hogy egy medence melletti LED-világítást kell bekötnöd, vagy egy építkezésen használt kézi lámpát kell megjavítanod. Itt nem elég a megszokott 230 V-os áramkör: olyan védelmet kell választanod, amely akkor is biztonságos, ha a dolgozó vizes kézzel, szűk helyen, vagy fém állványon dolgozik. Ebben az alfejezetben azokat a védelmi módokat tanuljuk meg, amelyeknél a biztonságot nem elsősorban a gyors lekapcsolás, hanem a feszültség eleve alacsonyan tartása, a kettős szigetelés, vagy a hálózatból való galvanikus elválasztás adja.

21.5.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy medence melletti 12 V-os LED-lámpát, amelyet **biztonsági transzformátorról** (SELV) táplálunk. A transzformátor primer oldala 230 V-ra csatlakozik, a szekunder oldala viszont csak 12 V vagy 24 V feszültséget ad, és galvanikusan el van választva a hálózattól. Ha a dolgozó megfogja a 12 V-os kimenet egyik pólusát, nem tud rajta veszélyes áram keresztülfolyni, és a hálózati fázishoz képest sem alakul ki veszélyes hurok.



21.12. ábra. SELV áramkör vázlata: biztonsági transzformátor és 12 V-os LED-világítás - Primer oldal: L az F1 kismegszakítón és a kétpólusú Q1 leválasztón át, N a Q1 másik pólusán át a T1 primer két kapcsára. A PE csak a primer oldalon, a T1 (I. osztályú) fémházáig megy, a szekunderre nem. A szekunder két vezetéke az E1 lámpára fut; a szekunder kör sehol nincs földelve (SELV). Típusok példák (ellenőrizendő).

A rajz azt mutatja, hogy a primer oldalon két vezető (L és N) táplálja a transzformátort, a szekunder oldalon két vezető a lámpát, és a két oldal között csak a transzformátor mágneses csatolása van, közvetlen villamos (galvanikus) kapcsolat nincs. A PE csak a primer oldalon, a transzformátor fémházáig megy. A szekunder oldalon szándékosan nincs földelés, ezért ez **SELV** rendszer.

21.5.3. Alapfogalmak és definíciók

Definíció. Törpefeszültség (ELV): Olyan legfeljebb 50 V váltakozó feszültség vagy legfeljebb 120 V simított egyenfeszültség, amelynél az áramütés veszélye már jelentősen csökken. A pontos határ az aktuális szabvány szerint **ellenőrizendő**, mert a gyakorlatban a nedves, vezetőképes környezetben ennél alacsonyabb értékeket is előírhatnak. A törpefeszültség önmagában még nem biztos, hogy „veszélytelen”, ezért megkülönböztetjük a SELV, PELV és FELV rendszereket.

Definíció. SELV (biztonsági törpefeszültség): Olyan törpefeszültségű villamos rendszer, amely galvanikusan el van választva a hálózattól, és nincs földelve, ezért egyetlen földzárlat sem

hozhat létre veszélyes érintési feszültséget. Táplálása általában biztonsági transzformátorról, akkumulátorról vagy más, a hálózattól elválasztott forrásról történik. Ez a legmagasabb biztonsági szintet nyújtó törpefeszültségű rendszer.

Definíció. PELV (védőtörpefeszültség): Olyan törpefeszültségű rendszer, amely galvanikusan el van választva a hálózattól, de valamelyik pontja földelve van. A földelés lehet üzemi vagy védelmi céllal. A PELV-et akkor használják, ha a rendszernek valamilyen okból földhöz viszonyított, jól meghatározott potenciáljának kell lennie. A SELV-hez képest itt a földelés miatt nagyobb körültekintés szükséges.

Definíció. FELV (funkcionális törpefeszültség): Olyan törpefeszültségű rendszer, amelyet nem biztonsági célból használnak, hanem azért, mert a fogyasztó működéséhez ez a feszültség szükséges (például egyes jelfogó-áramkörök, érzékelők). A FELV nem nyújt ugyanolyan érintésvédelmet, mint a SELV vagy a PELV, ezért a FELV-kört úgy kell kezelni, mintha a primer (hálózati) kör része volna: az alapvédelmet a primer feszültségre méretezett szigetelés vagy burkolat adja, a hibavédelmet a FELV-kör testeinek a primer kör védővezetőjére kötése (önműködő lekapcsolással) **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41, FELV)**.

Definíció. II. érintésvédelmi osztály (kettős szigetelés): Olyan villamos berendezés, amelynél a védelmet nem a védővezető, hanem a megerősített vagy kettős (alap + kiegészítő) szigetelés biztosítja. A II. osztályú készüléken nincs védővezető-csatlakozás (PE), és a készülékház többnyire szigetelőanyagból van, de fémház is lehet (ilyenkor a fém burkolat a feszültség alatti résztől kettős vagy megerősített szigeteléssel elválasztott). A kettős szigetelés jelképe a kettős négyzet (két egymásba rajzolt négyzet).

A II. érintésvédelmi osztályú készüléket a rajzon és a típustáblán a kettős négyzet jelöli; az ábra mindhárom osztály jelképét mutatja:



21.13. ábra. Az érintésvédelmi osztályok jelképei: I. osztály – védőföldelés jele körben, II. osztály – kettős négyzet, III. osztály – rombuszba írt III

Az I. osztály jele a körbe zárt védőföldelés-jel (függőleges vonal, alatta három, lefelé rövidülő vízszintes vonal), a II. osztályé két egymásba rajzolt négyzet, a III. osztályé rombuszba írt római III (ellenőrizendő: MSZ EN 60417 jelképszámai: 5019, 5172, 5180).

Fontos. A II. osztályú készülékekre **tilos** védővezetőt csatlakoztatni, mert ezzel a kettős szigetelésű készülék vezetőképes házát feleslegesen a hálózat védőföldeléséhez kötjük, ami miatt a PE-n más hibából (például egy másik készülék testzárlata vagy PEN-szakadás miatt) megjelenő feszültség közvetlenül a II. osztályú készülék érinthető részeire juthat, megkerülve a kettős szigetelést.

21.5.4. Védőelválasztás és egyéb módok

Ne keverd: a biztonsági transzformátor törpefeszültséget ad (SELV), a leválasztó transzformátor hálózati nagyságú feszültséget, egyetlen fogyasztónak (védőelválasztás); a fürdőszobai borotvaaljzat leválasztó transzformátora például 230 V-os szekunderrel védőelválasztást valósít meg **(ellenőrizendő: MSZ EN 61558-2-5)**.

A **védőelválasztás** olyan védelmi intézkedés, amikor a fogyasztót egy **védőelválasztó transzformátorról** (választótranszformátorról) tápláljuk. Ennek a transzformátornak a primer és szekunder tekercse között megerősített vagy kettős szigetelés van, így a szekunder oldal a hálózattól galvanikusan el van választva. A gyakorlatban egyetlen fogyasztót szabad így táplálni, hogy a szekunder oldalon ne alakulhasson ki földzárlatos hurok. Több fogyasztó esetén külön engedélyek és kiegészítő feltételek érvényesek **(ellenőrizendő: a vonatkozó szabvány és az aktuális előírások)**.

A **nem vezető helyiség** olyan védelmi mód, ahol a padló és a falak legalább bizonyos területen nem vezető anyagúak (például száraz fa, műanyag burkolat), és nincs benne olyan fémes, földelt fémrész, amelyet a dolgozó egyszerre érinthetne a hibás berendezéssel. Így ha egy berendezésben hiba keletkezik, a testen megjelenő feszültség nem tud veszélyes áramot hajtani az emberen keresztül a föld felé. Ezt a módot csak olyan helyiségben szabad alkalmazni, ahol a berendezések használatát és a helyiség rendeltetését pontosan rögzítik, és a helyiségből idegen, vezetőképes fémrészek nem állnak ki.

Az **egyenpotenciálú környezet** (földeletlen egyenpotenciálú környezet) azt jelenti, hogy a helyiségben minden idegen vezetőképes rész (fém cső, fém ajtókeret) oly módon van összekötve, hogy egy hiba esetén az érinthető fémrészek között ne jöhessen létre veszélyes feszültségkülönbség, miközben maga a rendszer nincs földelve.

21.5.5. Készülékek érintésvédelmi osztályai

A készülékeket három érintésvédelmi osztályba soroljuk:

1. **I. osztály (földeléses készülék):** Alap szigetelésű, az érinthető fémház védővezetőre csatlakozik. Ha a fázisvezető hozzáér a fémházhoz, a védővezetőn át zárlati áram folyik, és a túláramvédelem lekapcsol. Jelölés: a védőföldelő kapocs mellett a körbe zárt földelésjel (függőleges vonal, alatta három, lefelé rövidülő vízszintes vonal).
2. **II. osztály (kettős szigetelésű készülék):** Nincs védővezető. A fémház vagy vezetőképes burkolat és a feszültség alatti rész közé kettős vagy megerősített szigetelés van beépítve. Jelölés: kettős négyzet. A burkolat általában műanyag.
3. **III. osztály (törpefeszültségű készülék):** A készüléket SELV vagy PELV forrásról táplálják. A készülékben a törpefeszültségű áramkörök és a hálózati feszültségű áramkörök között megerősített szigetelés van. Jelölés: rombuszba írt római III (ellenőrizendő: MSZ EN 60417).

Megjegyzés. Létezik **0. osztály (nulla osztály)** is a régi gyakorlatban, ahol csak alap szigetelés van, és nincs védővezető vagy kettős szigetelés. A mai magyar és európai szerelési gyakorlatban a 0. osztályú készülékeket **tilos** új berendezésként használni; legfeljebb régi, felülvizsgálat alatt álló létesítményekben fordulnak elő, és akkor is ki kell váltani vagy át kell alakítani.

21.5.6. Szabványos követelmények és indoklásuk

Szabvány. A törpefeszültségű rendszerek, a védőelválasztás, a nem vezető helyiség és az érintésvédelmi osztályok követelményeit a **MSZ HD 60364** sorozat, elsősorban a **MSZ HD 60364-4-41** (Áramütés elleni védelem: SELV/PELV, védőelválasztás, kettős szigetelés, nem vezető helyiség) tartalmazza; a biztonsági és leválasztó transzformátorokra az MSZ EN 61558 sorozat, az érintésvédelmi osztályokra az MSZ EN 61140 vonatkozik. A készülékek jelölésére az **MSZ EN 60417** jelkép-szabvány vonatkozó részei és a **MSZ EN 60598** (lámpatestek), illetve a **MSZ EN 60335** (háztartási készülékek) vonatkoznak. A gyakorló villanyszerelőnek mindig az aktuális kiadású szabványt kell követnie, és a kiválasztás előtt ellenőriznie kell a gyártói adatlapot is **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és a vonatkozó előírások)**.

A szabályok indoklása egyszerű: minél kisebb a feszültség, annál kisebb az emberen átfolyó áram; minél jobb a szigetelés, annál kisebb a szigetelési hiba esélye; minél kevesebb földhöz képest vezető hurok van, annál kisebb a hibafeszültség.

21.5.7. Kidolgozott példák

21.5.7.1. 1. példa (A): SELV és PELV megkülönböztetése

Adott: Egy gépvezérlés kapcsolószekrényében a vezérlő elektronika 24 V DC tápellátást igényel. A szekunder áramkör 0 V pontjának földelését a gyártó előírja.

Keresett: Melyik védelmi módot használjuk?

Megoldás: Mivel a rendszer törpefeszültségű és földelve van, ez **PELV** rendszer. A földelés miatt a szekunder oldalon nem alakulhat ki lebegő potenciál, de ez nem jelenti, hogy a törpefeszültség önmagában mindent megold: PELV-nél 25 V AC / 60 V DC felett szigeteléssel vagy burkolattal az alapvédelemről is gondoskodni kell **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41)**. Medencék, szaunák, fürdőszobák zónáiban külön szabványrész (MSZ HD 60364-7-xxx) határozza meg a megengedett védelmi módot és feszültséget; az úszómedence 0. és 1. zónájában SELV használható, legfeljebb 12 V AC / 30 V DC feszültséggel, PELV nem **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-702)**.

21.5.7.2. 2. példa (B): Biztonsági transzformátor áramviszonyai

Adott: Egy 24 V-os, 20 VA névleges teljesítményű LED-es tükörvilágítást egy 230/24 V-os, 50 Hz-es biztonsági (SELV) transzformátor táplál.

Keresett: Mekkora a szekunder névleges áram, és mekkora a primer névleges áram (ideális esetben)?

Megoldás:

A szekunder áram:

$$I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{20\,\mathrm{VA}}{24\,\mathrm{V}} = 0{,}833\,\mathrm{A}$$

Az ideális transzformátor teljesítmény-megőrzése miatt a primer oldali látszólagos teljesítmény megegyezik a szekunder oldalival:

$$S_1 = S_2 = 20\,\mathrm{VA}$$

A primer áram:

$$I_1 = \frac{S_1}{U_1} = \frac{20\,\mathrm{VA}}{230\,\mathrm{V}} = 0{,}087\,\mathrm{A}$$

Ellenőrzés: A primer áramnak sokkal kisebbnek kell lennie, mint a szekunder áram, mert a primer feszültség sokkal nagyobb. Az eredmények aránya: $0{,}833/0{,}087 \approx 9{,}58$, ami megfelel a feszültségáttételnek ($230/24 \approx 9{,}58$). ∎

21.5.8. Valós életbeli alkalmazás

Eset: Egy építkezésen a dolgozók egy fém állványon dolgoznak, és 230 V-os kézi lámpát használnak. A lámpa fémházán szigetelési hiba keletkezik, a fázisvezető hozzáér a fémházhoz. Ha a lámpa nincs védőföldelve (vagy a PE-vezető el van szakadva), a dolgozó, aki a fém állványt is fogja, áramütést szenved. A helyes megoldás az lenne, ha a munkaterületen 24 V-os, SELV táplálású kézi lámpát használnának, amelyet egy biztonsági transzformátor táplál. Ekkor a lámpa házán legfeljebb 24 V feszültség jelenhet meg, és a fém állványhoz képest nem alakul ki veszélyes hurok.

Tanulság: Nedves, szűk, jól vezető környezetben a törpefeszültségű, SELV vagy PELV rendszerű eszközök a legbiztonságosabbak. A 230 V-os kézi eszközök használatához ilyen helyeken jogszabályi és szabványi korlátozások tartoznak.

21.5.9. Tipikus hibák

1. **SELV áramkör földelése.** Ha egy SELV áramkört véletlenül földelnek, az már nem SELV, mert a földelés miatt a szekunder oldal potenciálja a földhöz képest rögzített. Ez önmagában nem feltétlenül hibás, de ilyenkor a rendszert PELV-ként kell azonosítani és feliratozni, és a gyártói előírásokat be kell tartani. A hiba az, ha valaki ezt nem tudja, és SELV-ként kezeli tovább.

2. **FELV használata SELV helyett.** A FELV áramkör törpefeszültségű, de nem olyan mértékben védett, mint a SELV. Ha valaki egy FELV tápegységről táplál egy kézi lámpát, és a lámpa fémházas, a fémházon még megjelenhet a hálózattól származó potenciál, vagy a szigetelés meghibásodása esetén a hálózat feszültsége átjuthat a törpefeszültségű oldalra, ha a tápegység nem biztonsági leválasztású.

3. **Védővezető csatlakoztatása II. osztályú készülékre.** A kettős szigetelésű készülékre tilos PE-vezetőt kötni. Ha valaki mégis ráfog egy védővezetőt, a készülék elveszíti a II. osztályú jelleget, és a PE-n más készülék testzárlata vagy PEN-szakadás miatt megjelenő hibafeszültség a II. osztályú készülék érinthető vezető részeire juthat, amit a kettős szigetelés nem tart vissza.

4. **Választótranszformátorról több fogyasztó ellátása.** Ha egyetlen védőelválasztó transzformátorról több, különböző helyen lévő fogyasztót táplálunk, és a szekunder oldalon nincs földelés, egyetlen fogyasztónál bekövetkező földzárlat a többi fogyasztó testzárlatát is veszélyessé teheti. A szabvány ezért általában csak egyetlen fogyasztót enged meg; több fogyasztó esetén kiegészítő intézkedéseket ír elő **(ellenőrizendő: aktuális szabvány)**.

21.5.10. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a SELV és a PELV között?
2. Melyik feszültséghatárig beszélünk törpefeszültségről váltakozó áram esetén (a tankönyvi példa szerint)? Miért lehet ez nedves környezetben alacsonyabb?
3. Hogyan jelölik a II. érintésvédelmi osztályú készüléket? Rajzold le a jelet!
4. Milyen érintésvédelmi osztályba tartozik egy törpefeszültségű, akkumulátoros kézilámpa?
5. Miért tilos védővezetőt kötni egy II. osztályú kézi fúrógépre?
6. Mi a különbség a FELV és a SELV között abból a szempontból, hogy a törpefeszültségű oldal hogyan véd az érintés ellen?

21.5.11. Önellenőrzés – válaszok

1. A SELV-ben a törpefeszültségű áramkör nem földelt, a PELV-ben pedig földelve van.

2. A törpefeszültség határa váltakozó áram esetén 50 V. Nedves, vezetőképes környezetben (fürdőszoba, medence) ennél alacsonyabb, például 12 V vagy 25 V is előírható, mert a víz és a nagyobb testáram miatt a veszélyes élettani hatás már kisebb feszültségnél jelentkezhet.

3. Kettős négyzet (két koncentrikus vagy egymásba rajzolt négyzet).

4. III. osztály, mert törpefeszültségű (SELV vagy PELV) forrásról táplálják, és a tápegység a hálózattól galvanikusan el van választva.

5. A II. osztályú készülék védelme a kettős szigetelés. Ha mégis PE-t kötünk a vezetőképes részeire, a PE-n más készülék testzárlata vagy PEN-szakadás miatt megjelenő feszültség közvetlenül a II. osztályú készülék érinthető részeire jut, megkerülve a kettős szigetelést.

6. A FELV törpefeszültségű, de nem kell hálózati leválasztást biztosítania, így a törpefeszültségű oldal akár a hálózatból származó potenciált is felvehet, vagy a szekunder áramkörben fellépő hiba a tápforrás szigetelésének hiánya miatt veszélyes hibafeszültséget hozhat létre. A SELV esetében a szekunder oldal a hálózattól teljesen el van választva és nincs földelve, így egyetlen földzárlat sem hoz létre veszélyes érintési feszültséget.

21.5.12. Feladatok

1. feladat (A). Nevezz meg legalább három olyan védelmi módot, amely nem a gyors lekapcsoláson alapul, és írd le röviden, mi a lényege mindegyiknek!

2. feladat (A). Egy háztartási kézi fúrógép típustábláján kettős négyzet jel látható. Milyen érintésvédelmi osztályba tartozik? Hány eres kábellel kell csatlakoztatni (fázis, nulla, PE)?

3. feladat (B). Egy 230/12 V-os, 50 VA névleges teljesítményű biztonsági transzformátor szekunder oldalára egy 12 V-os, 20 W-os halogénlámpát kapcsolunk. Mekkora a szekunder áram? Mekkora a primer oldali áram (ideális esetben). Ellenőrizd a nagyságrendet!

4. feladat (B). Rajzold le (vagy írd le szövegesen) egy SELV áramkör egyszerű kapcsolási rajzát: hálózati csatlakozás (L1, N, PE), biztonsági leválasztó kapcsoló, transzformátor, 24 V-os LED-szalag. Jelöld, hogy a PE-vezető hol szakad meg (nem megy át a szekunder oldalra)!

5. feladat (C). Egy nedves pincében egy 230 V-os, I. osztályú szivattyút kell cserélni. A szivattyú fémházas. Miért nem elég a gyors lekapcsolás (FI-relé) önmagában? Milyen alternatív védelmi megoldást javasolnál a veszély csökkentésére?

6. feladat (D). Egy 20 VA-es, 230/12 V-os biztonsági transzformátor szekunder kapcsaira egy 60 W-os, 12 V-os autóizzót kötsz. Terhelés nélkül 12,5 V-ot mérsz a kapcsokon, az izzóval csak 6 V-ot, az izzó gyengén világít, a transzformátor pedig forró. Mi a hiba, és mi a teendő? (Előbb az öt biztonsági lépés szerint kapcsold le és biztosítsd a kört!)

21.5.13. Megoldások

1. Például: SELV/PELV (törpefeszültség, galvanikus leválasztás), II. osztályú készülék (kettős szigetelés), védőelválasztás (választótranszformátor), nem vezető helyiség, földeletlen egyenpotenciálú környezet. A lényeg: a feszültség csökkentése vagy a hibaáram útjának elvágása.

2. II. osztályú készülék. Két eres kábellel kell csatlakoztatni (fázis és nulla), PE-vezetőre nincs szükség, sőt tilos csatlakoztatni.

3. A lámpa áramát a terhelés teljesítménye adja, nem a transzformátor névleges teljesítménye. Szekunder áram:

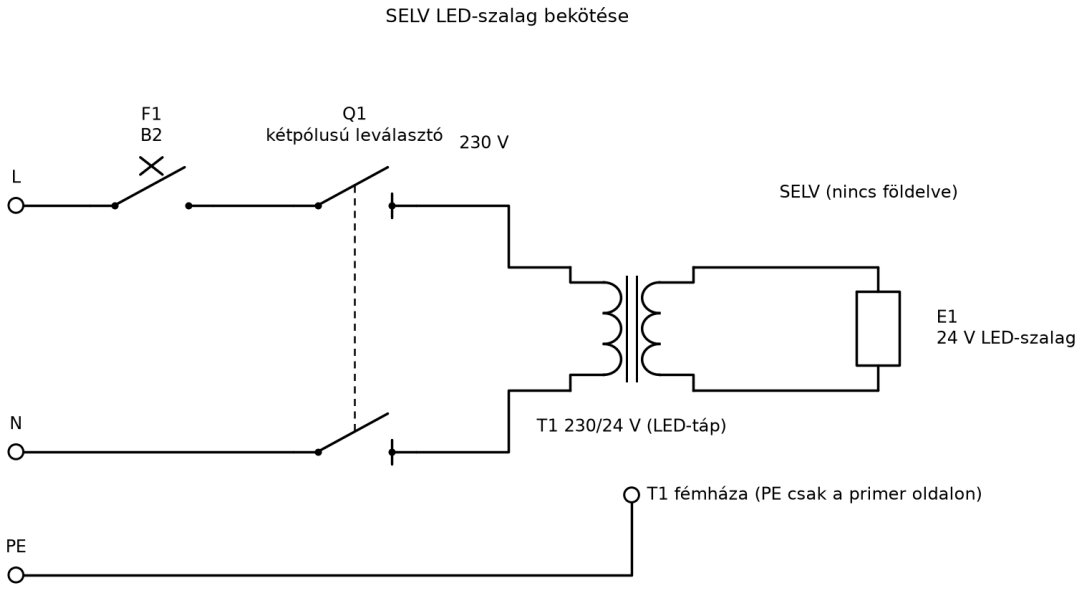
$$I_2 = \frac{P}{U_2} = \frac{20\,\mathrm{W}}{12\,\mathrm{V}} \approx 1{,}67\,\mathrm{A}$$

Primer áram (ideális esetben):

$$I_1 = \frac{P}{U_1} = \frac{20\,\mathrm{W}}{230\,\mathrm{V}} \approx 0{,}087\,\mathrm{A}$$

Ellenőrzés: 1,67/0,087 ≈ 19,2, ami a feszültségáttétellel (230/12 ≈ 19,2) egyezik. A transzformátor névleges szekunder árama 50 VA/12 V ≈ 4,17 A, tehát a lámpa a névleges terhelés kb. 40%-át veszi fel – a transzformátor megfelelő. ∎

4. Leírás: L1 (barna) → F1 kismegszakító → Q1 kétpólusú leválasztó → transzformátor primer kapocsa (a Q1 kétpólusú leválasztó L-pólusa után; az N (világoskék) a Q1 N-pólusán át a transzformátor primer másik kapcsára). A PE (zöld-sárga) a transzformátor fémházához megy, de a szekunder oldalra **nem** megy át. A transzformátor szekunder kapcsairól két vezeték megy a 24 V-os LED-szalagra. A LED-szalag mellett sehol nincs földelés.



21.14. ábra. SELV LED-szalag bekötése - A 4. feladat megoldása: L (barna) az F1-en és a Q1 leválasztón át, N (világoskék) a Q1 másik pólusán át a T1 primerre; a PE (zöld-sárga) csak a T1 fémházáig megy, a szekunder oldalra nem. A szekunder két vezetéke a 24 V-os E1 LED-szalagra fut, földelés nélkül (lebegő törpefeszültség). Típusok példák (ellenőrizendő).

5. Nedves pincében a FI a kiegészítő védelem kötelező eleme, de nem akadályozza meg az áramütést, csak röviden tartja: a nedvesség miatt a testellenállás nagyon lecsökken, a testáram nagysága nagy lehet, a FI pedig csak az időtartamot korlátozza (lásd az Áram-védőkapcsoló (FI) és kiegészítő védelem alfejezetet). Jobb megoldás a 230 V-os I. osztályú szivattyú helyett egy 24 V-os, SELV vagy PELV táplálású szivattyút használni, vagy a szivattyút kettős szigetelésű (II. osztályú) kivitelben beszerezni. A megfelelően választott törpefeszültség a testáramot veszélytelen szintre csökkenti (a nedves zónák határértékei: ellenőrizendő, MSZ HD 60364-7 megfelelő része). Ha a munkakörnyezet tartósan nedves és vezető, ez a védelmi mód ajánlottabb, mint a FI egyedül.

6. Túlterhelés: a 60 W-os izzó 12 V-on $60/12 = 5\,\text{A}$ áramot venne fel, a 20 VA-es transzformátor névleges szekunder árama viszont csak $20/12 \approx 1{,}67\,\text{A}$, vagyis kb. háromszoros a túlterhelés. A transzformátor belső feszültségesése miatt a kapocsfeszültség 6 V-ra esik, az izzó gyengén világít, a transzformátor melegszik. Másik lehetséges ok a laza kötés vagy a túl vékony szekunder vezeték feszültségesése (a kapcsokon és az izzónál mért feszültség összehasonlításával kiderül). Teendő: az öt biztonsági lépés szerinti lekapcsolás után megfelelő teljesítményű (legalább 60 W-ot ellátó, pl. 100 VA-es) biztonsági transzformátor vagy kisebb teljesítményű izzó használata; a túlterhelt transzformátort ne használjuk tovább.

21.5.14. Rövid összefoglaló

A hibavédelemnek több olyan módja van, amely nem a gyors lekapcsoláson alapul. A **SELV** (biztonsági törpefeszültség) galvanikusan leválasztott és földeletlen, így egyetlen földzárlat sem hoz létre veszélyes feszültséget. A **PELV** hasonló, de földelve van. A **FELV** törpefeszültség, de nem biztonsági célú, ezért a primer áramkörrel azonos alap- és hibavédelmet igényel. A **II.**

érintésvédelmi osztályú készülék védelmét kettős vagy megerősített szigetelés adja, jelölése a kettős négyzet; PE-vezetőt tilos rá csatlakoztatni. A **védőelválasztás** választótranszformátorral történik, és általában egyetlen fogyasztót láthat el. **Továbbvitt eredmény.** Az itt tanult védelmi módokat a későbbi fejezetekben, az épületvillamossági áramkörök tervezésénél, a nedves helyiségek kialakításánál, valamint a gépek és készülékek hibakeresési és felülvizsgálati feladataiban fogjuk használni. Emlékezz: a törpefeszültség csak akkor igazán biztonságos, ha a forrása is megfelelően el van választva a hálózattól.

21.5.15. Források és ellenőrzési hiányok

A hivatkozott szabványok (MSZ HD 60364 sorozat, MSZ EN 60417, MSZ EN 60598) a magyar és európai gyakorlatban használatosak, de a pontos szakasz- és táblázatszámok, valamint a törpefeszültség határértéke (50 V/120 V) a szabvány kiadásától függően változhat. A leírt példák és a törpefeszültség határértékei tanulási célúak; éles tervezéshez vagy kivitelezéshez az aktuális szabványkiadást és a gyártói adatlapokat kötelező ellenőrizni.

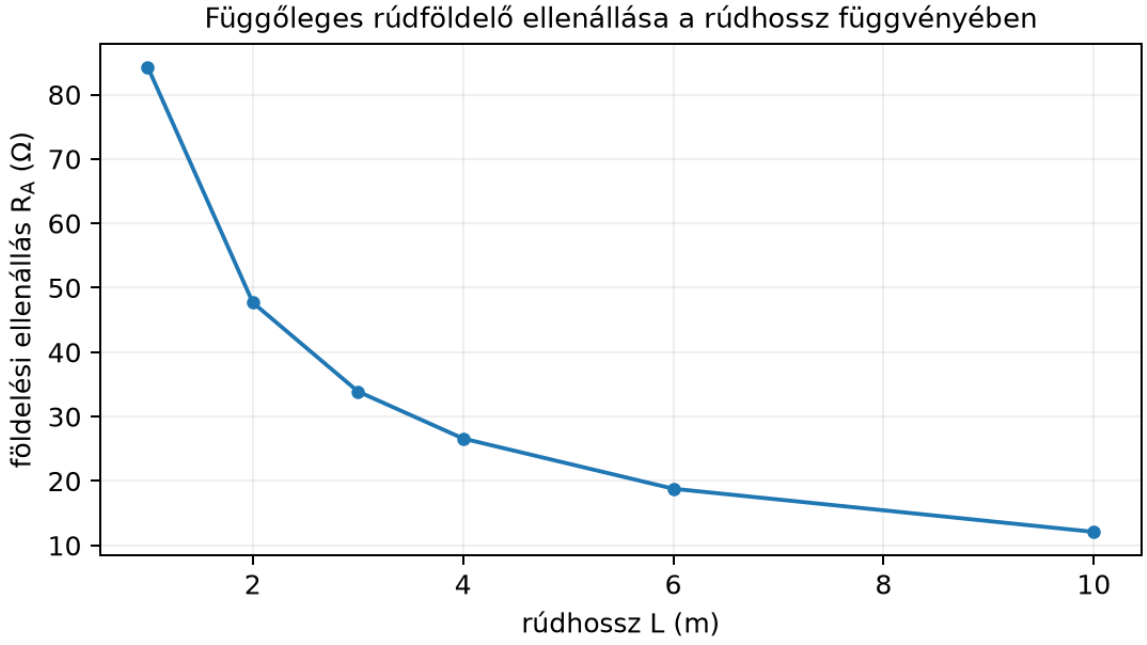
22 Földelés és egyenpotenciálra hozás

22.1. Földelők és földelési ellenállás

22.1.1. Motiváció és szemléletes kép

Motiváció. Egy kertes családi ház felújításakor a villanyóra-csere vagy a lakáselosztó korszerűsítése közben a szerelő gyakran találkozik azzal, hogy a szolgáltató vagy a szabványossági felülvizsgáló földelési ellenállás-mérést kér. A földelő nem egyszerűen „egy vasdarab a földben”: azon múlhat, hogy TT-rendszerben az áram-védőkapcsolóval teljesül-e az $R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50\,\mathrm{V}$ feltétel; TN-C-S rendszerben a földelő az ismételt földelés és az EPH része, a kioldást a fémes hurok (Z_s) határozza meg, nem a földelési ellenállás. Ha a földelő ellenállása túl nagy, veszélyes érintési vagy lépésfeszültség maradhat hosszú ideig. Ezért a földelők méretezése, kivitelezése és mérése a hibavédelem Áramütés elleni védelem és a mérések Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés közötti láncszem.

Szemléletes kép. Képzeljük el a ház mellett levert függőleges földelő rudat, például 3 méter hosszú, 20 mm átmérőjű horganyzott acél csövet. Ha a földelőhöz kötött szerkezeten testzárlat keletkezik, a hibaáram a rúdból a talajba lép, és onnan sugárirányban szétfolyik. A rúd felületénél a talaj keresztmetszete kicsi, ezért ott nagy az ellenállás; távolabb egyre nagyobb félgömbhéjakon folyik szét az áram, ezért az ellenállás koncentrálódik a rúd körüli néhány méteres tartományban. Ezt szemlélteti a következő, képletből számított ábra is: a rúd hosszának növelése csökkenti ugyan a földelési ellenállást, de nem egyenes arányban.



22.1. ábra. Függőleges rúdföldelő ellenállása a rúdhossz függvényében - Szemléltető, kiszámolt értékek: ρ = 100 Ωm talaj, d = 0,02 m rúdátmérő, R_A = ρ/(2πL) · ln(4L/d).

Az ábra szerint a rövid rudak ellenállása aránytalanul nagy; a gyakorlatban ezért nem elég például egy 1 méteres szondát leütni, ha a mérési jegyzőkönyvben kisebb érték kell. A rúdhossz, a talaj fajlagos ellenállása és a hibaáram hatását az „Érintési feszültség, lépésfeszültség” szakasz potenciáltölcsér-ábrája mutatja; a HTML-kiadásban ott csúszkákkal ki is próbálható.

22.1.2. Földelő típusai és anyagai

Definíció. A **földelő** a talajjal közvetlenül érintkező, villamosan vezető alkatrész vagy alkatrészek csoportja, amely a berendezés valamely pontját – például a védővezetőt, a PEN-vezetőt, az EPH-csomópontot vagy a transzformátor csillagpontját – a földpotenciálhoz köti.

A földelőnek két feladata van: egyrészt meghatározza a földhöz képesti referenciapotenciált, másrészt hiba esetén utat biztosít a hibaáram számára. A gyakorlatban a következő típusokkal találkozunk.

Alapföldelő. Az épület alapozásánál, a betonban vagy közvetlenül alatta elhelyezett vezető, például szalag vagy betonacélokkal összekötött háló. Nagy előnye, hogy a beton nagy felületen érintkezik a talajjal, ezért kicsi és hosszú távon is stabil a földelési ellenállása. Ezt ideális esetben már az építkezés alatt kialakítják, ezért a villanyszerelőnek a betonozás előtt kell egyeztetni a vasalás és az acél kivezetések elhelyezését.

Rúdföldelő. Mesterségesen levert vagy lefúrt függőleges elektróda. Tipikus anyagai: horganyzott acél, tűzihorganyzott acél, rézbevonatú acél vagy tömör réz. A rúd hossza a talajviszonyoktól függően jellemzően 1,5–6 méter; sziklás talajban több rövid rúd párhuzamos kapcsolása lehet szükséges. A rúd felső vége hozzáférhető mérő- és ellenőrző pontot kap, de a csatlakozást időjárásálló kivitelben kell kialakítani.

Szalagföldelő. Vízszintesen, árokban fektetett, többnyire horganyzott acél vagy réz szalag. Sziklás, kötött talajban jobb választás lehet, mint a rúd, mert nem kell mélyre lehatolni. A szalagot a fagyhatár alá, általában legalább 0,5–1 méter mélyre fektetik. A szalag hossza és a fektetési mélység befolyásolja az ellenállást; a körvezetőként kialakított szalag egyben gyűrűföldelő is lehet a villámvédelemben.

Lemezföldelő. Elsősorban régebbi létesítményeknél található meg; nagyobb lemezfelületet fektettek a talajba. Ma ritkán alkalmazzák, mert a rúd- és szalagföldelők egyszerűbben szerelhetők és jobban méretezhetők.

Anyagok és korrózió. A földelő saját fémellenállása elhanyagolható a talajellenálláshoz képest, ezért az anyagválasztás elsősorban mechanikai szilárdság, korrózióállóság és beépíthetőség kérdése. A horganyzott acél olcsóbb és mechanikailag erős, de savas vagy nedves talajban idővel elvékonyodhat. A réz korrózióval szemben ellenállóbb, viszont drágább, és galvánelem kialakulásának veszélye miatt ügyelni kell a csatlakozó szerkezeti elemek anyagára. A pontos anyagminőségeket és a minimális keresztmetszeteket a mindenkori **MSZ HD 60364-5-54** és a gyártói adatlapok tartalmazzák **(ellenőrizendő)**.

22.1.3. A földelési ellenállás és a talaj fajlagos ellenállása

Definíció. A **földelési ellenállás** (R_A) a földelő és a referencia-föld közötti ellenállás. A gyakorlatban ezt a földelő és egy távoli, nulla potenciálúnak tekintett pont között mérjük. Értékét döntően a földelő körüli talajtérfogat ellenállása határozza meg.

Definíció. A **talaj fajlagos ellenállása** (ρ) annak az egységnyi hosszúságú, egységnyi keresztmetszetű talajhasábnak az ellenállása. Mértékegysége: Ω·m. Az Az ellenállás függése az anyagtól,

mérettől és hőmérséklettől alfejezetben megismert vezető-képletet itt arra használjuk, hogy a talaj ellenállása

$$\Delta R \approx \rho \cdot \frac{\Delta l}{A},$$

ahol Δl egy vékony talajhéj vastagsága, A pedig a folyási keresztmetszet. A talaj jellemző fajlagos ellenállása hatalmas tartományban változik. Gyakorlati közelítő értékek **(ellenőrizendő)**:

- nedves lápföld, agyag: kb. 5–60 Ω·m;
- termőföld, nedves homokos agyag: kb. 50–200 Ω·m;
- száraz homok, kavics: kb. 200–1000 Ω·m;
- sziklás, fagyott talaj: akár több ezer Ω·m.

A talaj nedvességtartalma, sótartalma, tömörsége és hőmérséklete mind befolyásolja ρ értékét. Télen a fagyott felső réteg rossz vezető, ezért a földelőt lehetőleg a fagyhatár alá kell helyezni.

Összefüggés. Egy függőleges rúdföldelő közelítő földelési ellenállása:

$$R_A \approx \frac{\rho}{2\pi L} \ln\!\left(\frac{4L}{d}\right),$$

ahol L a rúd hossza méterben, d a rúd átmérője méterben, ρ a talaj fajlagos ellenállása Ω·m-ben, az eredmény R_A pedig Ω-ban adódik. A képlet a félgömbhéjak soros ellenállásának integrálásából származik; a rúd vége alatti és a felszínhez közeli torzításokat egyszerűsítéssel elhanyagoljuk.

Kidolgozott példa (1). Házföldelőnek egy 3 m hosszú, 20 mm = 0,02 m átmérőjű horganyzott acél rudat verünk le. A talaj fajlagos ellenállása 100 Ω·m. Mennyi a közelítő földelési ellenállás?

Megoldás. Adott: $\rho = 100$ Ω·m, $L = 3$ m, $d = 0{,}02$ m. Képlet:

$$R_A \approx \frac{100}{2\pi \cdot 3} \ln\!\left(\frac{4 \cdot 3}{0{,}02}\right) = \frac{100}{18{,}85} \ln(600) \approx 5{,}31 \cdot 6{,}397 \approx 33{,}9\ \Omega.$$

Ellenőrzés. A talaj fajlagos ellenállása közepes, a rúd 3 m hosszú; a kapott 30–40 Ω a gyakorlatban ilyen talajviszonyok mellett elfogadható kiinduló érték. Ha a mérés ennél lényegesen nagyobbat mutatna, akkor a rúd nincs jól összekötve, vagy a talaj szárazabb, mint feltételeztük.

Kidolgozott példa (2). Sziklás talajon inkább vízszintes szalagföldelőt alkalmaznak. A közelítő összefüggés:

$$R_A \approx \frac{\rho}{\pi L} \ln\!\left(\frac{2L^2}{t \cdot d}\right),$$

ahol L a szalag hossza, t a fektetési mélység, d a szalag szélessége vagy az ugyanakkora felületű hengeres vezető helyettesítő átmérője méterben. Fektessünk le 10 m hosszú, 30 mm = 0,03 m széles szalagot 0,8 m mélyen. A talaj fajlagos ellenállása 100 Ω·m.

Megoldás. Adott: $L = 10$ m, $t = 0{,}8$ m, $d = 0{,}03$ m, $\rho = 100$ Ω·m.

$$R_A \approx \frac{100}{\pi \cdot 10} \ln\!\left(\frac{2 \cdot 10^2}{0{,}8 \cdot 0{,}03}\right) = 3{,}18 \cdot \ln(8333) \approx 3{,}18 \cdot 9{,}03 \approx 28{,}7\ \Omega.$$

A számítás rávilágít arra, hogy a hossz növelése hatékonyabb, mint a keresztmetszet növelése, mert az ellenállás döntő része a talajból származik, nem a fémből.

Kidolgozott példa (3) – talaj fajlagos ellenállásának becslése mérésből. A tervezés előtt a talaj fajlagos ellenállását a gyakorlatban négypontos Wenner- vagy Schlumberger-módszerrel szokták megbecsülni. A legegyszerűbb Wenner-elrendezésben négy tűt helyeznek el egy egyenes mentén, egyenlő a távolságban. A külső két tűn áramot bocsátanak át, a belső két tűn feszültséget mérnek. Homogén talajt feltételezve:

$$\rho \approx 2\pi a R,$$

ahol a a tűtávolság méterben, R a mért ellenállás úgy, ahogy a feszültségmérő és az árammérő hányadosából adódik. Ha például $a = 5\,\mathrm{m}$, és a műszer $R = 3{,}2\ \Omega$ értéket mutat, akkor

$$\rho \approx 2\pi \cdot 5 \cdot 3{,}2 \approx 100{,}5\ \Omega\cdot\mathrm{m}.$$

A becsült ρ-t ezután felhasználhatjuk a tervezett földelő ellenállásának fenti képletekbe való behelyettesítéséhez. A gyakorlatban a talaj rétegzett, ezért a mérnöki tervezés ennél finomabb rétegmodellt is alkalmazhat.

Továbbvitt eredmény. A fenti képletekkel becsült vagy földelési ellenállásmérővel mért R_A értéket a hibavédelem és az egyenpotenciálra hozás ellenőrzésekor használjuk fel: a(z) Egyenpotenciálra hozás: fő- és kiegészítő EPH és a(z) Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés alfejezetekben az R_A értéke befolyásolja, hogy az EPH kivitelezése és a mért értékek elfogadhatók-e.

22.1.4. Érintési feszültség, lépésfeszültség

Definíció. Az **érintési feszültség** a hiba miatt feszültség alá került, hozzáférhető vezető rész és az azt érintő ember állóhelye (a talaj adott pontja) közötti feszültség, amelyet a test a kéz és a láb között kap meg. A vezető rész és a távoli referenciaföld közötti teljes feszültség a **hibafeszültség** (itt a földelő potenciálja, U_A); az érintési feszültség ennél kisebb vagy legfeljebb ekkora.

Definíció. A **lépésfeszültség** a földelő körül kialakuló potenciáltölcsérben a talajon járó ember két lába közötti feszültség. Lépéshossznak általában 1 métert veszünk.

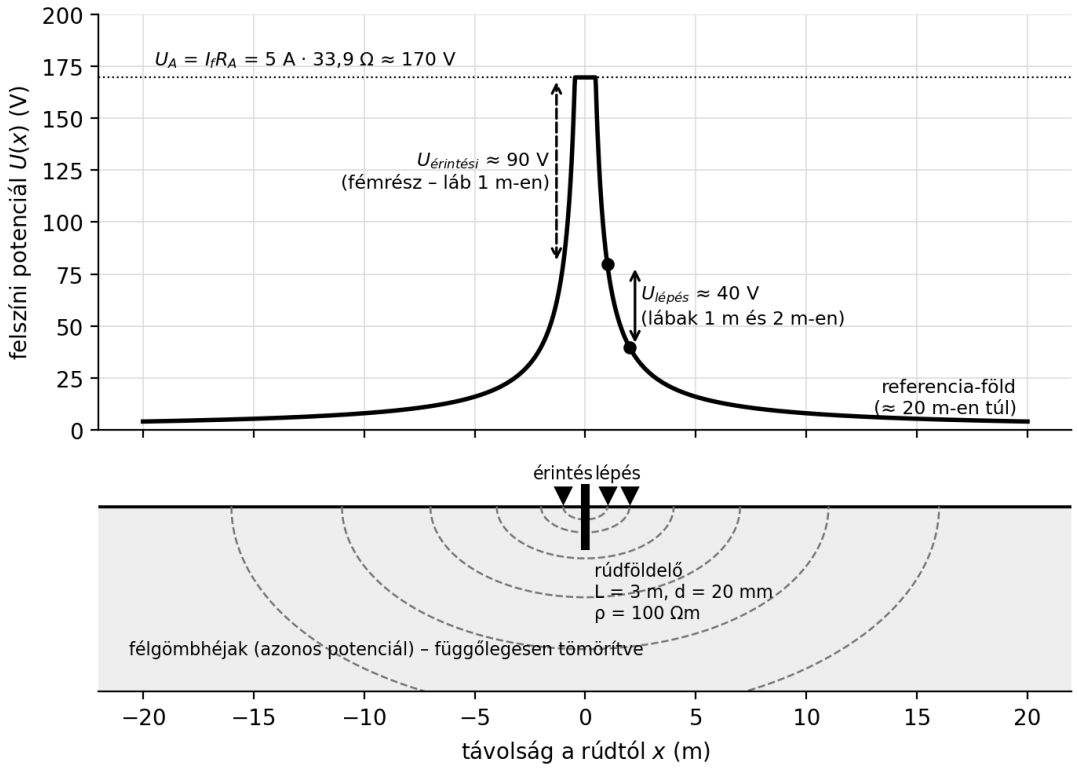
A földelő körüli potenciáltölcsér azt jelenti, hogy a hibaáram a földelőből kilépve a talajon keresztül szétterjed. A földelő felszínénél a legnagyobb a feszültség; attól távolodva a potenciál meredeken csökken, majd néhányszor tíz méter távolságban már gyakorlatilag referencia-földnek tekinthető. A potenciáltölcséren belül az ember lábaival hídba kerülő potenciálkülönbség a lépésfeszültség.

Kis számítás. Ha egy földzárlat úgy folyik le, hogy a földelőn át $I_f = 5\,\mathrm{A}$ hibaáram folyik, és a földelő ellenállása $R_A = 34\ \Omega$, akkor a földelő potenciálja a referencia-földhöz képest (ez a hibafeszültség):

$$U_A = I_f \cdot R_A = 5 \cdot 34 = 170\ \mathrm{V}.$$

A 170 V a hibafeszültség, a földelőnél a felszínen jelentkező potenciál; az érintési feszültség az állóhelytől függ (az ábra szerint 1 m-ről kb. 90 V), és ha a hibahelyen lévő fémrész ezzel a potenciállal emelkedik, veszélyes lehet. Ennél az 5 A-es hibaáramnál kismegszakító nem old ki; TT-rendszerben ezért FI kell: 30 mA-es FI-vel $R_A \cdot I_{\Delta n} = 34 \cdot 0{,}03 \approx 1\,\mathrm{V} \le 50\,\mathrm{V}$. A lépésfeszültség erősen függ a hibahelytől való távolságtól és a talaj rétegződésétől; kvalitatív szempontból a

földelőtől közvetlenül a talajon mért 1 m lépés a fenti 170 V-ból jelentős tíz–ötven voltos részt is kijelölhet, de a pontos érték mérést vagy részletes modellezést igényel.



22.2. ábra. Rúdföldelő potenciáltölcsére: a felszíni potenciál, a lépés- és az érintési feszültség (ρ = 100 Ωm, L = 3 m, $I_f = 5$ A, közelítő félgömb-modell)

Az ábra felső része a felszíni potenciált mutatja a rúdtól mért távolság függvényében, a homogén talajra érvényes közelítő félgömb-modellel ($U(x) \approx I_f\,\rho/(2\pi x)$, a rúd közelében U_A-ra korlátozva). A példa adataival $R_A \approx 33{,}9\ \Omega$ és $U_A \approx 170$ V. Aki a rúdtól 1 m-re áll, és 1 m-t lép kifelé, kb. 40 V lépésfeszültséget kap; aki ugyanott állva a földelőhöz kötött fémrészt érinti, kb. 90 V érintési feszültséget. Kb. 20 m-en túl a potenciál a referencia-földhöz közelít. Az alsó metszet a rudat és az egyenlő potenciálú félgömbhéjakat vázolja. A HTML-kiadásban a talaj fajlagos ellenállása, a rúdhossz, a hibaáram és az ember helyzete csúszkával állítható.

22.1.5. Szabványi követelmények

Szabvány. Az **MSZ HD 60364-5-54** a földelőanyagok minőségére, méretére, korrózióállóságára és kivitelezésére ad követelményeket; a földelő ellenállását a hibavédelem és az üzemvitel követelményei szerint kell megválasztani. A védelmi feltételt – például az automatikus lekapcsolás kioldási áramának és a földelő ellenállás szorzatának határát – az **MSZ HD 60364-4-41** és a vonatkozó mérési szabványok, köztük az **MSZ EN 61557** sorozat szerint kell igazolni. Gyakorlati elv (didaktikai összegzés, nem szabványidézet): a földelő nem ítélhető meg önmagában „jónak” vagy „rossznak”; mindig az adott védelmi rendszerrel együtt kell ellenőrizni. A konkrét határértékek, anyagkeresztmetszetek és fektetési előírások időben változnak, ezért tervezés vagy átvétel előtt mindig a hatályos kiadást kell használni **(ellenőrizendő)**.

22.1.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy felújított régi lakóházban a szabványossági felülvizsgálat előtt a földelési ellenállást 68 Ω-nak mérték, ami a mérőhely és a hálózati engedélyes előírásai szerint nem felelt meg. A szerelő az első rúdtól legalább a rúdhossz kétszeresének megfelelő távolságra levert egy második rudat, és a két rudat réz, illetve szabványos kötőelemekkel összekötötte. A második rudat 6 m hosszan, mélyebb, nedvesebb talajrétegbe verte le, ezért az egyedül kb. 33 Ω ellenállású volt; a szerelő előbb meghúzta az összes csatlakozást, majd a párhuzamos kapcsolás után mért érték $1/(1/68 + 1/33) \approx 22\,\Omega$ lett, ami a későbbi dokumentáció szerint elfogadható volt. A valós tanulság nem az, hogy „minél több rudat verünk le” (két azonos, független rúd eredője legfeljebb a fele lenne, 68 → 34 Ω), hanem az, hogy a mérés a csatlakozó kábelt, a kötőelemeket és a talajnedvességet is magába foglalja. A szerelő rögzítette a pontos mérési pontokat a jegyzőkönyvben, és csak ezután nyilatkozott az eredményről.

22.1.7. Mérés, karbantartás, korrózió

A földelési ellenállás mérésére általában földelési ellenállásmérő műszert használunk, amely három- vagy négypontos módszerrel dolgozhat. A mérés előtt be kell tartani a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát, és a mérendő rendszert le kell választani a hálózatról. A földelőt a védővezetőtől való megbontás után mérjük, vagy a mérőműszer gyártója szerinti csatlakoztatással. A mérés után a csatlakozásokat vissza kell állítani.

Karbantartás. A földelőn nincs kopó alkatrész, de a csatlakozó felületek, a szorító kapcsok és a talajfelszín feletti elemek korrodálódhatnak. A horganyzott acél felületi védelme idővel elhasználódik, savas talajban vagy bolygatott, sózott területen a rúd elvékonyodhat. A csatlakozásoknál az átmeneti ellenállás megnő, ezért a rendszeres felülvizsgálat során szemrevételezéssel és ellenállásméréssel is ellenőrizni kell az állapotot. A csavarkötéseket a gyártó által megadott nyomatékra kell húzni; a be nem tartott nyomaték laza, melegedő kötést vagy éppen túlfeszített, eltörő csavart okozhat.

Biztonsági korlát. Földelőt megbontani, javítani vagy mérni hálózati feszültségű berendezésen csak jogosult, arra képesített személy felügyeletével szabad. Tanműhelyi gyakorlaton a feladat tanműhelyi környezetre vonatkozik; önállóan hálózati feszültségen ne végezd.

22.1.8. Tipikus hibák

1. **A földelőt csak a fémellenállás alapján méretezik.** A „vastagabb vas kevesebb ohm” gondolat félrevezető, mert az egész földelési ellenállás zöme a talajból jön. A megoldás a hossz és a felület növelése, valamint a legjobb talajréteg kiválasztása.
2. **Párhuzamos rudak túl közelre kerülnek egymáshoz.** Ha két rúd egymáshoz túl közel van, a környező talajtérfogaton osztoznak, és a közös ellenállás nagyobb lesz, mint az ideális párhuzamos kapcsolásnál számított érték. Általában a rúdhossz kétszerese a minimális távolság.
3. **A mérést bekötött kábellel, csatlakoztatott EPH-hálózattal végzik.** Így nem magát a földelőt mérik, hanem az egész hurok ellenállását, ami elfedi a tényleges földelési ellenállást. A mérés előtt a földelőt a mérendő ponton le kell választani, de ezt csak feszültségmentes állapotban lehet elvégezni.
4. **Nem veszik figyelembe a fagyhatárt.** A felszínhez közeli szalag vagy rúd télen fagyott talajrétegbe kerül, amelynek fajlagos ellenállása sokszorosára nő. A földelőt a helyi fagyhatár alá kell fektetni.

22.1.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a földelési ellenállás lényegében a földelő fémanyagának ellenállásával egyenlő? Indokold.
2. Definiáld röviden a lépésfeszültséget.
3. Egy rúdföldelő hosszát 3 m-ről 6 m-re növeljük. Az ellenállás pontosan felére csökken? Indokold a képlet alapján.
4. Milyen anyagokból készülhet leggyakrabban szabványos földelő, és miért fontos a korrózió?
5. Milyen mérési módszerrel becsülhető meg a talaj fajlagos ellenállása?
6. Számítsd ki egy 5 m hosszú, 25 mm átmérőjű rúdföldelő ellenállását, ha a talaj fajlagos ellenállása 150 Ω·m.

22.1.10. Feladatok

1. feladat (A). Add meg a földelő és a földelési ellenállás definícióját, és nevezd meg a három leggyakoribb földelőtípust.

2. feladat (A). Wenner-méréssel $a = 6$ m tűtávolság mellett $R = 4\ \Omega$ ellenállást mértek. Becsüld meg a talaj fajlagos ellenállását.

3. feladat (B). Egy földelő rúd hossza 4 m, átmérője 30 mm, a talaj fajlagos ellenállása 80 Ω·m. Számítsd ki a közelítő földelési ellenállást, és ellenőrizd a nagyságrendet.

4. feladat (B). Vízszintes szalagföldelő hossza 12 m, fektetési mélysége 0,7 m, szélessége 40 mm, a talaj $\rho = 120\ \Omega\cdot$m. Mekkora a közelítő földelési ellenállás?

5. feladat (C). Két, egymástól elég távol elhelyezett 3 m-es rúd egyenkénti ellenállása 34 Ω. Mekkora lenne az ideális közös ellenállás? Miért nem feltétlenül éri el a felerészt a gyakorlatban, ha a rudak túl közel vannak?

6. feladat (D). Egy földelési ellenállásmérés során a mért érték 45 Ω, a csatlakozó vezeték ellenállása 0,4 Ω, a földelő környezete száraz, a talaj fajlagos ellenállása nagy. A felülvizsgálat előtt mit javasolsz a mérési eljárás és a földelő kivitelezés szempontjából? Fogalmazz meg legalább három konkrét lépést.

22.1.11. Megoldások – Önellenőrzés és feladatok

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A fém földelő saját ellenállása elhanyagolható a talaj földelő körüli nagyobb ellenállásához képest; a földelési ellenállást döntően a talajfajlagos ellenállás és a geometria határozza meg.

2. A lépésfeszültség a potenciáltölcsérben a talajon járó ember két lába közötti feszültség, jellemzően 1 m lépéshosszal számolva.

3. Nem pontosan felére csökken. A képletben a nevezőben L mellett a $\ln(4L/d)$ tényező is nő, ezért a csökkenés kisebb, mint a felére csökkenés. Például 3 m és 6 m esetén 33,9 Ω vs. 18,8 Ω, tehát az arány 0,55.

4. Leggyakrabban horganyzott acél és réz, illetve rézbevonatú acél. A korrózió azért fontos, mert a földelő hosszú élettartama alatt a keresztmetszet csökkenhet, és a csatlakozási felületek ellenállása megnőhet.

5. Wenner-módszerrel: négy tűt egyenes mentén, egyenlő a távolságban helyezünk el, a külső kettőn áramot bocsátunk át, a belső kettőn feszültséget mérünk, és $\rho \approx 2\pi a R$.

6. $L = 5$ m, $d = 0{,}025$ m, $\rho = 150\ \Omega\cdot$m:

$$R_A \approx \frac{150}{2\pi \cdot 5} \ln\!\left(\frac{20}{0{,}025}\right) = \frac{150}{31{,}42} \ln(800) \approx 4{,}77 \cdot 6{,}685 \approx 31{,}9\ \Omega.$$

Feladatok megoldása

1. feladat (A). A földelő a talajjal közvetlenül érintkező vezető alkatrész, amely a villamos berendezés valamely pontját a földpotenciálhoz köti. Földelési ellenállás a földelő és a referenciaföld közötti ellenállás. Típusok: alapföldelő, rúdföldelő, szalagföldelő (valamint lemezföldelő).

2. feladat (A). Adott: $a = 6$ m, $R = 4\ \Omega$. Képlet: $\rho \approx 2\pi a R = 2\pi \cdot 6 \cdot 4 \approx 150{,}8\ \Omega\cdot$m. Ellenőrzés: az érték termőföld–nedves homok tartományba esik.

3. feladat (B). Adott: $L = 4$ m, $d = 0{,}03$ m, $\rho = 80\ \Omega\cdot$m.

$$R_A \approx \frac{80}{2\pi \cdot 4} \ln\!\left(\frac{16}{0{,}03}\right) = \frac{80}{25{,}13} \ln(533{,}3) \approx 3{,}18 \cdot 6{,}279 \approx 20{,}0\ \Omega.$$

Ellenőrzés. A 4 m-es rúd és a közepes ρ mellett 20 Ω reális; ha a mérés 100 Ω felett lenne, csatlakozási hibát vagy száraz talajt feltételeznénk.

4. feladat (B). Adott: $L = 12$ m, $t = 0{,}7$ m, $d = 0{,}04$ m, $\rho = 120\ \Omega\cdot$m.

$$R_A \approx \frac{120}{\pi \cdot 12} \ln\!\left(\frac{2 \cdot 12^2}{0{,}7 \cdot 0{,}04}\right) = \frac{120}{37{,}70} \ln\!\left(\frac{288}{0{,}028}\right) \approx 3{,}18 \cdot \ln(10\,286) \approx 3{,}18 \cdot 9{,}24 \approx 29{,}4\ \Omega.$$

5. feladat (C). Ideális párhuzamos kapcsolásban: $R = 34 \,||\, 34 = 17\ \Omega$. A gyakorlatban, ha a rudak közel vannak egymáshoz, a két földelő körüli talajtérfogat részben ugyanaz, ezért az egyes rudak nem függetlenül viselkednek; a közös ellenállás inkább 20–25 Ω lehet, nem 17 Ω. Ezért kell a rudakat egymástól legalább a rúdhossz kétszeresének megfelelő távolságban elhelyezni.

6. feladat (D). Javaslatok: 1) A berendezés feszültségmentesítése után (öt biztonsági szabály) válasszuk le a földelőt az EPH-hálózatról, mert csak így mérjük magát a földelőt. 2) Ellenőrizzük a mérőműszer hitelesítését, a mérőzsinórok állapotát és az áram- és potenciálszonda elhelyezését (a potenciálszonda áthelyezésével ellenőrizve, hogy az érték nem változik lényegesen); a csatlakozó vezeték 0,4 Ω értéke nem magyarázza a 45 Ω-ot. 3) Ha a földelő ellenállása a száraz talaj miatt nagy, a földelőt kell javítani: hosszabb vagy mélyebb rúd a nedvesebb rétegig, párhuzamos rúd (a rúdhossz legalább kétszeresére), szalag- vagy gyűrűföldelő. A talajt mérés előtt locsolni nem szabad, mert a mért érték nem a tartós állapotot mutatja. 4) A mérés előtt ellenőrizzük a talajellenállást, majd a kivitelezés után friss mérést végezzünk.

22.1.12. Rövid összefoglaló

A földelő a talajjal közvetlenül érintkező vezető test, amelynek feladata a földpotenciál referencia és a hibaáram elvezetése. A gyakorlatban alapföldelő, rúdföldelő, szalagföldelő és ritkábban lemezföldelő fordul elő; anyaguk horganyzott acél vagy réz, és a korrózió miatt szabványos minőséget kell alkalmazni. A földelési ellenállás döntő része a talaj ellenállásából adódik. A talaj fajlagos ellenállása ρ, mértékegysége $\Omega\cdot$m; tipikus értéke nedves talajban kicsi, száraz kavicsban és sziklában nagy. Függőleges rúdföldelőre $R_A \approx \frac{\rho}{2\pi L}\ln(4L/d)$, vízszintes szalagföldelőre $R_A \approx \frac{\rho}{\pi L}\ln(2L^2/(td))$ közelítő összefüggés érvényes. A földelő körül potenciáltölcsér alakul ki, amely érintési és lépésfeszültséget hoz létre; ezért a földelőt nem önmagában, hanem a védelmi feltétellel együtt kell méretezni az **MSZ HD 60364-5-54** és az **MSZ HD 60364-4-41** szerint. A fakultatív mérési részben a Wenner-módszerrel becsülhető a talaj fajlagos ellenállása. **Továbbvitt eredmény:** a földelő ellenállását a fő- és kiegészítő EPH kialakítása és ellenőrzése során a(z) Egyenpotenciálra hozás: fő- és kiegészítő EPH, a folytonossági méréseknél pedig a(z) Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés használja fel. A mérést csak feszültségmentes állapotban, jogosult személy felügyeletével szabad végezni.

22.1.13. Források és ellenőrzési hiányok

A szövegben a földelőkre vonatkozó szabvány a **MSZ HD 60364-5-54**, a hibavédelemé az **MSZ HD 60364-4-41**, a mérésé az **MSZ EN 61557** sorozat. A talaj fajlagos ellenállásának jellemző tartományai gyakorlati közelítések; a konkrét tervezésnél a hatályos szabvány, a gyártói adatlap és a helyszíni talajvizsgálat az irányadó. A rúd-, szalag- és lemezföldelőkre adott képletek homogén talajra vonatkozó, egyszerűsített mérnöki közelítések; rétegzett talaj, cölöpök, vasalt beton alapföldelő és nagy földzárlati áramok esetén részletes számítás, illetve gyártói tervezőszoftver lehet szükséges. Az összes anyagkeresztmetszetet, fektetési mélységet és mérési határértéket a kiadás előtt a hatályos szabványokkal, a hálózati engedélyes előírásaival és a műszergyártó adatlapjával össze kell vetni.

22.2. Egyenpotenciálra hozás: fő- és kiegészítő EPH

22.2.1. Mi indokolja az egyenpotenciálra hozást?

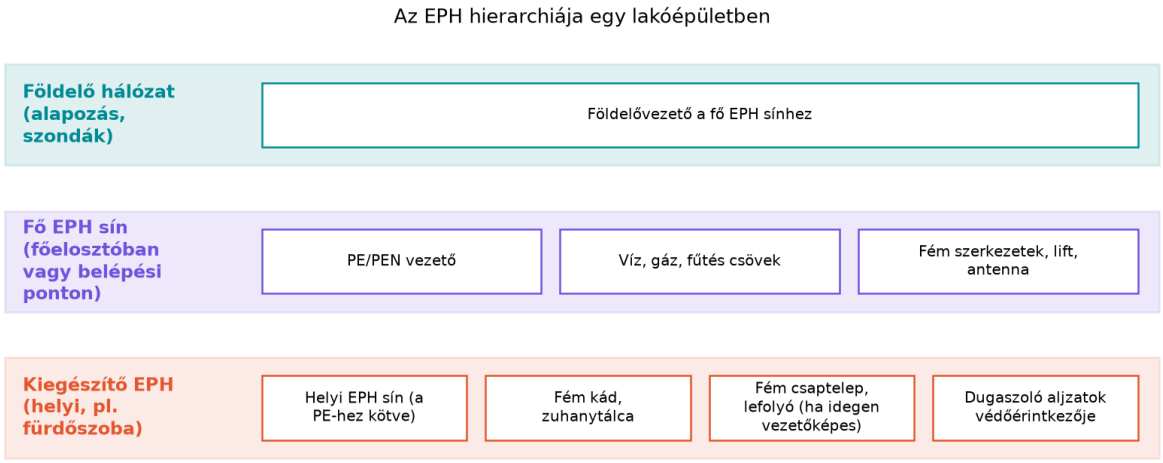
Képzelj el egy családi házat, ahol a fürdőszobában a tulajdonos enyhe bizsergést érez, amikor a kádban ülve megfogja a fém csaptelepet, vagy amikor a fém radiátorhoz és a mosógép fémtestéhez ér egyszerre. A szerelőként a helyszínre érkezve először arra gyanakszol, hogy a készülék szigetelése romlott el, vagy az áram-védőkapcsoló (RCD) rossz.

A műszeres vizsgálat azonban gyakran ennél tragikusabb hibát mutat: nem a csaptelep vagy a készülék hibás, hanem a házban **nincs kialakítva, vagy hibás a fő egyenpotenciálra hozás (EPH)**. Emiatt a betonalapban, a fémcsövekben és a védővezetőben azonos hiba esetén (például egy szigetelési hiba következtében) eltérő feszültség jelenik meg. Ez a potenciálkülönbség az, ami áramot hajt át az emberi testen, ha az két, különböző potenciálon lévő fémrészt egyszerre érint meg.

Az EPH célja, hogy ezeket a vezetőképes részeket és a védővezetőt szándékosan, kis ellenállású vezetékkel összekösse, ezzel gyakorlatilag megszüntetve a közöttük kialakuló feszültséget.

22.2.2. Szemléletes kép: egy családi ház EPH rendszere

Az alábbi rétegábra azt mutatja, hogyan épül fel a hierarchikus védelem a fő potenciálkiegyenlítéstől a helyi, kiegészítő védelemig.



22.3. ábra. Az EPH hierarchiája egy lakóépületben - A fő EPH sín az épület belépési pontjánál gyűjti össze a fémes rendszereket, a kiegészítő EPH pedig a helyi zónákban (pl. fürdőszoba) biztosítja a finom kiegyenlítést.

A rajz nem elég a szereléshez, de a logikát jól mutatja: minden fémrésznek, legyen az egy vízcső vagy egy kád, ugyanarra a közös földelési ponthálózatra kell csatlakoznia.

22.2.3. Definíciók és a potenciálkiegyenlítés elve

Definíció. Egyenpotenciálra hozás (EPH): olyan védelmi intézkedés, amelynek során a villamos berendezés idegen vezetőképes részeit (fém csővezetékek, épület fémszerkezetei, fém vázak, légtechnikai csatornák) és a védővezetőt egymással és a földeléssel kis ellenállású vezetővel kötik össze a potenciálkülönbségek kialakulásának megakadályozására.

A fogalom a munkavédelem alapjára vezethető vissza: az áramütést nem elsősorban az abszolút feszültség, hanem az emberi testen áthaladó **érintési feszültség** okozza. Ha minden kézzel megérinthető fémrész ugyanakkora feszültségen van, akkor nincs áramút, így a hiba során sem lép fel áram a testben.

Definíció. Fő EPH: a létesítmény szintjén, általában a főelosztóban vagy a közműcsatlakozások belépési pontján kiépített összekötés. Itt találkoznak a védővezető, a földelővezető és a legnagyobb fémes közművek, szerkezetek.

Definíció. Kiegészítő EPH: egy adott helyiségre vagy zónára (például fürdőszoba, zuhanyzó, úszómedence gépészeti tere) kiterjedő, további, finomabb kiegyenlítés. Célja, hogy ezekben a fokozott áramütésveszélyes környezetekben még abban az esetben se alakulhasson ki érintési feszültség, ha a fő védelmi intézkedés (például a csőhálózat bekötése) messze van, vagy a csövek szigetelőbetétesek.

Törvény. Az EPH működése az Ohm-törvényen alapul: ha két pont között nagyon kicsi az ellenállás, akkor a két pont között mért feszültség is nagyon kicsi. Az EPH vezető kis ellenállása garantálja, hogy a hibaáram hatására sem alakul ki veszélyes potenciálkülönbség.

22.2.4. A fő EPH sín és a vezetők

Fő EPH sín (köznyelvben EPH-sín vagy EPH-csomópont; angolul main earthing terminal, MET) egy olyan réz vagy sárgaréz sín, amely a fővezeték, illetve a fő PE/PEN csatlakozás közelében van. Ide kötnek be minden olyan idegen vezetőképes részt, amely a hálózati feszültséggel összeköttetésbe kerülhet. A sín jellemzően a főelosztó szekrényben, vagy közvetlenül mellette, egy külön kötődobozban van.

A szerelés során a fő EPH sínre kell kötni:

1. **A védővezetőt (PE) vagy a PEN vezetőt** – ez biztosítja, hogy az EPH rendszer a védelmi rendszer részévé válik, ne csak egy lebegő fémháló legyen.
2. **A földelővezetőt** – ez a kapcsolat a tényleges földelőhöz (alapföldelő, szondaföldelő). A fő EPH sín az a pont, ahol a földelőrendszer és a védőrendszer találkozik.
3. **A fő fém csővezetékeket** – vízhálózat, gázhálózat, fűtési rendszer. Ezeket a házba való belépésük közelében kell bekötni.
4. **Az épület fém szerkezeteit** – acélváz, betonacél (ha hozzáférhető és kivezetett), lift vezetősín, fém kábeltálcák, szellőzőcsatornák.
5. **Az antenna- és informatikai rendszerek védőcsatlakozásait**, valamint a telekommunikációs hálózat fém szerelvényeit.

A feszültségre és áramra vonatkozó szabály. Az EPH vezetők méretét úgy kell megválasztani, hogy a hibafeszültség ne haladja meg az emberre veszélyes értéket. Az EPH vezetők ellenállása legyen elég kicsi ahhoz, hogy a rajta folyó hibaáram (I_k) hatására az U feszültségesés elhanyagolható maradjon.

Szabvány. A fő EPH vezető keresztmetszetére vonatkozóan az MSZ HD 60364 sorozat (különös tekintettel a földelésre és EPH-ra vonatkozó rész – MSZ HD 60364-5-54) ad előírást. Általánosan elfogadott iparági gyakorlat szerint a fő EPH vezető réz esetén legalább a berendezés legnagyobb védővezetője keresztmetszetének fele, de legalább **6 mm²** Cu; **25 mm²** Cu-nál nagyobbat nem kell választani (felső érték, nem tilalom). (Ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és a hálózati engedélyes előírása a pontos minimális méretekre.)

A jelölés mindig **sárga-zöld** (a hazai szabvány szerint), de ahol ez nem lehetséges, a vezetéket feliratozni kell. A csatlakozási pontoknak olyanoknak kell lenniük, hogy **csak szerszámmal bonthatók**. A csavarokat, sorkapcsokat úgy kell megválasztani, hogy a rázkódás és a hőtágulás ne lazítsa meg őket.

22.2.5. A fémes csővezetékek bekötése

A házakban leggyakrabban előforduló idegen vezetőképes részek a víz-, gáz- és fűtéscsövek. Az EPH bekötésük nem egyenlő a földeléssel! A csövek **nem használhatók földelőként**, de **be kell őket kötni** az EPH-ba, hogy ne legyen rajtuk potenciálkülönbség.

A víz- és fűtéscsövek bekötése:

- A házba belépő, fő fém csövet a vízmérő után (az épület felőli oldalon) fém bilinccsel vagy kábelsarura készített csatlakozással kell az EPH sínre kötni; a vízmérőt és a kiszerelhető szerelvényeket áthidaló vezetékkel kell áthidalni, hogy mérőcsere idején se szakadjon meg az összeköttetés.
- Ha a csőrendszer nagy része műanyag (például műanyag PEX csövek), akkor a rajta lévő fém radiátor vagy fém csaptelep a földtől elszigetelt, nem idegen vezetőképes rész, ezért a kiegészítő EPH-ba kötése nem szükséges. Ha viszont a csatlakozó csőszakasz fém, vagy a fémrész más úton földpotenciált kaphat, be kell kötni (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701).

- A bekötés soha ne csökkentse a cső mechanikai szilárdságát, ne fúrj a gáz- vagy vízcsőbe!

A gázcső különleges helyzete. A gázvezetékeket be kell kötni az EPH-ba, de a gázszolgáltatók gyakran **szigetelőbetétet** írnak elő a közműcsatlakozás és a belső hálózat közé, hogy megakadályozzák a kóboráramok bejutását a közcélú gázhálózatba (katódvédelem). A belső gázhálózatot a fő EPH sínre, a bejövő gázcsövet pedig a szigetelőbetéten keresztül vagy a szolgáltatói előírás szerint kell kezelni. (Ellenőrizendő: a helyi gázszolgáltató aktuális előírása.)

Figyelem. A vízmérő melletti áthidaló vezeték azt szolgálja, hogy a mérőcsere során se szakadjon meg a csőhálózat EPH-kapcsolata; az EPH-vezetőt ezért a mérő után kötjük a csőre, a mérőt pedig áthidaljuk.

22.2.6. Kiegészítő EPH fürdőszobában

A fürdőszoba a legveszélyesebb helyiség a lakásban: az ember nedves, a bőr ellenállása lecsökken, és a földelt fémrészek (kád, csap, radiátor) nagy felületen érintkeznek a testtel. Ezért itt kiegészítő EPH kialakítása szükséges lehet; a kötelezőség és az elhagyhatóság feltételeit az MSZ HD 60364-7-701 adja **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**.

Szabvány. A fürdőszoba és zuhanyzó zónáira vonatkozó előírásokat a hibavédelemmel foglalkozó szabványrész (MSZ HD 60364-7-701) tartalmazza. A kiegészítő EPH-ba az idegen vezetőképes részeket kell bekötni; a műanyag csövön lévő, a földtől elszigetelt fém csaptelep nem idegen vezetőképes rész. A kiegészítő EPH kötelezősége és elhagyhatósága feltételekhez kötött **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701 aktuális kiadás)**.

Mit kell összekötni a kiegészítő EPH-ban?

- A fém vízcsöveket, csaptelepeket, kádat, zuhanytálcát.
- A fém fűtéscsöveket, radiátorokat.
- A fém lefolyókat, ha nem műanyagok.
- Az ebben a zónában lévő dugaszoló aljzatok **védőérintkezőit (PE)**.
- A helyi védőcsövet, ha fém.

A kiegészítő EPH vezetőket egy helyi sínre (kis EPH sín) kell kötni, és ezt összekötni a fő EPH rendszerrel, vagy közvetlenül a helyi PE-kkel. A csatlakozások itt is zöld-sárga jelölésű, jellemzően **2,5–4 mm²** keresztmetszetű réz vezetékek legyenek. (Ellenőrizendő: a zóna besorolásától függő minimális méret a hatályos szabványban.)

22.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy panellakásban a tulajdonos arra panaszkodott, hogy a fürdőszobában, a kádban ülve, a fém csaptelepet megfogva enyhe „csípést” érez, ha a zuhanyrózsa fém tartóját is megérinti. A lakásban a hálózati rendszer TN-C volt (a felújításkor TN-C-S-re kell alakítani, és FI-t kell beépíteni, lásd Hálózati rendszerek: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT, Áram-védőkapcsoló (FI) és kiegészítő védelem), a fürdőszoba felújítása során azonban fém kádat és fém csaptelepet szereltek be, de a kiegészítő EPH-t nem építették ki.

A szerelő mérést végzett: a hurokimpedancia rendben volt, FI-t nem talált az elosztóban. A „csípés” oka az volt, hogy a kád és a fém csaptelep, illetve a radiátor között néhány volt feszültségkülönbség alakult ki. A további vizsgálat kimutatta, hogy a kád bekötve sehonnan sem volt a védővezetőhöz. A megoldás az volt, hogy a kád alatt egy helyi kiegészítő EPH sínt építettek ki, ahova bepótolták a kádat, a csaptelepet, a radiátort és a fürdőszoba aljzatainak PE vezetőjét. Ezt a sínt a fő EPH rendszerhez kötötték. A „csípés” megszűnt, és a mérés is

igazolta, hogy a fémrészek között a feszültség gyakorlatilag 0 V. A szerelő a feszültségkülönbség forrását is megkereste: szigetelésmérés a fürdőszobai készülékeken (feszültségmentesítés után, az öt biztonsági lépés szerint), és figyelembe vette, hogy TN-C rendszerben a PEN-en folyó üzemi áram feszültségesése is okozhat ilyen különbséget. A felújítás keretében a lakás TN-C-S-re alakítása és 30 mA-es FI beépítése is megtörtént. **Tanulság:** az EPH kiépítése a tünetet megszünteti, de a potenciálkülönbség forrását külön meg kell keresni, nem elfedni.

22.2.8. Gyakorlati útmutató – Fő EPH kialakítása egy családi házban

Cél: A ház fémes közműveinek és szerkezeteinek összekötése a földelőrendszerrel a fő EPH sín segítségével.

Eszközök és anyagok: EPH sín (fő EPH sín), zöld-sárga vezeték (pl. 10 mm² réz), kábelsaruk, csőbilincsek, csavarkulcs, nyomatékkulcs, kis ellenállásmérő (folytonosságmérő, MSZ EN 61557-4, ≥ 200 mA mérőáram, zsinórkompenzációval; ellenőrizendő: aktuális kiadás), dokumentációs sablon.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Ha a fő EPH kialakításához a főelosztót kell feszültségmentesíteni, a leválasztást csak jogosult személy végezheti, és a munka csak az öt biztonsági szabály betartásával kezdhető el.

22.2.8.1. Az öt biztonsági szabály

1. **Lekapcsolás** – a főelosztóban a munkaterület leválasztása.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás** – a kapcsoló reteszelése, feliratozás.
3. **Feszültségmentesség ellenőrzése** – előzetesen ellenőrzött kétpólusú feszültségvizsgálóval (nem fázisceruzával) minden vezető között (L1–L2–L3–N egymás között és mindegyik a PE-hez), majd a vizsgáló újraellenőrzése ismert feszültségforráson.
4. **Földelés és rövidre zárás** – indokolt esetben, a munkavégzési szabályok szerint.
5. **Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése** – ha maradnak ilyen részek a közelben.

22.2.8.2. Lépések

1. Helyezd el a fő EPH sínt a főelosztóban vagy a közműbelépési pont közelében, szilárdan rögzítve.
2. Kösd be a fő földelővezetőt (alapföldelőt) a sínre. Győződj meg róla, hogy a csatlakozás tiszta fémfelületű, oxidmentes.
3. Kösd be a fő PE/PEN vezetőt a sínre. Ha a rendszer TN-C-S, akkor a PEN-t a szétválasztási ponton kell bekötni.
4. Vezess zöld-sárga réz EPH vezetéket a víz, gáz, fűtés fő csővezetékétől a sínig. A csőhöz használj a csőátmérőnek megfelelő, rozsdamentes vagy horganyzott acél bilincset, és a vezetéket kábelsaruval csatlakoztasd a bilincshez.
5. Kösd be az épület nagyobb fém szerkezeteit (acélváz, lift sín, kábeltálca, szellőzőcsatorna) hasonló módon.
6. Minden csatlakozást húzz meg a gyártó által megadott nyomatékkal, majd jelöld a vezetékeket (pl. „EPH – vízcső”), vagy használj szabadon nem bontható, feliratozott sorkapcsokat.

Ellenőrzési pont (mérés): Mérés előtt a mérőzsinórok ellenállását nullázd (kompenzáld); a mérést a Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés alfejezet szerint végezd, kikapcsolt, feszültségmentesített berendezésen. A fő EPH sín és minden bekötött fémrész között a folytonossági ellenállás mérhető, tanulási célérték $< \mathbf{0{,}1\ \Omega}$ (a gyakorlatban gyakran 0,01–0,05 Ω; a mérvadó érték a hatályos szabványból és a tervből adódik, ellenőrizendő). A méréshez a fémrészt a sínhez kötő vezetéknek a csőre/bilincsre csatlakozását kell mérni. A menetközben elvégzett mérés után a fő EPH sín és a fő földelőkapocs közötti ellenállást is ellenőrizd.

Tipikus hiba: A csatlakozást a festett vagy rozsdás csőre teszik. A csatlakozás előtt a fémfelületet csupaszra kell tisztítani, és a bilincset a cső csupasz felületére kell szorítani.

22.2.9. Hibakeresési eset – Az FI-relé miért old le?

Tünet: Egy új beépítésű fürdőszoba FI-reléje rendszeresen leold, nem meghatározott időnként, de leggyakrabban akkor, ha a kádban van valaki, vagy ha a fém csaptelepet használják. A hálózaton semmilyen más jel nem látható, a motorok nem szikráznak.

Hipotézis: Az FI mindig szivárgást jelez: a védett kör aktív vezetőiből (L, N) áram folyik el a FI megkerülésével (PE, föld). A fürdőszobában ilyen szivárgást egy készülék (bojler fűtőbetét, mosógép, elektromos törölközőszárító, padlófűtés) nedvesedő szigetelése okozhat a vízen át.

Mérés: Az öt biztonsági lépés (lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, szükség szerint földelés és rövidre zárás, szomszédos részek lefedése) után a szerelő a FI-vel védett köröket egyenként leválasztja, és feszültségmentes állapotban szigetelési ellenállást mér. A fürdőszobai elektromos törölközőszárító fűtőbetétjének szigetelési ellenállása 0,15 MΩ, ami nedvesedő, romló szigetelést jelez (az érték a Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés alfejezet határértékeivel összevetve elfogadhatatlan).

Ok: A törölközőszárító fűtőbetétje nedvességet kapott, és a szivárgóáram a vízen és a fém csaptelepen át a védővezető felé záródik; fürdéskor, nedves környezetben ez eléri a FI kioldási tartományát. A kiegészítő EPH hiánya ettől független, mellékes megállapítás volt.

Javítás: A hibás törölközőszárítót kicserélték, a szigetelési ellenállás a csere után megfelelt, a FI nem old le. Mivel a kiegészítő EPH hiányzott, azt is kiépítették: a csaptelep, a kád, a zuhanytálca és a lefolyó fémes részeit zöld-sárga vezetékkel egy helyi EPH sínre kötötték, amelyet a védővezetőhöz csatlakoztattak.

Megelőzés: Az EPH a potenciálkülönbséget szünteti meg; a FI kioldását nem „javítja”: a kioldás mindig szivárgást jelez, amelyet meg kell keresni, nem elfedni. A kettő kiegészíti egymást.

22.2.10. Tipikus hibák

1. **Hiba:** „Az EPH nem kell, mert van FI-relé.” **Javítás:** Az FI-relé a hibás szivárgó áramot váltja le, de nem szünteti meg a potenciálkülönbséget. Ha a házban nincs EPH, a két fémrész közötti feszültség hibaáram nélkül is létrejöhet (például mágneses terek, csekély szigetelési szivárgás), ami a bőrön keresztül áramot hajt. Az EPH és az FI-relé egymás mellett szükséges, nem egymás helyett.
2. **Hiba:** A gázcsövet hagyományos, fém bilinccsel közvetlenül, szigetelőbetét nélkül kötik be. **Javítás:** A gázszolgáltatói előírás szerint gyakran szigetelőbetétet kell beépíteni a bejövő gázcső és a belső hálózat közé. A belső hálózatot a szigetelőbetét után kell az EPH-ba bekötni. A szabály ellenőrizendő a helyi szolgáltatónál, de a közvetlen, katódvédelmet veszélyeztető átkötés tipikus szerelési hiba.

3. **Hiba:** A fő EPH sínbe bekötik a védővezetőt, de a földelővezetőt nem; vagy a földelővezetőt, de a vízcsövet lefelejtik. **Javítás:** A fő EPH sín az a csomópont, ahol a földelés, a védőrendszer és az idegen vezetőképes részek találkoznak. Ha bármelyik hiányzik, a másik kettő nem tudja kifejteni a hatását: a sín vagy levegőben lóg, vagy nem veszi fel a föld potenciálját, vagy a fém cső marad fedetlenül.

4. **Hiba:** A csőre kötött bilincs csak a felületre van felfektetve, a rozsdás vagy festett réteg miatt az ellenállás nagy. **Javítás:** A cső csatlakozási pontját meg kell tisztítani, csupasz fémre kell bontani, és a bilincset úgy rögzíteni, hogy az a cső teljes kerületén szorosan illeszkedjen. A csatlakozás után az ellenállást mérni kell.

22.2.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e: A fő EPH sínre nem szabad rákötni a gázcsövet, mert a gáz éghető. (Válasz: Hamis. A gázcsövet be kell kötni, de a szolgáltatói előírás szerint gyakran szigetelőbetét közbeiktatásával.)
2. Egy fürdőszobában kiegészítő EPH-t építesz. Mi a szerepe a fém lefolyó bekötésének? (Válasz: A fém lefolyó idegen vezetőképes rész, amelyen potenciálkülönbség alakulhat ki. Bekötése biztosítja, hogy a kád, a csaptelep és a lefolyó azonos potenciálon legyen.)
3. Mi a teendő, ha a cső, amit be kell kötni, festett? (Válasz: A csatlakozás helyén csupaszra kell csiszolni a cső felületét, és utána kell a bilincset szorosan rögzíteni.)
4. Méréskor miért fontos, hogy a fő EPH sín és a fém cső közötti ellenállás a lehető legkisebb (jellemzően 0,1 Ω alatt) legyen? (Válasz: Mert a fő EPH célja a potenciálkülönbség megszüntetése. Ha a vezeték ellenállása nagy, akkor a rajta folyó áram hatására feszültségesés keletkezik, és a két fémrész között megmarad a veszélyes feszültség.)
5. Lehet-e a vízcsövet földelőként használni? (Válasz: Nem, a csövek nem használhatók földelőként, viszont be kell őket kötni az EPH-ba.)

22.2.12. Feladatok

1. feladat (A) – Definíciók. Mikor szükséges kiegészítő EPH-t építeni, és miért nem elég minden esetben a fő EPH?

2. feladat (A) – Egyszerű bekötés. Sorold fel, mit kell bekötni egy családi ház fő EPH sínére az idegen vezetőképes részek közül!

3. feladat (B) – Számolás. Egy mérés során a fő EPH sín és egy fém radiátor között a folytonossági ellenállás 0,45 ohm. A radiátorhoz egy zárlat során 2 A hibaáram folyik. a) Mekkora feszültség alakul ki a sín és a radiátor között ezen a vezetéken? Veszélyes-e ez az érték, ha feltételezzük, hogy az érintési feszültség határértéke nedves helyen 25 V? b) Mekkora a feszültség, ha a hibaáram TN-rendszerben reálisan 100 A?

4. feladat (B). Egy házban a fő EPH sínbe (PE sín) bekötötték a földelővezetőt és a PE vezetőt, de a vízcsövet nem. Magyarázd el, mi történik, ha a bojler szigetelése meghibásodik, és a fém vízcső a házba belépéskor feszültség alá kerül.

5. feladat (C) – Tervezés. Egy fürdőszobában a következő fémrészek vannak: fém kád, fém csaptelep, fém zuhanytálca, fém radiátor, műanyag lefolyó. Melyeket kell bepótolni a kiegészítő EPH-ba, és miért?

6. feladat (D) – Hibakeresés. Egy régi lakásban a tulajdonos azt állítja, hogy a konyhában a fém mosogató és a fém hűtőszekrény ajtaja között „ráz”. Feszültségmérővel a mosogató és a

hűtőajtó között 40 V-ot mérünk. Hogyan deríted ki, hogy ez valódi hibafeszültség, vagy csak kapacitív csatolású „szellemfeszültség”? Mit kell megtenned a biztonság érdekében?

22.2.13. Megoldások

1. feladat (A). A kiegészítő EPH-t a fokozottan veszélyes helyeken (fürdőszoba, zuhanyzó, medence) kell építeni. A fő EPH a ház szintjén, a belépési pontokon dolgozik, de a nagy távolság, a szigetelőbetétek, a helyi fémrendszerek miatt a kádat, a csaptelepet és a lefolyót a fő sín nem „éri el” kis ellenállással. A kiegészítő EPH ezeket a helyi, idegen vezetőképes részeket köti össze a helyi védővezetőkkel, így a test semmilyen fémrész között nem tud feszültségkülönbséget érezni.

2. feladat (A). Bekötendők: a fő földelővezető, a védővezető (PE/PEN), a vízhálózat fő fémcsöve, a gázhálózat fő fémcsöve (szolgáltatói előírás szerint), a fűtési rendszer fő fém csövei, az épület nagyobb fém szerkezetei (acélváz, lift sín, fém kábeltálcák), az antenna- és informatikai rendszerek védőföldelése. Műanyag csöveket nem kell (és nem is lehet) bekötni.

3. feladat (B). a) Az $U = I \cdot R$ képletet alkalmazzuk: $U = 2\,\mathrm{A} \cdot 0{,}45\,\Omega = 0{,}9\,\mathrm{V}$. Ez az érték jóval a 25 V alatt van, de a 2 A irreálisan kicsi hibaáram. b) TN-rendszerben a testzárlati áram a hurokimpedanciától függően száz amper nagyságrendű (pl. $230\,\mathrm{V}/1{,}2\,\Omega \approx 192\,\mathrm{A}$); $U = 100\,\mathrm{A} \cdot 0{,}45\,\Omega = 45\,\mathrm{V} > 25\,\mathrm{V}$, tehát veszélyes. A 0,1 Ω-os kötésen ugyanez 10 V. Ezért kell a kötést megtisztítani és újramérni: a célérték $< 0{,}1\,\Omega$. Azonban a 0,45 Ω jóval nagyobb a szokásos 0,1 Ω-nál, ami arra utal, hogy a csatlakozás oxidált vagy laza. Ezt meg kell tisztítani és újra kell szorítani, mert az ellenállás a korrózióval tovább nőhet.

4. feladat (B). Ha a vízcső a házba belépéskor feszültség alá kerül, a rajta lévő feszültség a csőhálózaton végig terjed (a bojlerhez, a fürdőszobába, a radiátorhoz). Mivel a vízcső nincs bekötve az EPH-ba, a cső és a többi, védővezetőhöz kötött fémrész (pl. a mosógép teste, a hűtő) között a feszültség a hálózati feszültség közelébe kerül. Ha valaki megfogja a csapot és a mosógépet, áramütést szenved. A vezeték bekötése az EPH sínbe a hibaáramot is megnöveli, ami a túláramvédelmet (kismegszakítót) vagy az FI-relét leoldja.

5. feladat (C). A műanyag lefolyót nem kell bekötni, mert nem vezető. Esetszétválasztás: ha a vízvezeték és a fűtés fém csöves, a fém kádat, csaptelepet, zuhanytálcát és radiátort be kell kötni a helyi kiegészítő EPH sínre, mert ezek idegen vezetőképes részek, amelyeken veszélyes potenciálkülönbség alakulhat ki. Ha a csőhálózat műanyag, a rajta lévő, földtől elszigetelt fém csaptelep és radiátor nem idegen vezetőképes rész, bekötésük nem szükséges (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701); a fém kád és zuhanytálca megítélése a helyi körülménytől függ. A helyi sínt ezután a helyi aljzatkörök védővezetőjéhez (PE) kell csatlakoztatni.

6. feladat (D). Kis bemeneti impedanciájú (LoZ) üzemmódú műszerrel vagy terhelt kétpólusú feszültségvizsgálóval mérünk: ha a feszültség terheléskor összeomlik, kapacitív csatolásról van szó; ha megmarad, valódi hibafeszültség. Utóbbi esetben az érintett kört azonnal lekapcsoljuk, és az öt biztonsági lépés szerint feszültségmentesítve ellenőrizzük a hűtőszekrény PE-folytonosságát (a dugaszolóaljzattól a házig) és szigetelési ellenállását, majd a mosogató felől érkező csőpotenciált. A hűtő I. osztályú készülék: a megszakadt PE és a készülék szivárgása a legvalószínűbb ok. Az EPH-bekötés csak a hiba megszüntetése után jön szóba, mert egyébként elfedné a hibát; a munkát jogosult személy végezheti.

22.2.14. Rövid összefoglaló

Az egyenpotenciálra hozás (EPH) nem hiba elhárítása utáni kiegészítő, hanem az áramütés elleni védelem egyik alappillére. A fő EPH sín a létesítmény belépési pontjánál gyűjti össze a földelővezetőt, a fő védővezetőt és az idegen vezetőképes részeket (víz, gáz, fűtés, fém szerkezetek).

A kiegészítő EPH a veszélyes zónákban (különösen a fürdőszobában) a helyi fémrészeket is beköti a védőrendszerbe. A cél minden esetben az, hogy az ember által megérinthető fémrészek között ne alakulhasson ki veszélyes potenciálkülönbség. A helyes kialakítás nem jelentheti a túláramvédelem és az FI-relé kiváltását; a három rendszer együtt, egymást kiegészítve véd. A szerelés során kiemelt figyelmet kell fordítani a csőbilincsek tiszta fémfelületre történő rögzítésére, a megfelelő keresztmetszetű (a fő EPH-vezetőnél legalább 6 mm² réz, szükséges felső érték 25 mm²; a kiegészítő EPH-vezetőnél jellemzően 2,5–4 mm² réz, ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-54) zöld-sárga vezetékekre, valamint a csak szerszámmal bontható csatlakozásokra. Az EPH folytonosságát rendszeresen ellenőrizni kell: a fémrészek és a sín közötti ellenállás a gyakorlatban 0,1 Ω alatt kell, hogy legyen.

Továbbvitt eredmény. Az EPH vezető pontos keresztmetszet-méretezése a Védővezető, PEN és a keresztmetszet méretezése alfejezetben, a kész EPH rendszer folytonossági és ellenállásmérése a Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés és Szemrevételezés, működési próbák, kikapcsolt állapotú vizsgálat alfejezetekben kerül sorra. Az EPH működését a hibaáramkör és a hurokimpedancia feltételeivel az Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel tárgyalja.

22.3. Védővezető, PEN és a keresztmetszet méretezése

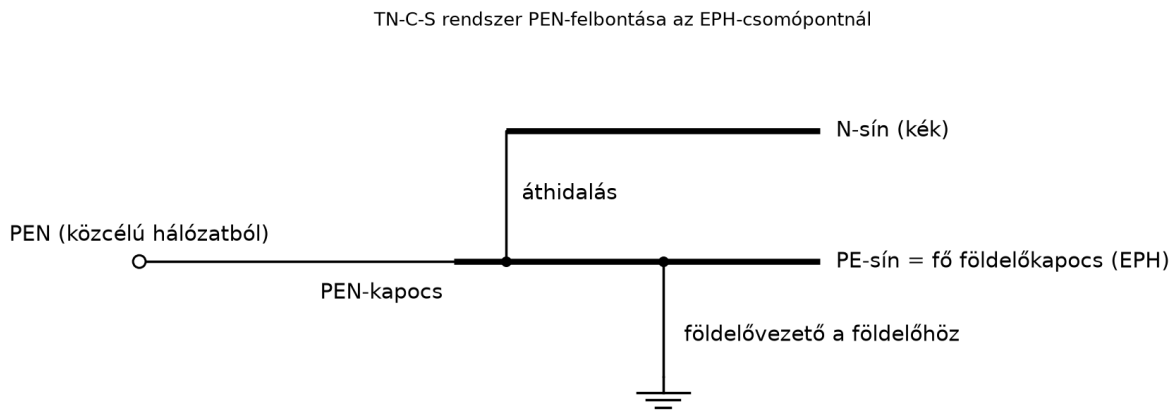
22.3.1. Motiváció

Képzeld el, hogy egy régi lakáselosztóban a kismegszakító leoldott, mert a mosógép testén zárlat keletkezett. A hibavédelem feladata ilyenkor az, hogy a zárlati áramot olyan gyorsan és biztonságosan vezesse vissza a transzformátorhoz, hogy a megszakító leoldjon, mielőtt a fém testen megjelenő feszültség veszélyes ideig fennállna. Ezt a visszavezető utat részben a védővezető (PE), részben pedig a PEN-vezető biztosítja. Ha ez az út rosszul van méretezve, megszakad, vagy rosszul van bekötve, akkor a védővezető nem teljesíti a feladatát, és a berendezés fém teste veszélyes, akár halálos feszültségen maradhat. Ezért ebben az alfejezetben azt tanuljuk meg, hogyan méretezzük és alakítsuk ki a védővezetőket és a PEN-vezetőt, és miért tilos őket megszakítani.

22.3.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy TN-C-S rendszerű lakáscsatlakozást. A közcélú hálózatból érkező kábelben addig egyetlen közösített vezető (PEN) fut, amíg el nem érik a fogyasztói főelosztót. Itt a PEN-t a fő földelőkapocsnál (EPH-csomópont) fel kell bontani egy világoskék nulla (N) és egy zöld-sárga védővezető (PE) ágra. Innen kezdve a két vezető nem köthető össze, nem cserélhető fel, és a védővezetőn – ellentétben a nullával – nem folytathat üzemi áram.

Egy lehetséges elrendezés:



22.4. ábra. TN-C-S rendszer PEN-felbontása az EPH-csomópontnál - A közcélú hálózat PEN-vezetője a fő földelőkapocsként is szolgáló PE-sín PEN-kapcsára fut; innen áthidalás vezet az N-sínre. A PE-sín a földelővezetőn át a földelőhöz csatlakozik. A felbontás után az N és a PE nem köthető össze. A keresztmetszetek és a jelölés a szabvány szerint ellenőrizendők.

A rajzon látható, hogy a bejövő PEN a fő földelőkapocsként szolgáló PE-sínre fut, innen egy áthidalás vezet az N-sínre, a PE-sín pedig a földelővezetőn át a földelőhöz csatlakozik; a felbontás után a védővezetői és a nullavezetői ág külön halad. Ez a rajz az alapja a védővezetői hálózat megértésének.

22.3.3. Alapfogalmak és szabályok

Definíció. A **védővezető (PE)** olyan vezető, amely kizárólag hibavédelem céljára szolgál. Rendeltetése, hogy a testzárlati hibát követően a zárlati áramot a védelmi készülék felé visszavezesse, hogy az leoldjon, és a fém test ne kerüljön tartósan veszélyes feszültségre.

Definíció. A **PEN-vezető** olyan vezető, amely egyesíti a védővezető (PE) és a nullavezető (N) feladatát. A TN-C rendszerekben, illetve a TN-C-S rendszerek hálózati oldalán alkalmazzák. A PEN-vezetőn üzemi áram is folyhat.

Szabály. A védővezetőt tilos megszakítani. Ez azt jelenti, hogy a védővezetőbe nem iktatható be kapcsoló, biztosíték, kismegszakító, szakaszoló vagy bármilyen olyan elem, amely az áramkört megszakíthatja. A védővezetőt csak szerszámmal oldható, véletlenül nem oldódó kötésekkel szabad csatlakoztatni. A dugaszolóaljzatokban a védőérintkezőnek mindig előbb kell érintkeznie, mint a fázis- és nullavezetőnek, és kihúzáskor utoljára szabad elválnia.

Szabály. A PEN-vezetőt tilos megszakítani, és tilos benne védelmi vagy kapcsolóelemet elhelyezni. A PEN-vezető megszakadása különösen veszélyes, mert ilyenkor a mögötte lévő, „védettnek hitt” fém testekre – a nullavezetőre kötött üzemi áramkörökön keresztül – hálózati feszültség juthat.

Szabály. TN-C-S rendszerben a PEN-vezető felbontása után a PE és az N vezetőt tilos újra összekötni. A felbontás után az egyes áramkörökben csak külön PE és N vezető használható. A PE és az N szerepét soha nem szabad felcserélni.

22.3.4. A védővezető keresztmetszetének méretezése

A védővezető keresztmetszetét általában a fázisvezető keresztmetszete alapján határozzuk meg. A gyakorlatban két módszer terjedt el: a szabványos minimális értékek és a számítás (hőterhelés, zárlati áram). A legegyszerűbb, a szerelési gyakorlatban jól használható módszer a fázisvezető keresztmetszete és a védővezető minimális keresztmetszete közötti összefüggés.

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések védővezetőinek és a PEN-vezetőknek a méretezésére, kialakítására és jelölésére a hatályos MSZ HD 60364 szabvány vonatkozik. A védővezető minimális keresztmetszete általában: - ha a fázisvezető keresztmetszete $A_f \leq 16\,\mathrm{mm}^2$, akkor a védővezető $A_{PE} = A_f$; - ha $16\,\mathrm{mm}^2 < A_f \leq 35\,\mathrm{mm}^2$, akkor $A_{PE} = 16\,\mathrm{mm}^2$; - ha $A_f > 35\,\mathrm{mm}^2$, akkor $A_{PE} = 0{,}5\,A_f$.

Ezeket az értékeket a mindenkori szabvány és a gyártói adatlapok szerint kell ellenőrizni.

Számítás. Ha a védővezető anyaga más, mint a fázisvezetőé (például fázis réz, PE alumínium), akkor a táblázatot a fázisvezető saját anyagára kell alkalmazni, majd az eredményt a hőállósági tényezők (k) arányával kell átszámolni a védővezető anyagára: $A_{PE,2} = A_{PE,1} \cdot k_1/k_2$ **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-54, a k-értékek a szabványban)**. A k-arány nem azonos a vezetőképesség-aránnyal (az Al/Cu k-arány kb. $115/76 \approx 1{,}5$, a vezetőképesség-arány kb. 1,6).

Összefüggés. A védővezető hőterhelés szempontjából úgy méretezhető, hogy a zárlati áram által okozott melegedés ne haladja meg a megengedett hőmérsékletet. A szükséges keresztmetszet közelítőleg:

$$A_{PE} \geq \frac{I_k \sqrt{t}}{k},$$

ahol I_k a várható zárlati áram (A), t a kioldási idő (s), k pedig az anyagtól és a szigeteléstől függő hőállósági állandó (pl. réz PVC-szigetelésnél $k \approx 115\ \mathrm{A}\sqrt{s}/\mathrm{mm}^2$ – csak tájékoztató érték, ellenőrizendő a szabványban). A gyakorlatban azonban a legtöbb épületvillamossági és kisebb ipari szerelésnél az előző táblázat szerinti méretezés elegendő, mert a zárlati áramok nem okoznak a fázisvezetőénél nagyobb hőterhelést.

Példa. Egy lakáselosztóban a csatlakozó fázisvezető keresztmetszete $A_f = 10\,\mathrm{mm}^2$ réz. Mekkora legyen a hozzá tartozó védővezető minimális keresztmetszete?

Megoldás. Mivel $A_f = 10\,\mathrm{mm}^2 \leq 16\,\mathrm{mm}^2$, a szabály első sora szerint $A_{PE} = A_f = 10\,\mathrm{mm}^2$. A gyakorlatban a lakáselosztókban a fázis és a védővezető gyakran együtt, azonos keresztmetszettel van szerelve, ami megfelel ennek a szabálynak.

Példa. Egy ipari betáplálásnál a fázisvezető $A_f = 50\,\mathrm{mm}^2$ réz. Mekkora legyen a védővezető minimális keresztmetszete?

Megoldás. Mivel $A_f = 50\,\mathrm{mm}^2 > 35\,\mathrm{mm}^2$, a szabály szerint $A_{PE} = 0{,}5 \cdot 50\,\mathrm{mm}^2 = 25\,\mathrm{mm}^2$. Tehát a védővezetőnek legalább $25\,\mathrm{mm}^2$ keresztmetszetűnek kell lennie.

Példa. Egy régi elosztóban a fázisvezető $A_f = 25\,\mathrm{mm}^2$ alumínium. Mekkora legyen a védővezető minimális keresztmetszete rézből, ha a védővezető réz, de a fázis alumínium?

Megoldás. A $25\,\mathrm{mm}^2$ alumínium fázishoz a táblázat ($16 < A_f \leq 35$) $16\,\mathrm{mm}^2$ alumínium-egyenértékű védővezetőt ad. Réz védővezetőnél $A_{PE} = 16 \cdot k_{\mathrm{Al}}/k_{\mathrm{Cu}} \approx 16 \cdot 76/115 \approx 10{,}6\,\mathrm{mm}^2$, a következő szabványos méret $16\,\mathrm{mm}^2$ Cu. **(ellenőrizendő: a k-értékek a szabványban.)**

22.3.5. PEN-vezető kialakítása és tiltásai

A PEN-vezető keresztmetszete legalább akkora, mint a fázisvezetőé, ha a PEN vezetéken üzemi áram folyik. Réznél legalább $10\,\mathrm{mm}^2$, alumíniumnál legalább $16\,\mathrm{mm}^2$, ha a PEN egyben a védővezetői feladatot is ellátja. A pontos minimális érték a szabványban és a hálózati engedélyes előírásában található. A PEN-vezetőt mindenütt zöld-sárga színnel kell jelölni, és a végein világoskékkel kell jelölni, hogy azonosítható legyen a PEN-vezető. Ha a PEN-vezetőként használt vezetéken a zöld-sárga jelölés nem elég egyértelmű, a kábelvégeket szigetelőszalaggal vagy zsugorcsővel kell kiegészíteni.

Tilos. A PEN-vezetőt bármilyen kapcsoló, biztosíték vagy megszakító közbeiktatásával megszakítani. A PEN-vezető megszakadása esetén a mögötte lévő, védővezetőként használt fém testek a fázisra kerülhetnek.

Szabály. TN-C-S rendszerben a PEN-felbontást csak a berendezés egy pontján, általában a főelosztóban szabad elvégezni. A felbontás után a PE és az N vezetőt külön kell vezetni.

Figyelem. A szétválasztási pont után az N és a PE két külön vezetőként fut; egyetlen összekötésük a szétválasztási pontban van, máshol tilos őket összekötni. (Ezért a lakáselosztóban az N és a PE között mérhető folytonosság a szétválasztási ponton át záródik; a lakáson belüli összekötést leválasztott N-nel lehet kimutatni, lásd a Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés alfejezetet.) A PE-vezetőre terhelő áramkörök (pl. egyes régi megoldások) nem köthetők. A PE-vezetőn normál üzemben nem folyik áram.

22.3.6. Hibavédelmi szempontok és a szakadás elleni védelem

A védővezető folytonossága a hibavédelem alapfeltétele. Ha a védővezető megszakad, a mögötte lévő fém testen testzárlat esetén a teljes fázisfeszültség megjelenhet anélkül, hogy a védelmi készülék leoldana. Ezért a védővezetőt mechanikailag és villamosan is folytonosnak kell tartani.

Szabály. A védővezetőt csak szerszámmal oldható, rázkódásnak ellenálló kötésekkel szabad csatlakoztatni. Az olyan kötések, amelyek kézzel oldhatók (pl. banándugó, csipesz), nem használhatók védővezetőként. A hagyományos dugaszolóaljzatokban a védőérintkező nem szakítható meg; a dugós csatlakoztatás a védővezető esetében csak akkor fogadható el, ha a védőérintkező kialakítása biztosítja a folytonosságot a fázis- és nullavezetővel szemben.

Hiba. Egy szerelő a lakáselosztóban a védővezetőt a nulla sínről vette le, mert „úgyis össze vannak kötve a transzformátornál”. Ez azonban TN-C-S rendszerben súlyos hiba, mert a PEN-felbontás után a nulla és a védővezető már nem azonos potenciálú, és a védővezetőre üzemi áramok kerülhetnek, ami a fém testek veszélyes feszültségét és egyben az áram-védőkapcsoló téves kioldását okozhatja.

Hiba. A védővezetőbe szerelt kismegszakító vagy szakaszoló beiktatása. Ilyenkor a megszakító leold, vagy a szakaszoló véletlenül nyitva marad, és a védővezető megszakad. Ez életveszélyes, és tilos.

Hiba. A PEN-vezető felbontása után a kék nullát és a zöld-sárga védővezetőt egy sorkapocsban újra összekötik. Ezzel a rendszer visszaalakul TN-C-re, és a védővezetőre üzemi áramok jutnak, ami feszültségkülönbséget okoz a fém testek között.

22.3.7. Fém védőcsövek és kábelárnyékolás mint védővezető – korlátok

A fém védőcsövek, kábelrendszerek, kábeltálcák és a kábelárnyékolás bizonyos feltételekkel felhasználhatók védővezetőként, de ennek szigorú korlátai vannak.

Szabály. A fém védőcső, kábeltálca vagy kábelpáncél akkor használható védővezetőként, ha: - a folytonossága biztosított (a hosszirányú villamos ellenállása elég kicsi, a kötések megbízhatók), - a keresztmetszete megfelel a védővezetőre előírt minimumnak, - a gyártó adatlapja szerint arra alkalmas, - a korrózió ellen védett.

Azonban a fém védőcsövek és tálcák inkább kiegészítő, nem elsődleges védővezetők. A gyakorlatban a kisfeszültségű berendezésekben önálló, szigetelt védővezetőt kell vezetni, mert a fémcső csatlakozásai laza korrózió vagy szerelés miatt megnövelhetik az ellenállást, és a kötések nem mindig biztosítanak megbízható folytonosságot.

Figyelem. A kábelárnyékolás vagy páncélzat csak akkor használható védővezetőként, ha a kábel konstrukciója és a gyártó azt hibavédelmi védővezetői célra jóváhagyta. Az adatkábelek árnyékolása általában nem alkalmas védővezetőnek, mert keresztmetszete kicsi, és feladata a zavarvédelem, nem a hibavédelem.

22.3.8. Számítási példa védővezetővel és a hőterheléssel

Példa. Egy motorvédelem előtti zárlati áram várható értéke $I_k = 1500\,\mathrm{A}$, a kismegszakító kioldási ideje a zárlat megszakítására $t = 0{,}1\,\mathrm{s}$. A védővezető réz, PVC-szigetelésű. Becsüljük meg a szükséges védővezető keresztmetszetet a $k \approx 115$ értékkel.

Megoldás. A képlet:

$$A_{PE} \geq \frac{I_k\sqrt{t}}{k} = \frac{1500\,\mathrm{A}\cdot\sqrt{0{,}1\,\mathrm{s}}}{115\,\mathrm{A}\sqrt{\mathrm{s}}/\mathrm{mm}^2}.$$

Számoljuk ki: $\sqrt{0{,}1} = 0{,}3162$, így

$$A_{PE} \geq \frac{1500\cdot 0{,}3162}{115} \approx \frac{474{,}3}{115} \approx 4{,}12\,\mathrm{mm}^2.$$

Tehát hőterhelés szempontjából a következő szabványos méret, $6\,\mathrm{mm}^2$ elegendő lenne (a $4\,\mathrm{mm}^2$ már kisebb, mint a szükséges $4{,}12\,\mathrm{mm}^2$), de a fázisvezetőhöz tartozó minimális érték (ha a fázis pl. $16\,\mathrm{mm}^2$) miatt $16\,\mathrm{mm}^2$ lesz a választott védővezető, mert a táblázatban szereplő szabály erősebb. Ez jól mutatja, hogy a hőterhelési számítás gyakran kisebb, mint a szabványos minimális keresztmetszet.

22.3.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasházi lakás felújításánál a szerelő azt tapasztalta, hogy a fürdőszobai mosógép fémtestén érintéskor csípő érzést lehetett érezni. A lakás TN-C-S rendszerű volt. Az elosztóban a PEN-vezetőt felbontották, de a védővezető sínje és a nulla sínje közé valaki egy régi, kézzel oldható csatlakozót szerelt, amely idővel meglazult. A PE-sín a szétválasztás után nem volt bekötve, csak a meglazult csatlakozón át kapcsolódott az N-sínhez: a PE-hurok impedanciája nagy lett, a mosógép testzárlati áramára a kismegszakító nem oldott ki, a test veszélyes feszültségre került (a szétválasztási ponton túli PE–N összekötés tiltott, TN-C-vé alakítja a rendszert; a szétválasztási ponton egyetlen PE–N kapcsolat szükséges). A szerelő a kört azonnal lekapcsolta,

a mosógépet kivonta a használatból (szigetelési hiba, javíttatni kell), majd az öt biztonsági lépés után a PEN-t a PE-sín PEN-kapcsára kötötte, a PE-sín és az N-sín közé szerszámmal bontható, megfelelő keresztmetszetű áthidalást szerelt (ez a szétválasztási pont egyetlen PE–N kapcsolata, a kézzel oldható, meglazult csatlakozó helyett), és hurokimpedanciát mért (lásd az Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel alfejezetet).

22.3.10. Gyakorlati útmutató

Cél: A védővezető és a PEN-vezető folytonosságának és bekötésének ellenőrzése egy lakáselosztóban.

Eszközök és anyagok: kis ellenállásmérő / folytonosságmérő (MSZ EN 61557-4, ≥ 200 mA, zsinórkompenzációval; ellenőrizendő: aktuális kiadás), lakatfogó (árammérés), csavarhúzó, nyomatékkulcs, kétpólusú feszültségvizsgáló, munkavédelmi kesztyű, szigetelőszőnyeg, mérőzsinórok.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Az öt biztonsági szabályt mindig be kell tartani.

Lépések: 1. Feszültségmentesítsd az elosztót: kapcsold le a főkapcsolót és a kismegszakítókat. 2. Biztosítsd visszakapcsolás ellen (pl. lakat). 3. Állapítsd meg a feszültségmentességet kétpólusú feszültségvizsgálóval minden vezető között (L1–L2–L3–N–PE), a vizsgálót előtte és utána ismert forráson ellenőrizve. 4. Földelés és rövidrezárás: kisfeszültségű lakáselosztóban, ha a munkautasítás indokolja, a munkautasítás szerint végezd el. 5. Takard le a szomszédos feszültség alatti részeket. 6. Szemrevételezd a védővezető sínjét: nincs-e benne kapcsoló, biztosíték, lazuló kötés. 7. A mérőzsinórok ellenállását mérés előtt nullázd. Ezután mérd meg a védővezető folytonosságát a legtávolabbi dugaszolóaljzat védőérintkezője és a fő EPH-csomópont között. Az ellenállásnak nagyon kicsinek (jellemzően $< 1\ \Omega$, a vezeték hosszától függően) kell lennie. 8. Ellenőrizd a PEN-felbontást: a nulla és a védővezető a felbontási pont után nem lehet összekötve. 9. Húzd meg a védővezetői kötéseket a megadott nyomatékkal. 10. Dokumentáld az eredményeket, és a visszakapcsolás után ellenőrizd működés közben is, hogy a védővezetőn nem folyik-e üzemi áram (a lakatfogóval a PE körül mérve, ha lehetséges).

Ellenőrzési pontok: folytonosság megvan; nincs védővezetőbe iktatott kapcsoló; a PE és N a felbontás után szét van választva; a csavarkötések nyomatéka megfelelő.

Tipikus hibák a gyakorlatban: a védővezetőt a nulla sínre kötik; a PEN-felbontásnál a védővezetőt nem csatlakoztatják az EPH-hoz; a kötések meglazulnak, mert nem ellenőrzik a nyomatékot.

22.3.11. Tipikus hibák

1. **A védővezetőbe kapcsoló vagy biztosíték elhelyezése.** Ez megszakíthatja a védő utat, és testzárlatnál a fém test feszültség alá kerül. Helyesen: a védővezető folytonos, megszakítás nélküli.
2. **A PEN-felbontás után a nulla és a védővezető összekötése.** Ezzel a védővezetőre üzemi áram jut, ami a fém testek potenciálkülönbségét okozhatja, és az áram-védőkapcsoló működését megzavarhatja. Helyesen: a felbontás után szigorúan szétválasztva.
3. **A védővezető keresztmetszetének helytelen megválasztása.** Például $25\,\mathrm{mm}^2$ fázisvezetőhöz $4\,\mathrm{mm}^2$ védővezetőt szerelnek, ami a szabványos minimumnál kisebb. Helyesen: a fázisvezetőhöz tartozó minimális értéket, ebben az esetben $16\,\mathrm{mm}^2$ keresztmetszetet kell választani.

22.3.12. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a PE és a PEN-vezető között?
2. Miért tilos a védővezetőbe kapcsolót iktatni?
3. Egy áramkörben a fázisvezető keresztmetszete $35\,\text{mm}^2$. Mekkora legyen a védővezető minimális keresztmetszete?
4. Miért veszélyes, ha a PEN-vezető megszakad?
5. Hol kell a PEN-vezetőt felbontani egy TN-C-S rendszerű csatlakozásnál?
6. Mi a hiba abban, ha valaki a védővezetőt a kék nullára köti az elosztóban a PEN-felbontás után?

22.3.13. Feladatok

1. feladat (A). Magyarázd el, mi a védővezető (PE) és mi a PEN-vezető, és milyen kapcsolat van köztük a TN-C-S rendszerben.

2. feladat (A). Számítsd ki a védővezető minimális keresztmetszetét, ha a fázisvezető keresztmetszete $25\,\text{mm}^2$.

3. feladat (B). Egy ipari betáplálásnál a fázisvezető $70\,\text{mm}^2$ réz. Mekkora legyen a védővezető minimális keresztmetszete? Hogyan változik az eredmény, ha a védővezető alumíniumból készül, és a fázis réz?

4. feladat (B). Rajzold le egy TN-C-S rendszerű elosztó PEN-felbontását: a beérkező PEN-vezetőt, az EPH-csomópontot, a PE-sínt és az N-sínt. Jelöld a színeket is.

5. feladat (C). Egy lakáselosztóban a fázisvezető $10\,\text{mm}^2$ réz, a védővezető $6\,\text{mm}^2$ réz. Helyes-e ez a méretezés? Indokold. Mi lenne a helyzet, ha a fázis $16\,\text{mm}^2$ lenne?

6. feladat (D). A gyakorlati útmutató szerint ellenőrizted a védővezető folytonosságát. A mérési eredmény a legtávolabbi aljzat védőérintkezője és a fő EPH-csomópont között $2{,}8\,\Omega$. A vezeték hossza kb. 40 m, $1{,}5\,\text{mm}^2$ réz. Gyanús-e ez az érték? Hogyan ellenőriznéd?

22.3.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. A PE csak védővezető, üzemi áram nem folyik rajta; a PEN egyesíti a PE és N funkcióját, így üzemi áramot is szállít.
2. Mert a védővezető megszakadása esetén testzárlatkor a fém test veszélyes feszültségre kerülhet, és a védelem nem old le.
3. $A_{PE} = 16\,\text{mm}^2$ (mert $16 < A_f \leq 35$).
4. Mert a PEN mögötti fém testekre a nullavezetőn keresztül hálózati feszültség kerülhet.
5. A fogyasztói főelosztóban, a fő földelőkapocsnál (EPH).
6. Az a hiba, hogy a védővezetőre üzemi áramok juthatnak, ami a fém testek közötti feszültségkülönbséghez vezet.

1. feladat. A PE vezető kizárólag hibavédelmi célú, üzemi áramot nem szállít, zöld-sárga. A PEN vezető egyesíti a PE és N szerepet, üzemi áramot is szállít, és a TN-C-S rendszer hálózati oldalán található. A PEN-t az EPH-csomópontnál bontják szét PE-re és N-re.

2. feladat. $A_f = 25\,\text{mm}^2$, ami 16 és 35 közé esik, így $A_{PE} = 16\,\text{mm}^2$.

3. feladat. $A_f = 70\,\text{mm}^2 > 35\,\text{mm}^2$, így $A_{PE} = 0{,}5 \cdot 70 = 35\,\text{mm}^2$. Ha a védővezető alumínium, és a fázis réz, a táblázat szerinti réz-keresztmetszetet a k-értékek arányával kell átszámítani (az alumínium kisebb k-értéke miatt nagyobb keresztmetszet kell). A k-értékek arányával ($115/76 \approx 1{,}5$) az alumínium védővezető legalább $35 \cdot 115/76 \approx 53\,\text{mm}^2$, a következő szabványos méret $70\,\text{mm}^2$ Al **(ellenőrizendő: a k-értékek a szabványban)**.

4. feladat. A rajz hasonló a fejezet elején lévő `circuit` ábrához: PEN bejövő (zöld-sárga, végein kék jelölés), EPH-csomópont, onnan PE-sín (zöld-sárga) és N-sín (kék). A két sín között a szétválasztási ponton egyetlen, szerszámmal bontható áthidalás van; ezen túl (a leágazó áramkörökben) az N és a PE sehol nincs összekötve.

5. feladat. $A_f = 10\,\text{mm}^2 \le 16\,\text{mm}^2$, tehát $A_{PE} = 10\,\text{mm}^2$ kellene. A $6\,\text{mm}^2$ tehát nem elegendő, helytelen a méretezés. Ha a fázis $16\,\text{mm}^2$ lenne, a védővezető $16\,\text{mm}^2$ kellene.

6. feladat. A réz fajlagos ellenállása $\rho \approx 0{,}0175\,\Omega\,\text{mm}^2/\text{m}$. A mért szakasz a 40 m-es védővezető (aljzat PE-érintkezője $\leftrightarrow$ EPH-csomópont): $R = \rho l/A = 0{,}0175 \cdot 40/1{,}5 \approx 0{,}47\,\Omega$. A mért $2{,}8\,\Omega$ ennek kb. hatszorosa, tehát gyanús. Ellenőrzés: a hosszú mérőzsinór saját ellenállását a mérés előtt kompenzálni (nullázni) kell, majd a mérést meg kell ismételni; ha az érték továbbra is nagy, a kötéseket (aljzatok, dobozok, sorkapcsok) szakaszonként kell mérni, a korrodált vagy lazuló csatlakozás és a sérült vezeték keresése mellett. (Ha a hurok-módszert, azaz az $R_1 + R_2$ mérést akarjuk tanítani, az L és a PE vezetőt az elosztóban össze kell kötni, és az aljzatnál L–PE között mérni: ott 80 m és $0{,}93\,\Omega$ a helyes.)

22.3.15. Rövid összefoglaló

A védővezető (PE) kizárólag hibavédelmi célú, üzemi áramot nem szállít. A PEN-vezető a védő- és nullavezető közösített változata, amelyet a TN-C-S rendszerben a fogyasztói főelosztó EPH-csomópontjánál kell felbontani PE-re és N-re. A védővezető minimális keresztmetszetét a fázisvezető keresztmetszete alapján kell meghatározni: $A_f \le 16$ mm²-nél $A_{PE} = A_f$, 16–35 mm² között $A_{PE} = 16$ mm², $A_f > 35$ mm²-nél $A_{PE} = 0{,}5A_f$. A védővezetőt és a PEN-vezetőt tilos megszakítani, bennük kapcsoló, biztosíték vagy megszakító nem lehet. A PEN-felbontás után a PE és N vezetőt nem szabad újra összekötni, és a védővezetőt a nulla sínre kötni is tilos. A védővezető folytonosságát rendszeresen ellenőrizni kell, mert a szakadás vagy a laza kötés testzárlatnál veszélyes feszültséget okozhat. A fém védőcsövek és árnyékolások csak szigorú feltételekkel használhatók védővezetőként, ezért a gyakorlatban önálló szigetelt védővezetőt kell vezetni. Ezek a szabályok alapozzák meg a Túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD): típusok és beépítés és a villámvédelmi rendszer helyes csatlakoztatását is.

22.3.16. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezetben szereplő védővezetői keresztmetszeti táblázat, a PEN-vezető minimális keresztmetszete, a k hőállósági állandó és a védővezetőre vonatkozó szabványi követelmények a hatályos MSZ HD 60364 szabványon alapulnak, de a pontos értékeket és a táblázatok aktualitását a kiadás előtt ellenőrizni kell. A réz/alumínium fajlagos vezetőképesség aránya ismert, de a szabványos átszámítási előírás ellenőrzendő.

23 Villám- és túlfeszültség-védelem

23.1. A villám és hatásai, kockázat és védelmi osztályok

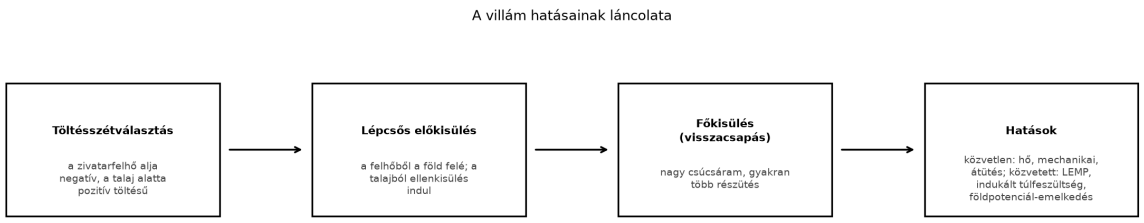
23.1.1. Miért kell ezt tudnod a munkahelyen?

Egy kivitelező vagy karbantartó villanyszerelő gyakran találkozik olyan megrendeléssel, amelyben egy családi ház, műhely vagy ipari csarnok villámvédelmét kell kiépíteni vagy felülvizsgálni. Ilyenkor nem elég „felszerelni egy villámhárítót”; előbb azt kell tisztázni, hogy egyáltalán szükséges-e a védelem, milyen védelmi szintet kell választani, és milyen hatások ellen kell védekezni. Ha ezeket az alapfogalmakat nem érted, akkor könnyen előfordul, hogy a berendezés papíron megvan, de a villámcsapás mégis tönkreteszi a beépített elektronikát, vagy éppen feleslegesen drága rendszert építesz. Ez a fejezet ezért a villám természetét, a kockázatértékelés alapgondolatát és a védelmi osztályok jelentését tanítja meg, mielőtt a konkrét szerelési megoldásokra rátérnénk.

23.1.2. Szemléletes kép: mi történik egy villámcsapás alatt?

Képzelj el egy nyári zivatart. A felhő alsó része negatív töltésűvé válik, a talaj pedig pozitív töltést vesz fel. Amikor a feszültség a felhő és a talaj között eléri a levegő átütési szilárdságát, egy előkisülés (lépcsős vezető) indul el a felhőből a föld felé, majd amikor közel ér a talajhoz, a talajból egy ellenirányú, csatlakozó kisülés indul felé. Amikor a kettő összeér, a kialakult csatornán lefut a nagy fény- és hőjelenséggel járó főkisülés (visszacsapás); ezt nevezzük villámcsapásnak. A villám nem egyetlen áramimpulzus, hanem gyakran több, gyorsan egymást követő részütésből áll. Az áram csúcsértéke tipikusan tízezres amper nagyságrendű, a kisülés időtartama pedig a milliszekundum tört része. Az épület és a benne lévő villamos berendezés szempontjából nemcsak a közvetlen becsapás veszélyes, hanem az is, ha a villám a közelben csap le, és elektromágneses tér vagy a földpotenciál megemelkedése révén károsít.

Az alábbi folyamatábra a villám hatásainak láncolatát mutatja be; ezt a láncot kell a védelemnek megszakítania.



23.1. ábra. A villám hatásainak láncolata - Szemléltető ábra: a kisülés kialakulása és a főkisülés közvetlen, illetve közvetett hatásai. A két hatáscsoport párhuzamosan, ugyanabból a főkisülésből ered; a közvetlen hatások ellen a külső, a közvetettek ellen főként a belső villámvédelem véd.

A villámvédelmi tervezés során ezt a láncot kell végiggondolnunk: hol tudjuk a villámáramot felfogni, elvezetni, és hol tudjuk a káros hatásokat korlátozni.

23.1.3. A villám keletkezése és alapvető paraméterei

Definíció. A **villám** a légkörben lejátszódó, nagy energiájú elektromos kisülés, amely zivatarfelhők és a földfelszín, illetve felhőrészek között jön létre. A minket elsősorban érdeklő **földbe csapó villám** esetén a kisülés a felhő és a talaj között megy végbe.

A keletkezés lényege: a zivatarfelhőben jég- és vízrészecskék ütköznek, eközben töltések válnak szét. A felhő alsó része jellemzően negatív, a felső része pozitív töltésű lesz. A talaj a felhő alatt pozitív töltést vesz fel. A felhő és a talaj közötti feszültség akár több száz millió volt is lehet, de a levegő szigetelési képessége miatt a kisülés csak akkor indul meg, ha a térerősség eléri a levegő átütési szilárdságát. Ekkor alakul ki a csatorna, amelyen a főkisülés lefolyik.

A villámáramot néhány jellegzetes paraméterrel írjuk le:

- **Csúcsáram** $I_{\max}$ (vagy I_{peak}): a kisülés legnagyobb áramértéke, tipikusan $20 \ldots 50\,\text{kA}$, de pozitív villámok esetén ennél lényegesen nagyobb, akár $200\,\text{kA}$ is lehet.
- **Töltés** Q: a kisülés során átáramló teljes villamos töltés, tipikusan néhány coulomb-tól néhány tíz coulombig terjed.
- **Fajlagos energia** W/R: az áram négyzetének idő szerinti integrálja, amely a hőhatásért felelős; jellemzően $10^4 \ldots 10^6\,\text{A}^2\text{s}$ nagyságrendű.
- **Időbeli lefutás**: a villámáramot gyakran egy gyors felfutású és lassabban lecsengő, úgynevezett $10/350\,\mu\text{s}$ hullámmal modellezik (az első szám a felfutási időt, a második a lecsengési időt jelöli). A pontos értékek a szabványban és a mérési gyakorlatban változhatnak.

Ezek az értékek azért fontosak, mert a védelmi eszközöket és a vezetőket ezekre a terhelésekre kell méretezni. Egy vékony, rosszul méretezett levezető a villámáramot nem képes elvezetni: megolvadhat, szétrobbanhat, és maga is tüzet okozhat.

Definíció. A **villámvédelmi osztály (LPL, Lightning Protection Level)** a villámvédelmi rendszer tervezéséhez használt, I-től IV-ig terjedő kategória, amely meghatározza a védelem ellenálló képességét a villámáram nagyságával és hatásaival szemben. Az LPL I a legmagasabb védelmi szint, az LPL IV a legalacsonyabb.

Definíció. A **villámvédelmi zóna (LPZ, Lightning Protection Zone)** az épület vagy tér olyan, a villám elektromágneses hatása szempontjából meghatározott része, ahol a villámáram és az elektromágneses tér jellemzői eltérőek. Az LPZ 0A a közvetlen becsapásnak kitett külső zóna, az LPZ 0B a közvetlen becsapástól védett, de az elektromágneses térnek kitett zóna; az LPZ 1, 2 stb. a belső, egyre jobban árnyékolt zónák.

23.1.4. A villám hatásai

A villám káros hatásait két nagy csoportra osztjuk: **közvetlen** és **közvetett** hatások.

23.1.4.1. Közvetlen hatások

Ha a villám közvetlenül az épületbe vagy a villamos berendezésbe csap, a következő hatások léphetnek fel:

- **Hőhatás**: a nagy áram a vezetőket felmelegíti, olvadást, tüzet, robbanást okozhat. Ezért kell a felfogó- és levezetőrendszert megfelelő keresztmetszetű anyagból készíteni.
- **Mechanikai hatás**: az áram mágneses tere erős erőket kelt, illetve a hirtelen felmelegedés gőz- és gázrobbanást idézhet elő. Ez falakat, tetőszerkezetet, ablakokat rombolhat.
- **Átütés és szikraképződés**: az épület különböző vezetőképes részei között a nagy feszültségkülönbség miatt átütés, szikra keletkezhet, ami tüzet okoz.

23.1.4.2. Közvetett hatások

A villám akkor is károsíthat, ha nem közvetlenül az épületbe csap, hanem a közelben:

- **Indukált túlfeszültség (LEMP, Lightning Electromagnetic Impulse)**: a villámcsatornában folyó, gyorsan változó áram erős mágneses teret hoz létre, amely a közeli vezetékekben, kábelekben, informatikai hálózatokban feszültséget indukál. Ez a túlfeszültség tönkreteheti az elektronikus berendezéseket.
- **Földpotenciál-emelkedés**: ha a villám a földelő rendszerbe jut, a földelési ellenálláson átfolyó nagy áram miatt a földelő és a környező talaj potenciálja megemelkedik. Az épület különböző földelt pontjai között feszültségkülönbség léphet fel, ami átütést és áramütést okozhat.
- **Lépésfeszültség**: a földbe jutó villámáram környezetében a talajon a feszültség a távolsággal csökken. Ha egy ember a földelő közelében lép, és a két lába közötti feszültségkülönbség (lépésfeszültség) nagy, áram folyhat át a testén.
- **Érintési feszültség**: ha valaki megérint egy földelt szerkezetet, miközben a villámáram a földelésbe folyik, a kéz és a láb közötti feszültségkülönbség áramütést okozhat.

Példa. Egy földelési ellenállás $R_A = 10\,\Omega$, és a levezetőn $I = 30\,\mathrm{kA}$ villámáram folyik. A földpotenciál-emelkedés a földelőnél:

$$U_E = I \cdot R_A = 30\,000\,\mathrm{A} \cdot 10\,\Omega = 300\,000\,\mathrm{V} = 300\,\mathrm{kV}.$$

Ez a hatalmas potenciálkülönbség a környező talajon lépésfeszültségként, a fémszerkezetek között pedig érintési feszültségként jelenhet meg. Ezért nem elég a földelési ellenállást önmagában nézni, hanem a potenciálkiegyenlítést is meg kell valósítani.

23.1.5. Kockázatértékelés alapjai

A villámvédelem szükségességét és mértékét a szabvány szerinti kockázatértékeléssel kell meghatározni. A kockázat annak a mértéke, hogy a villámcsapás milyen éves szintű kárt okozhat.

Alapösszefüggés. A kockázat R kiszámítható a veszélyes események számának (N), a károsodás valószínűségének (P) és a veszteség mértékének (L) szorzataként:

$$R = N \cdot P \cdot L.$$

A valóságban a szabvány ezt több kockázati komponensre bontja, és az egyes komponenseket külön-külön kell összegezni. Az alapgondolat azonban ugyanaz: minél gyakrabban csap a villám,

minél nagyobb a károsodás valószínűsége, és minél nagyobb a veszteség, annál nagyobb a kockázat, és annál indokoltabb a villámvédelem.

A veszélyes események számát az épület **gyűjtőterülete** és a **villámsűrűség** határozza meg. A gyűjtőterület azt a földfelületet jelenti, ahonnan a villám „összegyűjthető” az épületre. Egy téglalap alaprajzú épület gyűjtőterülete közelítőleg az épület alaprajzi területe, plusz a magassággal arányos környező sáv területe. A pontos képletet a szabvány adja meg; itt csak az elvet szemléltetjük.

Számítás. Tegyük fel, hogy egy családi ház gyűjtőterülete $A_d = 2\,000\,\mathrm{m}^2$, és a villámsűrűség $N_g = 2$ villámcsapás km^2-enként évente. Az éves veszélyes események száma:

$$N = N_g \cdot A_d = 2\,\frac{1}{\mathrm{km}^2 \cdot \text{év}} \cdot 2\,000\,\mathrm{m}^2.$$

Mivel $1\,\mathrm{km}^2 = 1\,000\,000\,\mathrm{m}^2$,

$$N = 2 \cdot \frac{2\,000}{1\,000\,000} = 0{,}004\,\text{csapás/év}.$$

Ez azt jelenti, hogy átlagosan 250 évente egyszer csap a házba villám. Önmagában ez nem tűnik nagy számnak, de ha a házban nagy értékű elektronika vagy éghető anyag van, illetve ha emberek tartózkodnak ott, a kockázat elfogadhatatlan lehet.

A károsodás valószínűsége (P) attól függ, hogy milyen védelmi intézkedések vannak. Ha van külső villámvédelem, a közvetlen becsapás okozta fizikai kár valószínűsége csökken; ha van belső túlfeszültség-védelem, az elektronikus károk valószínűsége csökken. A veszteség (L) pedig attól függ, hogy mi a védendő érték: emberélet, szolgáltatás, kulturális örökség vagy gazdasági érték.

Szabvány. A létesítési kötelezettséget a hazai tűzvédelmi jogszabály (OTSZ) és a Villámvédelem tűzvédelmi műszaki irányelv határozza meg; a kockázatértékelés és a villámvédelmi felülvizsgálat erre jogosult szakember feladata **(ellenőrizendő: hatályos OTSZ, TvMI és jogosultsági szabályok)**. A villámvédelmi kockázatértékelést Magyarországon az **MSZ EN 62305** szabványsorozat írja le. A sorozat 1. része az általános elveket, 2. része a kockázatkezelést, 3. része az épületek fizikai károsodása és életveszély elleni védelmét, 4. része az épületek villamos és elektronikus rendszereinek védelmét tárgyalja. A pontos számítási képleteket és paramétereket a szabvány aktuális kiadása tartalmazza; az itt megadott összefüggések a gondolkodásmódot szemléltetik. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és a gyűjtőterület képlete)**

23.1.6. Védelmi osztályok (LPL)

A kockázatértékelés eredménye alapján a szabvány meghatározza, hogy milyen **villámvédelmi osztályt (LPL)** kell választani. Az LPL I–IV osztályok a villámvédelmi rendszer méretezéséhez szükséges paramétereket rögzítik:

- **LPL I**: a legmagasabb védelmi szint; a legnagyobb villámáramok (200 kA csúcsáramig) ellen méretezik. Általában olyan létesítményeknél indokolt, ahol a kockázat nagyon magas, például robbanásveszélyes környezet, nagy tömegben tartózkodó emberek, kritikus infrastruktúra.
- **LPL II**: magas védelmi szint; a tipikus ipari és középületi villámvédelem gyakran erre a szintre készül.
- **LPL III**: közepes védelmi szint; lakóépületeknél, kisebb középületeknél gyakori.

- **LPL IV**: alacsony védelmi szint; ott alkalmazzák, ahol a kockázat viszonylag kicsi, és a védelem elsősorban a közvetlen életveszély csökkentésére szolgál.

A szabvány szerinti tanult értékek (**ellenőrizendő: MSZ EN 62305-1 és -3**):

LPL	legnagyobb csúcsáram	legkisebb csúcsáram (felfogás)	gördülőgömb-sugár
I	200 kA	3 kA	20 m
II	150 kA	5 kA	30 m
III	100 kA	10 kA	45 m
IV	100 kA	16 kA	60 m

Az LPL tehát a méretezési (legnagyobb) és a felfogáshoz tartozó legkisebb csúcsáramot is meghatározza. Az LPL meghatározza például:

- a felfogórendszer hálóméreteit és védőszögét,
- a levezetők számát és egymástól való távolságát,
- a földelő rendszer minimális követelményeit,
- a túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD) kiválasztását,
- az árnyékolás és a belső potenciálkiegyenlítés méretezését.

Minél szigorúbb a védelmi szint (LPL IV → LPL I irányban), annál több anyagot és szigorúbb kialakítást igényel a rendszer, de annál nagyobb áramot képes elvezetni. A döntést tehát mindig a kockázatértékelés alapján, a szabvány szerint kell meghozni.

Továbbvitt eredmény. A villámvédelmi osztály (LPL) fogalmát és a hozzá tartozó villámáram-paramétereket a Külső és belső villámvédelmi rendszer alfejezetben használjuk fel a felfogók, levezetők, földelők és a belső túlfeszültség-védelem méretezésekor.

23.1.7. Magyarországi villámsűrűség és a védelem szükségessége

Magyarországon a villámcsapások éves sűrűsége jellemzően $1 \ldots 4$ villám km^2-enként évente, de ez a szám területtől és időjárási viszonyoktól függően változhat. **(ellenőrizendő: aktuális hazai villámsűrűségi adat, például meteorológiai vagy szabvány szerinti térkép alapján)** A pontos értéket a villámvédelmi tervezéshez a szabvány melléklete vagy a meteorológiai szolgálat adatai alapján kell meghatározni.

A védelem szükségességét nem lehet pusztán a villámsűrűségből levezetni. Egy külterületi, egyszintes, éghetetlen anyagú épületnél a kockázat általában kicsi; egy sűrűn lakott, sok elektronikát tartalmazó, éghető tetőszerkezetű épületnél viszont ugyanolyan villámsűrűség mellett is indokolt lehet a védelem. Ezért a döntés mindig kockázatértékeléssel történik.

23.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy villanyszerelőt megbíznak egy régi családi ház villámvédelmének felülvizsgálatával. A házban egy modern hűtő-, fűtés- és szórakoztatóelektronikai rendszer van, és a tulajdonos attól tart, hogy egy közeli villámcsapás tönkreteszi a berendezéseket. A szerelő először felméri az épületet: a tetőn nincs felfogó, a levezető hiányzik, a földelő rendszer ismeretlen. Előzetes becslést végez, és megállapítja, hogy a gyűjtőterület és a helyi villámsűrűség alapján az éves veszélyes események száma $N \approx 0{,}006$. A károsodás valószínűségét a meglévő hiányos védelem miatt magasra becsüli. A kockázat valószínűleg meghaladja az elfogadható szintet, ezért javasolja, hogy a

tulajdonos villámvédelmi tervezővel végeztesse el a hivatalos kockázatértékelést; a terv alapján külső villámvédelem épülhet (például LPL III szerint), és javasolja a belső túlfeszültség-védelem (SPD-k) beépítését a főelosztóba és az érzékeny fogyasztók elé. A tulajdonos először csak az SPD-t akarta volna megrendelni, de a szerelő elmagyarázza, hogy a közvetlen becsapás ellen az SPD önmagában nem elég, mert a hő- és mechanikai hatások a tetőt is károsíthatják, és a villámáram a belső vezetékekre is átjuthat.

Ebből az esetből látszik, hogy a szerelőnek ismernie kell a villám hatásait és a védelmi osztályok szerepét, különben hibás döntést hoz.

23.1.9. Tipikus hibák

1. **„A túlfeszültség-védő eszköz (SPD) önmagában is elég.”** Ez a leggyakoribb félreértés. Az SPD a belső villámvédelem része, amely a vezetékeken érkező túlfeszültség ellen véd, de a közvetlen becsapás hő- és mechanikai hatásai ellen nem. A teljes védelemhez külső villámvédelem és megfelelő földelés is kell.
2. **„Ha a földelési ellenállás kicsi, akkor biztonságos.”** Önmagában a kis földelési ellenállás csökkenti a potenciálemelkedést, de a lépés- és érintési feszültséget csak a potenciálkiegyenlítéssel és a megfelelő zónakialakítással lehet elfogadható szintre hozni.
3. **„Nincs szükség villámvédelemre, mert nálunk ritkán csap villám.”** A ritkaság nem jelenti a kockázat hiányát. A kockázatot a gyakoriság, a károsodás valószínűsége és a következmény súlyossága együtt határozza meg. Egy ritka, de nagy kárú esemény is indokolhat védelmet.
4. **„A villámvédelmi osztályt a ház nagysága alapján választom.”** A védelmi osztályt nem az épület mérete, hanem a kockázatértékelés eredménye határozza meg. Egy kis, de robbanásveszélyes épület lehet LPL I, míg egy nagy csarnok lehet LPL III.

23.1.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a villámáram csúcsértéke jellemzően $20\ldots50\,\mathrm{kA}$ nagyságú, de pozitív villámoknál ennél jóval nagyobb is lehet? Indokold.
2. Mi a különbség a közvetlen és a közvetett villámhatás között? Mondj egy-egy példát.
3. Mit jelent az LPL III jelölés? Mire használjuk?
4. Egy épület gyűjtőterülete $1\,500\,\mathrm{m}^2$, a villámsűrűség 3 villám/km^2/év. Mennyi az éves veszélyes események száma?
5. Miért nem elég az SPD a közvetlen villámcsapás ellen?
6. Melyik szabványsorozat foglalkozik a villámvédelemmel és a kockázatértékeléssel?

23.1.11. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a villámvédelmi osztály (LPL) fogalmát, és sorold fel az I–IV osztályok jelentését.

2. feladat (A). Egy földelő ellenállása $8\,\Omega$, és a levezetőn $40\,\mathrm{kA}$ villámáram folyik. Számítsd ki a földpotenciál-emelkedést.

3. feladat (B). Egy téglalap alapú épület gyűjtőterülete $3\,000\,\mathrm{m}^2$. A helyi villámsűrűség 2,5 villám/km^2/év. Számítsd ki az éves veszélyes események számát, és értelmezd az eredményt.

4. feladat (B). Magyarázd el, mi a lépésfeszültség és az érintési feszültség, és hogyan csökkenthetők a villámvédelem eszközeivel.

5. feladat (C). Egy családi házban csak túlfeszültség-védő eszközöket szereltek be, külső villámvédelmet nem. Milyen kockázatok maradnak fenn? Írd le, milyen mérésekkel vagy szemrevételezéssel lehetne ezt feltárni.

6. feladat (D). Egy ipari csarnok villámvédelmét kell felülvizsgálni. A szemrevételezés során a levezetőn korróziót, a felfogó rögzítésénél laza csavart találsz, a földelő bekötésnél pedig hiányzik a potenciálkiegyenlítő összekötés. Milyen hibákat jelentenél, és milyen javítási lépéseket javasolnál a védelmi osztály megtartása érdekében?

23.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A leggyakoribb negatív villámok csúcsárama tipikusan $20 \ldots 50\,\mathrm{kA}$, de a ritkább pozitív villámok csúcsárama elérheti a $100 \ldots 200\,\mathrm{kA}$ értéket is; a pontos határok a szabványban vannak rögzítve.
2. **Közvetlen hatás**: a villám közvetlenül az épületbe csap, hő- és mechanikai károkat okoz, szikraképződést idézhet elő. **Közvetett hatás**: például indukált túlfeszültség a közeli vezetékekben, vagy földpotenciál-emelkedés miatt fellépő feszültségkülönbség.
3. Az **LPL III** a közepes védelmi szint, amelyet a kockázatértékelés alapján akkor választanak, ha a védelem iránti igény közepes. Meghatározza a felfogó-, levezető- és földelőrendszer méretezését.
4. $N = 3 \cdot 1\,500/1\,000\,000 = 0{,}0045$ csapás/év, azaz átlagosan kb. 222 évente egy csapás.
5. Az SPD a vezetékeken érkező túlfeszültség ellen véd, de a közvetlen becsapás hő- és mechanikai hatásai (tűz, robbanás, szerkezeti kár) ellen nem. A közvetlen becsapás a teljes épületet károsíthatja, és a villámáram a belső hálózatba is bejuthat.
6. Az **MSZ EN 62305** szabványsorozat (1. rész: általános elvek, 2. rész: kockázatkezelés, 3. rész: fizikai károk és életveszély, 4. rész: villamos és elektronikus rendszerek).

Feladatok megoldásai

1. Az LPL a villámvédelmi rendszer tervezéséhez használt osztály, amely a villámáram maximális és minimális paramétereit, valamint a védelmi intézkedések követelményeit határozza meg. LPL I: legmagasabb védelem; LPL II: magas; LPL III: közepes; LPL IV: alacsony védelem.

2. $U_E = I \cdot R_A = 40\,000\,\mathrm{A} \cdot 8\,\Omega = 320\,000\,\mathrm{V} = 320\,\mathrm{kV}$. A potenciálemelkedés igen nagy, ezért potenciálkiegyenlítés nélkül veszélyes lépés- és érintési feszültségek alakulhatnak ki.

3. $N = N_g \cdot A_d = 2{,}5 \cdot 3\,000/1\,000\,000 = 0{,}0075$ csapás/év. Ez azt jelenti, hogy átlagosan kb. 133 évente csap a villám az épületbe. Önmagában ritka, de a kockázat a károk súlyosságától függően még jelentős lehet.

4. A **lépésfeszültség** az a feszültségkülönbség, amely a talajon, a villámáram földelésbe jutása környezetében két lábnyi távolságban fellép. Az **érintési feszültség** a megfogott földelt szerkezet és a talaj között fellépő feszültség. Csökkenthetők a földelési ellenállás csökkentésével, a potenciálkiegyenlítéssel, a levezetők megfelelő elhelyezésével és a talaj felszínének szigetelésével.

5. A közvetlen becsapás ellen nincs védelem, ezért fennmaradnak a hő-, mechanikai és szikraképződési kockázatok; a villámáram a tetőn és a falon át a belső vezetékekbe juthat, az SPD-ket is tönkreteheti, sőt tüzet okozhat. Feltárható szemrevételezéssel (van-e felfogó, levezető, földelő), valamint a földelési rendszer és a potenciálkiegyenlítés mérésével, továbbá a kockázatértékelés elvégzésével.

6. A korrodált levezető keresztmetszete csökken, ezért nem képes a villámáramot elvezetni; a laza rögzítés a mechanikai igénybevételkor szétválhat; a hiányzó potenciálkiegyenlítő összekötés miatt a fémszerkezetek között veszélyes feszültségkülönbség léphet fel. Javítani kell: a levezető cseréje vagy tisztítása, a rögzítések meghúzása, a potenciálkiegyenlítő bekötés pótlása, majd a teljes rendszer mérése (folytonosság, földelési ellenállás) és dokumentálása.

23.1.13. Rövid összefoglaló

A villám a légkörben lezajló, nagy energiájú elektromos kisülés. Földbe csapó villám esetén a csúcsáram jellemzően több tízezer amper, a töltés több coulomb, a fajlagos energia természetes villámoknál jellemzően $10^4 \dots 10^6$ A^2s nagyságrendű; a méretezési érték LPL I-nél 10^7 A^2s (10 MJ/Ω) **(ellenőrizendő: MSZ EN 62305-1)**. A villám hatásai lehetnek közvetlenek (hő, mechanikai, szikraképződés) és közvetettek (indukált túlfeszültség, földpotenciál-emelkedés, lépés- és érintési feszültség). A védelem szükségességét és mértékét kockázatértékeléssel kell meghatározni; a kockázat alapgondolata: $R = N \cdot P \cdot L$, ahol N a veszélyes események száma, P a károsodás valószínűsége, L a veszteség mértéke. A számításhoz az épület gyűjtőterületét és a helyi villámsűrűséget ismerni kell. A kockázatértékelés eredménye alapján választjuk meg a villámvédelmi osztályt (LPL I–IV), amely a villámvédelmi rendszer valamennyi elemének méretezését meghatározza. Magyarországon a villámsűrűség jellemzően $1 \dots 4$ villám/km^2/év, de a pontos adatot a szabvány vagy meteorológiai forrás alapján kell ellenőrizni. A továbbvitt eredmény: a villámvédelmi osztály (LPL) és a hozzá tartozó paraméterek elengedhetetlenek a Külső és belső villámvédelmi rendszer alfejezetben tárgyalt felfogó-, levezető-, földelő- és túlfeszültség-védelmi elemek méretezéséhez. A szabvány: MSZ EN 62305.

23.2. Külső és belső villámvédelmi rendszer

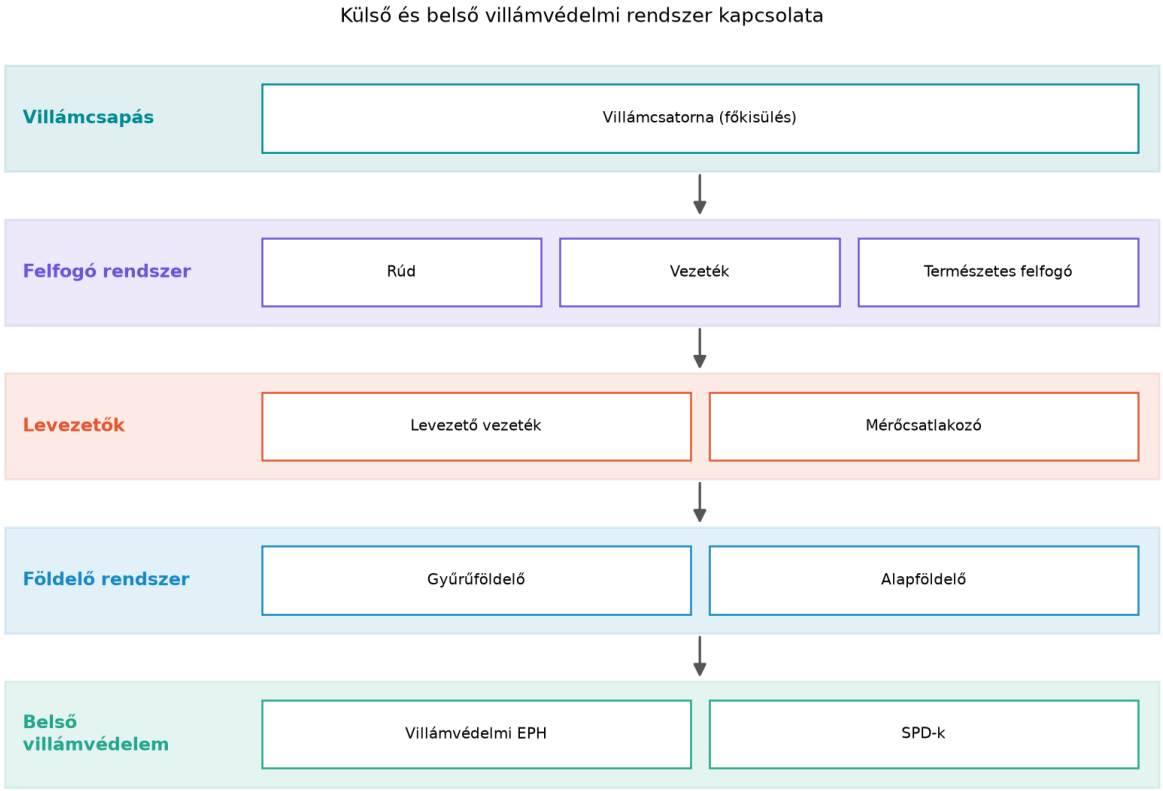
23.2.1. Motiváció

Egy heves nyári zivatar után a szerelőt gyakran hívják olyan épülethez, ahol a tetőn látható villámvédelmi felfogó megvan, de a levezető szakadtan lóg, vagy a mérőcsatlakozó hiányzik. Ilyenkor nehéz megmondani, hogy a villámáram valóban a földbe jut-e, vagy éppen a belső villamos berendezésen keresztül keres magának utat. A külső villámvédelmi rendszer akkor jó, ha a felfogótól a földelőig minden elem összefüggő, korróziómentes, és a belső villámvédelemmel is össze van kapcsolva. Ebben az alfejezetben azt tanulod meg, hogyan épül fel a külső rendszer, milyen szerepe van a gömbmódszernek, mire való a mérőcsatlakozó, és miért nem szabad elhagyni a belső villámvédelmi potenciálkiegyenlítést.

23.2.2. Szemléletes ábra

A villámvédelmi rendszer (LPS, Lightning Protection System) osztálya (LPS I–IV) a A villám és hatásai, kockázat és védelmi osztályok alfejezetben megismert védelmi szinthez (LPL I–IV) tartozik: LPL I → LPS I, …, LPL IV → LPS IV (ellenőrizendő: MSZ EN 62305-3).

Az alábbi rétegábra azt mutatja, hogy a külső és belső villámvédelmi elemek láncszemként kapcsolódnak egymáshoz. A felfogó rendszer fogadja a villámot, a levezetők eljuttatják a földelőbe, a belső villámvédelem pedig megakadályozza, hogy a hatalmas áram a belső villamos hálózatra vagy fém csövekre „átugorjon”.



23.2. ábra. Külső és belső villámvédelmi rendszer kapcsolata - Szemléltető rétegábra: a villámáram felülről lefelé, a felfogótól a levezetőkön és a mérőcsatlakozón át a földelőig halad; a belső villámvédelem (villámvédelmi EPH, SPD-k) a földelőrendszerhez csatlakozik, hogy a belső fémrészek és vezetékek potenciálja együtt emelkedjen.

A felső réteg a villám becsapásának forrása, alatta a felfogó rendszer elemei következnek. A levezetők összekötik a felfogót a földelővel, a mérőcsatlakozó pedig olyan bontható pont, ahol a földelőrendszer ellenállása külön mérhető. A belső villámvédelem a földelőhöz és az egyenpotenciálra hozáshoz csatlakozik, így a villámáram okozta feszültségemelkedés a belső hálózaton is együtt emelkedik, nem pedig szikraként vagy átütésként jelenik meg.

23.2.3. Definíciók és felépítés

Definíció. A **külső villámvédelmi rendszer** (external lightning protection system) az épületet érő villámcsapás áramát felfogó, levezető és földelő rendszer együttese. Feladata, hogy a villámáramot az épület szerkezetétől és a benne lévő villamos berendezésektől elkülönített, jól ellenőrzött úton a földbe vezesse.

Definíció. A **belső villámvédelmi rendszer** (internal lightning protection system) mindazon intézkedések összessége, amelyek megakadályozzák, hogy a villámáram vagy annak mágneses tere veszélyes feszültséget, szikrázást okozzon az épület belsejében. Elemei a villámvédelmi potenciálkiegyenlítés, a védőtávolságok betartása, az árnyékolás és a túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD).

A külső rendszer három fő eleme:

1. **Felfogó rendszer:** felfogó rudak, felfogó vezetékek, háló vagy a természetes felfogóként használt fém tetőhéjazat.
2. **Levezető rendszer:** a felfogóból a földelőbe vezető, az épület homlokzatán vagy szerkezetében elhelyezett vezetők.
3. **Földelő rendszer:** gyűrűföldelő, alapföldelő vagy különálló földelőszondák, amelyek a villámáramot a talajba osztják el.

23.2.4. Felfogó rendszer és a gömbmódszer

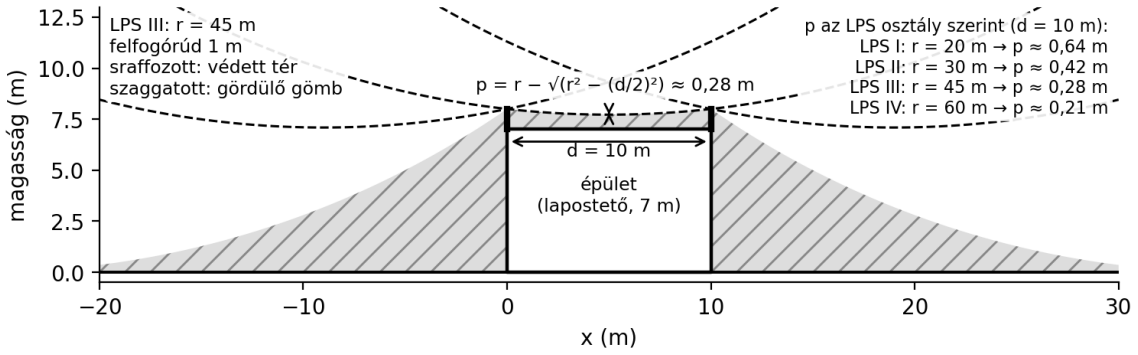
A felfogó rendszer feladata, hogy a villámcsapást magára vonzza, és a becsapás pontját az épület kritikus részeitől távol jelölje ki. Felfogó elem lehet:

- **Felfogó rúd:** függőleges, kiálló rúd, amely a védendő tér fölé nyúlik.
- **Felfogó vezeték:** a tetőgerincen, tetőéleken végigfektetett vezető.
- **Felfogó háló:** a tetőfelületen kialakított, meghatározott osztású háló.
- **Természetes felfogó:** például a szabványos vastagságot elérő fém tetőhéjazat, acél tartószerkezet.

A tervezés során azt kell meghatározni, hogy egy adott felfogó elrendezés mekkora teret véd. Erre szolgál többek között a **gömbmódszer** (rolling sphere method).

Szabály. A gömbmódszer szerint képzeljünk el egy meghatározott sugarú gömböt, amelyet az épület és a felfogórendszer körül gördítünk. Az a térrész védett, amelyhez a gömb nem ér hozzá. A gömb sugara a villámvédelmi osztálytól függ: LPS I esetén jellemzően 20 m, LPS II esetén 30 m, LPS III esetén 45 m, LPS IV esetén 60 m. **(ellenőrizendő: az MSZ EN 62305-3 aktuális táblázatai)**

Gyakorlati példaként: ha egy lapostetőt LPS III osztály szerint védünk, akkor egy 45 m sugarú gömbbel gondolatban körbegördítjük a tetőt. Ha a gömb a tetőfelület valamely pontján hozzáér, akkor oda felfogó rudat vagy vezetéket kell tennünk. Minél alacsonyabb a felfogó, annál sűrűbben kell elhelyezni, mert a gömb „beesik” a védettnek hitt részekre.



23.3. ábra. Gömbmódszer: gördülő gömb (LPS III, r = 45 m) egy 7 m magas, lapostetős épület metszete fölött, két 1 m-es felfogórúddal (d = 10 m)

Az ábrán a szaggatott körök a gördülő gömb három helyzetét mutatják: a talajon és a bal oldali felfogón, a két felfogó csúcsán, valamint a jobb oldali felfogón és a talajon. A sraffozott terület az, amelyhez a gömb sehol nem ér hozzá: ez a védett tér. Két, d távolságú felfogó között a gömb $p = r - \sqrt{r^2 - (d/2)^2}$ mélységig ereszkedik be; LPS III-nál ($r = 45$ m) és $d = 10$ m-nél $p \approx 0{,}28$ m, ezért az 1 m-es felfogók a tetőt védik. Kisebb gömbsugárnál (LPS I: $p \approx 0{,}64$ m)

vagy alacsonyabb felfogónál a gömb elérheti a tetőt. A HTML-kiadásban az osztály, a felfogók távolsága és magassága, valamint a gömb helyzete állítható.

A magyarországi gyakorlatban a védőszög-módszer is elterjedt, különösen függőleges felfogó rudak esetén. A védőszög azonban csak bizonyos magasságokig használható; a pontos határokat a szabvány adja meg. **(ellenőrizendő: a szabvány szerinti védőszög-határok)**

23.2.5. Levezetők és szétválasztási távolság

A levezetők feladata, hogy a felfogó rendszerből a földelőbe minél rövidebb, függőleges utat biztosítsanak a villámáramnak. A levezetők anyaga lehet réz, alumínium vagy horganyzott acél, és a rögzítésük nem szakíthatja meg az áram útját.

Szabály. A levezetőket úgy kell elhelyezni, hogy minden villámcsapás-ponttól több lefelé vezető út álljon rendelkezésre. A levezetők jellemző távolsága osztálytól függ: LPS I–II: 10 m, LPS III: 15 m, LPS IV: 20 m; legalább két levezető kell **(ellenőrizendő: MSZ EN 62305-3)**.

A levezetőben folyó villámáram erős, gyorsan változó mágneses teret hoz létre. Ha a levezető közelében vezető hurkok, fém csövek, villamos vezetékek vannak, akkor bennük feszültség indukálódik, és átütés keletkezhet. Ezért kell betartani a **szétválasztási távolságot** (separation distance).

Összefüggés. A szétválasztási távolság közelítő számítása:

$$s = \frac{k_i \, k_c \, l}{k_m},$$

ahol:

- k_i: a villámvédelmi osztálytól függő tényező (LPS I-re jellemzően 0,08, LPS II-re 0,06, LPS III/IV-re 0,04); **(ellenőrizendő: szabvány szerinti tényezők)**
- k_c: a levezetők eloszlásától függő tényező (minél több a párhuzamos levezető, annál kisebb);
- l: a levezető mentén mért hossz a vizsgált közelítési ponttól a legközelebbi villámvédelmi potenciálkiegyenlítési pontig (pl. a földszinti bekötésig) **(ellenőrizendő: MSZ EN 62305-3)**; a földtől legmesszebb, a felfogó közelében a legnagyobb;
- k_m: a közegre jellemző tényező (levegőben 1, betonban kisebb).

Példa. LPS III osztályú rendszerben, egyetlen levezető mellett, a földszinti EPH-ponttól $l = 8\,\text{m}$ magasan lévő ereszcsatorna-közelítést vizsgálva:

$$k_i = 0{,}04, \quad k_c = 1, \quad l = 8\,\text{m}, \quad k_m = 1,$$

$$s = \frac{0{,}04 \cdot 1 \cdot 8}{1} = 0{,}32\,\text{m}.$$

Ez azt jelenti, hogy a levezetőtől nagyjából 32 cm-en belül nem lehet fém ereszcsatornát, villamos vezetéket vagy más vezető rendszert elhelyezni, hacsak nem kötjük össze a levezetővel.

A levezető alsó szakaszán **mérőcsatlakozót** kell kialakítani. Ez egy bontható kötés a levezető és a földelő között, amely lehetővé teszi, hogy a földelési ellenállást a levezetőrendszer leválasztásával, külön mérjük. A mérőcsatlakozót általában zárható, feliratozott kötődobozba szerelik, hogy illetéktelen ne nyithassa meg.

23.2.6. Földelő rendszer

A földelő rendszer a villámáramot a talajba osztja el. A gyakorlatban két fő típust használunk:

- **Gyűrűföldelő:** az épület körül, általában az alap körüli földben elhelyezett zárt gyűrű. A villámáram így körben szétoszlik, csökkentve a talajfeszültséget és a lépésfeszültséget.
- **Alapföldelő:** az épület vasbeton alapjába, a betonba helyezett horganyzott acél vagy réz vezető. Az alapföldelő kihasználja a beton nagy érintkezési felületét, és hosszú élettartamú lehet.

Szabály. A földelőrendszernek kis ellenállással kell kapcsolódnia a talajhoz. A gyakorlatban a villámvédelmi földelő ellenállására gyakran $10\,\Omega$ alatti értéket írnak elő, de a követelmény a talaj fajlagos ellenállásától és a védelmi osztálytól is függ. **(ellenőrizendő: a szabvány és a tervezői előírás)**

A gyűrűföldelőt jellemzően az alap körül, legalább 0,5 m mélyen, az alaptól nagyjából 1 m távolságra helyezik el. A pontos méreteket a szabvány és a talajviszonyok határozzák meg. **(ellenőrizendő: aktuális előírás)**

23.2.7. Belső villámvédelem

A külső rendszer csak akkor védi az épületet teljesen, ha a belső villámvédelemmel együtt működik. Ennek legfontosabb eleme a **villámvédelmi potenciálkiegyenlítés**.

Definíció. A **villámvédelmi egyenpotenciálra hozás** (lightning equipotential bonding) a külső villámvédelmi levezetők, a földelőrendszer, az épület belső EPH-ja, a fém csővezetékek, a fém szerkezetek, az árnyékolások és a túlfeszültség-védelmi eszközök összekötése egy közös potenciálra.

Villámcsapáskor a földelőrendszer és a levezetők feszültsége rövid időre nagyon megemelkedik. Ha a belső EPH is ugyanerre a potenciálra kerül, akkor az épületben minden fém elem és a védővezető együtt emelkedik, így nem alakul ki köztük veszélyes feszültségkülönbség. A belső villámvédelem másik fontos eleme a túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD) beépítése. Az SPD-k a betápláló és informatikai vezetékeken korlátozzák a túlfeszültséget, és az itt kiépített földelőhöz csatlakoznak.

Továbbvitt eredmény. Az itt megismert külső felfogó-, levezető- és földelőrendszer az, amelyre a belső túlfeszültség-védelmi eszközöket hangoljuk. A levezetőben folyó villámáram mérete és a földelőrendszer kialakítása határozza meg, milyen SPD-re és milyen bekötésre van szükség. Ezt használjuk a Túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD): típusok és beépítés alfejezetben.

23.2.8. Szabvány

Szabvány. Az MSZ EN 62305 sorozat (különösen az MSZ EN 62305-3) a külső villámvédelmi rendszer felépítésére, a felfogó rendszer méretezésére, a levezetők és földelők kialakítására, valamint a szétválasztási távolságra ad követelményeket. Az MSZ EN 62305-4 a belső rendszerre vonatkozó villámvédelmi intézkedéseket tárgyalja. A felfogó rendszert gömbmódszerrel, védőszöggel vagy hálómódszerrel lehet méretezni, a védelmi osztálytól függő paraméterekkel. A levezetőket és földelőket úgy kell kialakítani, hogy a villámáramnak több párhuzamos útja legyen, és a földelési ellenállás a talajviszonyokhoz igazodjon. A belső villámvédelem része a potenciálkiegyenlítés, a védőtávolságok és a túlfeszültség-védelmi eszközök. **(ellenőrizendő: a szabvány aktuális kiadása és a gyártói szerelési utasítások)**

23.2.9. Gyakorlati útmutató

Cél. Egy egyszerű lakóépület vagy tanműhelyi modell külső villámvédelmi rendszerének szerelése: felfogó rúd vagy vezeték, levezető, mérőcsatlakozó és földelő gyűrű elkészítése, majd ellenőrzése.

Eszközök és anyagok. Felfogó rúd vagy felfogó vezeték, levezető vezeték (réz vagy horganyzott acél), rögzítők, bimetál csatlakozók, mérőcsatlakozó doboz, alapföldelő vagy gyűrűföldelő anyaga, földelésmérő műszer, folytonosságmérő, szerelőszerszámok, védőkesztyű, leesés elleni védőfelszerelés, dokumentációs lap.

Biztonsági korlát. A tetőn és magasban végzett szerelési munkát csak munkavédelmi oktatás után, leesés elleni védelemmel és jogosult felügyelettel végezd. Zivataros időben a tetőn dolgozni tilos. Ha meglévő villamos földelőrendszerhez vagy EPH-hoz nyúlsz, előbb feszültségmentesíts, és tartsd be az öt biztonsági szabályt: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, a szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

Lépések. A szerelés lépéssora:

1. **Munkaterület ellenőrzése.** Győződj meg róla, hogy az időjárás alkalmas a tetőn végzett munkára, és a munkaterület el van kerítve.
2. **Tervértelmezés.** Nézd meg a villámvédelmi tervet: hová kerülnek a felfogók, hány levezető lesz, hol van a földelő.
3. **Anyag előkészítés.** Vágd méretre a felfogó rudat vagy vezetéket, a levezetőket és a földelő gyűrű anyagát. Ellenőrizd, hogy a csatlakozók anyaga összefér a vezető anyagával.
4. **Felfogó rendszer szerelése.** Rögzítsd a felfogó rudat a kijelölt ponton, vagy fektesd le a felfogó vezetéket a tetőgerincen. A rögzítések ne gyengítsék a tetőt, és ne okozzanak korróziót.
5. **Levezetők szerelése.** Vezesd a levezetőt függőlegesen, lehetőleg rövid úton a mérőcsatlakozóig. Kerüld az éles, 90°-nál kisebb hajlítást. Rögzítsd a homlokzaton csavaros vagy szegecses rögzítőkkel.
6. **Mérőcsatlakozó kialakítása.** A levezető alsó szakaszán, a földelőhöz csatlakozás előtt helyezz el bontható, feliratozott kötést. Ez legyen hozzáférhető, de védett az illetéktelen nyitás ellen.
7. **Földelő szerelése.** Alapföldelő esetén a betonba helyezett vezetőt csatlakoztasd a levezetőhöz. Gyűrűföldelő esetén fektesd a gyűrűt az alap körül, és kösd össze a levezetőkkel.
8. **Csatlakozások elkészítése.** Minden kötést tisztíts meg, használj megfelelő csavaros vagy préselt csatlakozót, és vigyél fel korrózióvédelmet. Ha réz és alumínium találkozik, bimetál kötőelemet használj.
9. **Belső EPH csatlakoztatása.** Kössed a belső villámvédelmi potenciálkiegyenlítő vezetőt a földelőrendszerhez, és csatlakoztasd hozzá a fém csöveket, szerkezeteket, védővezetőket.
10. **Ellenőrzés és dokumentálás.** Végezz szemrevételezést, folytonosságmérést a felfogótól a földelőig, földelési ellenállásmérést a mérőcsatlakozón, és töltsd ki a jegyzőkönyvet.

Ellenőrzési pontok. A felfogó rúd függőlegesen áll; a levezető hossza a lehető legkisebb; a mérőcsatlakozó oldható és feliratozott; a földelő ellenállása a tervezői előírásnak megfelel; a levezető nem keresztezi a villamos vezetékeket vagy gázcsöveket szétválasztási távolság nélkül.

23.2.10. Tipikus hibák

1. **A levezetőt túl kevés ponton rögzítik, vagy éles hajlítással vezetik.** A villámáram nagy meredekségű áramimpulzus, amely a hajlításnál mechanikai erőt fejt ki, és a vezető leszakadhat. A levezetőt enyhe ívekkel, sűrű rögzítéssel kell szerelni.

2. **Elmarad a mérőcsatlakozó, vagy a földelőt közvetlenül, oldhatatlanul kötik be.** Így a földelési ellenállást nem lehet külön mérni. A mérőcsatlakozó bontható kötése éppen a mérés miatt szükséges.
3. **Réz és alumínium közvetlen összekötése.** A két fém között galvanikus korrózió indul, és a kötés idővel szétesik. Bimetál csatlakozót kell használni.
4. **A belső EPH-t nem kötik össze a villámvédelmi földelővel.** Ilyenkor a villámáram a belső fém elemek és a levezető között átütést okozhat, tüzet vagy érintésveszélyt idézve elő.
5. **A szétválasztási távolságot figyelmen kívül hagyják.** A levezető mellett futó fém ereszcsatorna vagy villamos vezeték átvezetheti a túlfeszültséget a belső rendszerbe, hiába van külső villámvédelem.

23.2.11. Önellenőrzés

1. Melyik három fő elem alkotja a külső villámvédelmi rendszert?
2. Igaz-e, hogy a gömbmódszerben LPS III esetén jellemzően 45 m sugarú gömbbel gördítünk? (Válaszodat indokold.)
3. Miért van mérőcsatlakozó a levezető és a földelő között?
4. Mi a szétválasztási távolság szerepe, és mitől függ az értéke?
5. Milyen hibát okoz, ha réz levezetőt közvetlenül alumíniumhoz csatlakoztatunk?

A válaszokat a Megoldások elején találod.

23.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a külső villámvédelmi rendszer elemeit, és írd le egy-egy mondatban a feladatukat.

2. feladat (A). Hány levezetőt javasolnál egy 40 m kerületű lakóépülethez LPS III esetén (15 m jellemző távolság), és hányat LPS I–II esetén (10 m)? (A pontos szabványértéket ellenőrizd.)

3. feladat (B). Rajzold le szövegesen vagy kapcsolási vázlatként egy családi ház villámvédelmét: tetőgerincen felfogó vezeték, két levezető, mérőcsatlakozó és gyűrűföldelő. Jelöld a belső EPH csatlakozási pontját is.

4. feladat (B). Számítsd ki a szétválasztási távolságot LPS III osztályú rendszerre, ha $k_i = 0{,}04$, $k_c = 0{,}66$, $l = 12\,\text{m}$, $k_m = 1$. Hasonlítsd össze a kapott értéket egy olyan esettel, ahol csak egy levezető van ($k_c = 1$).

5. feladat (C). Egy lakóépület tetőjén felfogó rúd van, de a levezető a homlokzaton megszakadva, a földelőhöz nem csatlakozik. A belső EPH-hoz réz vízcső és a villamos védővezető is csatlakozik. Magyarázd el, miért veszélyes ez a helyzet, és milyen javítást hajtanál végre.

6. feladat (D). Szerelési gyakorlat során a mérőcsatlakozónál a földelési ellenállásmérés $25\,\Omega$ értéket mutat, a tervezői előírás $10\,\Omega$ alatti. Nevezz meg legalább három lehetséges okot, és írd le, melyiket hogyan ellenőriznéd.

23.2.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Felfogó rendszer, levezető rendszer, földelő rendszer.
2. Igen, az MSZ EN 62305-3 szerint az LPS III-hoz tartozó gördülő gömbsugár jellemzően 45 m. (Ellenőrizendő a szabvány aktuális kiadása.)
3. A mérőcsatlakozó bontható kötés, amely lehetővé teszi a földelési ellenállás külön mérését a levezető leválasztásával.
4. A szétválasztási távolság megakadályozza, hogy a levezetőben folyó villámáram átüssön a szomszédos fém elemekre. Függ a védelmi osztálytól, a levezetők eloszlásától, a hossztól és a közegtől.
5. Galvanikus korrózió lép fel, a kötés meghibásodik, és a villámáram útja megszakad. Bimetál csatlakozó szükséges.

1. feladat (A) megoldás. A külső rendszer elemei: felfogó rendszer (felfogja a villámcsapást), levezetők (a földelőbe vezetik az áramot), földelő rendszer (szétosztja az áramot a talajban).

2. feladat (A) megoldás. LPS III-ra $40/15 \approx 2{,}7$, tehát 3 levezető (és legalább két levezető mindig kell); LPS I–II-re $40/10 = 4$ levezető, egyenletesen elosztva. A szabvány szerinti pontos távolságot ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: MSZ EN 62305-3)**.

3. feladat (B) megoldás. A rajz leírása: a tetőgerincen felfogó vezeték fut, két sarka a homlokzaton levezetővel csatlakozik a mérőcsatlakozókhoz, onnan a gyűrűföldelőhöz. A belső EPH vezető a gyűrűföldelő egy pontjáról indul, és a fém vízcső, gázcső, villamos védővezető közös csomópontjához köt.

4. feladat (B) megoldás.

Adott: $k_i = 0{,}04$, $k_c = 0{,}66$, $l = 12\,\text{m}$, $k_m = 1$.

Képlet: $s = \frac{k_i\, k_c\, l}{k_m}$.

Behelyettesítés:

$$s = \frac{0{,}04 \cdot 0{,}66 \cdot 12}{1} = 0{,}3168\,\text{m} \approx 0{,}32\,\text{m}.$$

Egy levezető esetén $k_c = 1$:

$$s = \frac{0{,}04 \cdot 1 \cdot 12}{1} = 0{,}48\,\text{m}.$$

Tehát több levezető csökkenti a szükséges szétválasztási távolságot.

5. feladat (C) megoldás. Ha a levezető megszakad, a felfogó rúd nem csatlakozik a földelőhöz. Villámcsapáskor a nagy áram a felfogóról a közeli fém elemekre, például a belső EPH-ra csatlakozó vízcsőre vagy védővezetőre üt át. Ez tüzet, érintésveszélyt és a villamos berendezés tönkremenetelét okozhatja. A javítás: a levezető folytonosságát helyre kell állítani, a szakadt szakaszt cserélni, a mérőcsatlakozót ellenőrizni, majd folytonosság- és földelésmérést végezni.

6. feladat (D) megoldás. Lehetséges okok: a gyűrűföldelő nem érintkezik jól a talajjal (száraz, köves talaj), a csatlakozó korrodált vagy laza, a földelő nem megfelelő mélységben van, vagy a mérővezeték csatlakozása hibás. Ellenőrzés: vizsgáld meg a mérőcsatlakozót és a kötéseket, mérd meg a folytonosságot, ellenőrizd a földelő mélységét és a talaj nedvességét, majd ismételd meg a földelésmérést.

23.2.14. Rövid összefoglaló

A külső villámvédelmi rendszer felfogó, levezető és földelő rendszerből áll. A felfogó rendszer lehet rúd, vezeték, háló vagy természetes felfogó; méretezésére a gömbmódszer, a védőszög vagy a hálómódszer használható. A gördülő gömb sugara a védelmi osztálytól függ: LPS I esetén jellemzően 20 m, LPS III esetén 45 m **(ellenőrizendő: szabványérték).** A levezetők a villámáramot a földelőbe vezetik; a mérőcsatlakozó bontható pont a földelési ellenállás méréséhez. A szétválasztási távolságot a

$$s = \frac{k_i \, k_c \, l}{k_m}$$

összefüggés adja, és azt fejezi ki, hogy a levezetőtől milyen távolságban lehet fém idegen elem, amelyet nem kötünk a levezetőhöz. A földelő lehet gyűrűföldelő vagy alapföldelő, és kis ellenállással kell a talajhoz kapcsolódnia. A belső villámvédelem legfontosabb eleme a villámvédelmi potenciálkiegyenlítés, amely a levezetőket, a földelőt és a belső EPH-t összeköti. Ezt a kapcsolatot használjuk a továbbiakban a túlfeszültség-védelmi eszközök bekötésénél.

Továbbvitt eredmény. A külső villámvédelmi rendszer felfogó, levezető és földelő elemei, valamint a belső potenciálkiegyenlítés az alapját adják a túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD) helyes beépítésének; ezt a Túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD): típusok és beépítés alfejezetben használjuk fel.

23.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

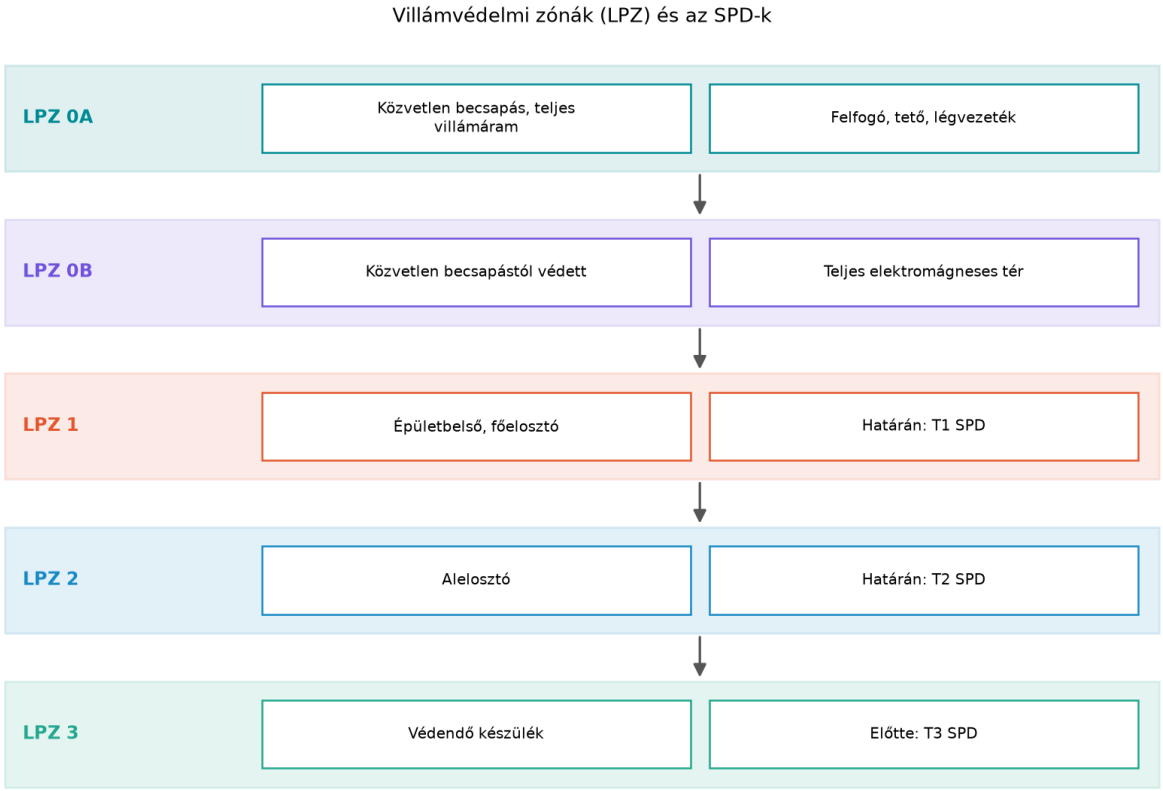
A fejezet a magyarországi és európai villámvédelmi szabályozást követi, elsősorban az MSZ EN 62305 sorozat felépítését. Az alfejezetben szereplő számszerű értékek – gördülő gömb sugarai, levezetőtávolságok, szétválasztási tényezők, minimális anyagkeresztmetszetek, földelési ellenállás határértékek – tanulási példák, amelyeket a kiadás előtt az aktuális szabványszöveggel és a gyártói szerelési utasításokkal kell egyeztetni. Az MSZT és a DEHN honlapja kiindulópont, ebben az alfejezetben nem ellenőrzött forrásként kezelendő.

23.3. Túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD): típusok és beépítés

A túlfeszültség-védelem gyakran az utolsó pillanatban kerül be a költségvetésbe, pedig a legdrágább háztartási gépek, napelemes inverterek és automatizálási vezérlők élettartama múlik rajta. Amikor egy villámcsapás vagy egy hálózati kapcsolási túlfeszültség eléri az épületet, a védőeszköz nélküli fogyasztók szigetelése pillanatok alatt tönkremehet, még akkor is, ha a kismegszakító ki sem old, mert a lezajló jelenség nem túláram, hanem rövid ideig tartó, nagy feszültségcsúcs. Ebben az alfejezetben azt tanuljuk meg, hogyan építsünk be túlfeszültség-védelmi eszközöket (SPD) úgy, hogy azok valóban megvédjék a rájuk bízott berendezéseket.

23.3.1. Szemléletes kép: a védelmi zónák lépcsőzése

Képzeld el úgy a túlfeszültség-védelmet, mint egy sorompórendszert: nem elég egyetlen sorompó a bejáratnál, mert aki átjut rajta, az szabadon garázdálkodhat. A villámvédelemben ezért lépcsőzetes védelmet építünk ki, amely fokozatosan csökkenti a túlfeszültség nagyságát. Az épület határán egy robusztus eszköz fogadja a durva impulzust, az alelosztókban egy gyorsabb eszköz a megmaradt energiát, a kényes készülék előtt pedig egy finom védelem az érzékeny elektronikát.



23.4. ábra. Villámvédelmi zónák (LPZ) és az SPD-k - Az SPD-k a zónahatárokon ülnek, és lépcsőzetesen csökkentik a továbbhaladó túlfeszültséget: T1 az LPZ 0/1 határon (épületbe lépés, főelosztó), T2 az LPZ 1/2 határon (alelosztó; külső villámvédelem és légvezeték nélküli lakóépületben gyakran már a főelosztóban), T3 a védendő készülék előtt. Az LPZ 0B a közvetlen becsapástól védett, de a villám teljes elektromágneses terének kitett zóna.

23.3.2. Definíciók és típusok

Definíció. A túlfeszültség-védelmi eszköz (SPD, Surge Protective Device) olyan készülék, amely normál üzemi feszültségen nagy ellenállást mutat (gyakorlatilag nem vezet), túlfeszültség hatására viszont kis ellenállásúvá válik, levezeti a föld felé a túlfeszültségből származó áramot, majd a túlfeszültség megszűnte után visszaáll a nem vezető állapotba. A régebbi, köznyelvi elnevezése: túlfeszültség-levezető.

A gyakorlatban három fő típust különböztetünk meg, amelyeket karakterisztikájuk, vizsgálati hullámformájuk és beépítési helyük szerint választunk ki:

T1 (I. osztályú) SPD. A közvetlen villámcsapás energiájának levezetésére tervezett eszköz. Vizsgálata $10/350\,\mu$s hullámformájú impulzusárammal történik. Jellemző paramétere a levezetőképesség I_{imp} (impulzusáram), amely tipikusan 12,5, 25 vagy 50 kA nagyságrendű lehet. Beépítése a főelosztóban, a zónahatár (LPZ 0 és LPZ 1) átlépésénél indokolt, különösen akkor, ha az épület külső villámvédelmi rendszerrel rendelkezik, vagy a betáplálás szabadvezetéken (légvezetéken) érkezik. **(ellenőrizendő: a konkrét gyártói adatlapok és a hatályos szabvány csapásponti követelményei)**

T2 (II. osztályú) SPD. A távoli villámcsapások, hálózati kapcsolások által indukált túlfeszültségek kezelésére szolgál. Vizsgálata $8/20\,\mu$s hullámformával történik. Jellemző paramétere

a névleges levezetőképesség I_n és a maximális levezetőképesség $I_{\max}$. Tipikus értékei 20–40 kA között mozognak. Beépítése az alacsonyabb zónahatárokon (például alelosztók, gépi elosztók) szükséges.

T3 (III. osztályú) SPD. Az érzékeny készülékek közvetlen védelmét látja el, például egy dugaszoló aljzatban, informatikai eszköz előtt vagy egy vezérlőszekrényben. Kombinált hullámmal vizsgálják (1,2/50 μs feszültség és 8/20 μs áram). Feladata a T2-es (vagy T1-es) fokozat után megmaradt, készülékekre már veszélyes feszültség finom szintre csökkentése.

Védelmi jellemzők. Az SPD-k legfontosabb adata nem az, hogy mekkora áramot viselnek el, hanem hogy mekkora feszültséget engednek át a védett berendezés felé. Ezt nevezzük feszültségvédelmi szintnek, jelölése U_p. Minél kisebb U_p, annál jobb a védelem, de egyúttal annál közelebb van a hálózati üzemi feszültséghez. A védelmi szintnek illeszkednie kell a védendő készülék impulzusfeszültség-tűréséhez (U_w). Például egy érzékeny informatikai eszköz U_w értéke 1,5 kV lehet, ezért az őt védő SPD-nek legalább $U_p \leq 1{,}5\,\text{kV}$ értékkel kell rendelkeznie; ez csak szükséges feltétel, mert a készülékre a bekötővezeték feszültsége is rákerül (lásd alább a vezetékhossz hatásának számszerűsítését). A túlfeszültség-védelem akkor hatékony, ha a fokozatok illeszkednek egymáshoz: a durva T1-es már nem enged át magas energiát, a közepes T2-es levágja a feszültség nagy részét, a finom T3-as pedig a készülék biztonságos szintjére szorítja le.

23.3.3. A beépítés, a bekötési rendszerek és a V-bekötés

Az SPD beépítése az elosztóban néhány áramköri szabályon múlik. A készüléket a védendő fogyasztói áramkörökkel párhuzamosan kötjük. **Bekötési rendszerek:** a **3+1** (CT2) kapcsolásban az L–N közé varisztoros modulok, az N–PE közé összegző szikraköz kerül; a **4+0** (CT1) kapcsolásban L–PE és N–PE elemek vannak. TN-C-S rendszerben a szétválasztás után mindkettő alkalmazható, TT-rendszerben a 3+1 szükséges **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-534, gyártói előírás)**. A **V-bekötés** ettől független szerelési mód: a fővezeték az SPD kettős kapcsain át halad, így nincs külön bekötővezeték. A háromfázisú 3+1 kapcsolás egyetlen készülékházban három fázis–nulla és egy nulla–PE modult tartalmaz. Az L–N modulok általában feszültségfüggő ellenállást (varisztort), az N–PE modul pedig szikraközt tartalmaz, így a normál üzemi szivárgó áram nem terheli a védőföldet.

23.5. ábra. SPD bekötése 3+1 kapcsolásban (egy fázis, egyszerűsítve) - 3+1 elrendezés (egy fázisra rajzolva): az L–N közé varisztoros SPD-modul kerül az F2 tartalékbiztosító után, az N–PE közé összegző szikraköz (szikraköz-rajzjel). Háromfázisú rendszerben három L–N modul és egy N–PE modul van. A bekötővezetékeket a lehető legrövidebbre kell venni, lehetőleg V-bekötéssel (kettős kapocs, külön bekötővezeték nélkül). Ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-534 és a gyártói adatlap.

Szabály. Az SPD-t lehetőleg V-bekötéssel, vagy ha az nem megoldható, úgy kell felszerelni, hogy az aktív vezető és az SPD közötti bekötővezeték a lehető legrövidebb legyen. A vezeték induktivitása ugyanis megnöveli a védett készülékre jutó feszültséget, mert a levezetés alatt a meredek áramimpulzus a vezeték induktivitásán is feszültséget ejt. A gyakorlatban ajánlott a teljes bekötési hosszt (a sínről az SPD-re és az SPD-ről a PE-sínre) 0,5 m alatt tartani. Ha ez nem megoldható, akkor az SPD-t a védendő fogyasztóhoz közelebb kell helyezni, vagy rövidebb, vastagabb vezetőt kell használni. A rövid vezeték önmagában nem mindig elég (lásd a számításokat), ilyenkor V-bekötés vagy a készülék elé szerelt T3-as SPD szükséges. **(ellenőrizendő: a hatályos szerelési szabvány és a gyártó által előírt maximális vezetékhossz)**

Tartalék védelem. Minden SPD elé be kell iktatni egy tartalék biztosítót vagy kismegszakítót, amelynek két feladata van: védi a hálózatot az SPD meghibásodása (például élettartam végén bekövetkező rövidzárlata) esetén, és lehetővé teszi az SPD feszültségmentes leválasztását cseréhez. A tartalék védelem névleges árama a gyártó által megadott érték (tipikusan 20—125 A), és soha nem szabad ezt az értéket túllépni, mert a hibás levezetőt a hálózati védelem nem tudná kellően gyorsan leválasztani.

23.3.4. A vezetékhossz hatásának számszerűsítése

A bekötővezeték induktivitása a levezetett áram meredekségével arányos feszültséget kelt. Ez a legfontosabb szerelési hiba forrása. A levezetett impulzusáram meredeksége $\frac{di}{dt}$ nagyon nagy, tipikusan 10 $\frac{\mathrm{kA}}{\mu\mathrm{s}}$ nagyságrendű (szigorú tanulási érték, a villám első részvillámához közelebbi; a

8/20 µs-os T2-impulzusnál a gyakorlati számítások kisebb meredekséggel, kb. 1 kV/m ökölszabállyal is dolgoznak, ellenőrizendő: gyártói alkalmazási útmutató). Egy 1 m hosszú szerelővezeték induktivitása körülbelül 1 μH. **Összefüggés.** Az induktivitáson eső feszültség:

$$U_{\text{vezeték}} = L \cdot \frac{di}{dt}$$

Példa. Ha egy T2-es SPD-t 2 m hosszú vezetékkel kötünk be, a teljes induktivitás $L = 2 \times 1{,}0\,\mu\text{H} = 2{,}0\,\mu\text{H}$ (a hossz az odavezető és visszavezető utat együttesen jelenti, de a példában egyszerű hosszal számolunk). Az impulzus meredeksége $\frac{di}{dt} = 10\,\frac{\text{kA}}{\mu\text{s}} = 10 \times 10^6\,\text{A/s}$. A vezetéken eső feszültség:

$$U_{\text{vezeték}} = 2{,}0 \times 10^{-6}\,\text{H} \times 10 \times 10^6\,\frac{\text{A}}{\text{s}} = 20\,\text{kV}$$

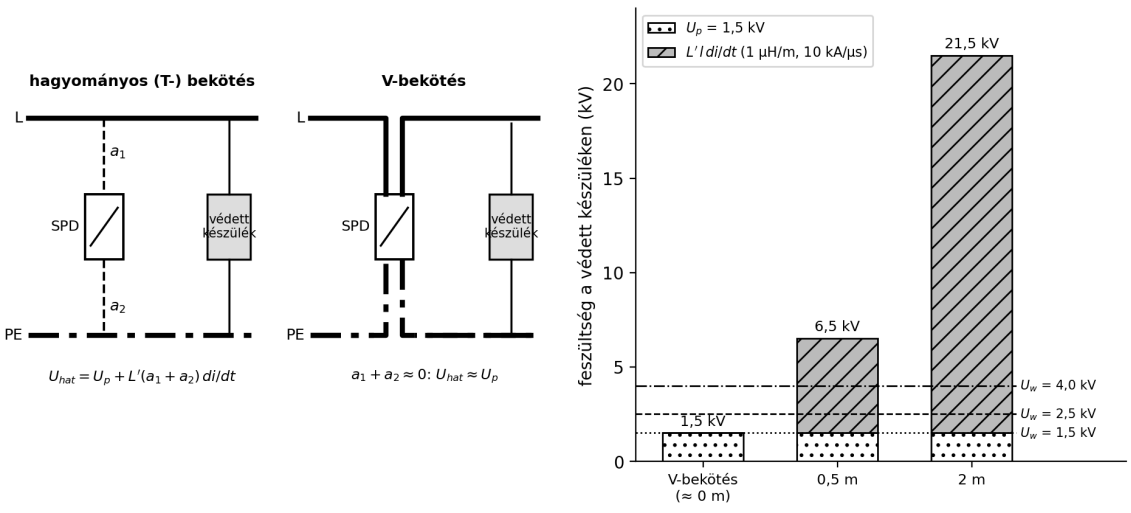
Példa. Ugyanez a beépítés, de a bekötővezeték hossza mindössze 0,5 m, így az induktivitás 0,5 μH. A feszültségesés ekkor:

$$U_{\text{vezeték}} = 0{,}5 \times 10^{-6}\,\text{H} \times 10 \times 10^6\,\frac{\text{A}}{\text{s}} = 5\,\text{kV}$$

A teljes, védett készülékre jutó feszültség a következő:

$$U_{\text{hatásos}} = U_p + U_{\text{vezeték}}$$

Ha az SPD védelmi szintje $U_p = 1{,}5\,\text{kV}$, akkor a hosszú vezetékes megoldásnál $U_{\text{hatásos}} = 1{,}5\,\text{kV} + 20\,\text{kV} = 21{,}5\,\text{kV}$, ami tönkreteszi a védendő eszközt. A rövid vezetékes megoldásnál $U_{\text{hatásos}} = 1{,}5\,\text{kV} + 5\,\text{kV} = 6{,}5\,\text{kV}$, ami még mindig magas, de már közelebb van a védendő készülék tipikus impulzus-tűréséhez. Ez a példa mutatja, miért nem működik a védelem, ha a levezetőt "madzaggal" kötik be.



23.6. ábra. A bekötővezeték-hossz hatása: hagyományos és V-bekötés, valamint a védett készüléken megjelenő feszültség $U_p = 1{,}5$ kV és 10 kA/µs mellett

Az ábra bal oldalán a hagyományos bekötés látható: az SPD egy a_1 hosszú vezetékkel csatlakozik a fázisra és egy a_2 hosszúval a PE-re, ezek induktív feszültsége hozzáadódik a védelmi szinthez.

V-bekötésnél a fővezeték az SPD kettős kapcsain halad át, így külön bekötővezeték gyakorlatilag nincs. A jobb oldali oszlopok a fenti példák számait mutatják: V-bekötésnél kb. 1,5 kV, 0,5 m-es bekötésnél 6,5 kV, 2 m-esnél 21,5 kV jut a készülékre; a vízszintes vonalak a jellemző impulzustűrések (1,5; 2,5; 4 kV). A HTML-kiadásban a hossz, a meredekség, az U_p és az U_w állítható.

23.3.5. Szabványi követelmények

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések túlfeszültség-védelmére vonatkozó alapvető követelményeket a Külső és belső villámvédelmi rendszer alfejezet vonatkozó szabványai, valamint a belső villámvédelem kialakítására vonatkozó MSZ EN 62305-4 szabvány, az SPD-kre vonatkozó termékszabvány (MSZ EN 61643-sorozat) és az épületvillamos berendezések kiválasztását tárgyaló MSZ HD 60364-5-53 előírásai tartalmazzák. A szabványok előírják a fokozatolt védelmet, az energiaközi koordinációt, a feszültségvédelmi szint illesztését a védendő készülékekhez, valamint a tartalék védelem alkalmazását. A konkrét határértékeket, táblázatokat és beépítési távolságokat mindig a hatályos kiadás és a gyártói műszaki dokumentáció alapján kell ellenőrizni. **(ellenőrizendő: a szabványok aktuális kiadásai és azok pontos hivatkozási számai)**

23.3.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy lakásfelújítás során a tulajdonos kérésére az elosztóba egy hálózati feszültségű T2-es SPD-t tettek. A szerelő a készüléket a főkapcsoló utáni gyűjtősínről, külön tartalék kismegszakítón át táplálta, a bekötővezeték azonban a szokásosnál hosszabb volt, mert a készülék a sor végére került. Pár hónappal később egy zivatart követően a házban a kazán vezérlőelektronikája és egy drága TV a szigetelésromlás miatt meghibásodott, miközben a kismegszakítók nem oldottak le. A hiba oka nem a kismegszakítóban, hanem a levezető hatékonyságában volt. A hosszú bekötővezeték induktivitása miatt a túlfeszültség nagy része nem a földbe, hanem a belső hálózatra jutott, mert a levezető kapcsain összeadódott a U_p és a vezetéken eső $L \cdot di/dt$ feszültség. A javítás során az SPD-t a tartalék biztosító mellé, a gyűjtősínekre szerelték, V-bekötéssel, 0,1 m-nél rövidebb bekötővezetékkel, a kazán elé pedig T3-as SPD-t is tettek (a szigorú 10 kV/m-es értékkel már 0,3 m is 3 kV-ot adna, ami a kazánelektronikának sok lehet). Az új rendszer már megfelelően védte a belső hálózatot.

23.3.7. Gyakorlati útmutató: T2-es SPD beépítése elosztóban

Cél: A túlfeszültség-védelmi eszköz biztonságos, szabványos és hatékony beszerelése.

Eszközök és anyagok: T2-es moduláris SPD, rögzítőelemek, 6–16 mm^2-es vezetékek, megfelelő névleges áramú tartalék kismegszakító, csavarhúzó, nyomaték-kulcs, feszültségmérő, vezetékjelölők.

Biztonsági korlát. A feladat hálózati feszültségű elosztóban végzett munka, amelyet csak jogosult, arra képesített személy végezhet. Tanuló önállóan ne végezze.

Az öt biztonsági szabály ebben az elosztóban: 1. **Lekapcsolás:** Az elosztó főkapcsolóját ki kell kapcsolni. Ha az SPD a főkapcsoló előtt van, a leválasztás a mérőhely utáni (vagy az elosztói engedélyes által kezelt) ponton történik; mérés előtti (elszámolási) részre a szerelő nem csatlakozhat. 2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás:** A lekapcsolt kismegszakítót le kell lakatolni vagy eltávolítani a helyéről. 3. **Feszültségmentesség ellenőrzése:** Előzetesen ellenőrzött kétpólusú feszültségvizsgálóval (nem fázisceruzával) minden vezető között (L1–L2, L2–L3, L1–L3, Lx–N, Lx–PE, N–PE) ellenőrizni kell a feszültségmentességet, a vizsgálót a mérés

előtt és után ismert forráson ellenőrizve. 4. **Földelés és rövidre zárás:** A kisfeszültségű elosztóban ez jellemzően nem alkalmazható, de ha a technológia előírja, a gyártói előírás szerint kell eljárni; egyébként a munkautasítás szerint járj el. 5. **Szomszédos feszültség alatt álló részek lefedése:** Az elosztó felső, feszültség alatt álló sínjeit (ha nem oldható le) szigetelő takarólappal le kell takarni.

Beszerelési lépések:

1. **Hely kijelölése:** Az SPD-t a főkapcsoló után, a tartalék biztosító közvetlen szomszédságába tervezzük, lehetőleg a PE-sínhez a lehető legközelebb. Az SPD legyen az áram-védőkapcsoló (FI) előtt; ha mögötte van, S-típusú FI kell **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-534)**.
2. **Tartalék biztosító felszerelése:** A kiválasztott tartalék kismegszakítót a DIN-sínre pattintjuk, és csatlakoztatjuk a gyűjtősínhez. A kismegszakító névleges árama nem haladhatja meg a gyártó által az SPD-hez előírt értéket.
3. **Vezetékméretezés:** A bekötővezetékek keresztmetszete legalább akkora legyen, mint a tartalék védelem áramvezetője, de minimum $6\,\mathrm{mm}^2$. **(ellenőrizendő: a hatályos szabvány előírása a földelővezető minimális keresztmetszetére)**
4. **Bekötés:** A tartalék biztosító kimenete felől rövid vezetéket vezetünk az SPD L1, L2, L3 kapcsaira. Az SPD N kapcsára a nullasínről, a PE kapcsára a védőföld-sínről kötünk rövid vezetéket. A 3+1 kapcsolású készüléknél az N–PE modul közvetlenül a PE-sínre kötendő.
5. **Hossz ellenőrzése:** Megmérjük a legrövidebb utat a tartalék biztosító kimenete és az SPD kapcsa, valamint az SPD PE kapcsa és a PE-sín között. Ha az összeg hosszabb, mint 0,5 m, át kell helyezni a készüléket, vagy rövidebb vezetéket kell használni.
6. **Meghúzási nyomaték:** Az összes csavart a gyártó által megadott nyomatékkal húzzuk meg.
7. **Dokumentálás:** Jelöljük a tartalék biztosítót az elosztó feliratán, és jegyezzük fel a beépítési dátumot.

Kopás- és állapotjelzés, csere. Az SPD-k kopó alkatrészek. Minden levezetett túlfeszültség roncsolja a belső félvezetőt (varisztort). A készülékek ezért állapotjelzővel rendelkeznek: a zöld szín az üzemképes állapotot, a piros jelzés (a mechanikus ablakban megjelenő piros mező) a csereszükségletet jelzi. A cseréhez le kell kapcsolni a tartalék biztosítót, ki kell húzni a modult a talpból, és be kell pattintani az új modult. A lecserélt modult tilos tovább használni, mert már nem nyújt védelmet. **Figyelem.** Az SPD állapotjelzőjét minden elosztói vizsgálat alkalmával ellenőrizni kell.

23.3.8. Tipikus hibák

1. **Hosszú bekötővezeték.** A leggyakoribb hiba, amikor az SPD-t a sor végére, a védendő fogyasztóktól távollévő sínre szerelik, és a bekötővezeték tekercsszerűen fel van hurkolva. **Helyes gyakorlat:** az SPD közvetlenül a tartalék biztosítóra, a PE-sín fölé kerül, minimális, egyenes vezetékkel.

2. **A tartalék biztosító elhagyása.** Vannak, akik közvetlenül a gyűjtősínről táplálják az SPD-t, mert “nincs szükség rá”. **Helyes gyakorlat:** a tartalék biztosító látja el az SPD-t rövidzárlat ellen, ha az élettartama végén zárlatossá válik. Tartalék védelem nélkül a főkapcsoló vagy a mérőhelyi biztosítás oldana le, és az egész épület áram nélkül marad, vagy a hibás SPD tüzet okozhat.

3. **T3-as alkalmazása T2-es nélkül.** Egy érzékeny informatikai hálózat elé önmagában T3-as SPD-t tesznek, miközben a főelosztóban nincs T2-es. **Helyes gyakorlat:** a T3-as csak kiegészítő védelem. A nagyenergiájú túlfeszültség tönkreteszi a kis teherbírású T3-as eszközt, mielőtt az le tudná vezetni a túlfeszültséget.

23.3.9. Önellenőrzés

1. Mi a különbség az I_{imp} és az I_n paraméter között?
2. Igaz vagy hamis? A túlfeszültség-védelmi eszköz védelmi szintje (U_p) nem lehet nagyobb, mint a védendő készülék impulzus-tűrése (U_w).
3. Mi a teendő, ha az SPD állapotjelzője pirosra vált?
4. Hogyan befolyásolja a bekötővezeték hossza a tényleges védelmi szintet?
5. Minek a biztosítására szolgál az SPD elé kötött tartalék kismegszakító?

Válaszok a Megoldások elején.

23.3.10. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a három SPD-típust (T1, T2, T3), és mondd meg, melyiket hova kell beépíteni jellemzően.

2. feladat (A) Egy T2-es SPD bekötővezetékének teljes hossza 0,8 m, induktivitása 1 μH/m. A levezetett áram meredeksége 5 $\frac{\text{kA}}{\mu\text{s}}$. Mekkora feszültség esik a bekötővezetéken?

3. feladat (B) Egy lakóépület főelosztójában T2-es SPD-t szerelnek, légvezetékes a betáplálás. Van-e szükség T1-es védésre is? Indokold a választ a védelmi zónákkal és a hullámformákkal!

4. feladat (B) Rajzold le egy háromfázisú hálózat 3+1 kapcsolású SPD bekötését, V-bekötéssel. Jelöld az L1, L2, L3, N, PE vezetékeket és a tartalék biztosítót!

5. feladat (C) Egy érzékeny orvostechnikai műszer impulzus-tűrése 4 kV. A T2-es SPD U_p értéke 1,2 kV. A bekötővezeték hossza 1,5 m, a levezetett áram meredeksége 10 $\frac{\text{kA}}{\mu\text{s}}$. Megvédi-e az SPD a műszert? Számítsd ki a hatásos feszültséget, és indokold a választ!

6. feladat (D) Egy elosztóban a T2-es SPD-t a főkapcsolóról közvetlenül, tartalék biztosító nélkül kötötték be. Milyen kockázatot jelent ez, és mit kellene tenni a javításhoz?

23.3.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok 1. I_{imp} a T1-es (I. osztályú) SPD impulzusáram-levezetőképessége (10/350 μs hullámmal vizsgálva), míg I_n a T2-es (II. osztályú) SPD névleges levezetőképessége (8/20 μs hullámmal vizsgálva). 2. Igaz, de ez csak szükséges feltétel: a készülékre a bekötővezeték feszültsége is jut, ezért a valódi feltétel $U_p + U_{\text{vezeték}} \leq U_w$ (tartalékkal; a gyakorlatban gyakran $U_p \leq 0{,}8\,U_w$, ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-534). 3. Az SPD-t ki kell cserélni, mert elvesztette védelmi képességét. A cseréhez le kell kapcsolni a tartalék biztosítót. 4. A hosszabb vezeték nagyobb induktivitást jelent, ami a meredek áramimpulzus hatására nagy $U = L{\cdot}di/dt$ feszültséget ejt a vezetéken, ami hozzáadódik a védelmi szinthez, és rontja a védelmet. 5. A tartalék kismegszakító az SPD élettartam végén bekövetkező zárlatától védi a hálózatot, és lehetővé teszi az SPD feszültségmentes cseréjét.

1. feladat megoldása T1: főelosztóban, közvetlen villámcsapásnak kitett épületeknél (légvezetékes betáp, külső villámvédelem). T2: alelosztókban (LPZ 1-LPZ 2 zónahatár). T3: közvetlenül az érzékeny készülék előtt (LPZ 2-LPZ 3 zónahatár).

2. feladat megoldása Adott: $l = 0{,}8\,\text{m}$, $L = 0{,}8 \times 1\,\mu\text{H} = 0{,}8\,\mu\text{H}$, $\frac{di}{dt} = 5\,\frac{\text{kA}}{\mu\text{s}} = 5 \times 10^6\,\text{A/s}$. $U = L \cdot \frac{di}{dt} = 0{,}8 \times 10^{-6}\,\text{H} \times 5 \times 10^6\,\text{A/s} = 4\,\text{kV}$. A vezetéken 4 kV feszültség esik, ami nagyon magas, ezért rövidebb vezeték kell.

3. feladat megoldása Igen, szükség van T1-es védésre. A légvezetékes betáplálás az LPZ 0A zónába tartozik, ahol közvetlen villámcsapás érheti a vezetéket. A $10/350\,\mu$s hullámformájú impulzus energiája olyan nagy, hogy a T2-es ($8/20\,\mu$s) SPD nem képes azt elviselni, tönkremegy. A főelosztóba T1-es SPD-t kell szerelni, amely után már a T2-es fokozat is biztonságosan működik.

4. feladat megoldása A kapcsolási rajz a fentebb bemutatott 3+1 kapcsolást tükrözi. Háromfázisú rendszerben a tartalék biztosító hárompólusú vagy három egypólusú kismegszakító lehet, amelynek kimeneteiről az L1, L2, L3 fázisok az SPD megfelelő kapcsaira csatlakoznak. Az SPD N kapcsa a nullasínre, a PE kapcsa a védőföld-sínre kötendő. A kötéseknek a lehető legrövidebbeknek kell lenniük.

5. feladat megoldása Adott: $U_w = 4\,\text{kV}$, $U_p = 1{,}2\,\text{kV}$, $l = 1{,}5\,\text{m}$, $\frac{di}{dt} = 10\,\frac{\text{kA}}{\mu\text{s}}$. Először számoljuk ki a vezetéken eső feszültséget: $L = 1{,}5\,\mu\text{H}$, $U_{\text{vezeték}} = 1{,}5 \times 10^{-6}\,\text{H} \times 10 \times 10^{6}\,\text{A/s} = 15\,\text{kV}$. A hatásos feszültség: $U_{\text{hatásos}} = U_p + U_{\text{vezeték}} = 1{,}2 + 15 = 16{,}2\,\text{kV}$. Mivel $16{,}2\,\text{kV} > 4\,\text{kV}$, az SPD így nem védi meg a műszert. A 4 kV-os tűréshez $l \leq (4 - 1{,}2)\,\text{kV}/10\,\text{kV/m} = 0{,}28\,\text{m}$ kellene. Már a 0,5 m-es bekötés is $1{,}2 + 5 = 6{,}2\,\text{kV}$-ot adna, tehát ennél a meredekségnél a hossz csökkentése önmagában nem elég: ha 0,28 m nem érhető el, V-bekötés (kettős kapocs) vagy a műszer elé szerelt T3-as SPD szükséges **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-534, gyártói alkalmazási útmutató)**.

6. feladat megoldása Tartalék biztosító nélkül az SPD fázisvédelme (varisztor) az élettartama végén zárlatossá válik, és a zárlati áramot a hálózati előtétvédelem (pl. a mérőhelyi biztosító vagy a főkapcsoló) nem képes elég gyorsan megszakítani, ami tüzet okozhat az elosztóban. Javításként az SPD elé a gyártó által előírt értékű (pl. 32 A) tartalék kismegszakítót kell szerelni, és az SPD bekötővezetékét a lehető legrövidebbre kell vágni.

23.3.12. Rövid összefoglaló

A túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD) lépcsőzetes védelmet nyújtanak, típusukat a védendő zóna határozza meg. A T1-es (I. osztályú) a közvetlen villámcsapás energiáját vezeti le, a T2-es (II. osztályú) az indukált túlfeszültségeket kezeli, a T3-as (III. osztályú) pedig az érzékeny készülékek előtti finom védelmet látja el. A védelem hatékonyságát a feszültségvédelmi szint (U_p) és a bekötővezeték induktivitása határozza meg. A hosszú bekötővezeték a meredek áramimpulzus hatására jelentős feszültséget ejt ($U = L \cdot di/dt$), amely hozzáadódik a védelmi szinthez, és tönkreteheti a védendő eszközt. Ezért az SPD-t mindig közvetlenül a tartalék biztosítóra, a lehető legrövidebb vezetékkel, lehetőleg V-bekötéssel kell kötni. Az SPD kopó alkatrész, állapotjelzője alapján cserélni kell. Ezt a védelmi koordinációt alkalmazzuk a Napelemes rendszerek és háztartási méretű kiserőmű alfejezetben az inverter védelménél is.

23.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

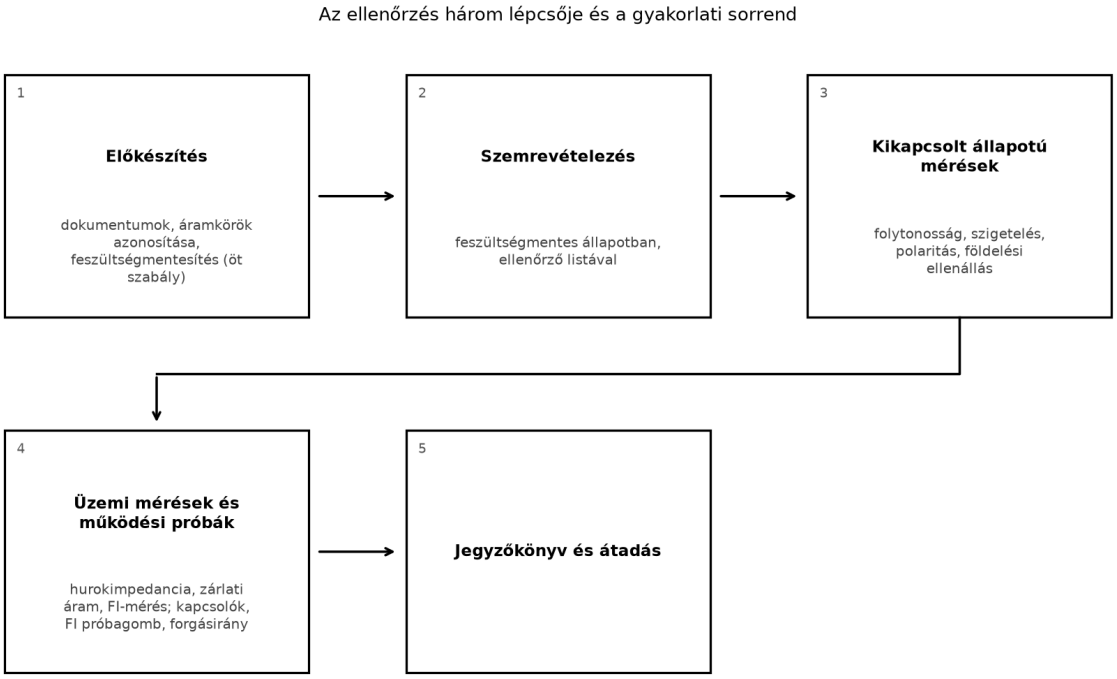
A szövegben szereplő szabványhivatkozások – MSZ EN 62305-4, MSZ EN 61643-sorozat, MSZ HD 60364-5-53 – aktuális kiadását ellenőrizni kell. Az SPD-kre vonatkozó paraméterek (I_{imp}, I_n, I_{max}, U_p) és a bekötővezetékre vonatkozó 0,5 m-es ajánlás gyártói és szabványi adatokon alapuló tanulási érték, amelyet a kiadás előtt a hatályos előírásokkal és a konkrét termékek műszaki adatlapjaival egyeztetni kell. A példákban szereplő hullámformák ($10/350\,\mu$s, $8/20\,\mu$s) és a vezeték induktivitásának értéke tipikus, szemléltető adat.

24 Ellenőrzés, mérés és felülvizsgálat

24.1. Szemrevételezés, működési próbák, kikapcsolt állapotú vizsgálat

Az ellenőrzés nem a mérőműszer bekapcsolásával kezdődik, hanem azzal, hogy **kikapcsolt állapotban, ellenőrző listával** végignézed a berendezést. Sok hiba ugyanis műszerrel nem látszik, vagy éppen a mérés közben válik veszélyessé: egy meglazult PE-vezeték, egy hiányzó érvéghüvely, egy rosszul jelölt áramkör vagy egy tönkrement kábelbevezető mind kiderülhet már a szemrevételezés során.

A másik tipikus hiba az, ha a méréseket rossz sorrendben végezzük. A **kikapcsolt állapotú (feszültségmentes) mérések** előzik meg az **üzemi, feszültség alatti méréseket**. Ha ezt felcseréled, a szigetelési mérést feszültség alatt végeznéd, vagy fogyasztókat mérnél meg, ami tönkreteheti a műszert és a beépített elektronikát is.



24.1. ábra. Az ellenőrzés három lépcsője és a gyakorlati sorrend - A három lépcső (szemrevételezés, mérés, működési próba) a gyakorlatban öt lépésben követi egymást: a szemrevételezés megelőzi a méréseket, a kikapcsolt állapotú mérések megelőzik az üzemi méréseket. A működési próbákat – például a FI próbagombját – csak a biztonságos alapellenőrzés után, zárt burkolat mellett végezzük el.

24.1.1. A három lépcső és a vizsgálati sorrend

Definíció. A kisfeszültségű villamos berendezés ellenőrzésének három alappillére:

1. **Szemrevételezés** – a berendezés látható, hallható, szagolható, illetve csak feszültségmentes állapotban tapintható jellemzőinek szabványossági vizsgálata.
2. **Mérés** – a védelmi, üzemi és működési jellemzők mérőműszeres vizsgálata.
3. **Működési próba** – a beépített kezelőszervek, védelmek, jelzőkészülékek és fogyasztók működtetése, például kapcsoló, FI próbagomb, forgásirány.

Szabály. A vizsgálati sorrendet úgy kell megtervezni, hogy a szemrevételezés megelőzze a méréseket, és a kikapcsolt állapotú mérések megelőzzék az üzemi méréseket. Ennek oka: ha a szemrevételezés során nyilvánvaló hibát találunk, azt előbb ki kell javítani, vagy a mérési jegyzőkönyvet hibás eredménnyel vennénk fel. Ha pedig a szigetelési mérést fogyasztók alatt vagy feszültség alatt végezzük, a mérés téves lehet, és a hálózati feszültség alatt álló, fogyasztókkal terhelt áramkörök mérése balesetet is okozhat.

A kikapcsolt állapotú mérések közé tartozik elsősorban a **folytonosság**, a **szigetelési ellenállás**, a **polaritás** (az egypólusú kapcsolók és védelmek a fázisvezetőben vannak-e) és a **földelési ellenállás** mérése. Az üzemi mérések közé tartozik a **hurokimpedancia**, a **zárlati áram** és a **FI-mérés**. A részleteket a következő alfejezetek tárgyalják.

24.1.2. Szemrevételezés: mit és miért ellenőrzünk

A szemrevételezés nem azt jelenti, hogy „ránézek, hogy szép-e”. Célja annak megállapítása, hogy a berendezés **látható állapota** megfelel-e a szabványos szerelési és életvédelmi követelményeknek. A következő pontokat ellenőrizzük:

Kötések, csatlakozások:

- minden sorkapocs, kapcsoló- és védőkészülék- kapocs megfelelően van-e meghúzva, érvéghüvely vagy kábelsaru van-e a hajlékony ereken;
- az egypólusú kapcsolók a fázisvezetőt szakítják-e meg (az E27 foglalat középső érintkezője a fázison van-e);
- nincs-e kilógó vörösréz ér, nincs-e hőnyom, elszíneződés, ráégett szigetelés;
- a kábelerek hajlítási sugara nem túl kicsi, a vezetékek nincsenek éles fémperemen átvezetve;
- a kábelbevezető szelencék, tömítések, dobozok nem sérültek.

Védelmek, védő- és nullavezetők:

- a védővezető (PE) színe mindenütt zöld-sárga, a nullavezető világoskék;
- a PE-vezetőbe nem iktatható kapcsoló vagy biztosító, és a TN-C-S rendszer szétválasztási pontja után nem köthető össze a nullavezetővel;
- az egyenpotenciálra hozó (EPH) bekötések megvannak-e a fürdőszobában, konyhában, kültéren;
- a PEN vezetőn a világoskék jelölés megvan-e a zöld-sárga szigetelés mellett, ahol szükséges.

Jelölések, feliratok:

- a kapcsolási rajz és az áramkörcímkék megegyeznek-e a valósággal;
- a kapcsolók, védő- és működtető készülékek feliratai egyértelműek-e;
- a védőföldelés jel, a figyelmeztető feliratok, a zárlat- és feszültségjelzések megvannak-e;
- a kapcsok és sorkapcsok jelölései (L1, L2, L3, N, PE, U1, V1, W1, 13/14) olvashatók-e.

Szerelési mód, környezet és IP-védettség:

- a szerelvények és kábelek a tényleges környezetnek megfelelőek-e (nedves, poros, kültéri, vegyileg agresszív);

- a kábelbevezetők és elosztótömítések biztosítják-e az előírt IP-védettséget;
- nincs-e korrózió, repedés, elöregedett szigetelés, mechanikai sérülés.

A szemrevételezés során **jegyzőkönyvbe** kell rögzíteni minden eltérést, és meg kell határozni, hogy az eltérés **javítás nélkül is üzemeltethető-e**, vagy azonnali javítást igénylő hibáról van szó. Ha a berendezés nyilvánvalóan életveszélyes, például nincs védővezető, feszültség alatti rész hozzáférhető, vagy a hibavédelem nem megfelelő, a berendezést **nem szabad feszültség alá helyezni**.

24.1.3. Működési próbák

Definíció. A működési próba a beépített készülékek **funkcionális ellenőrzése**. Nem mérés, hanem a felhasználó által is elvégezhető, biztonságos, rendeltetésszerű működtetés.

A gyakorlatban az alábbi próbákat végezzük el:

Kapcsolók, nyomógombok, fényforrások:

- az egypólusú, soros, váltó és kereszt kapcsolások minden kombinációját végig kell próbálni;
- a jelzőlámpák, működésjelzők, mozgásérzékelők bekapcsolásakor a kijelzett állapotnak meg kell felelnie;
- a kapcsolóknak egyértelmű, mechanikai ellenállás nélküli kapcsolást kell adniuk.

Áram-védőkapcsoló (FI) próbagomb:

- a FI-relé próbagombját megnyomva a készüléknek **azonnal le kell oldania**;
- a próbagomb nem helyettesíti a műszeres FI-mérést, de megmutatja, hogy a mechanizmus és a belső tesztáramkör működik;
- a próbagombot csak zárt burkolat mellett, üzemi feszültségen, a rendeltetésszerű kezelőfelületen végezzük.

Forgásirány, fázissorrend:

- háromfázisú motor, szellőző, szivattyú beüzemelésekor a forgásirányt ellenőrizni kell;
- a forgásirány hibája nem mindig tűnik fel azonnal, de a szivattyú vagy szellőző fokozott terhelést, károsodást okozhat;
- a forgásirány próbája történhet rövid bekapcsolással vagy fázissorrend-mérővel, a berendezés típusától függően.

24.1.4. A mérések sorrendje és a kikapcsolt állapotú vizsgálat előkészítése

A méréseket soha nem a mérőműszer kicipelésével kezdjük. A helyes sorrend:

1. **Áramkörök beazonosítása, dokumentumok átnézése.** Kapcsolási rajz, áramkörcímke, bekötési terv.
2. **Feszültségmentesítés az öt biztonsági szabály szerint:** lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás (ahol a munkamódszer előírja), szomszédos feszültség alatti részek lefedése.
3. **Szemrevételezés.** Pontosan dokumentálva.
4. **Kikapcsolt állapotú mérések:** folytonosság (védővezetők, EPH), szigetelési ellenállás, polaritás (az egypólusú kapcsolók és védelmek a fázisvezetőben vannak-e), földelési ellenállás **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-6 vizsgálati tételei)**.

5. **Az eredmények rögzítése.** Ha a szigetelési ellenállás kisebb a megengedettnél, a berendezést nem szabad feszültség alá helyezni.
6. **Üzemi mérések:** hurokimpedancia, zárlati áram, FI-mérés.
7. **Működési próbák:** kapcsolók, FI próbagomb, forgásirány.
8. **Jegyzőkönyv és átadás.**

Figyelem. A kikapcsolt állapotú mérések előkészítésekor minden fogyasztót, fáziskontrollert, kapcsolóüzemű tápegységet, tirisztort, LED-drivert és elektronikus előtétet le kell csatlakoztatni. A szigetelési ellenállásmérő egyenfeszültsége ezeket tönkreteheti, és a szivárgóáramuk miatt a mérési eredmény is téves lesz.

24.1.5. Szabványi keret és az ellenőrző lista mint eljárás

Szabvány.
A kisfeszültségű villamos berendezések ellenőrzését az **MSZ HD 60364-6** sorozat tárgyalja. A szabvány megkülönbözteti az **első ellenőrzést** (új, bővített vagy átalakított berendezés) és az **időszakos felülvizsgálatot**. A szemrevételezésnek és a méréseknek ki kell terjednie a védővezetőkre, a hibavédelemre, a túláramvédelemre, a szerelvényekre, a kábelekre, a jelölésekre és a dokumentációra. A pontos kiadás, a vizsgálati tételek részletes felsorolása, az alkalmazott mérési módszerek és határértékek az aktuális szabványkiadás és a formanyomtatványok szerint változhatnak. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás, jegyzőkönyv-minta rovatai.)**

A mérőműszerekre a védelmi mérésekhez az **MSZ EN 61557** szerinti követelmények vonatkoznak. A szerelői gyakorlatban a mérési osztály, a pontosság és a kalibráltság a jegyzőkönyvben is megjelenik.

24.1.6. Ellenőrzési recept

Ellenőrzési recept: egy áramköri csoport szemrevételezése és méréselőkészítése

1. Kapcsold le az adott csoportot a kismegszakítóval, FI-vel vagy kapcsolóval.
2. Biztosítsd ki a visszakapcsolás ellen, például reteszes lakattal vagy elzárt kapcsolóval, ahogy az üzemi gyakorlat megköveteli.
3. Ellenőrizd a feszültségmentességet **kétpólusú feszültségvizsgálóval** minden vezető között és a PE-hez (fázisceruza nem elfogadható), a vizsgálót előtte és utána ismert forráson ellenőrizve.
4. Földelj és zárj rövidre, ha a munkamódszer előírja (kisfeszültségű lakáselosztóban általában nem szükséges).
5. Takard le a szomszédos, feszültség alatt maradó részeket (pl. a főkapcsoló bejövő kapcsait).
6. Végezd el a szemrevételezést a fenti lista szerint: kötések, védelmek, jelölések, szerelési mód.
7. Ellenőrizd a védővezető bekötését minden szerelvénynél, a PE-sín folytonosságát.
8. Válaszd le a fogyasztókat a szigetelési ellenállás méréséhez.
9. Készítsd elő a mérőműszereket és a mérési pontokat: nyisd fel a kapcsolókat, aljzatokat, elosztóburkolatokat.
10. Jegyezd fel az észlelt eltéréseket, és csak ezután folytasd a kikapcsolt állapotú mérésekkel.

Továbbvitt eredmény. Ezt a receptet használjuk a Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés alfejezetben: a folytonossági és szigetelési mérést csak akkor végezzük el, ha a szemrevételezés megtörtént, a fogyasztók le vannak választva, és a feszültségmentesség ellenőrzése sikeres volt.

24.1.7. Valós életbeli alkalmazás: hibakeresési eset

Tünet. Egy felújított lakás konyhai aljzatkörén a dugaszolóaljzat nem működik. A kismegszakító nem oldott ki, és a lakó szerint „a szerelő azt mondta, minden jól van”.

Hipotézis. Az áramkör nem kap feszültséget, vagy a feszültség megérkezik az aljzatig, de a csatlakozókapcsokban nincs megfelelő folytonosság. Kézenfekvő a sorkapocs-ellenőrzés.

Szemrevételezés és mérés. A felülvizsgáló először a főelosztóban azonosítja az áramkört. Kikapcsolja a csoportot, kikapcsolt állapotban ellenőrzi a feszültségmentességet. A konyhai aljzat burkolatát leemelve azt látja, hogy a fázisvezető csatlakozócsavarja alatt a sodrott rézér kilazult, a szigetelés barnás elszíneződése korábbi melegedést jelez. A sodrott eret **érvéghüvely nélkül** nyomták be a csavaros kapocsba. A folytonosságmérés megerősíti: a kapocs és az ér között nagy az átmeneti ellenállás.

Ok. A szerelő nem húzta meg megfelelően a csavart, és hajlékony vezetéket érvéghüvely nélkül kötött be. A lazult kötés melegedéshez, majd a csatlakozás megszakadásához vezetett.

Javítás. Feszültségmentes állapotban az eret újra méretre vágják, érvéghüvelyezik, a csavart a gyártói nyomaték-ajánlás szerint meghúzzák, majd a mérési sorrendet megismétlik: folytonosság, szigetelés, üzemi feszültségellenőrzés.

Megelőzés. A szemrevételezés során minden csatlakozó és sorkapocs tételes ellenőrzése, a hajlékony erek érvéghüvelyezése, valamint a kötések felülvizsgálata az első bekapcsolás előtt kiemelt pont.

24.1.8. Gyakorlati útmutató

Gyakorlat: szemrevételezés és működési próbák egy elosztómodellen

Cél. A tanuló önállóan elvégzi a szemrevételezést ellenőrző lista alapján, és kikapcsolt állapotban ellenőrzi a kapcsolók, a PE bekötések és a jelölések meglétét, majd üzemi állapotban a FI próbagomb és a fényforrások működését.

Eszközök és anyagok: tanműhelyi elosztómodell, kétpólusú feszültségvizsgáló, ellenőrző lista, jegyzőkönyv-minta, kézi szerszámok, védőszemüveg, szigetelt csavarhúzó.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A FI próbagomb megnyomását csak zárt elosztóburkolat mellett, a készülék rendeltetésszerű kezelőszervén végezd.

Az öt biztonsági szabály alkalmazása: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás (ha a munkamódszer előírja), szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

Lépések:

1. Kapcsold le az elosztómodellt, és biztosítsd ki a főkapcsolót.
2. Kétpólusú feszültségvizsgálóval ellenőrizd, hogy a vizsgált áramkörök feszültségmentesek.
3. Végezd el a szemrevételezést a kötésektől a jelölésekig, és jelöld be az ellenőrző listán: igen, nem, nem alkalmazható.
4. Ellenőrizd a PE-sín, a nulla-sín és a PEN-szétválasztás bekötéseit.
5. Zárj vissza minden burkolatot, ellenőrizd, hogy nincs összecsúszott csupasz ér, rövidzár, szerszám a dobozban.

6. Győződj meg róla, hogy senki nem dolgozik az áramkörön, értesítsd a jelenlévőket, és távolítsd el a visszakapcsolás elleni biztosítást (a lakatot az veszi le, aki felhelyezte). Csak ezután kapcsold vissza a főkapcsolót, és végezd el a kapcsolók, világítási kombinációk működési próbáját.
7. Nyomd meg a FI próbagombját: a készüléknek azonnal le kell oldania. Kapcsold vissza.
8. Ha a modell motoros fogyasztót is tartalmaz, ellenőrizd a forgásirányt.
9. Kapcsold le az elosztómodellt, és töltsd ki a jegyzőkönyv-mintát.

Ellenőrzési pontok:

- az ellenőrző lista minden tétele „igen/nem/nem alkalmazható” értékelést kapott;
- a védővezető bekötése mindenütt folytonos;
- a FI próbagombra a FI leold;
- a kapcsolók minden kombinációja a kapcsolási rajz szerint működik;
- a forgásirány a fogyasztó előírásának megfelelő.

Tipikus hibák a gyakorlat során: fázisceruzával ellenőrzik a feszültségmentességet; a FI próbagombot kikapcsolt FI-nél vagy levett burkolat mellett próbálják; a fogyasztókat a szigetelési mérés előtt nem választják le; a jelölések hiányát figyelmen kívül hagyják.

Dokumentálás: az ellenőrző lista, a mérési jegyzőkönyv és a működési próba jegyzőkönyvbe vett eredményei. A hibákat és javításokat a jegyzőkönyvben dátummal, aláírással és a hiba leírásával kell rögzíteni.

24.1.9. Tipikus hibák

Hiba 1: a szemrevételezést nem veszik komolyan. A szerelő csak a mérőműszerre bízza az ellenőrzést, és közben laza kötés, rossz színjelölés, hiányzó EPH vagy sérült kábelbevezető marad a berendezésben. Helyes gyakorlat: minden ellenőrzés a szemrevételezéssel kezdődik, és annak eredményét dokumentálják.

Hiba 2: a mérések sorrendjét felcserélik. Az üzemi mérést végzik el előbb, majd a kikapcsolt szigetelési mérést. A szigetelési mérés előkészítésében a fogyasztók károsodhatnak, az áramkör nyilvánvaló hibája pedig üzemi mérés közben balesetet okozhat. Helyes sorrend: szemrevételezés → kikapcsolt mérések → üzemi mérések → működési próbák.

Hiba 3: a FI próbagomb és a FI műszeres mérés összekeverése. A FI próbagomb megnyomása nem bizonyítja, hogy az áram-védőkapcsoló a névleges differencia- vagy kioldási időn belül leold. Ugyanakkor a műszeres mérés nem fedezi fel a beragadt próbagombot vagy a mechanikai hibát. Mindkét ellenőrzést el kell végezni.

Hiba 4: a feszültségmentességet fázisceruzával ellenőrzik. A fázisceruza megbízhatatlan, nem kétpólusú, és téves eredményt adhat. Helyes gyakorlat: kétpólusú feszültségvizsgálóval, lehetőleg mérés előtt ismeretes feszültségű áramkörön ellenőrizve a műszert.

Hiba 5: a jelölések hiányát nem tekintik hibának. A hiányzó vagy téves áramkörcímke, kapcsok felirata, kapcsolási rajz később hibakeresést, téves lekapcsolást, balesetet okoz. A szabványos szereléshez a jelölés ugyanúgy hozzátartozik, mint a vezetékezés.

24.1.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e: a FI próbagombot csak feszültségmentes állapotban szabad megnyomni? Indokold!
2. Melyik mérést végezd előbb: szigetelési ellenállást vagy hurokimpedanciát? Miért?
3. Mi a teendő a szigetelési mérés előtt a beépített LED-előtéttel, dimmerrel, elektronikus tápegységgel?
4. Nevezz meg legalább négy szemrevételezési pontot egy lakáselosztóban!
5. Miért nem elég a fázisceruza a feszültségmentesség ellenőrzésére?
6. Mi a különbség a FI próbagomb és a műszeres FI-mérés között?

24.1.11. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel az ellenőrzés három lépcsőjét, és mindegyikhez írj egy-egy jellemző vizsgálatot!

2. feladat (A). Írj le egy olyan esetet, amikor a szemrevételezés olyan hibát tár fel, amit a mérőműszer nem látna!

3. feladat (B). Készíts ellenőrző listát egy új lakáselosztó szemrevételezéséhez! Legalább 10 pont legyen benne: kötések, védelmek, jelölések, szerelési módok.

4. feladat (B). Rendezd helyes sorrendbe a következő vizsgálatokat: FI-próbagomb, szigetelési ellenállás, hurokimpedancia, folytonosság, szemrevételezés, forgásirány. Jelöld meg, melyik kikapcsolt, melyik üzemi vizsgálat!

5. feladat (C). Egy új fürdőszobai FI-védett áramkör ellenőrzése előtt a megrendelő kérdezi, hogy a FI próbagomb önmagában elegendő-e. Fogalmazz meg egy rövid szakmai választ, amelyben elmagyarázod a próbagomb és a műszeres FI-mérés szerepét, és bemutatod a helyes ellenőrzési sorrendet!

6. feladat (D). Az alfejezet „Valós életbeli alkalmazás: hibakeresési eset” szakaszának esetéből készíts hibajegyzőkönyv-vázlatot! A tünet, a hipotézis, a mérés, az ok, a javítás és a megelőzés rovatokat töltsd ki röviden!

24.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A FI próbagombot csak zárt burkolat mellett, üzemi feszültségen nyomjuk meg, mert a belső tesztáramkör tápfeszültséggel működik. Feszültségmentes állapotban a próbagomb nem ad leoldást, és nem is a próbafunkciót ellenőrizzük.
2. **A szigetelési ellenállást előbb.** A hurokimpedancia üzemi mérés, a szigetelési mérés kikapcsolt állapotú, és a fogyasztók elektronikáját, a mérőműszert, valamint a személyt is védeni kell. A helyes sorrend: szemrevételezés → folytonosság → szigetelés → hurokimpedancia.
3. **Le kell választani** a beépített elektronikus fogyasztókat, mert a szigetelési mérő egyenfeszültsége tönkreteheti őket, és szivárgó áramuk meghamisíthatja a mérési eredményt.
4. Például: (1) PE-sín bekötése, (2) a világoskék N-sín és a zöld-sárga PE-sín szétválasztása, (3) a kismegszakítók névleges árama és típusa, (4) a FI IΔn értéke, (5) sorkapcsok meghúzottsága, (6) áramkörcímkék, (7) kapcsolási rajz megléte, (8) kábelbevezetők IP-védettsége.
5. A fázisceruza egyetlen érintési ponttal működik, a testen át vezeti az áramot, és téves kijelzést adhat megszakadt vezető, szigetelési hiba vagy feszültségmentes állapot esetén is. Kétpólusú feszültségvizsgálóval két ponton, a műszer ellenőrzése után mérünk.

6. A FI próbagomb a beépített tesztáramkörrel a mechanizmus és a tesztfunkció működését ellenőrzi. A műszeres FI-mérés a kioldási áramot, a kioldási időt és a biztonsági határértékeket méri. Egyik sem helyettesíti a másikat.

Feladatok megoldása

1. feladat. A három lépcső: (1) szemrevételezés – pl. a PE-sín bekötésének ellenőrzése; (2) mérés – pl. szigetelési ellenállás, hurokimpedancia, FI-mérés; (3) működési próba – pl. a FI próbagomb leoldásának ellenőrzése, kapcsolók működtetése, forgásirány.

2. feladat. Például: a lakáselosztóban a PE-sínhez nem csatlakozik a fürdőszobai EPH vezeték. A folytonosságmérés csak akkor venné észre, ha kifejezetten azt a pontot mérnénk, de a szemrevételezés azonnal felfedi a hiányzó vezetéket. Szintén ilyen a hiányzó áramkörcímke vagy a rossz színjelölés.

3. feladat. A lista legalább: kötések kidolgozottsága, érvéghüvely, kábelsaru; PE-sín és PE-vezető bekötése; N és PE szétválasztás; túláramvédő készülékek helyes jelölése; FI IΔn értéke, típusa; kapcsolási rajz, áramkörcímkék; kapcsok feliratai; kábelbevezetők tömítése, IP-védettség; szerelvények és szerelési módok a környezethez illőek; nincs hőnyom, repedés, sérülés.

4. feladat. Helyes sorrend: (1) szemrevételezés – kikapcsolt, (2) folytonosság – kikapcsolt, (3) szigetelési ellenállás – kikapcsolt, (4) hurokimpedancia – üzemi, (5) FI-próbagomb – üzemi, (6) forgásirány – üzemi. Megjegyzés: a FI műszeres mérés üzemi, de itt a próbagomb van.

5. feladat. A FI próbagomb csak a mechanizmus és a belső tesztáramkör működését igazolja. Nem bizonyítja, hogy a készülék a névleges differencia-áramnál, a megadott időn belül leold, ezért a szabványos ellenőrzéshez műszeres FI-mérés is szükséges. A fürdőszobai körben a javasolt sorrend: lekapcsolás, biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzés, szemrevételezés (EPH, PE, vízgépészeti csatlakozás, IP-védettség), kikapcsolt folytonossági és szigetelési mérés, majd üzemi hurokimpedancia-mérés és műszeres FI-mérés, végül a FI próbagomb megnyomása és a működési próbák.

6. feladat. Példavázlat: **Tünet:** konyhai aljzat nem működik, kismegszakító nem oldott ki. **Hipotézis:** laza csatlakozás, átmeneti ellenállás. **Mérés:** folytonosság és feszültségvizsgálat kikapcsolt állapotban, szemrevételezés. **Ok:** hajlékony rézvezeték érvéghüvely nélküli bekötése, meglazult csavar. **Javítás:** érvéghüvelyezés, csavar meghúzása nyomaték szerint. **Megelőzés:** tételes kötés-ellenőrzés, érvéghüvely alkalmazása, első bekapcsolás előtti szemrevételezés.

24.1.13. Rövid összefoglaló

A villamos berendezés ellenőrzése három pilléren áll: **szemrevételezésen**, **méréseken** és **működési próbákon**. A helyes sorrend: előbb a feszültségmentesítés és a szemrevételezés, azután a kikapcsolt állapotú mérések, majd az üzemi mérések és a működési próbák. Szemrevételezéskor a kötéseket, védelmeket, jelöléseket, szerelési módokat és a PE-vezetőt tételes listával ellenőrizzük. A FI-próbagomb a készülék mechanikus és tesztáramköri működését vizsgálja, de nem helyettesíti a műszeres FI-mérést; a forgásirányt háromfázisú fogyasztónál külön is igazolni kell. A mérések előtt a fogyasztókat le kell választani, és a feszültségmentességet kétpólusú feszültségvizsgálóval kell ellenőrizni. **Továbbvitt eredmény:** az ellenőrzés itt felépített sorrendjét – szemrevételezés, fogyasztók lecsatlakoztatása, kikapcsolt mérések, majd üzemi mérések – használja a Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés alfejezetben; a védelmi mérések csak ebben a sorrendben adnak megbízható, biztonságos eredményt.

24.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

- **MSZ HD 60364-6** – Kisfeszültségű villamos berendezések. 6. rész: Ellenőrzés. A pontos kiadás, a részletes vizsgálati tételek, mérési módszerek és határértékek ellenőrizendők.
- **MSZ EN 61557** – Villamos biztonsági mérőműszerek kisfeszültségű elosztóhálózatokban. A mérési osztályokra és pontossági követelményekre vonatkozó részletek ellenőrizendők.
- A FI-relék próbagombjára, a forgásirány-mérésre és a gyártói csavarnyomatékokra vonatkozó konkrét adatok a gyártói adatlapok szerint változnak; felhasználás előtt ellenőrizni kell.

24.2. Mérések I.: folytonosság, szigetelési ellenállás, földelés

24.2.1. Motiváció

Egy lakáselosztó cseréje vagy egy új dugaszoló aljzat-kör kiépítése után a megrendelő joggal kérdezheti: „Most már biztos, hogy nem ráz meg, és nem gyullad ki?” A szemrevételezés – amelyet a Szemrevételezés, működési próbák, kikapcsolt állapotú vizsgálat alfejezetben tanultál – sokat elárul, de a biztonságot csak méréssel lehet igazolni. Ebben az alfejezetben három olyan mérést veszünk alaposan: a **védővezető folytonosságát**, a **szigetelési ellenállást** és a **földelési ellenállást**. Ezek a mérések az ellenőrző protokoll gerincét adják, és a szabványossági felülvizsgálat során mindig előkerülnek. A mérési eredményeket a későbbi Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezetben használjuk fel, és a jegyzőkönyvbe kerülnek.

24.2.2. Három mérés, három kérdés

Mielőtt a részletekbe megyünk, érdemes a három mérést egy-egy egyszerű kérdéshez kötni:

Mérés	Kérdés, amire válaszol
Védővezető-folytonosság	A védővezető mindenhol megszakítás nélkül, kis ellenállással össze van kötve a fő földelőkapoccsal?
Szigetelési ellenállás	A szigetelés nem enged-e veszélyes szivárgó áramot az aktív vezetőkről a föld felé vagy a vezetők között?
Földelési ellenállás	A földelő képes-e a hibaáramot a földbe vezetni anélkül, hogy veszélyes érintési feszültség alakulna ki?

A sorrend sem véletlen: előbb a védővezető épségét igazoljuk, mert ha az hiányzik, a többi mérés és maga a hibavédelem is értelmét veszti. Ezután mérjük a szigetelést, hogy kizárjuk a közvetlen földzárlatot vagy vezető közti rövidzárlatot, végül a földelő ellenállását, hogy a föld felé vezető utolsó láncszem is megfelelő legyen.

24.2.3. Védővezető-folytonosság mérése

Definíció. A védővezető folytonossága azt jelenti, hogy a védővezető (PE) a védett berendezés minden érinthető, vezetőképes részétől a fő földelőkapocsig vagy a földelőcsatlakozásig megszakítás nélkül, kis ellenállással vezető útként áll rendelkezésre.

A mérés célja nem csupán az, hogy „van-e vezetés”, hanem az is, hogy a kötés **megbízhatóan kis ellenállású** legyen. Egy laza, korrodált vagy alulméretezett kötés kis árammal még vezethet, de nagy hibaáram esetén felmelegedhet, éléghet, vagy éppen leoldási hibát okozhat. Ezért a szabvány a mérőáramra legalább **200 mA** egyenáramot vagy váltakozó áramot ír elő a folytonosságmérő műszerre **(ellenőrizendő: a hatályos MSZ EN 61557-4 pontosan)**. A gyakorlatban a védővezető-folytonosság mérőműszerek ennél nagyobb áramot is adhatnak, de soha ne használjunk egyszerű multiméter ellenállásmérését, mert az csak néhány mA árammal mér, és nem mutatja ki a rossz kötéseket.

Szabály. A védővezető-folytonosság mérését mindig **feszültségmentes, leválasztott** állapotban kell elvégezni. A mérési eredményt mindig hasonlítsuk össze a vezető elméleti ellenállásával, amely a hosszból, a keresztmetszetből és az anyag fajlagos ellenállásából számítható.

24.2.3.1. A mérés menete

Recept – védővezető-folytonosság mérése:

1. **Feszültségmentesítés** az öt biztonsági szabály szerint: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.
2. **A mérőkészülék ellenőrzése** – a zsinórokat rövidre zárva nullázzuk, vagy jegyezzük fel a zsinórellenállást.
3. Az egyik mérőzsinórt a **fő földelőkapocshoz** (EPH-csomópont) csatlakoztatjuk.
4. A másik mérőzsinórral sorra érintjük a vizsgált védővezető **végpontjait**: dugaszoló aljzatok PE-érintkezője, fém készülékházak, fürdőszobai EPH-csatlakozások stb.
5. A mért ellenállást feljegyezzük, és összevetjük a számított értékkel. A mérési pontot és a mért értéket a jegyzőkönyvben dokumentáljuk.

Számítás. Ha ismerjük a védővezető anyagát, hosszát és keresztmetszetét, az elméleti ellenállást az Ohm-törvény anyagi alakjából számítjuk:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

ahol ρ a fajlagos ellenállás, rézre $\rho \approx 0{,}0175\ \frac{\Omega\,\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$ (20 °C-on), l a vezető hossza, A a keresztmetszete.

Példa. Egy lakáselosztótól a konyhai dugaszoló aljzatig $l = 18\,\mathrm{m}$ hosszú, $A = 1{,}5\,\mathrm{mm}^2$ keresztmetszetű réz védővezető fut. Elméleti ellenállása:

$$R = 0{,}0175\,\frac{\Omega\,\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}} \cdot \frac{18\,\mathrm{m}}{1{,}5\,\mathrm{mm}^2} = 0{,}21\,\Omega$$

Ha a mérés $0{,}25\,\Omega$ körüli értéket ad, a kötés elfogadható. Ha $2\,\Omega$-ot mérünk, az komoly eltérés: valószínűleg laza vagy korrodált csatlakozás van a hálózatban. A gyakorlatban nincs egyetlen univerzális határérték, mert a hossz és a keresztmetszet változik; a mérés akkor jó, ha a mért érték nagyságrendileg megegyezik a számítottal, és nem mutat ugrásszerű növekedést.

24.2.4. Szigetelési ellenállás mérése

Definíció. A szigetelési ellenállás az aktív vezetők (fázis, nulla) és a föld, valamint az aktív vezetők egymás közötti szigetelésének egyenfeszültséggel mért ellenállása. A mérés azt igazolja, hogy a szigetelésben nincs olyan hiba, amely veszélyes áramot engedne át.

A méréshez **szigetelésmérő műszert** (a régi márkanévből köznyelven „megger”) használunk, amely egyenfeszültséget generál. A vizsgálófeszültséget a berendezés névleges feszültsége alapján választjuk meg:

Áramkör	Vizsgálófeszültség	Legkisebb szigetelési ellenállás
SELV/PELV	250 V DC	0,5 MΩ
legfeljebb 500 V névleges feszültség (230/400 V)	500 V DC	1 MΩ
500 V felett	1000 V DC	1 MΩ

(Ellenőrizendő: a hatályos MSZ HD 60364-6 táblázata és a műszergyártói adatlapok pontos előírása.)

Szabvány. Az MSZ HD 60364-6 (kisfeszültségű villamos berendezések ellenőrzése) szerint a szigetelési ellenállás mért értékét a gyártói útmutató és a berendezés jellege szerint kell értékelni. Az elfogadási határérték a vizsgálófeszültséghez kötött (lásd a fenti táblázatot): a 230/400 V-os áramköröknél legalább **1 MΩ**, SELV/PELV-nél 0,5 MΩ **(ellenőrizendő: az aktuális szabványkiadás szerint)**. Új, egészséges áramköröknél a mért érték jellemzően több száz MΩ, ezért az 1 MΩ alatti érték (230/400 V-nál) mindenképpen hibára utal.

24.2.4.1. A mérés előkészítése és végrehajtása

A szigetelési ellenállás mérése kényesebb, mint a folytonosságmérés, mert a vizsgálófeszültség károsíthatja az elektronikus fogyasztókat. Ezért:

Szabály. A szigetelési ellenállás mérése előtt a vizsgált áramkörről le kell választani, illetve ki kell kötni minden olyan fogyasztót, amely félvezetőket, kapcsolóüzemű tápegységet, dimmert, LED-hajtást, szünetmentes tápegységet vagy túlfeszültség-védő eszközt (SPD-t) tartalmaz. Ha ez nem lehetséges, a gyártó előírása szerint csökkenteni kell a mérési feszültséget, vagy a mérést más módszerrel kell elvégezni. A fogyasztók leválasztását mindig a mérés előtt, feszültségmentes állapotban végezzük el.

A mérés menete:

Recept – szigetelési ellenállás mérése:

1. **Feszültségmentesítés** az öt szabály szerint.
2. **Fogyasztók leválasztása**: minden dugaszoló aljzatból kihúzzuk a készülékeket, a világítási kapcsolókat bekapcsolt állapotba tesszük (így a teljes áramkört mérjük), a fényforrásokat kivesszük, illetve a lámpatesteket lekötjük (különben a fázis–nulla mérés a fogyasztón át záródik, és az elektronika a 500 V-os vizsgálófeszültségtől megsérülhet), a dimmereket, LED-tápegységeket kiiktatjuk. Ha egy fogyasztó nem választható le, a fázis–nulla mérés elmarad, és az összekötött L+N vezetőket mérjük a PE-hez képest.
3. A szigetelésmérő műszeren kiválasztjuk a megfelelő vizsgálófeszültséget (pl. 500 V).
4. A mérőzsinórokat a műszerhez csatlakoztatjuk, majd a vizsgált pontokhoz: fázis–föld, nulla–föld, valamint fázis–nulla.

5. Mérés közben a mérőcsúcsokat és a vizsgált vezetőket ne érintsd. A mérés alatt a vizsgált áramkör minden pontján (a távoli aljzatokban és lámpahelyeken is) a vizsgálófeszültség van jelen, ezért gondoskodj róla, hogy a körön más ne dolgozzon, és ne legyen érinthető csupasz vezető.
6. A mérést addig tartjuk, amíg a mért érték stabilizálódik (jellemzően 10–60 s), majd leolvassuk és feljegyezzük az értéket.
7. **A mérés után a vizsgált áramkört rövidre zárjuk vagy kisütjük**, mert a kábel kapacitásában töltés maradhat vissza. Ezt a feszültségmentesség ellenőrzésével is megerősítjük.

Számítás. A szigetelési ellenállás mérésénél a mért érték gyakran nem egyetlen szigetelési hiba, hanem több párhuzamos szivárgási út eredője. Ha például két párhuzamos áramkör szigetelési ellenállása $R_1 = 100\,\mathrm{M\Omega}$ és $R_2 = 2\,\mathrm{M\Omega}$, az eredő:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{100} + \frac{1}{2} = 0{,}01 + 0{,}5 = 0{,}51\,\frac{1}{\mathrm{M\Omega}}$$

$$R_e = \frac{1}{0{,}51} \approx 1{,}96\,\mathrm{M\Omega}$$

Ez az érték még az 1 MΩ határ felett van. Az eredő akkor esik 1 MΩ alá, ha a rosszabbik szakasz kb. $1{,}01\,\mathrm{M\Omega}$ alá csökken ($1/R_2 = 1 - 1/100$). Mivel az eredőt mindig a leggyengébb szakasz határozza meg, egy jó szakasz nem „javítja fel” a rosszat: a $2\,\mathrm{M\Omega}$-os szakasz már a hiba előjele lehet, ezért a gyenge pontokat szakaszonként kell felkutatni, nem szabad megelégedni az összesített értékkel.

24.2.5. Földelési ellenállás mérése

Definíció. A földelési ellenállás a földelő (földelőszonda, alapföldelő, szalagföldelő) és a „távoli föld” közötti villamos ellenállás. A távoli föld az a pont, ahol a földelő árama már nem okoz számottevő feszültségemelkedést a talajban.

A mérés célja annak igazolása, hogy a földelő a hibaáramot a földbe tudja vezetni anélkül, hogy a földelőn vagy annak környezetében veszélyes érintési feszültség alakulna ki. A földelési ellenállást tehát mindig a hibavédelem követelményével együtt kell értékelni, amint azt a Földelők és földelési ellenállás alfejezetben láttad.

24.2.5.1. Mérési módszerek

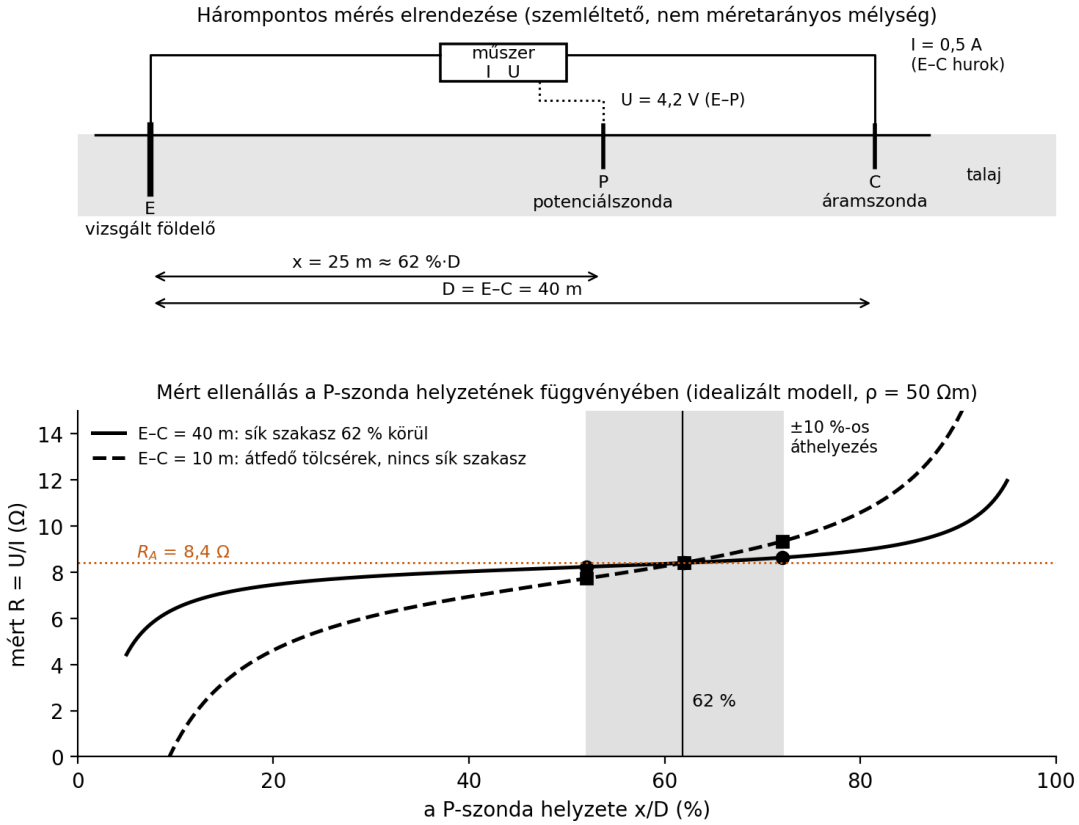
A földelési ellenállás mérésére három fő módszert alkalmazunk:

1. Hárompontos (potenciálesés) módszer. A mért földelő (E) mellé két ideiglenes segédföldelőt ütünk le: egy áramszondát (C) és egy potenciálszondát (P). A műszer váltakozó áramot bocsát az E és C közötti hurokba, és méri az E és P közötti feszültséget. A földelési ellenállást az Ohm-törvényből számítjuk:

$$R_A = \frac{U}{I}$$

A szondákat úgy kell elhelyezni, hogy a potenciálszonda a földelő és az áramszonda közötti, közelítőleg 62% távolságra essen, és legalább a földelő méretének többszörösére legyen távol **(ellenőrizendő: a gyártói és szabványi ajánlások)**. Ez a módszer nagy helyet igényel, ezért elsősorban kültéri, kiterjedt földelőknél használjuk.

Miért éppen 62 %? A földelő és az áramszonda körül is egy-egy potenciáltölcsér alakul ki. Ha a két tölcsér nem fed át, közöttük a talaj potenciálja alig változik, ezért a P-szonda helyzetétől függő mért ellenállásgörbének a 62 % körül sík szakasza van, és ott éppen a földelő ellenállását mérjük. Ha az áramszonda túl közel van, a tölcsérek átfednek, a görbe sehol sem sík, és a 62 %-os pont sem megbízható. Ezért a mérést úgy ellenőrizzük, hogy a P-szondát az E–C távolság kb. 10 %-ával előbbre és hátrébb is áthelyezzük: ha a három érték 5 %-on belül egyezik, az eredmény elfogadható, különben az E–C távolságot növelni kell **(ellenőrizendő: a gyártói és szabványi ajánlások)**. Az alábbi ábra felül az elrendezést mutatja a lenti számpélda adataival (E–C = 40 m, P 25 m-nél), alul pedig a mért ellenállást a P-szonda helyzetének függvényében, 40 m-es (sík szakasz) és 10 m-es (átfedő tölcsérek) E–C távolságnál. Az interaktív változatban az E–C távolság és a P-szonda helyzete csúszkával állítható; a kijelző a mért ellenállást és a ±10 %-os áthelyezés eltérését mutatja.



24.2. ábra. Hárompontos földelésmérés: szondaelrendezés és a mért ellenállás a P-szonda helyzetének függvényében

2. Négypontos (Wenner) módszer. Négy elektródát egy vonalban, egyenlő távolságban helyezünk el. A két szélső elektróda az áram, a két belső a feszültség mérőpontja. Ez a módszer nagyon pontos, de elsősorban talaj-ellenállás (fajlagos ellenállás) meghatározására, valamint nagy kiterjedésű földelőhálózatok vizsgálatára való.

3. Hurok- és lakatfogós földelésmérés. Léteznek olyan lakatfogós műszerek, amelyek a földelő leválasztása nélkül képesek a földelési ellenállást mérni, ha a vizsgált földelő párhuzamosan kapcsolódik más földelőkkel, például egy kiterjedt épületföldelő hálózatban. A módszer gyors, de az eredményt torzíthatják a párhuzamos hurkok, ezért csak akkor fogadjuk el, ha a gyártó előírja, és a hálózati viszonyok megengedik. **(Ellenőrizendő: a műszer alkalmazási feltételei.)** A gyakori **hurokimpedancia-mérés** nem helyettesíti a közvetlen földelési ellenállás mérését;

az a teljes hibahurok ellenállását méri, amellyel a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezetben foglalkozunk.

Számítás. Hárompontos mérésnél a műszer $I = 0{,}5\,\mathrm{A}$ áramot bocsát a földelő és az áramszonda közé, és az E–P feszültség $U = 4{,}2\,\mathrm{V}$. A földelési ellenállás:

$$R_A = \frac{4{,}2\,\mathrm{V}}{0{,}5\,\mathrm{A}} = 8{,}4\,\Omega$$

Ezt az értéket kell összevetni a védelmi követelménnyel. Például TT-rendszerben, ha a védelmet egy $I_{\Delta n} = 30\,\mathrm{mA}$ névleges kioldóáramú áram-védőkapcsoló biztosítja, akkor a földelési ellenállásra a következő feltételt kapjuk:

$$R_A \le \frac{U_L}{I_{\Delta n}} = \frac{50\,\mathrm{V}}{0{,}03\,\mathrm{A}} \approx 1667\,\Omega$$

ahol U_L a tartósan megengedett érintési feszültség, itt $50\,\mathrm{V}$. Bár a fenti $8{,}4\,\Omega$ bőven megfelel, a gyakorlatban a földelőt mégis minél kisebbre méretezik, hogy a csatlakozó berendezések, túlfeszültség-védők és a villámvédelem is megbízhatóan működjenek. **(Ellenőrizendő: az adott hálózati és védelmi előírások.)**

24.2.6. Mérési hibák, párhuzamos hurkok, elektronikai berendezések védelme

A mérési eredmények csak akkor megbízhatók, ha a mérést helyesen, és a lehetséges hibákat kiküszöbölve végezzük. A leggyakoribb hibalehetőségek:

Párhuzamos hurkok. A földelési ellenállás mérésénél, ha a mért földelő párhuzamosan kapcsolódik más földelőkkel (például alapföldelő, közművezeték, acélszerkezet), a mérőáram egy része ezeken a párhuzamos utakon folyik. Emiatt a mért érték **kisebb** lesz, mint a tényleges földelő-ellenállás. Ha a mérés torzítását ki akarjuk zárni, a vizsgált földelőt időlegesen le kell választani a védőhálózatról, természetesen feszültségmentes állapotban. Ha a leválasztás nem lehetséges, a kisebb mért érték még mindig hasznos, mert a tényleges hibaáram is ezeken a párhuzamos utakon folyik, de ezt a jegyzőkönyvben fel kell tüntetni.

Mérőzsinór-ellenállás. A folytonosságmérésnél a mérőzsinórok saját ellenállása néhány tized ohmtól több ohmig terjedhet. Mindig nullázzuk a műszert a zsinórokkal együtt, vagy vonjuk le a zsinórellenállást a mért értékből.

Nem megfelelő mérőáram. Egyszerű multiméterrel nem mérhető megbízhatóan a védővezető folytonossága, mert a kis mérőáram nem mutatja ki a laza kötéseket. Csak megfelelő folytonosságmérőt ($\ge 200\,\mathrm{mA}$) használjunk.

Elektronikai berendezések védelme. A szigetelésmérés vizsgálófeszültsége tönkreteheti a félvezetőket, kondenzátorokat, kapcsolóüzemű tápegységeket. Ezért minden ilyen fogyasztót le kell választani a mérés előtt. Különösen figyeljünk a beépített túlfeszültség-védőkre (SPD), amelyek a vizsgálófeszültségre is levezethetnek, és ezzel a szigetelési ellenállás mért értékét drasztikusan lecsökkenthetik. Az SPD-ket a mérés idejére ideiglenesen szakaszolni kell, ha a gyártó engedi, vagy a mérési feszültséget kell csökkenteni.

24.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy lakóház bővítése során a szerelő új aljzatköröket épített ki, majd a szokásos ellenőrző mérést végezte. A folytonosságmérés minden ponton rendben volt, azonban a szigetelési ellenállás fázis–föld mérésnél csak 0,7 MΩ-ot mutatott, ami az elvárt 1 MΩ alatt maradt. A szerelő először az új körökre gyanakodott, de amikor azokat szétválasztotta, a régi világítási áramkörön találta a hibát: egy süllyesztett kapcsolódobozban beázás miatt a szigetelés nedvessé vált, és a fázisvezető enyhén áthúzott a védővezető felé. A doboz és a szakasz cseréje után a mért érték 120 MΩ lett. Tanulság: a mérési eredményt nem szabad félvállról venni: a 0,7 MΩ nem megfelelő, és a határ közelében lévő (1–2 MΩ) érték is meghibásodás előjele lehet. A szakaszonkénti keresés tárta fel a valós okot.

24.2.8. Gyakorlati útmutató

Cél. A védővezető-folytonosság, a szigetelési ellenállás és a földelési ellenállás mérésének gyakorlása tanműhelyi környezetben vagy oktató felügyelete alatt.

Eszközök és anyagok. Folytonosságmérő (≥200 mA), szigetelésmérő (250/500/1000 V), földelési ellenállásmérő (3 pontos), mérőzsinórok, krokodilcsipeszek, szükség szerint ideiglenes földelőszondák, jegyzőkönyv-minta.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A szigetelésmérő 250–1000 V-os egyenfeszültséget állít elő, amely mérés közben és utána (feltöltött kábel) is áramütést okozhat; a törpefeszültségű környezet itt nem nyújt védelmet.

24.2.8.1. A mérési folyamat lépései

1. **Feszültségmentesítés** az öt biztonsági szabály szerint. Mindig győződj meg a feszültségmentességről kétpólusú feszültségvizsgálóval.
2. **Mérőműszerek előkészítése.** Ellenőrizd az akkumulátort, a zsinórokat, a mérési tartományt. A folytonosságmérőt nullázd a zsinórokkal együtt.
3. **Védővezető-folytonosság mérése.** A fő EPH-csomópont és az egyes védőérintkezők között mérd az ellenállást. Jegyezd fel az értékeket. A mért értékeket vesd össze a számított elméleti ellenállással.
4. **Szigetelési ellenállás mérése.** Válaszd ki a megfelelő vizsgálófeszültséget. Válassz le minden elektronikus fogyasztót. Mérd a fázis–föld, nulla–föld, fázis–nulla értékeket. A mérés után süsd ki a kapacitív töltést.
5. **Földelési ellenállás mérése.** Ha rendelkezésre áll valós földelő vagy tanműhelyi szimuláció, alkalmazd a hárompontos módszert. Üsd le az áram- és potenciálszondát a gyártó által megadott távolságra. Olvasd le a műszer által mért R_A értéket, vagy számold ki az U/I hányadost.
6. **Dokumentálás.** Minden mérési ponthoz rögzítsd: a mérés helyét, a műszer típusát, a mérési tartományt, a mért értéket, a dátumot és az észrevételeket. Ezt a jegyzőkönyv-mintába írd be, mert a Jegyzőkönyv, szabványossági felülvizsgálat és hibakeresés alfejezetben ezt használjuk.

Ellenőrzési pontok. A folytonosságmérési érték a számított érték közelében legyen. A szigetelési ellenállás legalább 1 MΩ, de tipikusan több tíz-száz MΩ. A földelési ellenállás feleljen meg a vonatkozó védelmi feltételnek. Ha bármelyik érték nem megfelelő, ne add ki a berendezést; keresd meg a hibát.

24.2.9. Tipikus hibák

1. **Multiméter használata folytonosságmérésre.** A kis mérőáram miatt a laza, nagyobb ellenállású kötés is „jónak” tűnik. Csak megfelelő folytonosságmérőt használj.
2. **Szigetelésmérés elektronikus fogyasztók leválasztása nélkül.** A vizsgálófeszültség tönkreteszi a dimmert, LED-tápegységet, vagy a beépített SPD levezeti a feszültséget, hamis rossz eredményt adva. A mérés előtt mindig válaszd le ezeket.
3. **A mért földelési ellenállás elfogadása a párhuzamos hurkok figyelembevétele nélkül.** A párhuzamos földelők kisebbnek mutatják az ellenállást; ha a mérést nem leválasztva végezted, a jegyzőkönyvben tüntesd fel, hogy az érték párhuzamos hurkokkal terhelt lehet.
4. **A mérés utáni kisütés elmulasztása.** A kábelek kapacitása a vizsgálófeszültség után töltést tárolhat, ami hozzáérintéskor áramütést okozhat. Mindig süsd ki a vizsgált áramkört.
5. **Helytelen mérési feszültség választása.** SELV/PELV áramkörre 500 V-ot adva károsíthatod a törpefeszültségű berendezéseket. Mindig a névleges feszültségnek megfelelő vizsgálófeszültséget válassz.

24.2.10. Önellenőrzés

1. Miért nem elegendő a közönséges multiméter a védővezető-folytonosság mérésére?
2. Milyen vizsgálófeszültséget választanál egy 230/400 V hálózat szigetelési ellenállásának mérésére?
3. Miért kell a szigetelésmérés előtt a túlfeszültség-védőket (SPD) leválasztani?
4. Egy földelési ellenállás mérésénél a műszer $I = 0{,}4\,\mathrm{A}$ áramot ad, és az E–P feszültség $U = 3{,}2\,\mathrm{V}$. Mekkora a földelési ellenállás?
5. Mi a teendő a szigetelési ellenállás mérése után a kábel kapacitásával?

24.2.11. Feladatok

1. feladat (A). Határozd meg egy $l = 12\,\mathrm{m}$ hosszú, $A = 2{,}5\,\mathrm{mm}^2$ keresztmetszetű réz védővezető elméleti ellenállását!

2. feladat (A). Sorold fel a szigetelési ellenállás méréséhez szükséges biztonsági előkészületeket!

3. feladat (B). Egy lakáselosztótól a fürdőszobai EPH-csomópontig futó PE-vezető ellenállását méred. A mért érték $1{,}8\,\Omega$. A vezető hossza 22 m, keresztmetszete $1{,}5\,\mathrm{mm}^2$, anyaga réz. Megfelelő-e a folytonosság? Válaszodat számítással indokold!

4. feladat (B). Két párhuzamos áramkör szigetelési ellenállása $R_1 = 40\,\mathrm{M\Omega}$ és $R_2 = 3\,\mathrm{M\Omega}$. Mekkora az eredő szigetelési ellenállás? Átlépi-e az 1 MΩ határt?

5. feladat (C). Egy TT-rendszerű hálózatban a védőföldelés ellenállása $R_A = 27\,\Omega$. Az áramvédőkapcsoló névleges kioldóárama $I_{\Delta n} = 300\,\mathrm{mA}$. Számold ki, hogy teljesül-e az $R_A \le U_L / I_{\Delta n}$ feltétel, ha $U_L = 50\,\mathrm{V}$! Mit javasolnál, ha nem teljesül?

6. feladat (D). Egy szigetelési ellenállás mérésénél a fázis–föld érték $0{,}9\,\mathrm{M\Omega}$, a nulla–föld $150\,\mathrm{M\Omega}$, a fázis–nulla $120\,\mathrm{M\Omega}$. A fogyasztókat leválasztották, de a beépített túlfeszültség-védőt nem. Melyik lehet a hiba valószínű oka, és hogyan ellenőriznéd?

24.2.12. Megoldások

24.2.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Mert a multiméter csak néhány mA árammal mér, ami nem mutatja ki a laza, korrodált kötéseket; a folytonosságméréshez legalább 200 mA mérőáram szükséges.
2. 500 V-ot.
3. Mert az SPD a vizsgálófeszültségre is levezethet, és ezzel a szigetelési ellenállás mért értékét lecsökkenti, illetve károsodhat.
4. $R_A = U/I = 3{,}2/0{,}4 = 8\,\Omega$.
5. A mérés után a kábel kapacitásában tárolt töltést ki kell sütni (rövidre zárva, vagy a műszer kisütő funkciójával), hogy elkerüljük az áramütést.

24.2.12.2. Feladatok megoldása

1. feladat.

$$R = 0{,}0175\,\frac{\Omega\,\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}} \cdot \frac{12\,\mathrm{m}}{2{,}5\,\mathrm{mm}^2} = 0{,}084\,\Omega$$

Kerekítve: $0{,}084\,\Omega$.

2. feladat.

- Feszültségmentesítés az öt biztonsági szabály szerint.
- A mérendő áramkörökbe kapcsolt fogyasztókat, elektronikus berendezéseket, dimmereket, SPD-ket le kell választani.
- A megfelelő vizsgálófeszültség kiválasztása a hálózat névleges feszültsége alapján.
- A mérés után a kapacitív töltés kisütése.

3. feladat.

Elméleti ellenállás:

$$R = 0{,}0175 \cdot \frac{22}{1{,}5} = 0{,}257\,\Omega$$

A mért $1{,}8\,\Omega$ ennek mintegy hétszerese, tehát a kötés nem megfelelő; laza vagy korrodált csatlakozás lehet a hálózatban. A szakaszt fel kell deríteni és javítani.

4. feladat.

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{40} + \frac{1}{3} = 0{,}025 + 0{,}333 = 0{,}358$$

$$R_e = \frac{1}{0{,}358} \approx 2{,}79\,\mathrm{M}\Omega$$

Az eredő $2{,}79\,\mathrm{M}\Omega$, tehát átlépi az 1 MΩ határt, de a gyengébb szakasz közeli értékű; érdemes megkeresni a 3 MΩ-os áramkört, mert az már hiba előjele lehet.

5. feladat.

$$R_A \le \frac{50\,\mathrm{V}}{0{,}3\,\mathrm{A}} \approx 166{,}7\,\Omega$$

A mért 27 Ω ennél kisebb, tehát a feltétel teljesül. Ha nem teljesülne, csökkenteni kellene a földelési ellenállást (több földelőszonda, jobb talaj-elrendezés), vagy érzékenyebb áram-védőkapcsolót kellene beépíteni.

6. feladat.

A fázis–föld érték 0,9 MΩ, ami éppen a határ alatt van, míg a többi mérési pont jó. Mivel a fogyasztókat leválasztották, de az SPD-t nem, erős a gyanú, hogy a túlfeszültség-védő vezet le a vizsgálófeszültségre, és ez csökkenti a fázis–föld szigetelési ellenállást. Ellenőrzésképpen le kell választani az SPD-t, majd a mérést megismételni. Ha a mért érték visszaugrik 100 MΩ fölé, a hiba nem a vezetékben, hanem a mérési összeállításban volt. Ha az érték továbbra is alacsony, akkor valódi földzárlat van a fázisvezetőn.

24.2.13. Rövid összefoglaló

A védővezető-folytonosság mérése azt igazolja, hogy a védővezető minden védett pontról a fő földelőkapocsig megszakítás nélkül, kis ellenállással vezet. A mérést legalább 200 mA mérőáramú folytonosságmérővel, feszültségmentes állapotban végezzük, és a mért értéket a vezető hosszából, keresztmetszetéből számított elméleti ellenállással hasonlítjuk össze. A szigetelési ellenállás mérésénél a hálózatnak megfelelő vizsgálófeszültséget (250/500/1000 V) alkalmazunk, az elektronikus fogyasztókat és SPD-ket leválasztjuk, és a mért értéket az 1 MΩ határhoz viszonyítjuk. A földelési ellenállás mérésére hárompontos, négypontos vagy lakatfogós módszert használunk, ügyelve a párhuzamos hurkok torzító hatására. Az eredményt mindig a védelmi feltétellel ellenőrizzük, például TT-rendszerben $R_A \le U_L / I_{\Delta n}$. A mérési eredményeket pontosan dokumentálni kell, mert ezeket a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezetben a további mérésekkel együtt értékeljük, és a jegyzőkönyvben összegezzük.

24.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg a hazai MSZ HD 60364 és MSZ EN 61557 sorozatra támaszkodó gyakorlatot ismerteti, de az alábbi értékeket minden esetben **ellenőrizni kell a hatályos szabványkiadásokban és a műszergyártói adatlapokban**:

- a védővezető-folytonosság méréséhez előírt minimális mérőáram (jelen szöveg: 200 mA),
- a szigetelési ellenállás minimális elfogadási határértéke (jelen szöveg: 1 MΩ),
- a szigetelésmérés vizsgálófeszültség-táblázata (250/500/1000 V),
- a földelési ellenállás mérés hárompontos módszerénél a szondák ajánlott távolságaránya,
- a lakatfogós földelésmérők alkalmazhatósági feltételei.

A pontos szakasz-, táblázat- és mellékletszámokat nem adtuk meg, mert azokat a kiadás előtt célzottan le kell ellenőrizni.

24.3. Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat

A hurokimpedancia és az FI mérése azért került a felülvizsgálati mérések második csoportjába, mert ezekkel már nem egyszerűen a vezeték állapotát, hanem a **hibavédelem működőképességét** ellenőrizzük. A gyakorlatban gyakran az a helyzet, hogy a szigetelési ellenállás kiváló, a folytonosság rendben van, mégis életveszélyes lehet a berendezés, ha a hurokimpedancia túl nagy, vagy ha a FI-relé túl nagy áramnál vagy túl lassan old ki. Ezért ezeket a méréseket nem szabad „letudni” egy műszeres jegyzőkönyvben, hanem értelmezni kell az eredményt.

24.3.1. A hibahurok és a hurokimpedancia szemléletes képe

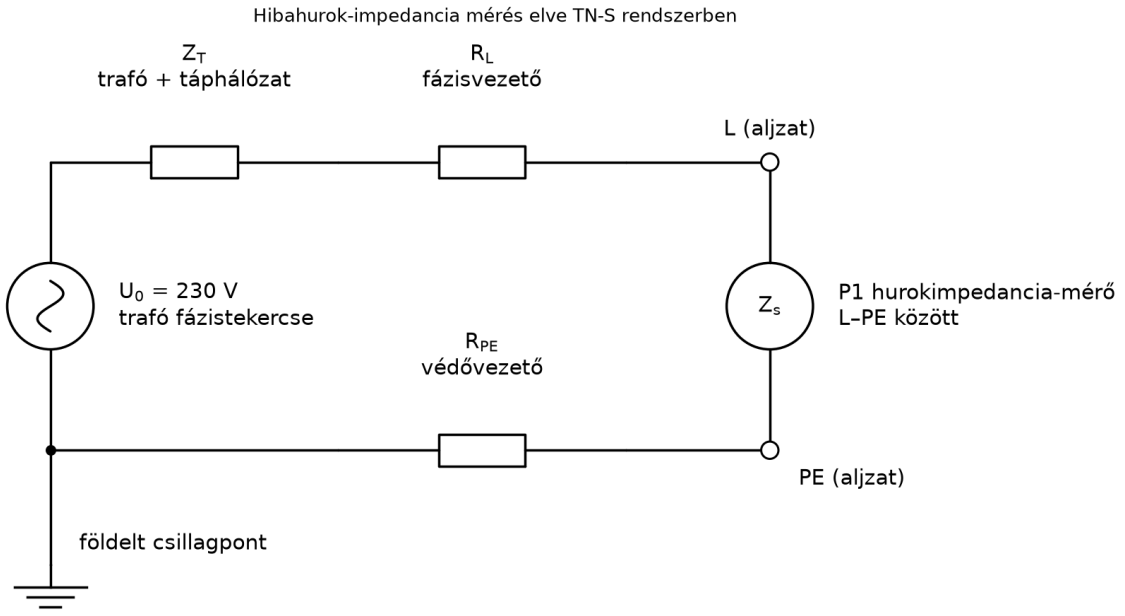
Egy TN-rendszerű hálózatban a testzárlat áram útja a következő: a transzformátor fázistekercsétől a fázisvezetőn keresztül a hibás készülék testéhez, onnan a védővezetőn (PE) keresztül vissza a transzformátor csillagpontjához. Ez az út a **hibahurok**. Az útban lévő impedanciák összege a **hurokimpedancia**, jele Z_s.

A mérés célja annak eldöntése, hogy a hibahurokban folyó zárlati áram elég nagy-e ahhoz, hogy a védőeszköz (kismegszakító, olvadóbiztosító) a megengedett időn belül lekapcsolja a hibás áramkört. Az alapösszefüggést a(z) Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel alfejezet vezette be:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a},$$

ahol U_0 a fázisfeszültség (Magyarországon 230 V), I_a pedig a védőeszköz kioldási árama.

A mérési elv sematikusan:



24.3. ábra. Hibahurok-impedancia mérés elve TN-S rendszerben - A műszer az aljzat L és PE kapcsa közé kötve, feszültség alatt méri a hurok impedanciáját. A mért hurok: a transzformátor fázistekercse és a táphálózat (ZT), a fázisvezető a mérési pontig (RL), majd a védővezető vissza a földelt csillagpontig (RPE): Zs = ZT + RL + RPE.

A rajz azt hangsúlyozza: a mért Z_s nem csak a fogyasztói vezeték ellenállását tartalmazza, hanem a tápláló hálózat és a transzformátor impedanciáját is. Ezért a mérési eredmény helyszínenként eltérő, és a felülvizsgálat során mindig az adott mérési ponton értelmezzük.

Definíció. A hurokimpedancia Z_s a hibaáram útjában lévő teljes impedancia, amelyet feszültség alatti áramkörön, a fázisvezető és a védővezető között mérünk: a műszer rövid ideig ismert terhelőáramot vesz fel, és a hálózati feszültség változásából számítja Z_s-t. A mérést olyan műszerrel végezzük, amely képes a hurok ellenállását és reaktanciáját együttesen, impedanciaként megadni.

24.3.2. Hurokimpedancia mérése és a hőmérséklet-korrekció

A hurokimpedancia mérésére két fő módszer terjedt el:

- **Nagy mérőáramos mérés:** a műszer rövid ideig viszonylag nagy áramot bocsát a hurokba, és a létrejött feszültségesésből számít impedanciát. Pontos, de a régi, nem FI-védett áramköröknél alkalmazható leginkább, mert az FI-relét a tesztáram kioldhatja.
- **FI-kioldás nélküli mérés (non-trip):** a műszer a névleges FI érzékenységnél kisebb, vagy speciális hullámformájú áramot használ, hogy a kapcsolásban lévő FI-relé ne oldjon ki. Ezt a FI-védett áramköröknél kell használni. Pontossága valamivel kisebb, ezért a gyártói utasítást be kell tartani.

Szabvány. A hurokimpedancia-mérést a hatályos MSZ HD 60364-6 ellenőrzési része és az MSZ EN 61557 sorozat szerinti mérőműszerekkel kell elvégezni. A műszernek alkalmasnak kell lennie a hálózat névleges feszültségére és a mért impedancia tartományára. (Az aktuális szabvány pontos kiadását és a megengedett határértékeket a felülvizsgálói gyakorlat szerint ellenőrizni kell.)

A mért hurokimpedancia értékét **hőmérséklet-korrekcióval** kell a tervezési feltételhez igazítani. A mérés általában hideg, jellemzően 20 °C körüli vezetékhőmérsékleten történik. Üzemi zárlatkor azonban a vezetők hőmérséklete magasabb, a réz és alumínium fajlagos ellenállása nagyobb, ezért a hurokimpedancia is nagyobb lesz. A gyakorlatban a mért értéket gyakran egy k_t **hőmérsékleti szorzótényezővel** szorozzuk meg, hogy a legkedvezőtlenebb üzemi körülményt vegyük figyelembe:

$$Z_{s,\text{korrigált}} = k_t \cdot Z_{s,\text{mért}}.$$

A k_t értéke a vezető anyagától, szigetelésétől és a feltételezett üzemi hőmérséklettől függ. Tanulási példaként rézvezetőnél gyakran 1,2–1,5 közötti értékkel számolnak, de a pontos tényezőt a hatályos szabvány és a mérőműszer gyártójának utasítása alapján kell meghatározni. **(ellenőrizendő: aktuális korrekciós előírás)**

Ez ugyanaz az elv, mint az Automatikus lekapcsolás: TN és TT, kioldási feltétel alfejezet $\frac{2}{3}$-os tartaléka: a mért értéket legfeljebb a megengedett érték $\frac{2}{3}$-ával vetjük össze, ami $k_t = 1{,}5$-nek felel meg ($1/1{,}5 = \frac{2}{3}$). A $\frac{2}{3}$-os szabály a legszigorúbb tanulási közelítés; a feladatokban megadott k_t (1,3; 1,4) enyhébb, a feladat szövege szerinti érték. Valós jegyzőkönyvben a műszer gyártójának és a hatályos szabványnak megfelelő egyetlen módszert kell következetesen alkalmazni **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-6, műszergyártói útmutató)**.

Példa. Egy áramkörben a műszerrel mért hurokimpedancia $Z_{s,\text{mért}} = 0{,}72\,\Omega$. A korrekciós tényező $k_t = 1{,}3$. Ekkor a korrigált érték:

$$Z_{s,\text{korrigált}} = 1{,}3 \cdot 0{,}72 = 0{,}936\,\Omega.$$

Ezt az értéket hasonlítjuk össze a megengedett Z_s határértékkel.

24.3.3. A kioldási feltétel ellenőrzése

A kioldási feltétel a TN-rendszerű hibavédelmi előírás:

$$Z_s \le \frac{U_0}{I_a}.$$

A I_a értéke a védőeszköz típusától függ:

- **Kismegszakítóknál** a pillanatkioldó sáv felső határával számolunk: B karakterisztikánál $I_a = 5I_n$, C-nél $10I_n$, D-nél $20I_n$.
- **Olvadóbiztosítóknál** a biztosító kioldási görbéjéből, a megengedett lekapcsolási időhöz tartozó áramot kell venni.

Számítás. Legyen egy B16-os kismegszakítóval védett áramkör. A pillanatkioldó sáv felső határa: $I_a = 5 \cdot 16 = 80\,\text{A}$. A megengedett legnagyobb hurokimpedancia:

$$Z_{s,\max} = \frac{230\,\text{V}}{80\,\text{A}} = 2{,}875\,\Omega.$$

Ha a mért és korrigált $Z_s = 0{,}936\,\Omega$, akkor a feltétel teljesül: $0{,}936 \le 2{,}875$.

Ellenpélda. C20-as kismegszakító esetén $I_a = 10 \cdot 20 = 200\,\text{A}$, így $Z_{s,\max} = 230/200 = 1{,}15\,\Omega$. Ha a korrigált $Z_s = 1{,}38\,\Omega$, akkor a feltétel nem teljesül, mert a hibaáram $I_f = 230/1{,}38 \approx$

166,7 A, ami kisebb a szükséges 200 A-nél. Ebben az esetben a C20-as védelem nem old ki elég gyorsan, ezért vagy nagyobb keresztmetszetű vezetéket, rövidebb nyomvonalat, vagy más védelmi elrendezést kell választani.

24.3.4. Prospektív zárlati áram mérése

A hibahurok-mérő műszerek sokszor közvetlenül a **prospektív zárlati áramot** (I_{psc}, vagy I_k) is ki tudják számítani a mért Z_s-ből:

$$I_{psc} = \frac{U_0}{Z_s}.$$

A kioldási feltétel így is megfogalmazható: a prospektív zárlati áramnak nagyobbnak kell lennie, mint a védőeszköz kioldási árama:

$$I_{psc} \geq I_a.$$

Figyelem. A mért Z_s-ből számított I_{psc} csak akkor megbízható, ha a hálózati feszültség a méréskor közel volt a névleges 230 V-hoz. Ha a mért feszültség jelentősen eltér, a műszer által megadott zárlati áramot a gyártói utasítás szerint korrigálni kell.

Számítás. Az előző példában a korrigált hurokimpedancia $Z_{s,\text{korrigált}} = 0{,}936\,\Omega$. A prospektív zárlati áram:

$$I_{psc} = \frac{230}{0{,}936} \approx 245{,}7\,\text{A}.$$

Ez nagyobb, mint a B16-os kismegszakítóhoz szükséges 80 A, tehát a védelem gyors lekapcsolásra képes.

24.3.5. FI-vizsgálat: kioldási áram és kioldási idő

Az áram-védőkapcsoló (FI, RCD) ellenőrzése két fontos kérdésre keresi a választ:

1. **Kioldási áram:** az FI-relé a névleges $I_{\Delta n}$ differenciaáram körüli értéken oldjon ki, se túl kicsi, se túl nagy áramnál.
2. **Kioldási idő:** a kioldás a szabványban előírt maximális időn belül történjen, hogy a hiba ne okozzon hosszan tartó érintési feszültséget.

A műszeres FI-vizsgálat során a vizsgálóberendezés a FI terhelési oldalán a fázis és a védővezető közé kapcsolja a vizsgálóáramot (az N-csatlakozást csak a feszültség méréséhez használja); így az áram a FI-n át megy ki, és a PE-n, a FI megkerülésével tér vissza – ez a differenciaáram, a névleges differenciaáramnak megfelelő nagyságú, rövid ideig. A fázis és a nulla közé kapcsolt vizsgálóáram oda-vissza átfolyna a Σ-áramváltón, ezért nem hozna létre differenciaáramot. A műszer méri az időt az áram bekapcsolásától a FI-kontaktus tényleges szétválásáig.

A tesztgomb nem helyettesíti a mérést. A próbagomb egy belső ellenálláson át a névlegesnél nagyobb, rögzített differenciaáramot hoz létre, így a kioldólánc működését igazolja, de nem méri a kioldási áramot és időt, és nem vizsgálja a PE-n át záródó utat.

Mérési lépések:

1. Azonosítsd a vizsgálandó áramkört védő FI-t, és a műszert a FI terhelési oldalán lévő aljzathoz vagy kapocshoz csatlakoztasd.
2. Válaszd a FI típusának megfelelő vizsgálati módot (AC: váltakozó differenciaáram; A: egyenirányított, lüktető egyenáram; B: simított egyenáram is).
3. Először végezz **kioldási áram mérést** (rampteszt): a műszer fokozatosan növeli a differenciaáramot, és rögzíti azt az értéket, amelynél a FI kioldott.
4. Ellenőrizd, hogy a mért kioldási áram a névleges érték 50–100%-a közé essen. Például 30 mA névleges FI-nél 15–30 mA közötti kioldás elfogadható. **(ellenőrizendő: aktuális előírás)**
5. Ezután végezz **kioldási idő mérést** a névleges $I_{\Delta n}$ árammal, majd $2I_{\Delta n}$ és $5I_{\Delta n}$ árammal is.
6. Minden időmérést végezd el 0° és 180° fázisszöggel is, mert a FI-relék a hibaáram félhullámának polaritásától függően eltérően viselkedhetnek. Különösen A típusú FI-nél fontos ez, mert a lüktető egyenáramú komponens másként hat a mágneskörre.
7. A mért időket hasonlítsd össze a gyártói adatlapon és a szabványban megadott maximális kioldási időkkel. Általános FI-reléknél tipikus érték: $I_{\Delta n}$-nél legfeljebb 300 ms, $5I_{\Delta n}$-nél legfeljebb 40 ms. Szelektív (S) típusú FI-nél a maximális idők nagyobbak, de a felső határokat itt is a gyártó adja meg. **(ellenőrizendő: szabvány szerinti pontos határértékek)**

Gyakorlati útmutató: hurokimpedancia és FI-mérés egy aljzatkörön

Cél: Ellenőrizni, hogy az aljzatkör hibavédelme (kismegszakító + FI) teljesíti-e az automatikus lekapcsolás követelményeit.

Eszközök és anyagok: hurokimpedancia-mérő (non-trip móddal), FI-vizsgáló, fázissorrendmérő, multiméter, személyi védőfelszerelés, jegyzőkönyv.

Biztonsági korlát. A mérés hálózati feszültségen történik, ezért csak jogosult, arra képzett személy végezheti, a hatályos munkavédelmi előírások szerint. A feladat tanműhelyben oktató felügyeletével, illetve a csatlakoztatás és a műszerkezelés feszültségmentes tanulókörön vagy mérésszimulátoron gyakorolható (a hurokimpedancia- és FI-mérés csak feszültség alatt végezhető). Hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

A mérés előtt mindig kövesd az **öt biztonsági szabályt**, amennyiben a bekötéshez feszültségmentesítésre van szükség:

1. Lekapcsolás.
2. Visszakapcsolás elleni biztosítás.
3. Feszültségmentesség ellenőrzése.
4. Földelés és rövidre zárás (ha a munkamódszer megkívánja).
5. Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.

A hurokimpedancia mérése feszültség alatti mérés: a mérőzsinórokat (dugós adapter) a kör működő aljzatába csatlakoztatjuk; ha a csatlakoztatáshoz burkolatot kell bontani, azt feszültségmentes állapotban végezzük, majd visszaszerelés után kapcsolunk vissza és mérünk. A mérés vezérlését a műszer végzi.

A mérés lépései:

1. Győződj meg arról, hogy a vizsgálandó aljzatkör FI-védett-e; ha igen, kapcsolj a hurokmérőn **non-trip** módba.
2. Ellenőrizd a mérőműszert: a mérőzsinórok épek, a műszer feszültségjelzése működik, a mérési kategória megfelel a hálózatra (általában CAT III 300 V vagy jobb).

3. Csatlakoztasd a műszer L, N, PE vezetékeit az aljzathoz, ügyelve a helyes sorrendre. A mérés mindig az L és PE között történik, a nulla vezeték a műszer belső hivatkozásához kell.
4. Indítsd el a hurokmérést. A műszer kijelzi a mért Z_s értéket és gyakran a hálózati feszültséget is.
5. Ismételd meg a mérést legalább kétszer, és ellenőrizd, hogy az értékek stabilak. Ha nagy az eltérés, keress laza csatlakozást.
6. A mért Z_s-t szorozd meg a hőmérsékleti korrekciós tényezővel, ha a felülvizsgálati módszer ezt előírja.
7. Számítsd ki a megengedett maximális Z_s-t a kismegszakító karakterisztikája alapján: $Z_{s,\max} = U_0 / I_a$.
8. Ha a korrigált mért érték kisebb vagy egyenlő, mint $Z_{s,\max}$, a kioldási feltétel teljesül.
9. Ezután végezd el az FI-vizsgálatot: először ramptesztet a kioldási áramra, majd időmérés $I_{\Delta n}$, $2I_{\Delta n}$ és $5I_{\Delta n}$ áramokkal, mindegyiket 0° és 180° fázisszöggel.
10. Minden mért értéket rögzíts a jegyzőkönyvben, a műszer típusát és gyári számát is feltüntetve.

Ellenőrzési pontok:

- A mért Z_s ne változzon jelentősen ismételt mérésnél (nagy ingadozás rossz kötést jelez).
- A mért feszültség közel legyen a névleges 230 V-hoz (nagy eltérésnél a zárlati áram számítása nem megbízható).
- Az FI ramptesztnél a kioldási áram a névleges érték 50–100% tartományában legyen.
- Az FI időmérésnél a mért idő ne haladja meg a gyártói/szabvány szerinti maximumot.
- A mérések után a FI-t vissza kell kapcsolni (vagy ha további munka következik, az áramkört az öt lépés szerint feszültségmentesíteni kell).

24.3.6. Hibakeresési eset: túl nagy hurokimpedancia

Tünet: Egy felújított konyhai aljzatkör ellenőrzése során a hurokimpedancia-mérő $Z_s = 1{,}25\,\Omega$ értéket mutat. A kör C16-os kismegszakítóval és 30 mA A típusú FI-relével védett.

Első hipotézis: A hálózati oldal vagy a mérőzsinór hibája. A műszerrel a közeli másik aljzaton $0{,}80\,\Omega$ mérhető, tehát a jelenség az adott áramkörre jellemző.

Mérés: A szerelő megismétli a mérést, az érték stabil $1{,}25\,\Omega$. A feszültség 228 V, ami elfogadható. A korrekciós tényező 1,3, így a korrigált hurokimpedancia $1{,}625\,\Omega$. A C16-os kismegszakítóhoz $I_a = 160\,\text{A}$, a megengedett $Z_{s,\max} = 230/160 = 1{,}4375\,\Omega$. A mért érték ezt meghaladja, tehát a kismegszakítós kioldási feltétel nem teljesül; a 30 mA-es FI-vel a hibavédelem formálisan teljesülhet ($Z_s \cdot I_{\Delta n} \ll 230\,\text{V}$, ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41), a nagy hurokimpedancia okát (laza kötés) ettől függetlenül meg kell szüntetni.

Okkeresés: A szerelő megbontja a kör kötéseit. A konyhai aljzat egyik süllyesztett kötődobozában a PE-vezető csatlakozója meglazult, és a felületén enyhe oxidáció látható. A laza kötés megnövelte az átmeneti ellenállást, ami a hurokimpedanciát a megengedett fölé vitte.

Javítás: A kötést tisztítás után újra meghúzzák, az érvéghüvelyt ellenőrzik. A visszaszerelés után a mért Z_s $0{,}88\,\Omega$, korrigálva $1{,}144\,\Omega$, ami már a határérték alatt van. Az FI-vizsgálat is megfelelő.

Megelőzés: Minden kötésnél a gyártói csavarnyomaték betartása, a kötődobozok hozzáférhetősége, és a felülvizsgálat előtti rendszeres szemrevételezés.

24.3.7. Fázissorrend és feszültségmérés

A háromfázisú rendszer ellenőrzésekor a **fázissorrend** mérése is a felülvizsgálat része. A forgó mező iránya a háromfázisú motorok forgásirányát határozza meg, ezért különösen fontos gépek, szivattyúk, kompresszorok csatlakoztatásakor. A fázissorrendmérő műszer a L1, L2, L3 kapcsokra csatlakozik, és kijelzi, hogy a feszültségek sorrendje jobb (L1–L2–L3) vagy bal (L1–L3–L2) irányú.

A fázissorrend mérése feszültségmentes állapotban nem lehetséges, ezért feszültség alatt végezzük; a bekötés előtt a műszer épségét és a mérési kategóriáját kell ellenőrizni. A mérés csak a mérés idejére csatlakoztatott zsinórral történik. A mérési hibák tipikus forrása a felcserélt bekötés, a rossz mérőhegy, vagy az, hogy a műszer nem a fázisokra, hanem a PE-re vagy N-re kerül.

A feszültségmérésnél mind a fázis-fázis feszültségeket (U_v, névlegesen 400 V), mind a fázis-nulla feszültségeket (U_f, névlegesen 230 V) ellenőrizzük. A mért értékeknek közel kell lenniük a névlegeshez, de a hálózati feszültség ingadozhat. A túl nagy aszimmetria, például az egyik fázison 205 V, a másikon 245 V, hibás csatlakozást, laza nullavezetőt vagy terhelési aszimmetriát jelezhet.

Számítás. Egy háromfázisú mérésnél a fázis-nulla feszültségek: $U_{L1-N} = 228\,\text{V}$, $U_{L2-N} = 226\,\text{V}$, $U_{L3-N} = 231\,\text{V}$. A fázis-fázis feszültségek átlagosan 395 V körül alakulnak. Ez elfogadható, mert az eltérés a névlegeshez képest kisebb, mint 10%. Ha a fázis-nulla feszültség 210 V-ra esik, miközben a fázis-fázis 400 V, az a nullavezető meghibásodására utalhat.

24.3.8. Tipikus hibák

1. **Fázis és nulla között mérik a hurokimpedanciát.** A hibavédelem a fázis és a védővezető közötti hurkot vizsgálja. A fázis-nulla mérés hasznos lehet a feszültségesés és a zárlati áram becslésére, de a védővezető állapotát nem ellenőrzi. Helyes gyakorlat: mindig L–PE mérés, mert a testzárlat áram útja ezen a hurkon zárul.
2. **A hőmérsékleti korrekció elhagyása.** A hideg vezetéken mért alacsony Z_s hamis biztonságérzetet adhat. A melegedő vezető ellenállása nő, a hibaáram csökken, és a kismegszakító lassabban old ki. A kioldási feltételt mindig korrigált értékkel ellenőrizzük.
3. **A FI ellenőrzése csak a tesztgombbal.** A próbagomb csak a kioldólánc működését igazolja, de nem ad adatot a kioldási áramról és időről. A valódi vizsgálat műszerrel történik, ahol a kioldási idő és az érzékenység mérhető.
4. **A FI-idő mérésénél csak az egyik félhullámot vizsgálják.** Különösen A típusú FI-nél előfordul, hogy az egyik polaritásnál lassabb a kioldás. Ezért a mérést 0° és 180° fázisszöggel is el kell végezni.
5. **Nem ellenőrzik a mérőműszert a mérés előtt.** A hurokmérő zsinórja, csatlakozói, és a műszer kalibráltsága elengedhetetlen a megbízható eredményhez. A mérés előtti műszerellenőrzés (ismert feszültségforráson, vagy a műszer saját tesztje) nem hagyható ki.

24.3.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: A hurokimpedancia-mérést a fázis és a nulla közé kell kapcsolni.
2. Számítsd ki a megengedett maximális hurokimpedanciát egy C16-os kismegszakító esetén, ha $U_0 = 230\,\text{V}$.
3. Mi a hőmérséklet-korrekció szerepe, és milyen tartományba esik a példákban használt rézvezetős szorzótényező?

4. Mit jelent a FI-vizsgálatnál a 0° és 180° fázisszögű mérés?
5. Miért nem elegendő a FI-relé tesztgombjának megnyomása a biztonsági ellenőrzéshez?

24.3.10. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld a hurokimpedanciát, és sorold fel, hogy mely elemeket tartalmazza egy TN-S rendszerben.

2. feladat (A)
Egy B10-es kismegszakítóval védett áramkörben a mért hurokimpedancia 0,95 Ω. Számítsd ki a korrigált értéket, ha $k_t = 1{,}4$, és a megengedett $Z_{s,\max}$-ot. Teljesül-e a kioldási feltétel?

3. feladat (B)
Egy C16-os kismegszakítóval és 30 mA A típusú FI-relével védett fürdőszobai áramkörben a hurokmérő 1,20 Ω értéket mutat. A méréskor a hálózati feszültség 225 V. A korrekciós tényező 1,3. Számítsd ki a korrigált hurokimpedanciát, a megengedett legnagyobb értéket, a prospektív zárlati áramot, és döntsd el, hogy megfelelő-e a kismegszakítós hibavédelem.

4. feladat (B)
Egy FI-vizsgálat során a 30 mA névleges érzékenységű FI-relénél a rampteszt 22 mA kioldási áramot mutat. Az időmérések: $I_{\Delta n}$-nél 260 ms (0°) és 280 ms (180°), $5I_{\Delta n}$-nél 35 ms (0°) és 38 ms (180°). Értékeld az eredményeket a tipikus határértékek szerint, és indokold.

5. feladat (C)
Egy ipari elosztóban egy D20-as kismegszakító véd egy hosszabb tápvezetéket. A mért hurokimpedancia 0,45 Ω, korrekció nélkül. A hőmérsékleti tényező 1,4. Milyen feltétellel felel meg a kioldási feltétel? Számítsd ki a zárlati áramot is, és magyarázd el, miért lehet kritikus a D karakterisztika hosszú vezetéknél.

6. feladat (D)
Mérési gyakorlatként kapcsolj egy hurokmérőt és FI-tesztelőt egy tanulói aljzatmodellhez. Írd le a lépéseket, és add meg, milyen értékeket várs, ha a modell mögött B16-os kismegszakító és 30 mA FI van. Milyen hibát jelez, ha a mért hurokimpedancia 1,9 Ω, és mit tennél?

24.3.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A hurokimpedanciát a fázis és a védővezető (PE) között mérjük, mert a hibahurok így zárul. A fázis-nulla mérés más célra való.
2. C16: $I_a = 10 \cdot 16 = 160\,\text{A}$, így $Z_{s,\max} = 230/160 = 1{,}4375\,\Omega$.
3. A korrekció a hideg vezetőn mért értéket a meleg üzemi állapotra számítja át, mert melegen nő az ellenállás. A példákban használt rézvezetős tényező jellemzően 1,2–1,5 közé esik.
4. A 0° és 180° azt jelenti, hogy a FI-tesztelő a hibadifferenciaáramot mindkét polaritásban (mindkét félhullámban) létrehozza, így a FI mindkét mágneses irányban vizsgált. Különösen A típusnál fontos.
5. A próbagomb egy belső ellenálláson át rögzített differenciaáramot hoz létre, így a kioldólánc működését igazolja, de nem méri a tényleges kioldási áramot és időt, nem mutatja az érzékenység romlását, és a PE-n át záródó utat sem vizsgálja. A szabványos ellenőrzés műszeres.

1. feladat megoldása
A hurokimpedancia Z_s a hibaáram útjában lévő teljes impedancia, amely TN-S rendszerben magában foglalja a transzformátor belső impedanciáját, a fázisvezető impedanciáját a mérési pontig, a védővezető (PE) impedanciáját a mérési ponttól a transzformátor csillagpontjáig, valamint minden kötés átmeneti ellenállását.

2. feladat megoldása
B10: $I_a = 5 \cdot 10 = 50\,\text{A}$.
$Z_{s,\max} = 230/50 = 4{,}6\,\Omega$.
Korrigált $Z_s = 1{,}4 \cdot 0{,}95 = 1{,}33\,\Omega$.
Mivel $1{,}33 \leq 4{,}6$, a feltétel teljesül.

3. feladat megoldása
C16: $I_a = 10 \cdot 16 = 160\,\text{A}$; $Z_{s,\max} = 230/160 = 1{,}4375\,\Omega$ (a feszültség 225 V-nál kissé csökken, de a példában a névlegessel számolunk).
Korrigált $Z_s = 1{,}3 \cdot 1{,}20 = 1{,}56\,\Omega$.
Mivel $1{,}56 > 1{,}4375$, a kismegszakítós hibaáram nem éri el a pillanatkioldó sáv felső határát, így a kioldási feltétel nem teljesül.
Prospektív zárlati áram a korrigált értékkel: $I_{psc} = 230/1{,}56 = 147{,}4\,\text{A}$, ami kisebb a szükséges 160 A-nél.
A kör hibavédelmét a 30 mA-es FI is teljesítheti: $Z_s \cdot I_{\Delta n} = 1{,}56 \cdot 0{,}03 \approx 0{,}05\,\text{V} \ll 230\,\text{V}$, így a kör hibavédelmi szempontból megfelelhet; a kismegszakító ekkor a zárlatvédelmet adja.
A nagy Z_s viszont rossz kötésre vagy túl hosszú/vékony vezetékre utal, amit ki kell vizsgálni **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41 feltételei)**.

4. feladat megoldása
A kioldási áram 22 mA a 30 mA névleges érték 73,3%-a, ami jó.
A tipikus határértékek szerint az $I_{\Delta n}$-nél mért idő legfeljebb 300 ms lehet; itt 260 és 280 ms megfelelő.
$5I_{\Delta n}$-nél a tipikus határ 40 ms; itt 35 és 38 ms szintén megfelelő.
Az eredmények elfogadhatók.

5. feladat megoldása
D20: $I_a = 20 \cdot 20 = 400\,\text{A}$.
$Z_{s,\max} = 230/400 = 0{,}575\,\Omega$.
Korrigált $Z_s = 1{,}4 \cdot 0{,}45 = 0{,}63\,\Omega$.
Mivel $0{,}63 > 0{,}575$, a feltétel nem teljesül.
Zárlati áram korrigált értékkel: $I_{psc} = 230/0{,}63 \approx 365\,\text{A}$, ami kevesebb a szükséges 400 A-nél.
A D karakterisztika nagy kioldási árama hosszú vezetéknél kritikus, mert a hurokimpedancia megnő, és a zárlati áram már nem éri el a pillanatkioldó értéket.

6. feladat megoldása
A lépések megegyeznek a gyakorlati útmutató lépéseivel. Várható értékek: a mért Z_s egy rövid tanulókörön jellemzően 0,3–0,8 Ω között lehet, korrigálva legfeljebb 1,1 Ω; a B16-oshoz megengedett 2,875 Ω, tehát a mérés megfelel. A FI-vizsgálatnál a kioldási áram 15–30 mA között, a kioldási idő 300 ms alatt legyen. Ha a mért hurokimpedancia 1,9 Ω, az a B16-os feltételt még teljesíti ($1{,}9 < 2{,}875$), de ha ez már korrigált érték, és a kör hosszú, akkor érdemes ellenőrizni a feszültségesést, és megnézni a kötéseket. A szerelőnek meg kell ismételnie a mérést, meg kell nézni a csatlakozások szorosságát, és ha az érték továbbra is magas, a vezeték keresztmetszetét vagy a nyomvonalat kell felülvizsgálni.

24.3.12. Rövid összefoglaló

A hibahurok-impedancia mérése a fázis és a védővezető közötti Z_s értéket adja, amely a hibaáram útjának teljes impedanciája. A kioldási feltétel TN-rendszerben: $Z_s \le U_0 / I_a$. Kismegszakítóknál I_a a pillanatkioldó sáv felső határa: B esetén $5I_n$, C esetén $10I_n$, D esetén $20I_n$. A mért Z_s-t hőmérséklet-korrekcióval kell a meleg üzemi állapotra átszámítani, mert meleg vezetőn az ellenállás nagyobb. A prospektív zárlati áram $I_{psc} = U_0 / Z_s$, és legalább akkorának kell lennie, mint a védőeszköz kioldási árama. Az FI-relé vizsgálata a kioldási áram és a kioldási idő méréséből áll; a mérést 0° és 180° fázisszöggel is el kell végezni. A tesztgomb nem helyettesíti a műszeres vizsgálatot. A fázissorrend és a feszültségek ellenőrzése a háromfázisú rendszer állapotát mutatja. A mért értékeket a jegyzőkönyvben rögzítjük, és ezek alapján nyilatkozunk a berendezés szabványosságáról. A kapott eredmények a felülvizsgálati jegyzőkönyv és a szabványossági nyilatkozat alapját képezik, amit a(z) Jegyzőkönyv, szabványossági felülvizsgálat és hibakeresés alfejezet tárgyal.

24.4. Jegyzőkönyv, szabványossági felülvizsgálat és hibakeresés

A méréseknek akkor van értékük, ha az eredményük egyértelműen visszakereshető, és a későbbi felülvizsgálatokkal összehasonlítható. Egy lakáselosztó FI-reléjének vizsgálata után például nem elég annyit mondani: „jó”. Azt kell tudni, hogy a kioldási idő 24 ms volt $1 \times I_{\Delta n}$-nél, a hurokimpedancia 0,62 Ω, és ezeket az értékeket milyen műszerrel, milyen időpontban, milyen hálózati viszonyok között mérték. Ha a berendezés később meghibásodik, vagy baleset történik, a mérési jegyzőkönyv lesz az egyik legfontosabb bizonyíték arra, hogy a szerelés megfelelt-e a követelményeknek.

24.4.1. Szemléletes kép

Egy frissen felújított lakás elosztójában a szerelő befejezte a védelmi méréseket. A jegyzőkönyvben a következő sorok szerepelnek:

> **Berendezés:** Lakásfőelosztó (1. emelet 4. ajtó)
> **Hálózati rendszer:** TN-C-S
> **Mérőműszer:** FLUKE 1664 FC (gyári szám: …; kalibrálás érvényes: …)
> **Szigetelési ellenállás L–N:** $> 200\,\mathrm{M\Omega}$
> **Hurokimpedancia L–PE:** 0,62 Ω (mért), $I_k \approx 370\,\mathrm{A}$
> **FI-relé kioldási ideje 30 mA-nél:** 24 ms
> **Értékelés:** megfelel a hatályos előírásoknak.

Ebből a képből látszik, hogy a jegyzőkönyv nemcsak a mérési értékeket, hanem a mérés körülményeit és a mérőeszköz azonosító adatait is tartalmazza. A későbbi hibakereséskor vagy egy rendkívüli felülvizsgálatkor ezeket az adatokat lehet visszakeresni, és az új mérésekkel összevetni.

24.4.2. A mérési jegyzőkönyv szerkezete és kötelező adatai

Szabály. A mérési jegyzőkönyvnek legalább az alábbi adatcsoportokat kell tartalmaznia, a hatályos ellenőrzési előírások szerint (ellenőrizendő: aktuális szabvány és rendelet szerinti formanyomtatvány):

1. **A felülvizsgáló azonosítása:** név, képesítés, nyilvántartási azonosító, elérhetőség, aláírás.

2. **A berendezés azonosítása:** helyszín (pontos cím, épületrész, elosztó megnevezése), a hálózati rendszer típusa (TN-C-S, TN-S, TT, IT), a fő védőberendezések típusa és névleges adatai.
3. **A mérőműszerek azonosítása:** típus, gyári szám, a kalibrálás érvényessége, a mérési kategória (CAT) és a méréshatár.
4. **A mérési időpont és körülmények:** dátum, idő, hőmérséklet, páratartalom, a berendezés állapota (feszültség alatt vagy feszültségmentes), és az esetlegesen fennálló környezeti tényezők.
5. **A mérési eredmények és a határértékek:** minden mért mennyiségnél a mért érték, a megengedett határérték vagy kioldási feltétel, és az is, hogy a mért érték megfelel-e.
6. **A minősítés:** „megfelel”, „nem felel meg”, illetve a javításra vonatkozó feltételek.
7. **Megjegyzések:** a berendezésen tapasztalt eltérések, hiányzó feliratok, sérülések, a mérés során észlelt kockázatok.
8. **Aláírás és dokumentum-azonosító:** a jegyzőkönyv oldalszáma, kelte, és a felülvizsgáló aláírása, szükség esetén elektronikus azonosítás.

Megjegyzés. A pontos formanyomtatvány és a kötelező mezők a hatályos jogszabályok és a vonatkozó szabványok szerint változhatnak; a mérést végzőnek mindig az éppen érvényes előírás szerinti jegyzőkönyvet kell használnia. Az itt leírt szerkezet a gyakorlatban használt jegyzőkönyvek közös elemeit foglalja össze.

Példa. Egy háromfázisú lakáselosztónál a jegyzőkönyvben szereplő sorok:

Mérés	Mért érték	Határérték / feltétel	Értékelés
Védővezető folytonossága	$0{,}35\,\Omega$	a számított vezetőellenállás nagyságrendje (példa)	megfelel
Hurokimpedancia L–PE	$0{,}62\,\Omega$	$Z_s \le U_0/I_a$; 16 A B-karakterisztikájú MCB-nél $Z_s \le 2{,}875\,\Omega$ (példa, ellenőrizendő)	megfelel
Szigetelési ellenállás L-N	$> 200\,\mathrm{M}\Omega$	$\ge 1\,\mathrm{M}\Omega$ (példa, ellenőrizendő)	megfelel
FI-relé kioldási ideje $1 \times I_{\Delta n}$ mellett	24 ms	≤ 300 ms hálózati feszültségű áramkörben (példa, ellenőrizendő)	megfelel

A táblázatban a határértékeket jelölni kell, hogy azok szemléltető értékek, mert a konkrét szabványok és a gyártói adatok eltérhetnek.

24.4.3. Jegyzőkönyv-kitöltési algoritmus

Recept. A mérési jegyzőkönyv kitöltésének célszerű sorrendje:

1. **Rögzítsd a berendezés alapadatait:** a helyszínt, a hálózati rendszert, a vizsgált áramkörök megnevezését, a fő- és védőberendezéseket.
2. **Vedd fel a mérőműszer adatait:** típus, gyári szám, kalibrálási érvényesség, a mérési kategória. Ne kezdj mérésbe, amíg a műszer érvényes kalibrációját nem ellenőrizted.

3. **Határozd meg a mérési pontokat:** mely kapcsokon, melyik vezetékek között végzed a mérést, és milyen állapotban (feszültségmentes vagy feszültség alatt).
4. **Végezd el a méréseket a biztonsági előírások betartásával:** a feszültségmentes méréseknél alkalmazd az öt biztonsági szabályt; feszültség alatt csak a megfelelő CAT-besorolású műszerrel és a vonatkozó munkavédelmi engedélyek birtokában dolgozz.
5. **Írd be a mért értékeket a jegyzőkönyvbe:** minden mért érték mellé kerüljön a határérték, a megengedett feltétel, és az, hogy megfelelt-e. Ne kerekíts úgy, hogy a határértékhez közeli érték eltűnjön; a pontos számított és mért értéket rögzítsd.
6. **Értékeld az eredményeket:** ha egy érték nem felel meg, jelöld egyértelműen, és írd le a szükséges javítást. Nem szabad a jegyzőkönyvben „javítás nélkül megfelelt” minősítést adni, ha a mérési érték a határértéket éppen hogy túllépi.
7. **Készítsd el a dokumentációt:** aláírás, keltezés, a jegyzőkönyv oldalszáma, és csatold a kapcsolási rajz kivonatát, ha a mérési pontokat jelölni kell.
8. **Őrizd meg a jegyzőkönyvet:** a felülvizsgáló és a megrendelő is kapjon példányt; a digitális változatot is archiváld.

Ellenőrzés a kitöltés után: Nézd át, hogy minden mért adat visszakereshető-e, a műszer azonosítója egyértelmű-e, és a határértékek az aktuális szabványnak megfelelőek-e.

24.4.4. Szabványossági felülvizsgálat: típusok és gyakoriság

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések ellenőrzésére és felülvizsgálatára vonatkozó követelményeket az MSZ HD 60364-6 szabványsorozat tartalmazza; a felülvizsgálatok típusait és gyakoriságát a hatályos magyar jogszabályok is előírják, ezért a konkrét időközöket mindig az éppen érvényes rendelet szerint kell meghatározni. A következő általános kategóriák a gyakorlatban jellemzőek (ellenőrizendő: aktuális rendeleti melléklet):

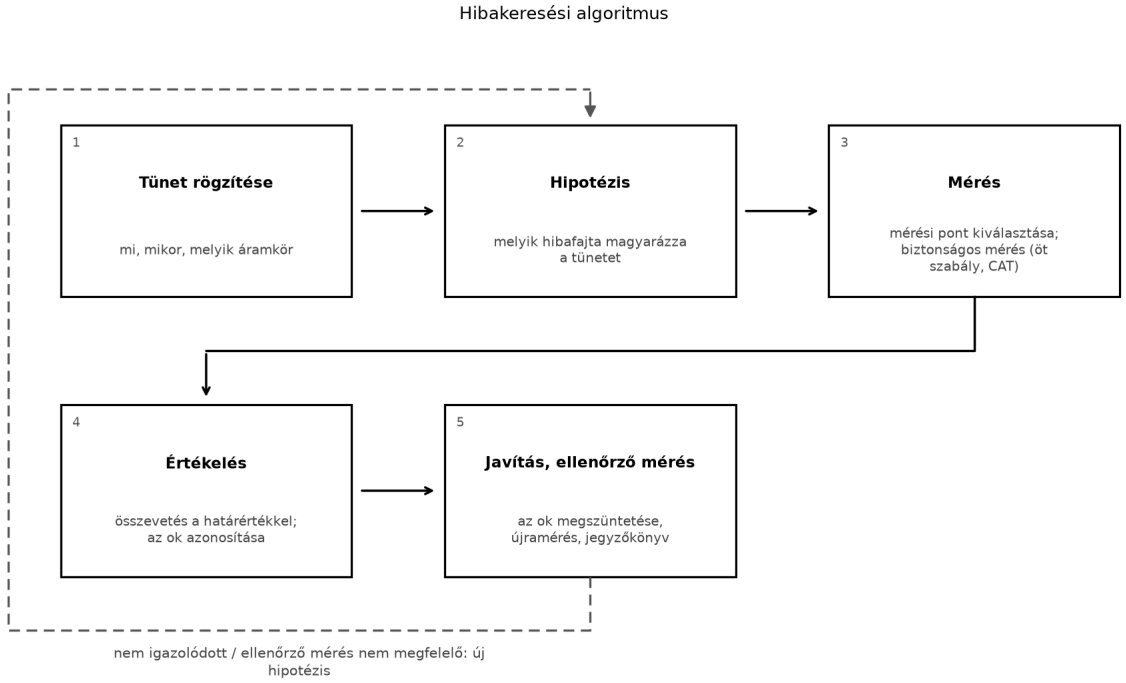
- **Első felülvizsgálat:** új létesítés, jelentős bővítés, átalakítás vagy hálózati átrendezés után, még az üzembe helyezés előtt. Ennek része a szemrevételezés, a működési próbák és a teljes körű mérés.
- **Időszakos felülvizsgálat:** a berendezés használatának és kockázatának megfelelő rendszerességgel. Az időszakos felülvizsgálatot a hazai jogszabályok elsősorban munkahelyekre (munkavédelmi szabályozás – villamos berendezések szabványossági felülvizsgálata) és tűzvédelmi szempontból (OTSZ – erősáramú villamos berendezések időszakos felülvizsgálata) írják elő, a környezettől függően jellemzően 3 vagy 6 évente; magánlakásra ilyen kötelezettség általában nincs, de ajánlott **(ellenőrizendő: hatályos munkavédelmi/NGM-ITM rendelet, OTSZ, intervallumok)**. Nedves, poros, robbanásveszélyes vagy nagy igénybevételű helyeken gyakrabban kell vizsgálni.
- **Rendkívüli felülvizsgálat:** baleset, tűz, súlyos üzemzavar, villámcsapás, tartós túlterhelés vagy olyan változás után, amely a berendezés biztonságát befolyásolhatja. Rendkívüli felülvizsgálatot kell végezni akkor is, ha a berendezésben hibát tapasztalnak, tulajdonosváltáskor pedig a felülvizsgálat ajánlott, ha a biztonságosság nem igazolható.
- **Eseti (célzott) ellenőrzés:** például egy-egy mérés megismétlése, javítás utáni visszaellenőrzés, vagy panasz kivizsgálása.

Szabály. A felülvizsgálatnak három egymásra épülő része van: **szemrevételezés**, **működési próbák**, **műszeres mérés**. A jegyzőkönyv ezek eredményét egységesen dokumentálja. A hibakeresés során is gyakran éppen egy elmaradt időszakos felülvizsgálat deríti ki a lappangó hibát.

24.4.5. Hibakeresési módszertan: tünet, hipotézis, mérés, ellenőrzés

A hibakeresés nem találgatás, hanem szisztematikus vizsgálat. Az alábbi módszer (tünet → hipotézis → mérés → ellenőrzés, hét lépésben kibontva) segít elkerülni, hogy a szerelő feleslegesen bontson meg jó alkatrészeket, vagy veszélyes módon, feszültség alatt keresse a hibát.

Módszertan. A hibakeresés alapalgoritmusa a következő:



24.4. ábra. Hibakeresési algoritmus - A hibakeresés mindig a tünet pontos rögzítésével kezdődik, és a javítás utáni ellenőrző méréssel, dokumentálással zárul. Ha a mérés nem igazolja a hipotézist, vagy az ellenőrző mérés nem megfelelő, új hipotézist kell felállítani. A szöveg hét lépése itt öt dobozba összevonva szerepel.

A lépések részletesen:

1. **Tünet rögzítése.** Mit észlel a felhasználó? Mikor jelentkezik a hiba (pl. csak esőben, csak nagy terhelésnél, indításkor)? Melyik áramkör érintett? A tünet pontos leírása nélkül a hipotézis is bizonytalan lesz.
2. **Hipotézis felállítása.** Milyen hibafajta magyarázhatja a tünetet? Például: ha a FI-relé leold, a feltételezett ok lehet szigetelési hiba (szivárgóáram), az N és a PE összekötése a FI után, vagy nagy szivárgóáramú készülékek összegződése; túlterhelés csak RCBO esetén okozhat kioldást (a túláram-kioldóján). A hipotézist a méréssel kell igazolni vagy elvetni.
3. **Mérési pont kiválasztása.** Határozd meg, hol és milyen méréssel lehet a hipotézist legjobban ellenőrizni. Szigetelési hiba gyanúja esetén például a fogyasztókat le kell választani, és az egyes szakaszokat szakaszonként kell mérni.
4. **Biztonságos mérés elvégzése.** A mérést mindig a megfelelő mérési móddal és műszerrel végezd. Feszültségmentes állapotban folytonosságot és szigetelést mérj; feszültség alatt áramot, feszültséget és hurokimpedanciát (ez utóbbit csak jogosult személy, a biztonsági szabályok szerint).

5. **Eredmény összehasonlítása határértékkel.** A mért értéket az aktuális szabvány és a gyártói adatlap határértékével hasonlítsd össze. A hurokimpedanciánál például a mért Z_s értékből számítható a $I_k = U_0/Z_s$ zárlati áram, és ezt a védőeszköz kioldási áramával kell összevetni.
6. **Ok azonosítása és javítás.** Ha a mérés igazolta a hibát, az okot meg kell szüntetni, nem csak a tünetet. Például ne csak cseréld a leoldó kismegszakítót, ha az ok a túl magas terhelés vagy a laza kötés; a vezetéket és a kötést is javítsd.
7. **Ellenőrző mérés és dokumentálás.** A javítás után mindig végezd el újra a korábban hibás mérést, és töltsd ki a mérési jegyzőkönyvet, amely igazolja a hiba megszűnését.

Továbbvitt eredmény. Ezt a módszert használjuk a géphibakeresésnél (Diagnosztika: szemrevételezés, mérések, hibajegyzőkönyv), a motorvezérlések hibakeresésénél (Vezérlések hibakeresése), az épületvillamossági modelleken végzett gyakorlatoknál (Hibakeresés épületvillamossági modelleken) és a védelmi mérések gyakorlatánál (Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése).

24.4.6. Hibafajták: szigetelési hiba, szakadás, kötés lazulása, túlterhelés

A leggyakoribb négy hibafajta jellemzői:

Szigetelési hiba. Tünete lehet a FI-relé leoldása, zárlati áram, vagy a szigetelési ellenállás csökkenése. A mérés módja: feszültségmentes állapotban, 500 V DC vizsgálófeszültséggel a fázis és a védővezető, illetve a fázis és a nulla között. Ha a mért érték kisebb a megengedettnél (például lakossági áramköröknél jellemzően 1 MΩ alatt van, de az aktuális határértéket ellenőrizni kell), akkor szigetelési hibáról beszélünk. Ok lehet sérült vezetékszigetelés, nedvesség a kötődobozban, vagy hibás fogyasztó.

Szakadás. Tünete: a fogyasztó nem működik, de a kismegszakító nem old le. A folytonosságmérés 0 Ω-hoz közeli értéket vár, ha az áramkör ép; ha a mért ellenállás nagy, a vezeték vagy a kötés szakadt. A szakadás gyakran rossz érvéghüvelyezés, törés a hajlításnál, vagy laza sorkapocs miatt alakul ki. A mérést feszültségmentes állapotban kell végezni, először a vezető két vége között, majd szükség esetén szakaszonként.

Kötés lazulása. Tünete: a csatlakozás melegszik, a kötés helyén szikrázás, szag, vagy a fogyasztó időnként kimarad. A laza kötés hőt termel, ami roncsolhatja a szigetelést és tüzet okozhat. A méréshez feszültség alatt lakatfogóval áramot, és a kötés két pontján feszültségesést lehet mérni; feszültségmentes állapotban pedig nagy áramú méréssel vagy mikroohmmérővel a csatlakozó ellenállását. A javítás a csavarkötés meghúzása a megfelelő nyomatékkal, esetleg a sorkapocs cseréje.

Túlterhelés. Tünete: a kismegszakító időnként leold, de rövidzárlatnak nincs jele. A mérés lakatfogóval történik, áramot mérve az egyes fázisokban. Ha az áram tartósan meghaladja a vezeték terhelhetőségét, akkor a vezeték, a védőeszköz és a csatlakozók is melegednek. A megoldás nem a nagyobb névleges áramú kismegszakító beépítése, hanem a terhelés csökkentése vagy az áramkör szétosztása, illetve a $I_b \le I_n \le I_z$ elv betartása (üzemi áram → kismegszakító névleges árama → vezeték terhelhetősége).

24.4.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy régi lakásban a FI-relé a nyári hónapokban esténként, véletlenszerűen leoldott. A tulajdonos először ki akarta cserélni a FI-relét, mert azt hitte, hogy az öreg, és „néha beugrik”. A szerelő a hibakeresési módszert követte:

- **Tünet:** a FI-relé leold, főként akkor, amikor a régi hűtőszekrény kompresszora beindul, és a hűtő mögött dohos szag érezhető.
- **Hipotézis:** a hűtőszekrény kompresszorának szigetelése részben meghibásodott, és az indításkor keletkező szivárgó áram lépi túl a FI-relé 30 mA-es érzékenységét.
- **Mérés:** a szerelő a hűtő áramkörét leválasztotta, majd a hűtőt hálózati feszültségről leválasztva elvégezte a szigetelési mérést a fázis–PE között. A mért érték 0,08 MΩ volt: ez a határérték alatt van, de 230 V-on csak kb. 3 mA szivárgást jelent ($230\,\mathrm{V}/80\,\mathrm{k\Omega} \approx 2{,}9\,\mathrm{mA}$), ami önmagában nem old ki 30 mA-es FI-t. A kioldáskori (párás, induló kompresszoros) állapotban a szigetelés ennél jóval rosszabb lehet; a hibahely ellenállása a 15–30 mA-es kioldási tartományban kb. 7,7–15 kΩ lenne ($230\,\mathrm{V}/30\,\mathrm{mA} \approx 7{,}7\,\mathrm{k\Omega}$). A hiba tehát időszakos, nedvességfüggő.
- **Ok:** a kompresszor tekercsének szigetelése elöregedett, a lecsapódó nedvesség miatt időszakosan vezető utat képezett a védővezető felé.
- **Javítás:** a hűtőt ki kellett cserélni, a FI-relét nem érintették.
- **Ellenőrzés:** a csere után a FI-relé már nem oldott le, és a szigetelési mérés $> 200\,\mathrm{M\Omega}$ értéket adott. A jegyzőkönyvbe bekerült a hiba oka, a javítás módja és az ellenőrző mérés.

A tanulság az, hogy a FI-relé nem „idegességből” old le, hanem mindig van oka. A jegyzőkönyv pedig azt is igazolja, hogy a szerelő nem tüneti kezelést végzett, hanem a hibát megszüntette.

24.4.8. Gyakorlati útmutató: jegyzőkönyv kitöltése és hibakeresési gyakorlat

Cél: Tanműhelyi modellen gyakorold a mérési jegyzőkönyv kitöltését és egy szándékosan beépített hiba azonosítását.

Eszközök és anyagok: - Tanműhelyi elosztómodell FI-relével, kismegszakítóval, pár fogyasztóval és mérési pontokkal (törpefeszültségű vagy leválasztott, oktató által felügyelt környezet). - Szigetelési ellenállásmérő, multiméter, hurokimpedancia-mérő (a modellhez illesztett vagy szimulált mérési lehetőség). - Mérési jegyzőkönyv-formanyomtatvány (papíron vagy elektronikusan). - Alapkapcsolási rajz a mérési pontok megnevezésével. - Egyéni védőeszközök, zárt munkaterület.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A hurokimpedancia- és FI-mérések valós hálózaton feszültség alatt történnek, ezért azokat kizárólag a hatályos munkavédelmi szabályok szerint, jogosult személy végezheti. A tanműhelyi gyakorlatban a modell mindig feszültségmentes legyen, kivéve, ha az oktató kifejezetten feszültség alatti mérést engedélyez.

Az öt biztonsági szabály a mérés megkezdése előtt: 1. Lekapcsolás (a modell táplálásának megszüntetése). 2. Visszakapcsolás elleni biztosítás (letiltás, kulcs eltávolítása, kitiltó tábla). 3. Feszültségmentesség ellenőrzése (kétpólusú feszültségmérővel a mérési pontokon). 4. Földelés és rövidre zárás (ahol a munkakörnyezet előírja). 5. Szomszédos feszültség alatti részek lefedése (ha van).

A gyakorlat lépései:

1. **Töltsd ki a jegyzőkönyv fejlécét:** helyszín, a modell azonosítója, a hálózati rendszer (pl. TN-C-S szimuláció), a mérőműszer adatai.
2. **Olvasd el az alapkapcsolási rajzot:** azonosítsd a mérési pontokat (L1, L2, L3, N, PE) és a védőberendezéseket.
3. **Végezd el a folytonosságmérést** a védővezetőn a fő PE-sín és a fogyasztói PE-kapocs között. Jegyezd fel a mért ellenállást.
4. **Végezd el a szigetelési mérést** az egyes fázisok és a PE, valamint a fázis és N között. Minden mérés előtt ellenőrizd a mérőeszköz működését.

5. **Hurokimpedancia-mérés:** a modellen csak az oktató által engedélyezett, feszültség alatti mérésként vagy szimulátorral. Számítsd ki a zárlati áramot: $I_k = U_0 / Z_s$.
6. **Vizsgáld meg a FI-relét** (ha a modell szimulálja): mérd meg a kioldási időt $1 \times I_{\Delta n}$-nél.
7. **Azonosítsd a beépített hibát:** például az oktató egy laza csavart vagy egy szándékos szigetelési hibát helyezett el. A mért értékek alapján határozd meg, melyik hibafajtáról van szó.
8. **Javítsd ki a hibát** (a modellen ez általában a kapocs meghúzása vagy egy vezeték cseréje), majd **ismételd meg a vonatkozó mérést**.
9. **Töltsd ki a jegyzőkönyvet** a javítás utáni értékekkel, és írd le a hiba okát, a javítás módját.
10. **Ellenőrizd a dokumentációt:** minden mért adat, határérték és minősítés szerepeljen.

Ellenőrzési pontok: - A folytonosságmérésnél a vezeték ellenállása kb. $0{,}2\,\Omega$ alatt legyen (a modell hosszától függően; szemléltető érték). - A szigetelési ellenállás a javítás után érje el a határértéket (230/400 V-os körnél $\geq 1\,\mathrm{M}\Omega$, ellenőrizendő), és jóval haladja meg a javítás előtti értéket. - A jegyzőkönyvben a hiba oszlopban szerepeljen az eredeti mért érték és a javítás utáni érték is.

Tipikus hibák a gyakorlatban: - A mérési jegyzőkönyvet kitöltik, de a műszer kalibrálási adatait üresen hagyják; ez a jegyzőkönyvet hiteltelenné teheti. - A folytonosságmérést a fogyasztók csatlakoztatott állapotában végzik, ami hamis eredményt adhat; a mérés előtt le kell választani a fogyasztókat. - A javítás utáni ellenőrző mérést elfelejtik, így a jegyzőkönyv nem igazolja a hiba megszűnését.

24.4.9. Tipikus hibák a mérési és hibakeresési munkában

1. **A jegyzőkönyvben csak a „megfelelt” szó szerepel, mérési adatok nélkül.** Ez a leggyakoribb hiba. Egy ilyen jegyzőkönyv semmit sem igazol, és egy baleset utáni eljárásban a szerelő nem tudja bizonyítani, hogy a mérést elvégezte. Helyes gyakorlat: minden mért értéket és a határértéket rögzíteni.
2. **A hibakeresés során a védőeszközt kísérletileg cserélgetik.** Ha például a kismegszakító leold, és a szerelő „kipróbál egy nagyobbat”, súlyos túlterhelést vagy zárlatot is okozhat, ráadásul a vezeték és a készülék védelmét veszélyezteti. Helyes: mérni kell az áramot, a terhelést és a zárlati áramot, és a $I_b \leq I_n \leq I_z$ elv szerint dönteni.
3. **A feszültség alatt végzett hibakeresés nem megfelelő mérési kategóriájú műszerrel.** Egy alacsony CAT-besorolású multiméterrel a hálózati feszültségű ponton mérve a műszer megsérülhet, és a mérő személy is áramütést szenvedhet. Helyes: hálózati feszültségen csak CAT III vagy CAT IV minősítésű, megfelelő mérőzsinórral rendelkező műszert szabad használni, és a munkát csak jogosult személy végezheti.
4. **A javítás után nem végeznek ellenőrző mérést.** A hiba látszólag megszűnik, de a kiváltó ok nem; például egy laza kötés meghúzása után a szigetelési ellenállást nem mérik újra, így egy részleges sérülés rejtve marad. Helyes: minden javítás után újra mérni és dokumentálni.

24.4.10. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A mérési jegyzőkönyvben elegendő annyit írni, hogy „a berendezés megfelelt”, a mérési értékekre nincs szükség. Indokold röviden.
2. **Milyen adatokat kell tartalmaznia a mérőműszerre vonatkozó résznek a jegyzőkönyvben?** Sorolj fel legalább négyet.

3. **Egy FI-relé minden este leold. Milyen hibafajtára gyanakszol először?** Nevezd meg a hibafajtát, és írd le, milyen méréssel ellenőrizhető.
4. **Milyen sorrendet követsz a hibakeresésnél?** Írd le a lépéseket a saját szavaiddal.
5. **A mérési jegyzőkönyvben a hurokimpedancia mért értéke** $0{,}8\,\Omega$**, az U0** $230\,\mathrm{V}$**. Mekkora a számított zárlati áram?** (Egyszerű számítás.)
6. **Mi a veszélye annak, ha egy túlterheléses áramkört nagyobb névleges áramú kismegszakítóval próbálnak „javítani”?**

A válaszokat a `### Megoldások` részben találod.

24.4.11. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a mérési jegyzőkönyv nyolc fő adatcsoportját, és mindegyikhez írj egy konkrét példát.

2. feladat (A). Írd le, mi a különbség az első felülvizsgálat, az időszakos felülvizsgálat és a rendkívüli felülvizsgálat között. Mikor kell rendkívüli felülvizsgálatot végezni?

3. feladat (B). Egy irodai elosztóban a kismegszakító 16 A B-karakterisztikájú. A mért hurokimpedancia $0{,}45\,\Omega$, az $U_0 = 230\,\mathrm{V}$.
a) Számítsd ki a zárlati áramot.
b) Állapítsd meg, hogy a 16 A B-kismegszakító kiold-e a számított zárlati áramnál, ha a pillanatkioldó áram $5 \times I_n$ (feltétel: $I_k \geq I_a$, ahol $I_a = 5 \times 16\,\mathrm{A} = 80\,\mathrm{A}$).
c) Írd le, hogyan írnád be ezt az eredményt a jegyzőkönyvbe, a határértékkel együtt.

4. feladat (B). Egy lakásban a FI-relé 30 mA érzékenységű, és leold éjszaka. A szerelő leválasztja a mosógép áramkörét, és a FI-relé már nem old le. A mosógép bekötésénél a szigetelési ellenállás L–PE között $0{,}2\,\mathrm{M}\Omega$, a többi fogyasztói csoportnál $> 100\,\mathrm{M}\Omega$.
a) Melyik hibafajtára utal a jelenség?
b) Milyen további mérést érdemes végezni a mosógép áramkörén?
c) Fogalmazd meg a jegyzőkönyvbe írandó javítási javaslatot.

5. feladat (C). Egy berendezésnél a következő mérési eredmények születtek:
- Védővezető folytonossága: $0{,}6\,\Omega$
- Szigetelési ellenállás L1–PE: $2{,}1\,\mathrm{M}\Omega$
- Hurokimpedancia L1–PE: $1{,}8\,\Omega$
- FI-relé kioldási ideje $1 \times I_{\Delta n}$-nél: 220 ms

A védőeszközök: 16 A B-kismegszakító, FI-relé 30 mA.
a) Értékeld, melyik mérési eredmény nem felel meg, ha a határérték a B16 pillanatkioldó áramából (80 A) számított $Z_s \leq U_0 / I_a$ (példa) és a FI-relé maximális kioldási ideje 300 ms (példa), a szigetelési ellenállás alsó határa $1\,\mathrm{M}\Omega$.
b) Javasolj hibakeresési lépéseket a nem megfelelő tételhez.
c) Írd le, mit kellene a jegyzőkönyvbe írni.

6. feladat (D). Tanműhelyi modellen az oktató egy hibát épített be: az egyik sorkapocs csavarja laza, emiatt az adott fogyasztó időnként nem működik, és a sorkapocs melegszik. Tervezd meg a hibakeresési gyakorlatot: milyen tünetet rögzítenél, milyen hipotézist állítanál fel, milyen méréseket végeznél, és hogyan igazolnád a javítás sikerét? Készíts mérési jegyzőkönyv-vázlatot a mért képzeletbeli értékekkel.

24.4.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A jegyzőkönyvnek minden mérési értéket és a határértéket rögzítenie kell, mert csak így igazolható a megfelelőség, és későbbi felülvizsgálatokkal összehasonlítható.
2. Legalább: típus, gyári szám, kalibrálási érvényesség, mérési kategória (CAT), méréshatár. Esetleg a mérési pontosság is feltüntethető.
3. Valószínűleg szigetelési hiba (pl. nedvesség vagy sérült szigetelés) vezet szivárgó áramhoz. Méréssel: feszültségmentes állapotban szigetelési ellenállást mérni a gyanús áramkörökön, különösen a fázis–PE között.
4. Tünet rögzítése → hipotézis felállítása → mérési pont kiválasztása → biztonságos mérés → eredmény összehasonlítása → ok azonosítása és javítás → ellenőrző mérés és dokumentálás.
5. $I_k = U_0 / Z_s = 230\,\mathrm{V} / 0{,}8\,\Omega = 287{,}5\,\mathrm{A}$, kerekítve 288 A.
6. A túlterhelés okát nem szünteti meg, viszont a vezeték és a csatlakozók védtelenül maradhatnak, mert a nagyobb névleges áramú kismegszakító nem old le, mielőtt a vezeték túlmelegszik. Tűz- és balesetveszély.

Feladatok megoldásai

1. feladat (A). A nyolc adatcsoport a fent leírtak szerint, példákkal: 1. Felülvizsgáló azonosítása: „Kiss István, villanyszerelő mester, nyilvántartási szám …”. 2. Berendezés azonosítása: „Lakásfőelosztó, Budapest, Minta utca 1., II/4., TN-C-S rendszer”. 3. Mérőműszerek: „Fluke 1664 FC, gy. sz. 123456, kalibrálás érvényes 2027-01-31, CAT III 600 V”. 4. Mérési időpont és körülmények: „2025.05.10., 14:30, 22 °C, 45% páratartalom”. 5. Mérési eredmények és határértékek: „Hurokimpedancia 0,62 Ω, határérték ≤ 2,875 Ω (B16), megfelel”. 6. Minősítés: „Megfelel”. 7. Megjegyzések: „Az elosztó ajtaján hiányzó felirat, pótolandó”. 8. Aláírás, azonosító: „Aláírás, 1/2. oldal”.

2. feladat (A). Első felülvizsgálat: új létesítés vagy átalakítás után, üzembe helyezés előtt. Időszakos: meghatározott időközönként, a kockázattól függően. Rendkívüli: baleset, tűz, üzemzavar, villámcsapás, vagy a biztonságot befolyásoló változás után. Rendkívüli kell például akkor, ha a FI-relé ismétlődően leold, és a hiba oka ismeretlen.

3. feladat (B).
a) $I_k = 230\,\mathrm{V} / 0{,}45\,\Omega = 511\,\mathrm{A}$.
b) $I_a = 5 \times 16\,\mathrm{A} = 80\,\mathrm{A}$, tehát $I_k = 511\,\mathrm{A} \geq 80\,\mathrm{A}$, a kismegszakító pillanatkioldója kiold.
c) Jegyzőkönyvbe: „Hurokimpedancia (L–PE): 0,45 Ω; számított zárlati áram: 511 A; védőeszköz: B16 MCB, pillanatkioldó: 80 A; feltétel: 511 A ≥ 80 A; értékelés: megfelel.” A határértéket is fel lehet tüntetni: $Z_s \leq 230/80 = 2{,}875\,\Omega$ (példa, ellenőrizendő).

4. feladat (B).
a) Szigetelési hiba.
b) A mosógép áramkörén feszültségmentes állapotban további szigetelési mérést kell végezni, például L–N és N–PE között is, és a mosógép belső vezetékét, motorját, fűtőbetétjét ellenőrizni. A kötődobozt és a mosógépet külön-külön kell mérni (a fogyasztó leválasztásával), hogy kiderüljön, a hiba csak a mosógépben van-e, vagy a kötődobozban.
c) Jegyzőkönyvbe: „A mosógép áramkörének szigetelési ellenállása L–PE között 0,2 MΩ, ami a határérték alatt van (230 V-on ez csak kb. 1,2 mA, ezért a kioldás azt jelzi, hogy éjszaka, párásodáskor vagy vezérelt áramú üzemben a szigetelés tovább romlik, vagy más szivárgásokkal összegződik). Javaslat: a mosógép bekötését és a fogyasztót javítani/cserélni, majd ellenőrző mérést végezni.”

5. feladat (C).
a) A szigetelési ellenállás L1–PE = 2,1 MΩ ≥ 1 MΩ, tehát megfelel. A védővezető folytonossága

0,6 Ω viszonylag magas, de ha a vezeték hosszú, elfogadható; a határértéket a körülmények döntik el (ebben a példában nincs megadva). A hurokimpedancia 1,8 Ω ≤ 2,875 Ω (B16: 230/80), a zárlati áram 230/1,8 ≈ 128 A ≥ 80 A, tehát **megfelel** (a Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat alfejezet 1,3-as hőmérsékleti tényezőjével is 2,34 Ω ≤ 2,875 Ω). A FI-relé kioldási ideje 220 ms ≤ 300 ms, tehát megfelel.
b) A hurokimpedancia megfelel, de a 0,6 Ω-os védővezető-folytonosság és a 2,1 MΩ-os szigetelés (a 230/400 V-os határ 1 MΩ, de a tartalék kicsi) figyelmet érdemel: ellenőrizni kell a kötéseket, a védővezető folytonosságát, a nulla és PE viszonyát; szakaszonként mérni. (Ha a védőeszköz C16 lenne, 1,8 Ω > 1,4375 Ω miatt nem felelne meg.)
c) A jegyzőkönyvbe: „Hurokimpedancia L1–PE: 1,8 Ω; határérték (B16): 2,875 Ω; értékelés: megfelel; megjegyzés: a 0,6 Ω-os védővezető-folytonosság és a 2,1 MΩ-os szigetelés a kötések ellenőrzését indokolja.”

6. feladat (D).
Tünet: a fogyasztó időnként kimarad, a sorkapocs környezete meleg, enyhe szag. Hipotézis: laza kötés. Mérések: feszültségmentes állapotban a sorkapocs két oldala között átmeneti ellenállásmérés (nagy árammal vagy mikroohmmérővel), a fogyasztói áramkör folytonossága; feszültség alatt (jogosult személy) feszültségesés mérése a kötés két pontján. Javítás: a csavar meghúzása a megadott nyomatékkal, vagy a sorkapocs cseréje. Ellenőrző mérés: a folytonosságmérés értéke a javítás előtti 0,8 Ω-ról 0,1 Ω alá csökken; a fogyasztó feszültsége visszaáll. Jegyzőkönyv-vázlat: „Hiba típusa: laza sorkapocs; mért átmeneti ellenállás javítás előtt: 0,8 Ω; javítás után: 0,05 Ω; fogyasztói feszültség: 230 V; értékelés: megfelel.”

24.4.13. Rövid összefoglaló

A mérési jegyzőkönyv a villamos berendezés biztonságosságának hivatalos bizonyítéka. Legalább annyira fontos, mint maga a mérés; hiányos vagy pontatlan kitöltése esetén a mérési eredmény nem igazol semmit. A jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell a felülvizsgáló, a berendezés, a mérőműszer, a mérési körülmények és az eredmények azonosító adatait, valamint a határértékekkel való összevetést és a minősítést. A szabványossági felülvizsgálat lehet első, időszakos, rendkívüli vagy eseti; a gyakoriságot a hatályos jogszabályok és a kockázatértékelés határozza meg. A hibakeresésben tünet → hipotézis → mérés → ellenőrzés sorrendet kell követni, és a hibafajták közül meg kell különböztetni a szigetelési hibát, a szakadást, a kötés lazulását és a túlterhelést. **Továbbvitt eredmény:** a mérési jegyzőkönyv kitöltésének és a hibakeresési módszertannak a készsége nélkülözhetetlen a géphibakeresés (Diagnosztika: szemrevételezés, mérések, hibajegyzőkönyv), a motorvezérlések hibakeresése (Vezérlések hibakeresése), az épületvillamossági modelleken végzett gyakorlatok (Hibakeresés épületvillamossági modelleken) és a védelmi mérések gyakorlata (Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése) során.

24.4.14. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg a magyarországi és európai gyakorlatot tükrözi, elsősorban a kisfeszültségű villamos berendezések ellenőrzésére vonatkozó MSZ HD 60364 sorozat, azon belül is a -6 rész, valamint a vonatkozó mérésügyi és munkavédelmi jogszabályok alapján. A konkrét határértékek (hurokimpedancia, szigetelési ellenállás, FI kioldási idő) és a felülvizsgálati gyakoriságok a szövegben jelzett példaértékek, ezért a tervezéshez vagy kivitelezéshez mindig az aktuális szabványkiadást és a hatályos rendeletet, valamint a gyártói adatlapokat kell használni. **(ellenőrizendő: aktuális szabvány- és jogszabályhivatkozások, pontos formanyomtatvány, mérési határértékek, felülvizsgálati intervallumok)**.

VI. RÉSZ – Villamos gépek

25 Transzformátorok

25.1. Egyfázisú transzformátor: működés, felépítés, üresjárás és rövidzárás

25.1.1. Motiváció

Képzeld el, hogy egy vezérlőszekrényt szerelsz egy ipari gépsorhoz. A főáramkör 230 V-ról vagy 400 V-ról megy, de a mágneskapcsoló tekercsét 24 V váltakozó feszültséggel kell vezérelned. Vagy éppen egy családi házban kell kiépítened egy 12 V-os halogén világítási kört, miközben a lakáselosztóban 230 V áll rendelkezésre.

Mindkét helyzetben ugyanarra van szükség: egy olyan készülékre, amely a váltakozó feszültség nagyságát megváltoztatja, de a frekvenciát változatlannak hagyja. Ez a készülék a transzformátor. Ha nem értenéd a működését, a bekötését, az üresjárási és rövidzárási viselkedését, akkor alulméreteznéd, túlmelegítenéd, vagy nem vennéd észre, ha egy mérés hibás értéket mutat.

Ebben az alfejezetben tehát a transzformátort a szerelői gyakorlat felől közelítjük meg: megértjük a vasmagos, zárt mágneses körű elv lényegét, a feszültség- és áramáttételt, valamint azt, hogy mit jelent a gyakorlatban az üresjárási és a rövidzárási kísérlet.

25.1.2. Szemléletes kép: miért kell a vasmag?

Az Elektromágneses indukció, önindukció és az RL-tag alfejezetben megtanultad, hogy egy tekercsben csak akkor indukálódik feszültség, ha a rajta átmenő mágneses fluxus *időben változik*. Két egymás melletti, levegővel csatolt tekercsnél a mágneses erővonalak nagy része szétszóródik a térben, így a második tekercs csak kevés fluxust kapna. Ezt a csatolást javítja a **vasmag**, amely a mágneses erővonalakat nagy áteresztőképessége miatt magába zárja, és a primer tekercstől a szekunder tekercsig vezeti.

A mai transzformátorok alapelve a **zárt vasmag**. Ez a konstrukció a magyar villamosipar egyik legnagyobb büszkesége.

25.1.3. A feltalálók és a zárt vasmagú transzformátor

A transzformátor elve Faraday felfedezésére épül, de a ma is használt, jó hatásfokú, zárt vasmagos elrendezést a Ganz-gyárban dolgozó **Zipernowsky Károly, Déri Miksa és Bláthy Ottó Titusz** szabadalmaztatta 1885-ben. Az ő nevük kezdőbetűiből származik a „ZBD” jelölés, amely a transzformátor történetében mérföldkő.

A korábbi, nyitott vasmagú kísérleti eszközökben a mágneses erővonalak nagy része elveszett, ezért a hatásfok rossz volt. Bláthy és munkatársai ezzel szemben **zárt vasmagot** alkottak: a tekercseket egy önmagába záródó, lemezelt vasmagra helyezték. Ez a felismerés tette lehetővé a nagy távolságú energiaátviteli hálózatok építését, mert így a feszültséget gazdaságosan fel lehetett transzformálni, majd a fogyasztóknál lecsökkenteni.

Figyelem. A Ganz-gyárban kifejlesztett klasszikus konstrukció alapelve változatlan, de a konkrét gyártói adatokat, anyagminőségeket és a ma kapható típusok paramétereit mindig a gyártó adatlapjáról kell ellenőrizni.

25.1.4. A transzformátor felépítése

A legegyszerűbb egyfázisú transzformátor vázlatosan a következő elemekből áll:

- **Vasmag:** 0,3–0,5 mm vastag, egymástól elektromosan elszigetelt lemezekből áll (szigetelő bevonattal ellátott, hidegen hengerelt szemcseorientált lemez). Azért használunk lemezeket, nem pedig tömör vasat, mert így csökkentjük az örvényáramú veszteséget, amely a vasmagban folyó káros köráramokat jelenti.
- **Primer tekercs:** erre csatlakozik a tápláló váltakozó feszültség. A menetszáma N_1.
- **Szekunder tekercs:** erről vesszük le a megváltoztatott feszültséget. A menetszáma N_2.
- **Kivezetések, csatlakozók:** a tekercsek végei általában szorítócsavaros vagy sorkapcsos kialakításúak.

A világítási célú, csengőhöz való vagy vezérlőáramkörű kistranszformátoroknál gyakran a vasmag a tekercsekkel együtt műgyantába van kiöntve, vagy a tekercs egy tekercstestben ül. A szerelői gyakorlatban tehát ugyanazt az elvet kell fölismerned egy ezer kVA-es olajhűtésű elosztótranszformátornál is, mint egy 8 VA-es csengőtranszformátornál.

25.1.5. Működési elv és levezetés

Törvény. A transzformátor a nyugalmi (transzformátoros) indukció jelenségén alapul. A primer tekercsre adott váltakozó feszültség váltakozó áramot hoz létre, ez a vasmagban váltakozó mágneses fluxust kelt, és ez a fluxus a szekunder tekercsben feszültséget indukál.

A primer tekercsben indukált feszültség nagysága szinuszos táplálásnál közelítőleg:

$$U_{i1} \approx 4{,}44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \Phi_{max}$$

A szekunder tekercsben indukált feszültség:

$$U_{i2} \approx 4{,}44 \cdot f \cdot N_2 \cdot \Phi_{max}$$

A két egyenletben a 4,44 egy, a szinuszos váltakozásból adódó állandó, f a frekvencia (Magyarországon 50 Hz), Φ_{max} pedig a vasmagban fellépő legnagyobb mágneses fluxus. A levezetés teljes részletességű alakja a Faraday-törvényből származik, amelyet az Elektromágneses indukció, önindukció és az RL-tag alfejezetben ismertettünk.

Ha a két egyenletet elosztjuk egymással, megkapjuk a feszültségáttételt:

$$\frac{U_{i1}}{U_{i2}} = \frac{N_1}{N_2}$$

Definíció. A **feszültségáttétel** (a) a primer és a szekunder menetszám hányadosa:

$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

Ideális, veszteségmentes transzformátornál $U_1 \approx U_{i1}$ és $U_2 \approx U_{i2}$, így:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} = a$$

Megjegyzés. A feszültségáttételt nem a névleges feszültségek hányadosaként, hanem a menetszámok hányadosaként érdemes megjegyezned, mert így válik érthetővé, miért függ a tényleges feszültség a terheléstől.

Most vizsgáljuk az áramokat. Ha a transzformátorban nincs teljesítményveszteség, akkor a primer oldalon felvett látszólagos teljesítmény egyenlő a szekunder oldalon leadott látszólagos teljesítménnyel:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

Ebből következik:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

Szabály. Feltranszformálásnál a feszültség nő, az áram csökken; letranszformálásnál fordítva. Az energia- és teljesítményviszonyokat eddig is így tanultad, hiszen $P = U\,I$; ha P állandó, akkor U és I fordítottan arányos.

25.1.6. Kidolgozott példa: áttétel és áramok

Példa. Egy egyfázisú biztonsági (törpefeszültségű) transzformátor primer névleges feszültsége $U_1 = 230\,\mathrm{V}$, szekunder névleges feszültsége $U_2 = 24\,\mathrm{V}$. A szekunder oldalra egy olyan fogyasztót kapcsolunk, amely $P_2 = 96\,\mathrm{W}$ hatásos teljesítményt vesz fel $\cos\varphi_2 = 0{,}85$ mellett. Számítsuk ki a menetszám-áttételt, a szekunder áramot, a primer áramot és a szükséges látszólagos teljesítményt.

Megoldás.

1. Áttétel (közelítésként a névleges feszültségekből becsülve; a valóságos menetszám-áttétel az üresjárási feszültségekből, U_{10}/U_{20} adódik, és kistranszformátornál néhány százalékkal kisebb, mint $U_{1\mathrm{n}}/U_{2\mathrm{n}}$):

$$a = \frac{U_1}{U_2} = \frac{230}{24} \approx 9{,}58$$

2. Szekunder áram a $P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2$ összefüggésből:

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2 \cos\varphi_2} = \frac{96}{24 \cdot 0{,}85} \approx 4{,}706\,\mathrm{A}$$

3. Primer áram ideális esetben:

$$I_1 \approx \frac{I_2}{a} = \frac{4{,}706}{9{,}583} \approx 0{,}491\,\mathrm{A}$$

4. Látszólagos teljesítmény:

$$S = U_2 I_2 = 24 \cdot 4{,}706 \approx 113\,\text{VA}$$

Ellenőrzés. A primer oldalon felvett teljesítmény ideális esetben ugyanennyi: $S = U_1 I_1 = 230 \cdot 0{,}491 \approx 113\,\text{VA}$ (a közbenső értékeket három tizedesre kerekítettük, hogy a kerekítési hiba ne torzítsa az eredményt). A két oldal teljesítménye tehát megegyezik, de az áramok a menetszám-áttétel szerint különböznek.

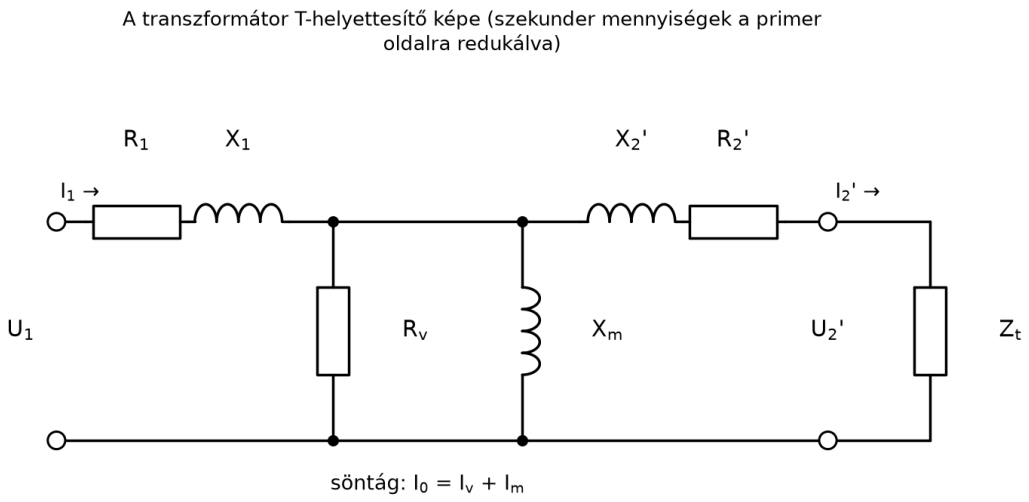
25.1.7. A valóságos transzformátor: mit veszítünk el?

Az ideális transzformátor csak fogalmi segédeszköz, a valóságos készülékben veszteségek is fellépnek. A két legfontosabb veszteségfajta:

- **Rézveszteség (tekercsveszteség):** a tekercseknek mindig van ellenállása, ezért a bennük folyó áram hatására $P_{Cu} = I^2 R$ hőteljesítmény keletkezik.
- **Vasveszteség:** a vasmagban az örvényáramok és a hiszterézis (a vas átmágnesezése) miatt hő keletkezik. Ez a veszteség elsősorban a feszültség nagyságától függ.

Definíció. A **helyettesítő kép** olyan egyszerűsített kapcsolási rajz, amely a valóságos transzformátort egy ideális transzformátorral és hozzá kapcsolt ellenállásokkal, tekercsekkel ábrázolja. A tekercsek ellenállását R_1 és R_2, a szórt fluxus hatását X_1 és X_2, a vasmag veszteséges mágneses viselkedését pedig egy R_v vasveszteségi ellenállással és X_m mágnesező reaktanciával szokás modellezni.

Az alábbi rajz ezt a helyettesítő képet mutatja (úgynevezett T-kép). Balról jobbra: az U_1 primer kapcsokra a soros R_1 és X_1 csatlakozik, középen a vasmagot jelentő **söntág** (keresztág) áll, amelyben R_v és X_m **párhuzamosan** kapcsolódik (árama az $I_0 = I_v + I_m$ üresjárási áram), utána a primer oldalra redukált (vesszővel jelölt) szekunder elemek, X_2' és R_2' jönnek sorosan, végül az U_2' kapcsokra a terhelés.



25.1. ábra. A transzformátor T-helyettesítő képe (szekunder mennyiségek a primer oldalra redukálva) - Soros ág: R_1, X_1 (primer tekercs ellenállása és szórása), R_2', X_2' (a primer oldalra redukált szekunder ellenállás és szórás). Söntág (keresztág): a vasmagot jelentő R_v (vasveszteség) és X_m (mágnesezés) párhuzamosan; I_0 = I_v + I_m az üresjárási áram. A vesszős (‘) mennyiségek redukáltak (R_2' = a² · R_2), ezért az ideális transzformátor a rajzról elhagyható. Z_t a terhelés.

A két mérési kísérlet azért választja szét az elemeket, mert mindegyikben az egyik ág elhanyagolható: üresjárásnál ($I_2 = 0$) a soros ágon alig esik feszültség, így csak a söntág marad ($P_{10} \approx P_{\text{vas}}$); rövidzárásnál a kis U_k feszültség mellett a söntág árama elhanyagolható, így csak a soros ág marad, $R_k = R_1 + R_2'$ és $X_k = X_1 + X_2'$ eredővel ($P_k \approx P_{\text{Cu}}$):

25.2. ábra. A két kísérlet egyszerűsített helyettesítő képe - (a) Üresjárásnál I_2 = 0, a kis soros impedancián alig esik feszültség, ezért csak a söntág marad: a felvett P_10 gyakorlatilag a vasveszteség. (b) Rövidzárásnál a primer feszültség csak U_k (a névlegesnek néhány százaléka), a söntág árama elhanyagolható, ezért csak a soros ág marad: R_k = R_1 + R_2', X_k = X_1 + X_2', a felvett P_k gyakorlatilag a rézveszteség.

A szerelői gyakorlatban ritkán kell a teljes helyettesítő képpel számolnod, de két jelenség fontos:

1. Ha a szekunder oldalt terheled, a szekunder tekercs ellenállásán és szórásán feszültség esik, ezért a tényleges U_2 kisebb, mint az üresjárási feszültség.
2. A vasmagban melegedés lép fel akkor is, ha semmilyen fogyasztó nincs a szekunder oldalon.

Ezt a két viselkedést mérhetjük ki a két klasszikus kísérlettel: az **üresjárási** és a **rövidzárási** kísérlettel.

25.1.8. Üresjárási kísérlet

Az üresjárási kísérletet a következőképpen végezzük: a szekunder oldalt nyitva hagyjuk, tehát nincs terhelés ($I_2 = 0$). A primer oldalra névleges frekvenciájú, szinuszos feszültséget kapcsolunk, és mérjük:

- az üresjárási feszültséget U_{10},
- az üresjárási áramot I_{10},
- az üresjárási teljesítményt P_{10}.

Mire következtetünk belőle?

Mivel a szekunder oldalon nem folyik áram, a szekunder tekercs rézvesztesége nulla. A primer tekercsben folyó üresjárási áram nagy transzformátoroknál a névleges áramnak csak néhány százaléka, kistranszformátoroknál 10–20 %-a is lehet (a lenti példában $0{,}08\,\mathrm{A} / 0{,}435\,\mathrm{A} \approx 18\,\%$); a

primer rézveszteség ennek négyzetével arányos, ezért így is kicsi. Az üresjárási teljesítmény tehát gyakorlatilag a **vasveszteséggel** egyenlő:

$$P_{10} \approx P_{vas}$$

Példa. Egy $S_n = 100\,\text{VA}$ névleges látszólagos teljesítményű, 230/24 V-os transzformátor üresjárási kísérleténél $U_{10} = 230\,\text{V}$, $I_{10} = 0{,}08\,\text{A}$, $P_{10} = 4{,}5\,\text{W}$. Becsüljük meg a vasveszteséget és a mágnesező áramot.

Megoldás. A vasveszteség $P_{vas} \approx 4{,}5\,\text{W}$. A felvett látszólagos teljesítmény:

$$S_{10} = U_{10} I_{10} = 230 \cdot 0{,}08 = 18{,}4\,\text{VA}$$

Az üresjárási teljesítménytényező:

$$\cos\varphi_{10} = \frac{P_{10}}{S_{10}} = \frac{4{,}5}{18{,}4} \approx 0{,}245$$

Ez az alacsony $\cos\varphi$ azt mutatja, hogy az üresjárási áram nagy része meddő, mágnesező áram, és csak kis része a vasveszteséget fedező hatásos összetevő. A hatásos összetevő:

$$I_{10\,vas} = I_{10} \cos\varphi_{10} = 0{,}08 \cdot 0{,}245 \approx 0{,}0196\,\text{A}$$

A meddő, mágnesező összetevő:

$$I_{10\,mag} \approx \sqrt{I_{10}^2 - I_{10\,vas}^2} = \sqrt{0{,}08^2 - 0{,}0196^2} \approx 0{,}0776\,\text{A}$$

Figyelem. Az üresjárási mérésnél a szekunder oldal feszültség alatt van. Ha nyitott kapocsról van szó, ott a teljes szekunder feszültség megjelenik. Hálózati feszültségű mérést csak jogosult, szakképzett személy végezhet, és a védőföldelést, a biztonságos mérővezetékeket és a műszer mérési kategóriáját (CAT) ellenőrizni kell.

25.1.9. Rövidzárási kísérlet

A rövidzárási kísérletnél a szekunder oldalt rövidre zárjuk, de természetesen nem névleges primer feszültséggel, mert akkor károsan nagy áram folyna. Pontosan ezt a jelenséget ismerjük a Valódi feszültségforrás: üresjárás, rövidzárás és illesztés alfejezet logikájából is.

Az eljárás a következő: a szekunder oldalt rövidre zárjuk, és a primer oldalra csak akkora feszültséget adunk, hogy a tekercsekben éppen a **névleges áram** folyjék. Ezt a feszültséget **rövidzárási feszültségnek** nevezzük, és U_k-val jelöljük. A névleges feszültséghez viszonyított százalékos értéke a **százalékos rövidzárási feszültség** ($u_k\%$):

$$u_k\% = \frac{U_k}{U_n} \cdot 100$$

Mire következtetünk belőle?

Mivel a rövidzárási feszültség nagyon kicsi, a vasmag fluxusa, és így a vasveszteség is elhanyagolható. A mért teljesítmény P_k tehát gyakorlatilag a **rézveszteséggel** egyenlő:

$$P_k \approx P_{Cu}$$

Példa. Ugyanennek a 100 VA-es, 230/24 V-os transzformátornak a rövidzárási kísérleténél $U_k = 17{,}5\,\mathrm{V}$ és $P_k = 6{,}2\,\mathrm{W}$. Számítsuk ki az $u_k\%$ értékét és a transzformátor névleges áramait.

Megoldás. A rövidzárási feszültség százalékban:

$$u_k\% = \frac{17{,}5}{230} \cdot 100 \approx 7{,}61\%$$

A primer névleges áram:

$$I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}} = \frac{100}{230} \approx 0{,}435\,\mathrm{A}$$

A szekunder névleges áram:

$$I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{100}{24} \approx 4{,}17\,\mathrm{A}$$

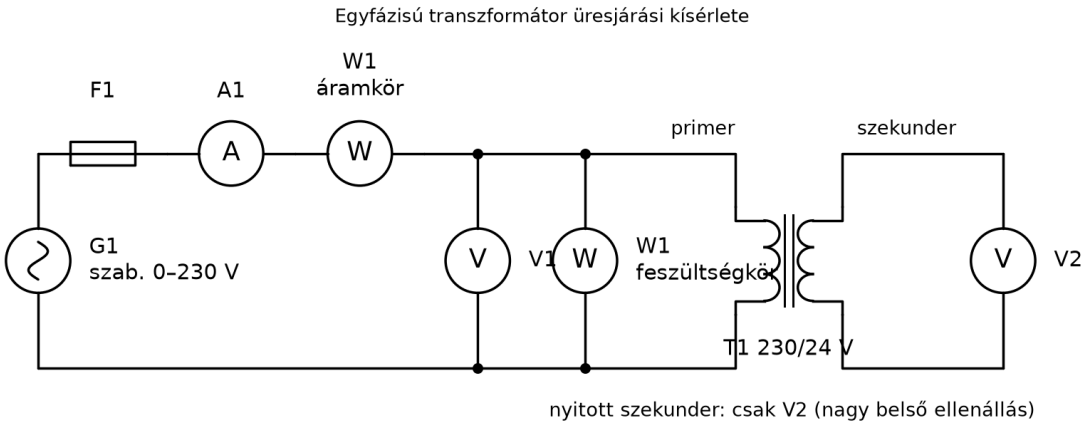
A rövidzárási kísérletet úgy végezték, hogy a primer tekercsben éppen $I_{1n} \approx 0{,}435\,\mathrm{A}$ folyt, ezért a mért $P_k = 6{,}2\,\mathrm{W}$ a névleges áramhoz tartozó rézveszteség.

Ellenőrzés. A rezisztív összetevő $u_R\% = P_k/S_n \cdot 100 = 6{,}2/100 \cdot 100 = 6{,}2\%$, ami kisebb, mint $u_k\% = 7{,}61\%$, tehát az adatok összeférnek (mindig $u_k \geq u_R$ kell legyen). A rövidzárási teljesítménytényező $\cos\varphi_k = P_k/(U_k I_{1n}) = 6{,}2/(17{,}5 \cdot 0{,}435) \approx 0{,}81$, a reaktív összetevő $u_X = \sqrt{7{,}61^2 - 6{,}2^2} \approx 4{,}4\%$.

Megjegyzés. Az $u_k\%$ értéke a transzformátor belső feszültségesését jellemzi. Minél kisebb ez az érték, annál „merevebb” a transzformátor, vagyis annál kisebb a feszültségesés a terhelés hatására. A nagyobb $u_k\%$ viszont korlátozza a zárlati áramot, ez a készülékvédelem szempontjából hasznos lehet.

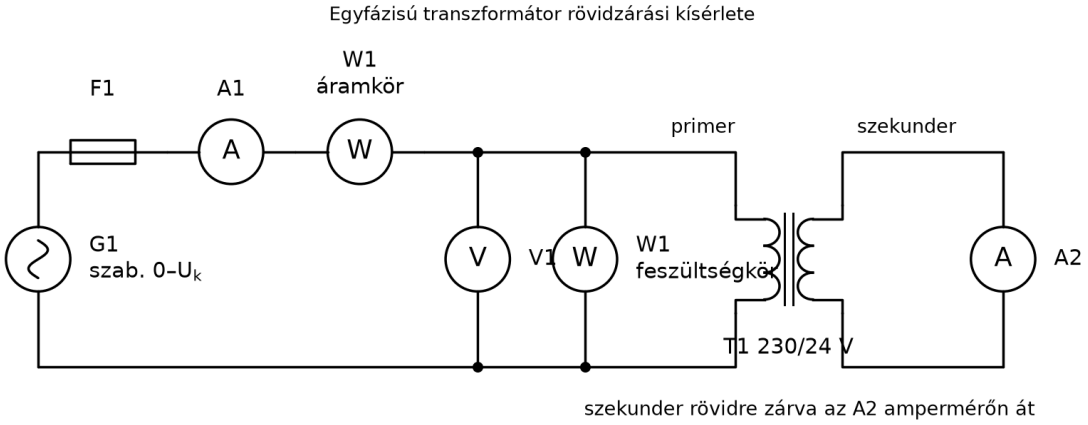
25.1.10. A helyes mérési elrendezés

A primer oldalon ampermérőt (A1), feszültségmérőt (V1) és wattmérőt (W1) használunk; a szekunder oldalon üresjárásnál csak feszültségmérő (V2), rövidzárásnál csak ampermérő (A2) kell, szekunder oldali wattmérőre egyik kísérletnél sincs szükség, mert a felvett teljesítményt (a veszteséget) a primer oldali W1 méri. A wattmérő áramtekercse a fogyasztóval sorba, feszültségtekercse pedig a fogyasztóval párhuzamosan csatlakozik.



25.3. ábra. Egyfázisú transzformátor üresjárási kísérlete - Üresjárás: a primerre a névleges feszültséget adjuk (V1 = 230 V), a szekunder nyitott, csak a nagy belső ellenállású V2 csatlakozik rá. A1 és a W1 áramköre sorosan, V1 és a W1 feszültségköre a primer kapcsokkal párhuzamosan; a W1 egyetlen műszer, két mérőkörrel. A primer és a szekunder oldal galvanikusan elválasztott. Mérés csak megfelelő mérési kategóriájú műszerekkel, felügyelet mellett.

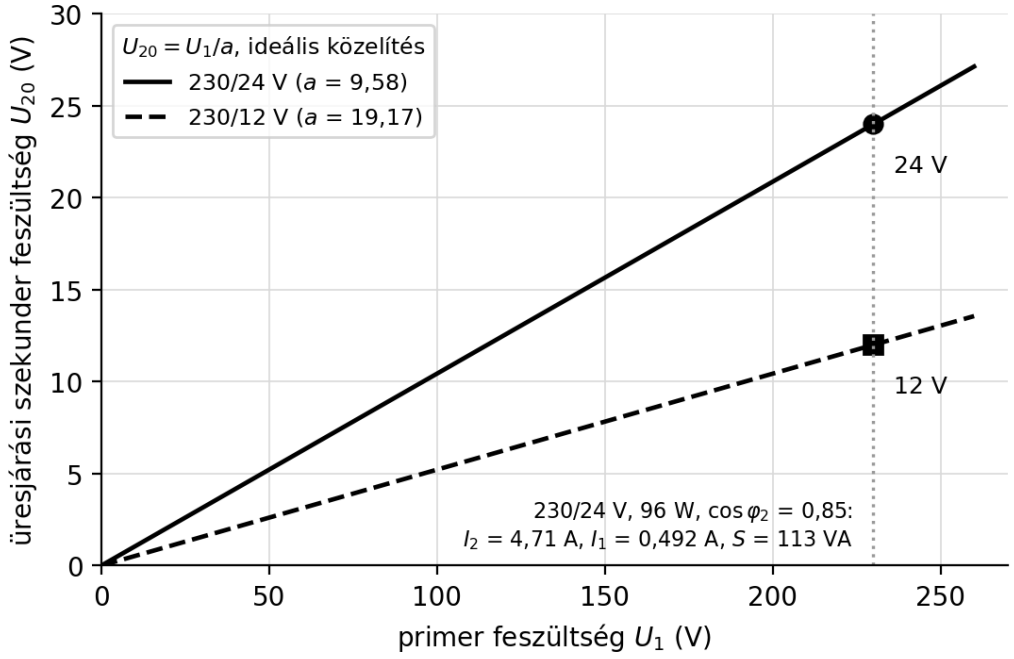
A rajzon A1 és a W1 áramköre a primer tekerccsel sorosan, V1 és a W1 feszültségköre a primer kapcsokkal párhuzamosan kapcsolódik; a szekunder nyitott, rajta csak a V2 feszültségmérő van, a primer és a szekunder oldal galvanikusan elválasztott. A rövidzárási kísérletnél a primer oldali elrendezés ugyanez, de a szekundert az A2 ampermérőn át rövidre zárjuk, és a primer feszültséget nulláról indítva csak addig növeljük, amíg A1 a névleges primer áramot mutatja:



25.4. ábra. Egyfázisú transzformátor rövidzárási kísérlete - Rövidzárás: a szekunder az A2 ampermérőn át rövidre zárt; a primer feszültséget nulláról lassan addig növeljük, amíg A1 a névleges primer áramot (kb. 0,435 A) mutatja – ekkor V1 = U_k, W1 = P_k. Névleges primer feszültséget rövidzárt szekunder mellett adni tilos.

25.1.11. Interaktív szemléltetés

A következő ábra azt mutatja, hogyan változik a szekunder feszültség az üresjárási kísérlet során, ha a primer feszültséget növeljük.



25.5. ábra. Üresjárási feszültség a primer feszültség függvényében

Az interaktív változatban a csúszkán megadhatod a primer feszültséget, és a grafikonon azonnal látod a szekunder feszültség alakulását. A statikus tartalék ábrán az látszik, hogy a szekunder feszültség a primer feszültség közelítőleg lineáris függvénye, hiszen a menetszám-áttétel állandó.

25.1.12. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy szerelő egy régi épületben lépcsőházi világítást épít, amelyhez egy 230/24 V-os transzformátort kell beépítenie. A lámpatestek összteljesítménye 120 W. Az árajánlathoz meg kell határoznia, mekkora látszólagos teljesítményű transzformátorra van szükség, és mekkora lesz a primer oldali megszakító árama.

A szerelő először csak a 120 W-ot olvassa le a lámpatestekről, és egy 130 VA-es készüléket választ. A bekötés után azonban a transzformátor túlmelegszik és búg. Kiderül, hogy a lámpatestek elektronikus tápegységei miatt a teljesítménytényező $\cos\varphi \approx 0{,}75$, így a látszólagos teljesítmény:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{120}{0{,}75} = 160\,\text{VA}$$

A primer oldali áram pedig:

$$I_1 = \frac{S}{U_1} = \frac{160}{230} \approx 0{,}696\,\text{A}$$

A transzformátor tehát azért melegszik és búg, mert 160 VA-t kellene leadnia 130 VA helyett (túlterhelés). Bekapcsoláskor a primer oldali, B jelleggörbéjű kismegszakító ráadásul időnként kiold: ezt a vasmag felmágnesezési áramlökése okozza, amely a névleges áram többszöröse lehet, de csak rövid ideig tart; a primer védelmet ezért a gyártó ajánlása szerint kell megválasztani (például C vagy K jelleggörbe; ellenőrizendő: gyártói adatlap). A megszakító kioldása és a transzformátor melegedése két különböző jelenség: az első áramlökés, a második tartós túlterhelés. A tanulság: a látszólagos teljesítményt és a bekapcsolási jelleget is figyelembe kell venni a kiválasztásnál. A konkrét megszakítót és a vezetéket mindig a gyártói adatok és a hatályos szabvány szerint kell kiválasztani.

25.1.13. Tipikus hibák

1. **Hiba a fogalmi összekeverés: „a transzformátor feszültséget csinál”.** A transzformátor nem termel feszültséget. A primer oldalon felvett feszültséget és áramot alakítja át egy másik feszültségű és áramú oldallá a mágneses fluxus segítségével. A szekunder oldal energiája mindig a primer oldalról származik.
2. **Hiba az üresjárási és rövidzárási kísérlet felcserélésénél.** Üresjárásnál a vasmag viselkedését, rövidzárásnál a tekercsek ellenállásának hatását mérjük. Ha valaki a rövidzárási kísérletet névleges feszültséggel végezné, károsan nagy áramot hozna létre, és tönkretenné a transzformátort. Tilos.
3. **Gyakorlati hiba: a vezérlőtranszformátor méretezése csak a hatásos teljesítmény (W) alapján.** Ha csak a wattban megadott fogyasztót nézzük, alulméretezzük a transzformátort. A látszólagos teljesítményt (VA) kell számolni a $\cos\varphi$ figyelembevételével, továbbá a bekapcsolási áramlökésre is gondolni kell.

25.1.14. Önellenőrzés

1. Milyen fizikai jelenség hozza létre a szekunder feszültséget? Mit nevezünk feszültségáttételnek?
2. Egy transzformátor primer oldalán $U_1 = 230\,\mathrm{V}$, szekunder oldalán $U_2 = 12\,\mathrm{V}$. A szekunder oldalról $I_2 = 2\,\mathrm{A}$ áramot veszünk le. Becsüljük meg ideális esetben a primer áramot.
3. Mi az üresjárási kísérlet lényege, és melyik veszteséget méri elsősorban?
4. Mi az a rövidzárási feszültség ($u_k\%$), és miért nem szabad a rövidzárási kísérletet névleges feszültséggel elvégezni?
5. Igaz vagy hamis: minél kisebb a $u_k\%$, annál nagyobb a feszültségesés a transzformátoron terhelésnél.

25.1.15. Feladatok

1. feladat (A). Egy transzformátor primer menetszáma $N_1 = 1500$, szekunder menetszáma $N_2 = 150$. Mekkora a szekunder feszültség, ha a primer oldalt $U_1 = 230\,\mathrm{V}$ táplálja?

2. feladat (A). Egy csengőtranszformátor névleges teljesítménye $S = 16\,\mathrm{VA}$, primer feszültsége $230\,\mathrm{V}$, szekunder feszültsége $8\,\mathrm{V}$. Számold ki a primer és szekunder névleges áramot.

3. feladat (B). Egy $500\,\mathrm{VA}$-es, $230/48\,\mathrm{V}$-os transzformátor üresjárási kísérleténél $U_{10} = 230\,\mathrm{V}$, $I_{10} = 0{,}25\,\mathrm{A}$, $P_{10} = 12\,\mathrm{W}$. Mekkora a vasveszteség? Mekkora a mágnesező áram összetevője?

4. feladat (B). Egy $230/24\,\mathrm{V}$-os, $240\,\mathrm{VA}$-es transzformátor rövidzárási kísérleténél $U_k = 12\,\mathrm{V}$, $P_k = 8{,}4\,\mathrm{W}$. Számítsd ki az $u_k\%$ értékét és a transzformátor névleges primer áramát.

5. feladat (C). Egy szerelő egy 230/12 V-os, 100 VA-es transzformátort akar használni 90 W-os halogén izzókhoz. A lámpatestek $\cos\varphi = 1$ értékkel számolhatók. Elég-e a 100 VA-es transzformátor? Mit kell még figyelembe venni (tartalék, bekapcsolási áramlökés, környezeti hőmérséklet), és milyen névleges teljesítményt választanál?

6. feladat (D). Rajzold le a rövidzárási kísérlet kapcsolási vázlatát. Hová kell kapcsolni a wattmérőt? Mi a teendő a feszültség bekapcsolása előtt? (A rajz leírását szavakkal is megadhatod.)

25.1.16. Megoldások

25.1.16.1. Önellenőrzés – válaszok

1. A szekunder feszültséget a változó mágneses fluxus, vagyis a Faraday-törvény szerinti nyugalmi indukció hozza létre. A feszültségáttétel a primer és szekunder menetszám hányadosa: $a = N_1/N_2$.
2. $\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1}$. Innen $I_1 \approx I_2 \frac{U_2}{U_1} = 2 \cdot 12/230 \approx 0{,}104\,\text{A}$.
3. Az üresjárási kísérletnél a szekunder oldal nyitva van, a primer oldalt névleges feszültséggel tápláljuk. A felvett teljesítmény elsősorban a vasveszteséget mutatja, mert a szekunder áram nulla, a primer áram pedig kicsi.
4. Az $u_k\%$ a rövidzárási feszültség százalékban a névleges feszültséghez képest. Ha a rövidzárási kísérletet névleges feszültséggel végeznénk, akkora áram folyna, hogy a transzformátor leégne.
5. Hamis. Minél kisebb a $u_k\%$, annál kisebb a feszültségesés a transzformátoron.

25.1.16.2. Feladatok részletes megoldása

1. feladat (A). Az áttétel: $a = N_1/N_2 = 1500/150 = 10$. A szekunder feszültség $U_2 = U_1/a = 230/10 = 23\,\text{V}$.

2. feladat (A). Primer névleges áram: $I_1 = S/U_1 = 16/230 \approx 0{,}07\,\text{A}$. Szekunder névleges áram: $I_2 = S/U_2 = 16/8 = 2\,\text{A}$.

3. feladat (B). Vasveszteség $P_{vas} \approx P_{10} = 12\,\text{W}$. A hatásos összetevő: $I_{10\,vas} = P_{10}/U_{10} = 12/230 \approx 0{,}052\,\text{A}$. A teljes üresjárási áram 0,25 A, így a meddő mágnesező összetevő:

$$I_{10\,mag} = \sqrt{0{,}25^2 - 0{,}052^2} \approx 0{,}244\,\text{A}$$

4. feladat (B). $u_k\% = 12/230 \cdot 100 \approx 5{,}22\%$ (ellenőrzés: $P_k/S_n = 8{,}4/240 = 3{,}5\% < u_k\%$, az adatok összeférnek). A primer névleges áram $I_{1n} = 240/230 \approx 1{,}043\,\text{A}$. A rövidzárási kísérletet tehát akkora szabályozott feszültséggel végezték, hogy a primer áram éppen 1,043 A legyen.

5. feladat (C). A látszólagos teljesítmény $S = 90/1 = 90\,\text{VA}$. Válasz: a 90 VA számítás szerint a 100 VA-es transzformátor elvileg elég (nincs számítási hiba), de a bekapcsolási áramlökés és a hosszú távú üzemi melegedés miatt a kiválasztásnál a gyártói ajánlást is ellenőrizni kell. A gyakorlatban biztonsági tartalékkal, például 120 VA-es készüléket szokás választani, vagy a gyártó által javasolt túlméretezést kell alkalmazni.

6. feladat (D). A rövidzárási kísérlet vázlatos rajzán a primer oldalra kerül egy szabályozható feszültségű váltakozó forrás, utána ampermérő, feszültségmérő és wattmérő, majd a transzformátor primer oldala. A szekunder oldal kimeneteit rövidre zárjuk, és oda is kötünk egy ampermérőt. Bekötés előtt a mérőkört **feszültségmentesítsd az öt biztonsági lépéssel**:

lekapcsolás (leválasztás), visszakapcsolás elleni biztosítás, a feszültségmentesség ellenőrzése (kétpólusú feszültségvizsgálóval (MSZ EN 61243-3) minden vezetőpáron (L–L, L–PE), a vizsgáló működését előtte és utána ismert forráson ellenőrizve), földelés és rövidre zárás (ahol előírt), a szomszédos feszültség alatti részek lefedése. A wattmérő áramtekercsét a primer körrel sorba, feszültségtekercsét a primer oldallal párhuzamosan kell kapcsolni. Bekapcsolás előtt a forrásfeszültséget nullára kell állítani, majd óvatosan növelni addig, amíg a primer ampermérő a névleges áramot mutatja. **Biztonsági korlát.** A kört feszültségmentesen kösd be; feszültség alá helyezni és mérni csak jogosult oktató felügyeletével, megfelelő mérési kategóriájú (CAT) műszerekkel és mérőzsinórokkal szabad, hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

25.1.17. Rövid összefoglaló

A transzformátor a nyugalmi indukción alapul. A primer tekercsbe vezetett váltakozó áram a vasmagban váltakozó fluxust kelt, ezt a szekunder tekercs érzékeli, és benne feszültség indukálódik. A feszültségáttétel $a = N_1/N_2$, ahol N_1 a primer, N_2 a szekunder menetszám. Ideális esetben $U_1/U_2 = N_1/N_2 = a$ és $I_1/I_2 = 1/a$: ahol a feszültség nagyobb, ott az áram arányosan kisebb, a látszólagos teljesítmény ($U_1 I_1 = U_2 I_2$) a két oldalon egyenlő. A valóságos transzformátorban réz- és vasveszteség lép fel. A két veszteséget az üresjárási és a rövidzárási kísérlettel becsülhetjük meg. Üresjárásban a szekunder oldal nyitva van, a felvett P_{10} teljesítmény a vasveszteséget mutatja. Rövidzárásnál a szekunder oldalt rövidre zárjuk, és olyan kis U_k feszültséget adunk a primer oldalra, hogy éppen névleges áram folyjon; a mért P_k a rézveszteséget mutatja. A $u_k\% = U_k/U_n \cdot 100$ az a százalékos feszültségesés, amely a transzformátor belső impedanciáját jellemzi. **Továbbvitt eredmény.** A feszültség- és áramáttételt, a veszteségeket és a $u_k\%$ fogalmát a Terhelés, hatásfok, veszteségek és kapcsolások és a Vaslemezek, tekercsvezetők és szigetelési osztályok alfejezetekben használjuk majd a gyakorlati méretezéshez és a hatásfok számításához.

25.2. Terhelés, hatásfok, veszteségek és kapcsolások

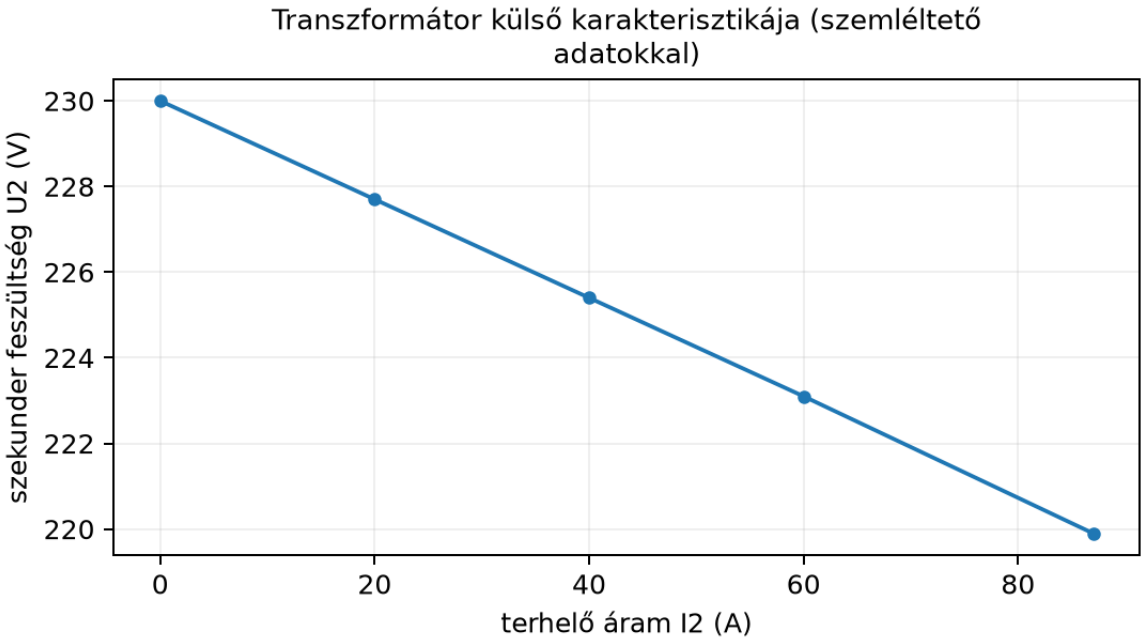
25.2.1. Motiváció

Gondolj arra a helyzetre, amikor egy műhelyben a hegesztőgép vagy egy nagyobb motor indítása miatt a világítás érezhetően elhalványul, majd visszaáll. A jelenséget a betápláló transzformátor **terhelési feszültségesése** okozza: minél nagyobb áramot veszünk ki a transzformátorból, annál jobban csökken a szekunder oldali feszültség. Ugyanakkor a transzformátor nem ideális, működés közben melegszik, és a felvett teljesítmény egy része veszteségként hővé alakul. A szerelőnek ahhoz, hogy megfelelő transzformátort válasszon, felülvizsgáljon vagy párhuzamosan működtessen, ismernie kell a terhelési viselkedést, a hatásfokot és a veszteségeket. Ezt az alfejezetet azért tanulod meg, hogy a munkahelyen ne csak „be van kötve”, hanem üzembiztos és gazdaságos legyen a berendezés.

25.2.2. Szemléletes kép

Egy elosztóhálózati transzformátor adattáblája szerint a névleges látszólagos teljesítménye 630 kVA, a feszültségáttétele 20/0,4 kV. Üresjárásban a szekunder kapcsokon 400 V-ot mérünk. Ha a telephely fogyasztói fokozatosan bekapcsolnak, a szekunder feszültség – a transzformátor belső impedanciáján eső feszültség miatt – csökkenni fog, a tekercsek pedig melegszenek. Ha túl nagy a terhelés, a szigetelés károsodhat. Gazdaságossági szempontból pedig nem mindegy, hogy a berendezés a nap hány százalékában üzemel jó hatásfokkal.

Az alábbi ábra egy tipikus **külső karakterisztikát** mutat: a szekunder oldali feszültséget a terhelő áram függvényében.



25.6. ábra. Transzformátor külső karakterisztikája (szemléltető adatokkal) - Szemléltető, számított értékek: 20 kVA-es, U20 = 230 V-os egyfázisú transzformátor (I2n ≈ 87 A), szekunder oldalra redukált R_s = 0,08 Ω, X_s = 0,10 Ω, cosφ2 = 0,9 induktív; a pontok a ΔU ≈ I2 · (R_s · cosφ2 + X_s · sinφ2) = 0,1156 Ω · I2 közelítő képletből számolva.

Az ábráról leolvasható, hogy a feszültség a terheléssel közel egyenletesen csökken: a közelítő képlet szerint a feszültségváltozás arányos a terhelő árammal, ezért a pontok egyenesre esnek (névleges, 87 A-es terhelésnél kb. 10 V, azaz 4,4 %). A valóságban a görbe enyhén ívelt lehet, és függ a terhelés jellegétől (induktív, kapacitív).

25.2.3. Terhelt transzformátor és a feszültségváltozás

Definíció. A transzformátor külső karakterisztikája a szekunder oldali feszültség és a terhelő áram közötti összefüggés, állandó primer feszültség és állandó $\cos\varphi_2$ mellett:

$$U_2 = f(I_2) \quad \text{ha} \quad U_1 = \text{állandó}.$$

Az üresjárási szekunder feszültség U_{20} és a terheléses feszültség U_2 különbsége a **feszültségváltozás**:

$$\Delta U = U_{20} - U_2.$$

Százalékos alakban:

$$\varepsilon = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100\,\%.$$

A feszültségváltozást a transzformátor belső, szekunder oldalra redukált **eredő impedanciája** okozza, amelyet a primer és szekunder tekercs ellenállásának, szórási reaktanciájának összegeként képzelhetünk el:

$$Z_s = R_s + jX_s,$$

ahol R_s a teljes, szekunder oldalra redukált ellenállás, X_s pedig a teljes szórási reaktancia. A szekunder oldali kapcsoláson a Z_s impedancián a terhelő áram I_2 feszültségesést hoz létre. A feszültségváltozás közelítő képlete – az induktív terhelésű transzformátorok szokásos tartományában – a következő:

$$\Delta U \approx I_2 \left(R_s \cos\varphi_2 + X_s \sin\varphi_2 \right).$$

A képletből látszik, hogy a feszültségváltozás a terhelő árammal arányos, és függ a terhelés teljesítménytényezőjétől. Jellegzetes esetek:

- **Tisztán ohmos** ($\cos\varphi_2 = 1$, $\sin\varphi_2 = 0$): a feszültségesést gyakorlatilag az ellenállás okozza.
- **Erősen induktív** ($\cos\varphi_2$ kicsi, $\sin\varphi_2$ nagy): a reaktancia hozzájárulása jelentős, a feszültségváltozás nagyobb.
- **Kapacitív** terhelésnél ($\sin\varphi_2$ negatív) a feszültségváltozás kisebb, sőt akár feszültségemelkedés is lehet.

Számítás. Egy 25 kVA-es, 400/230 V-os egyfázisú transzformátor szekunder oldalra redukált belső impedanciája $Z_s = 0{,}080\,\Omega$ ($R_s = 0{,}060\,\Omega$, $X_s = 0{,}053\,\Omega$). Mekkora a százalékos feszültségváltozás teljes terhelésen, ha $\cos\varphi_2 = 0{,}85$ induktív?

Névleges szekunder áram:

$$I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{25\,000}{230} \approx 108{,}7\,\text{A}.$$

$\sin\varphi_2 = \sqrt{1 - \cos^2\varphi_2} = \sqrt{1 - 0{,}85^2} = 0{,}527.$

$$\Delta U \approx 108{,}7 \cdot (0{,}060 \cdot 0{,}85 + 0{,}053 \cdot 0{,}527) = 108{,}7 \cdot (0{,}0510 + 0{,}0279) = 108{,}7 \cdot 0{,}0789 \approx 8{,}6\,\text{V}.$$

Százalékban:

$$\varepsilon = \frac{8{,}6}{230} \cdot 100\,\% \approx 3{,}7\,\%.$$

Ellenőrzés: A kapott feszültségváltozás belefér a tipikus elosztótranszformátorok néhány százalékos értékébe. Az áramerősség I_{2n} reális, hiszen 25 kVA teljesítményhez körülbelül 100 A tartozik 230 V-on.

25.2.4. Hatásfok, napi hatásfok és optimális terhelés

A transzformátor a bemenő hatásos teljesítmény egy részét **veszteségként** hővé alakítja. A veszteségek két csoportra oszlanak:

- **Vasveszteség** (P_{vas}): az üresjárási veszteség, amely a váltakozó mágneses tér okozta hiszterézis- és örvényáramú veszteségből áll. A vasveszteség gyakorlatilag a primer feszültségtől és frekvenciától függ, a terheléstől független.
- **Tekercsveszteség** (P_{tekercs}): a tekercsek ellenállásán hővé alakuló teljesítmény, amely a terhelő áram négyzetével arányos:

$$P_{\text{tekercs}} = I_2^2 R_s.$$

A **hatásfok** a leadott és felvett hatásos teljesítmény viszonya:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{vas}} + P_{\text{tekercs}}}.$$

A szekunder oldali hatásos teljesítmény:

$$P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2.$$

Gyakran használjuk a **terhelési tényezőt** (β), amely a tényleges terhelés és a névleges terhelés aránya:

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2n}}.$$

Ezzel a tekercsveszteség:

$$P_{\text{tekercs}} = \beta^2 P_{\text{tekercs,névleges}}.$$

A hatásfok tehát:

$$\eta = \frac{\beta U_{2n} I_{2n} \cos\varphi_2}{\beta U_{2n} I_{2n} \cos\varphi_2 + P_{\text{vas}} + \beta^2 P_{\text{tekercs,névleges}}}.$$

Törvény. A transzformátor hatásfokának maximuma ott van, ahol a vasveszteség és a tekercsveszteség egyenlő. Ezt könnyen beláthatjuk, ha a hatásfokot a terhelési tényező függvényében vizsgáljuk: a nevezőben a β-val arányos teljesítmény és a β^2-tel arányos veszteség összege a hatásfokot abban a pontban maximalizálja, ahol a derivált nulla. A deriválás elvégzése után a feltétel:

$$P_{\text{vas}} = \beta^2 P_{\text{tekercs,névleges}}.$$

Ebből az optimális terhelési tényező:

$$\beta_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{P_{\text{vas}}}{P_{\text{tekercs,névleges}}}}.$$

Számítás. Egy 630 kVA-es transzformátor vasvesztesége 1,2 kW, a névleges tekercsvesztesége 6,5 kW. Mekkora az optimális terhelési tényező, és mekkora terhelésnél lesz a legjobb a hatásfok?

$$\beta_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{1{,}2}{6{,}5}} \approx 0{,}43.$$

Az optimális látszólagos teljesítmény:

$$S_{\text{opt}} = \beta_{\text{opt}} \cdot S_n = 0{,}43 \cdot 630 \approx 271\,\text{kVA}.$$

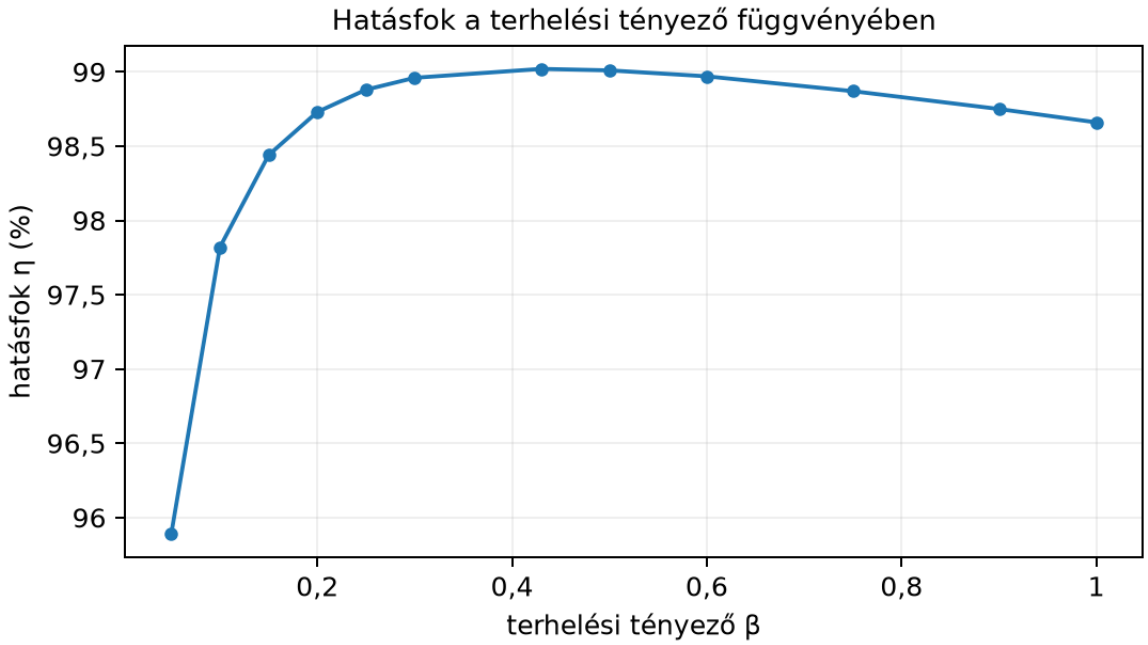
Ez azt jelenti, hogy ez a transzformátor nem teljes terhelésen, hanem körülbelül 43 %-os terhelésen üzemel a legjobb hatásfokkal. A gyakorlatban ezért egy folyamatosan kis terheléssel járó, de nagy névleges teljesítményű transzformátor rosszabb hatásfokkal dolgozhat, mint egy kisebb, jobban terhelt egység.

Napi hatásfok. A hálózati üzemű transzformátorok terhelése a nap folyamán változó, ezért pusztán a névleges hatásfok nem mindig jellemzi jól az energiahatékonyságot. A **napi hatásfok** a nap folyamán leadott összes hatásos energia és a felvett összes hatásos energia hányadosa:

$$\eta_{\text{napi}} = \frac{\sum W_2}{\sum W_1} = \frac{\sum P_{2i}\, t_i}{\sum (P_{2i} + P_{\text{vas}} + P_{\text{tekercs},i})\, t_i}.$$

Itt az egyes időszakokban (t_i) eltérő terhelések és veszteségek jelentkeznek. A napi hatásfok fontos mutató a közüzemi elosztótranszformátorok értékelésénél: az EU ökotervezési előírásai a transzformátorok üresjárási és terhelési veszteségének legnagyobb értékét (nagy egységeknél a csúcshatásfok-indexet) korlátozzák (ellenőrizendő: 548/2014/EU és 2019/1783/EU rendelet, MSZ EN 50588-1 / MSZ EN 50708 sorozat).

Ábra. Az alábbi grafikon a hatásfokot mutatja a terhelési tényező függvényében ($P_{\text{vas}} = 1{,}2\,\text{kW}$, $P_{\text{tek,n}} = 6{,}5\,\text{kW}$, $\cos\varphi_2 = 0{,}9$):



25.7. ábra. Hatásfok a terhelési tényező függvényében - Szemléltető számítás az $\eta = \beta \cdot S_n \cdot \cos\varphi 2 \,/\, (\beta \cdot S_n \cdot \cos\varphi 2 + P_vas + \beta^2 \cdot P_tekercs,névl)$ képletből: $P_vas = 1{,}2$ kW, $P_tekercs,névl = 6{,}5$ kW, $\cos\varphi 2 = 0{,}9$, $S_n = 630$ kVA; a maximum $\beta = \sqrt{(P_vas/P_tekercs,névl)} \approx 0{,}43$-nál van.

Az ábráról leolvasható, hogy a hatásfok kis terhelésnél ($\beta = 0{,}05$: 95,9 %) a vasveszteség miatt alacsonyabb, a részterhelések tartományában viszonylag lapos, majd a teljes terhelés felé enyhén csökken ($\beta = 1$: 98,7 %). A maximum a $\beta \approx 0{,}43$ környékén van, ahogy számítottuk.

25.2.5. Melegedés, hűtés és névleges teljesítmény (kVA)

A transzformátor veszteségei hővé alakulnak. A hőmérséklet addig emelkedik, amíg a keletkező hő teljesítménye egyenlővé nem válik a környezetnek leadott hőteljesítménnyel. A melegedési folyamat időfüggvénye exponenciális jellegű:

$$\Delta\vartheta(t) = \Delta\vartheta_{\text{áll.}} \left(1 - e^{-t/\tau_{\text{hő}}}\right),$$

ahol $\Delta\vartheta_{\text{áll.}}$ a tartósan elérhető hőmérséklet-emelkedés, $\tau_{\text{hő}}$ pedig a hőidőállandó, amely a transzformátor tömegétől, felépítésétől és hűtésétől függ. Nagyobb transzformátorok esetén a hőidőállandó órák nagyságrendű is lehet, ezért rövid ideig túlterhelhetők anélkül, hogy a hőmérséklet veszélyesen megugrana. Hosszú távú túlterhelés viszont a szigetelést károsítja.

A hűtés módjai jellemzően: **természetes léghűtés** (száraz transzformátorok), **olajhűtés** (a tekercsek olajba merülnek, az olaj természetes vagy kényszerített keringetésű), és **ventilátoros** rásegítés. A hűtési módot a típustáblán szereplő betűk jelzik (pl. ONAN, KNAN; ellenőrizendő a gyártói jelölés). A névleges teljesítményt a gyártó a **megengedett legnagyobb tartós hőmérséklet** alapján adja meg, amelyet a szigetelési osztály határoz meg (például A, E, B, F, H osztályok). A gyakorlati szabály: a hőmérséklet tartós túllépése kb. 10 °C-kal a szigetelőanyag élettartamát felére csökkentheti (ellenőrizendő: szigeteléstechnikai szabály, gyártói adat).

A transzformátor teljesítményét **látszólagos teljesítményben (kVA)** adják meg, nem wattban. Ennek oka, hogy a melegedést a tekercsekben folyó áram és a rákapcsolt feszültség okozza,

függetlenül attól, hogy a terhelés hatásos vagy meddő teljesítményt vesz fel. Például egy 100 kVA-es transzformátor akkor is teljes árammal terhelt, ha a fogyasztó $\cos\varphi_2 = 0{,}5$ mellett csak 50 kW hatásos teljesítményt vesz fel: a meddő komponens ugyanúgy melegíti a tekercseket.

25.2.6. Párhuzamos üzem alapfeltételei

A gyakorlatban két vagy több transzformátort kapcsolnak párhuzamosan, ha a terhelés meghaladja egy egység teljesítményét, ha tartalékra van szükség, vagy ha a terhelést gazdaságosan kell elosztani. A párhuzamos üzemhez az alábbi alapfeltételeknek kell teljesülniük:

1. **Azonos primer oldali névleges feszültség és frekvencia.**
2. **Azonos vagy nagyon közeli feszültségáttétel.** Ellenkező esetben kiegyenlítő áram folyik a transzformátorok között már üresjárásban is.
3. **Ugyanazon kapcsolási csoport** (háromfázisú transzformátoroknál), mert különben fáziseltolódás lép fel a szekunder feszültségek között, ami rövidzárlathoz hasonló kiegyenlítő áramot okoz. Ezt a Háromfázisú transzformátor és kapcsolási csoportok alfejezetben részletezzük.
4. **Közel azonos rövidzárási feszültség** (u_k százalékos érték). Ha a rövidzárási feszültségük eltér, a terhelés nem a névleges teljesítmények arányában oszlik meg: a kisebb u_k-val rendelkező transzformátor nagyobb részét viszi a terhelésnek, és túlterhelődhet.

A párhuzamos üzem előnye, hogy a veszteségek csökkenthetők, ha a terhelés kicsi: ilyenkor egy transzformátort kikapcsolhatunk, és a másik közelebb kerül az optimális terhelési tényezőjéhez.

Példa. Két azonos, $S_n = 250\,\text{kVA}$ névleges teljesítményű, 20/0,4 kV-os, Dyn5 kapcsolási csoportú háromfázisú elosztótranszformátor párhuzamosan táplál egy üzemet (a feladat szempontjából az egyszerűség kedvéért csak a névleges teljesítmény és a rövidzárási feszültség számít). T_1 és T_2 rövidzárási feszültsége $u_{k1} = 5\,\%$ és $u_{k2} = 6\,\%$. Hogyan oszlik meg a terhelés?

A gyakorlatban a terhelésmegoszlás közelítőleg a névleges teljesítmények és a rövidzárási feszültségek hányadosa szerint alakul:

$$\frac{S_1}{S_2} \approx \frac{S_{n1}/u_{k1}}{S_{n2}/u_{k2}}.$$

Azonos névleges teljesítményű transzformátoroknál ($S_{n1} = S_{n2}$) ez egyszerűsödik (csak erre az esetre igaz a következő alak):

$$\frac{S_1}{S_2} \approx \frac{u_{k2}}{u_{k1}}.$$

Esetünkben:

$$\frac{S_1}{S_2} \approx \frac{6}{5} = 1{,}2,$$

azaz T_1 körülbelül 20 %-kal nagyobb terhelést visel, mint T_2. Számszerűen: 400 kVA összterhelésnél $S_1 = 400 \cdot 1{,}2/2{,}2 \approx 218\,\text{kVA}$ és $S_2 \approx 182\,\text{kVA}$, egyik sem terhelődik túl. 500 kVA összterhelésnél viszont $S_1 \approx 273\,\text{kVA} > 250\,\text{kVA}$: T_1 túlterhelődik, holott az összterhelés pontosan a két névleges teljesítmény összege (500 kVA). Ezért párhuzamos üzemhez a rövidzárási feszültségeknek közelinek kell lenniük; a névleges teljesítmények aránya se legyen nagy (ellenőrizendő: jellemzően legfeljebb kb. 1:3, gyártói előírás).

25.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy kisebb üzem háromfázisú betápláló transzformátora 630 kVA-es volt. A nappali üzem során a csúcsterhelés alig érte el a 250 kVA-t, éjszaka pedig 10–20 kVA volt. A hálózati engedélyes (elosztó) a transzformátort a vasveszteség miatt is ellenőrizte. Az elemzés kimutatta, hogy a 630 kVA-es transzformátor vasvesztesége viszonylag nagy a kis átlagos terheléshez képest, így a napi hatásfok rossz volt. A megoldás az lett, hogy a cserét követően egy kisebb, 315 kVA-es transzformátort telepítettek, amelynek kisebb vasvesztesége volt; a napi hatásfok javult. A kisebb transzformátor ohmos belső impedanciája azonos $u_k\%$ mellett nagyobb ($Z \sim u_k U^2/S_n$), ezért a feszültségesést újra ellenőrizni kellett, és a megcsapolást szükség szerint át kellett állítani (ellenőrizendő: a tényleges terhelési profil és az u_k ismeretében). Ez a példa mutatja, hogy a transzformátor kiválasztása nem pusztán a névleges teljesítmény megadásából áll: a veszteségi viszonyok és a terhelési profil meghatározzák az üzemköltséget és a feszültségminőséget.

25.2.8. Tipikus hibák

1. **A transzformátort wattban méretezik, és nem veszi figyelembe a meddő teljesítményt.** Egy esztergapad motorja $\cos\varphi = 0{,}5$-tel akár 100 kVA látszólagos teljesítményt is felvehet, miközben a hatásos teljesítménye csak 50 kW. Ha a transzformátort 60 kW-osnak választják, túlterhelődik. Helyes: kVA-ban kell számolni, és a meddőteljesítményt is figyelembe kell venni.
2. **A feszültségváltozást elhanyagolják, és nem ellenőrzik a szekunder feszültséget teljes terhelésen.** Ennek következménye lehet, hogy a távoli fogyasztóknál a feszültség a megengedett tűrésnél alacsonyabb lesz. Helyes: kiszámolni a feszültségváltozást, és szükség esetén fokozati kapcsolót (transzformátor megcsapolásait) alkalmazni.
3. **A párhuzamos üzemnél figyelmen kívül hagyják a rövidzárási feszültség különbségét.** Ha két, eltérő u_k-val rendelkező transzformátort kapcsolnak párhuzamosan, az egyik túlterhelődhet, a másik pedig alulterhelt marad. Helyes: a gyártó által megadott feltételeket ellenőrizni, és csak azonos (vagy közeli) u_k-val rendelkező egységeket párhuzamosítani.

25.2.9. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A transzformátor vasvesztesége a terhelő áram négyzetével arányos.
2. **Igaz vagy hamis?** A transzformátor hatásfoka a teljes terhelésnél mindig a legnagyobb.
3. **Gyors számolás.** Egy transzformátor vasvesztesége 800 W, névleges tekercsvesztesége 3,2 kW. Mekkora az optimális terhelési tényező?
4. **Mi a hiba ebben a gondolatmenetben?** „Mivel a transzformátor névleges teljesítménye 630 kVA, a napi hatásfokot egyszerűen a katalógusban megadott 98 %-os értékkel számolom, függetlenül attól, hogy éjszaka 10 %-os a terhelés.”
5. **Rajzolvasás.** A Szemléletes kép részben látott $U_2(I_2)$ görbén jelöld be a feszültségváltozást ΔU teljes terhelésnél, és magyarázd el, miért csökken a feszültség, ha a terhelés induktív.

25.2.10. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld röviden a transzformátor külső karakterisztikáját és a feszültségváltozást.

2. feladat (A). Egy 10 kVA-es, 230 V-os transzformátor névleges szekunder árama kb. 43,5 A. A szekunder oldalra redukált impedanciája $Z_s = 0{,}20\,\Omega$ ($R_s = 0{,}15\,\Omega$, $X_s = 0{,}13\,\Omega$). Számold ki a feszültségváltozást teljes terhelésen $\cos\varphi_2 = 0{,}8$ (induktív) mellett.

3. feladat (B). Egy 400 kVA-es transzformátor vasvesztesége 900 W, névleges tekercsvesztesége 4,8 kW. Számítsd ki a hatásfokot 30 %, 60 % és 100 % terhelésnél, ha $\cos\varphi_2 = 0{,}85$. Ábrázold a hatásfokot a terhelési tényező függvényében (legalább 5 ponttal).

4. feladat (B). Két azonos, 250 kVA-es transzformátor párhuzamos üzemben dolgozik. $u_{k1} = 5{,}5\,\%$, $u_{k2} = 7\,\%$. Mekkora a terhelésmegoszlás aránya? Melyik transzformátor terhelődik jobban?

5. feladat (C). Egy 160 kVA-es transzformátor terhelési profilja: 8 órán át 20 kW, 8 órán át 80 kW, 8 órán át 120 kW, mindegyik $\cos\varphi_2 = 0{,}8$ mellett. A vasveszteség 600 W, a névleges tekercsveszteség 2,4 kW. Számítsd ki a napi hatásfokot (közelítőleg, a feszültségváltozást elhanyagolva).

6. feladat (D). Üzem közben azt tapasztalod, hogy egy 400/230 V-os transzformátor szekunder feszültsége teljes terhelésnél 218 V-ra csökken, üresjárásban pedig 235 V. A névleges szekunder áram 100 A, $\cos\varphi_2 = 0{,}9$. Milyen feszültségváltozás jött létre százalékban? Hozzávetőleg mekkora a transzformátor belső, szekunder oldalra redukált impedanciája? Értékeld az eredményt: megfelelő-e ez a feszültségtartás, ha a fogyasztói feszültségnek a névleges ±5 %-on belül kell lennie?

25.2.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A vasveszteség a feszültségtől és frekvenciától függ, a tekercsveszteség arányos a terhelő áram négyzetével.
2. **Hamis.** A maximális hatásfok ott van, ahol a vasveszteség egyenlő a tekercsveszteséggel; ez gyakran részterhelésnél van.
3. $\beta_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{800}{3200}} = 0{,}5$.
4. A katalógusban megadott hatásfok általában névleges (vagy adott részterhelésre vonatkozó) érték; éjszakai 10 %-os terhelésnél a tekercsveszteség kicsi, de a vasveszteség továbbra is jelen van, ezért a napi hatásfok ennél rosszabb is lehet. Helyes: napi hatásfokot kell számolni a terhelési profil alapján.
5. A görbén a teljes terhelésnél: $\Delta U = U_{20} - U_2$. Induktív terhelésnél a X_s reaktancia feszültségesése is hozzáadódik, ezért nagyobb a feszültségváltozás.

Feladatok megoldása

1. feladat. A külső karakterisztika az $U_2 = f(I_2)$ függvény, állandó U_1 és $\cos\varphi_2$ mellett. A feszültségváltozás $\Delta U = U_{20} - U_2$.

2. feladat. $I_{2n} = 43{,}5\,\text{A}$. $\sin\varphi_2 = \sqrt{1 - 0{,}8^2} = 0{,}6$.
$\Delta U \approx 43{,}5 \cdot (0{,}15 \cdot 0{,}8 + 0{,}13 \cdot 0{,}6) = 43{,}5 \cdot (0{,}120 + 0{,}078) = 43{,}5 \cdot 0{,}198 = 8{,}6\,\text{V}$.
Ez a 230 V-nak kb. 3,7 %-a.

3. feladat. $S_n = 400\,000$ VA. $P_{2n} = S_n \cos\varphi_2 = 400\,000 \cdot 0{,}85 = 340\,000$ W.
Vasveszteség $P_{\text{vas}} = 900$ W. Névleges tekercsveszteség $P_{\text{tek,n}} = 4800$ W.

A hatásfok általános képlete:

$$\eta = \frac{\beta P_{2n}}{\beta P_{2n} + P_{\text{vas}} + \beta^2 P_{\text{tek,n}}}.$$

- $\beta = 0{,}3$: $P_2 = 0{,}3 \cdot 340\,000 = 102\,000$ W. Veszteség: $900 + 0{,}09 \cdot 4800 = 900 + 432 = 1332$ W. $\eta = 102\,000/103\,332 \approx 0{,}9871 = 98{,}7\,\%$.
- $\beta = 0{,}6$: $P_2 = 204\,000$ W. Veszteség: $900 + 0{,}36 \cdot 4800 = 900 + 1728 = 2628$ W. $\eta = 204\,000/206\,628 \approx 0{,}9873 = 98{,}7\,\%$.
- $\beta = 1{,}0$: $P_2 = 340\,000$ W. Veszteség: $900 + 4800 = 5700$ W. $\eta = 340\,000/345\,700 \approx 0{,}9835 = 98{,}4\,\%$.

Pontok a görbéhez (β, η%): (0,1; 97,3), (0,2; 98,4), (0,3; 98,7), (0,43; 98,8), (0,6; 98,7), (0,8; 98,6), (1,0; 98,4). Kis terhelésnél a vasveszteség miatt a hatásfok gyorsan esik. A maximum kiszámítható: $\beta_{\text{opt}} = \sqrt{900/4800} \approx 0{,}43$, ott $\eta \approx 98{,}8$ %.

4. feladat. A két transzformátor névleges teljesítménye azonos (250 kVA), ezért a terhelésmegoszlás közelítőleg $\frac{S_1}{S_2} \approx \frac{u_{k2}}{u_{k1}} = \frac{7}{5{,}5} \approx 1{,}27$. Az 1-es transzformátor (kisebb u_k) viseli a nagyobb terhelést.

5. feladat. A hatásos teljesítmény × idő:
$W_2 = 20\,000 \cdot 8 + 80\,000 \cdot 8 + 120\,000 \cdot 8 = 160\,000 + 640\,000 + 960\,000 = 1\,760\,000$ Wh $= 1760$ kWh.
A veszteség: minden órában van vasveszteség 600 W $\cdot$ 24 h $= 14\,400$ Wh $= 14{,}4$ kWh.
A tekercsveszteség: $\beta_i^2 \cdot P_{\text{tek,n}}$, ahol $\beta_i = S_i/S_n$.
$S_n = 160$ kVA, $P_{2n} = 160 \cdot 0{,}8 = 128$ kW. A megadott hatásos teljesítményekből $S_i = P_i/0{,}8$.
- 20 kW: $S_1 = 25$ kVA, $\beta_1 = 25/160 = 0{,}156$; $P_{\text{tek},1} = 0{,}156^2 \cdot 2400 \approx 58{,}5$ W; 8 h $\rightarrow$ 468 Wh. - 80 kW: $S_2 = 100$ kVA, $\beta_2 = 100/160 = 0{,}625$; $P_{\text{tek},2} = 0{,}625^2 \cdot 2400 \approx 937{,}5$ W; 8 h $\rightarrow$ 7500 Wh. - 120 kW: $S_3 = 150$ kVA, $\beta_3 = 150/160 = 0{,}9375$; $P_{\text{tek},3} = 0{,}9375^2 \cdot 2400 \approx 2109{,}4$ W; 8 h $\rightarrow$ 16 875 Wh.

Összes tekercsveszteség: $468 + 7500 + 16\,875 = 24\,843$ Wh $\approx 24{,}8$ kWh.
Összes veszteség: $14{,}4 + 24{,}8 = 39{,}2$ kWh.
Napi hatásfok: $\eta_{\text{napi}} = \frac{1760}{1760+39{,}2} \approx 0{,}978 = 97{,}8\,\%$.

6. feladat. $\Delta U = 235 - 218 = 17$ V.
Százalékban: $\varepsilon = \frac{17}{235} \cdot 100\,\% \approx 7{,}2\,\%$.
A közelítő képletből: $\Delta U \approx I_2(R_s \cos\varphi_2 + X_s \sin\varphi_2)$.
$I_2 = 100$ A, $\cos\varphi_2 = 0{,}9$, $\sin\varphi_2 = \sqrt{1 - 0{,}9^2} = 0{,}436$.
A hányados $\Delta U/I_2 = 17/100 = 0{,}17\,\Omega$ nem maga az impedancia, hanem $R_s \cos\varphi_2 + X_s \sin\varphi_2$ értéke; mivel ez legfeljebb $Z_s = \sqrt{R_s^2 + X_s^2}$, a belső impedanciára csak alsó becslést ad: $Z_s \gtrsim 0{,}17\,\Omega$.
Értékelés: teljes terhelésnél $U_2 = 218$ V, ez a 230 V névleges értéktől $(218 - 230)/230 \approx -5{,}2\,\%$, tehát a ± 5 %-os sávon kívül esik (a 7,2 % a terhelés okozta feszültségváltozás, nem a névleges értékhez viszonyított eltérés), így a feszültségtartás nem megfelelő. A megoldás lehet a transzformátor megcsapolásainak átállítása vagy kisebb belső impedanciájú (nagyobb) transzformátor.

25.2.12. Rövid összefoglaló

A terhelt transzformátor szekunder feszültsége a belső impedancián eső feszültség miatt csökken. A feszültségváltozás $\Delta U \approx I_2(R_s \cos\varphi_2 + X_s \sin\varphi_2)$, ahol R_s és X_s a szekunder oldalra redukált eredő ellenállás és reaktancia. A **külső karakterisztika** az $U_2 = f(I_2)$ görbe. A veszteségek két fő részből állnak: a terheléstől független **vasveszteségből** és a terhelő áram négyzetével arányos **tekercsveszteségből**. A hatásfok $\eta = P_2/(P_2 + P_{\text{vas}} + P_{\text{tekercs}})$, és akkor maximális, ha a vasveszteség egyenlő a tekercsveszteséggel. Az optimális terhelési tényező $\beta_{\text{opt}} = \sqrt{P_{\text{vas}}/P_{\text{tek,n}}}$.

A **napi hatásfok** a változó terhelési profil melletti energiaátalakítás hatékonyságát jellemzi. A transzformátor névleges teljesítményét **kVA-ban** adják meg, mert a melegedést az áram és a feszültség szabja meg, nem a hatásos teljesítmény. A párhuzamos üzem alapfeltételei: azonos feszültség, frekvencia, kapcsolási csoport és közel azonos rövidzárási feszültség. Ezeket az eredményeket használjuk a Háromfázisú transzformátor és kapcsolási csoportok alfejezetben, valamint a Transzformátor- és gépmérések alfejezetben.

25.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

A leírt fizikai összefüggések és a matematikai levezetések a klasszikus elektrotechnikai alapokból származnak, és nem igényelnek külön forrásellenőrzést. A szigetelési osztályokra, a hűtési módok jelölésére és a transzformátorokra vonatkozó konkrét szabványokra (pl. MSZ EN 60076 sorozat) és az EU környezettudatos tervezési előírásokra vonatkozó állítások aktuális változata **ellenőrizendő**. A párhuzamos üzemre vonatkozóan a gyártói adatlapok és a hálózati engedélyes követelményei az irányadók; a fenti arányossági szabály közelítő, nem tervezési előírás.

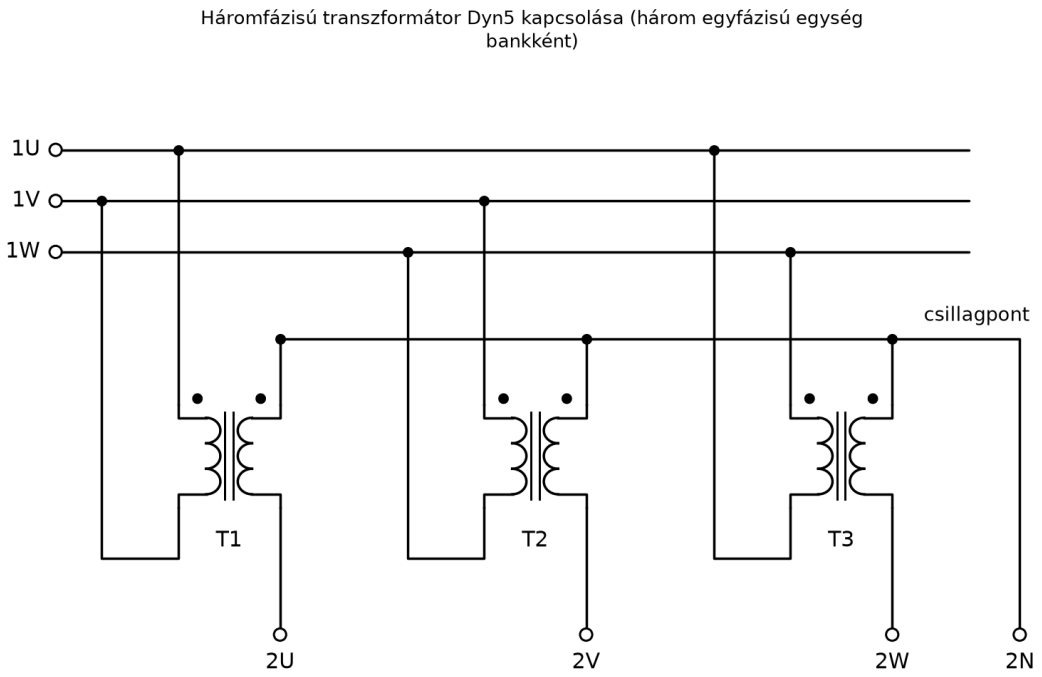
25.3. Háromfázisú transzformátor és kapcsolási csoportok

25.3.1. Motiváció

Egy iparterületen a szerelő új kisfeszültségű elosztót táplál meg, amely a közeli trafóállomás 10/0,4 kV-os transzformátoráról kap feszültséget. A transzformátor névtábláján ez áll: **Dyn5**. A bekötéshez tudnia kell, hogy a szekunder oldalon hol van a nullavezető, milyen fázissorrendre számíthat, és miért nem mindegy, hogy a primer oldal deltában vagy csillagban van-e kapcsolva. Ugyanígy, ha két transzformátort párhuzamosan kell kapcsolni, a kapcsolási csoport tévedése azonnal súlyos köráramot és meghibásodást okozhat. Ezért a kapcsolási csoport nem elvont gyártói adat, hanem a biztonságos üzem, a feszültségmérés és a hálózati illesztés kulcsa.

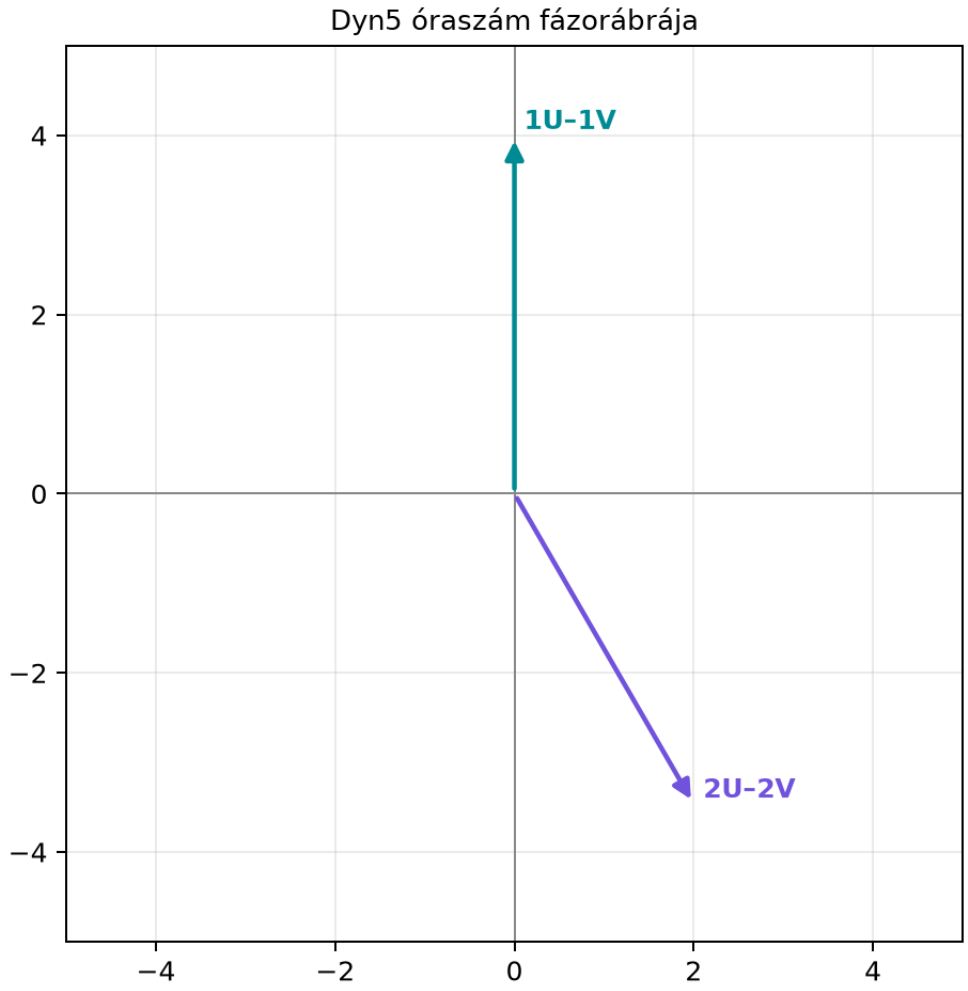
25.3.2. Szemléletes kép: Dyn5 kapcsolás és fázorábra

A következő kapcsolási rajz három egyfázisú transzformátorból felépített háromfázisú bank Dyn5 kapcsolását mutatja. A primer oldal delta (D), a szekunder oldal csillag, kivezetett nullavezetővel (yn). A pont (•) a tekercsek kezdetét, vagyis az azonos polaritású végeket jelöli. A szekunder tekercsek fordított polaritással, a kezdő végükkel kerülnek a csillagpontra – ettől lesz az óraszám 5 és nem 11. A rajz elvi vázlat, nem méretarányos.



25.8. ábra. Háromfázisú transzformátor Dyn5 kapcsolása (három egyfázisú egység bankként) - A primer oldal delta: T1 az 1U–1V, T2 az 1V–1W, T3 az 1W–1U kapcsok közé kapcsolódik, mindegyik a ponttal jelölt kezdetével az elsőként írt kapocsra. A szekunder oldal csillag (yn): a szekunder tekercsek ponttal jelölt kezdete alkotja a 2N csillagpontot, a végük a 2U/2V/2W kapocs. Ha a szekunder tekercsek végét kötnénk a csillagpontba, Dyn11 lenne a kapcsolási csoport. Elvi vázlat, nem méretarányos.

A Dyn5 óraszám azt jelenti, hogy a kisfeszültségű oldali vonali feszültség $5 \cdot 30° = 150°$-ot késik a nagyfeszültségű oldali megfelelő vonali feszültséghez képest. Az óratárcsán a nagy mutató a nagyfeszültségű oldalt, a kis mutató a kisfeszültségű oldalt jelképezi; 5 óránál a kis mutató 150°-kal van a 12 órához képest.



25.9. ábra. Dyn5 óraszám fázorábrája - A nagyfeszültségű oldali vonali feszültség (1U–1V) a referencia, a 12 órás állásban (függőlegesen felfelé). A kisfeszültségű oldali megfelelő vonali feszültség (2U–2V) 150°-ot késik hozzá képest, azaz az óramutató járásával egyező irányban 150°-kal elfordulva az 5 órás állásban van. Óratárcsán: nagy mutató a 12-nél, kis mutató az 5-ösnél.

A vektorábra tehát ugyanazt mutatja, mint a névtáblán a rövid „Dyn5” felirat, csak grafikusan.

25.3.3. Definíciók és szabályok

25.3.3.1. Három oszlopos és bank-elrendezés

Definíció. A háromfázisú transzformátor két alapvető felépítésben készülhet:

- **Három oszlopos magtranszformátor:** egyetlen, közös vasmagon három oszlop van; mindegyik oszlopra az adott fázis primer és szekunder tekercsét helyezik. Ez a legelterjedtebb, mert kompakt, kevesebb vasanyagot igényel, és a mágneses körben a három fázis fluxusa kiegyenlítődik.
- **Bank (három egyfázisú transzformátor):** három különálló, azonos típusú egyfázisú transzformátort kapcsolnak össze primer és szekunder oldalon. Előnye, hogy egy fázis meghibásodásakor csak az adott egységet kell cserélni, és a nagyobb egységek szállítása is

könnyebb lehet. Hátránya a nagyobb helyigény, a nagyobb vasveszteség és a magasabb ár, ezért elsősorban nagy teljesítményeknél vagy különleges üzemekben alkalmazzák.

Megjegyzés. A gyakorlati szerelő többnyire a három oszlopos elosztótranszformátorral találkozik; a bank-elrendezés inkább erőművi vagy nagyipari környezetben fordul elő.

25.3.3.2. Tekercsek kapcsolása

A háromfázisú transzformátor primer és szekunder tekercseit egyaránt csillagba (Y), deltába (D) vagy zegzugba (Z) köthetik. A jelölésben a **nagybetű a nagyobb feszültségű oldalt**, a **kisbetű a kisebb feszültségű oldalt** jelöli. Ha a csillagpont ki van vezetve, akkor a megfelelő oldalon **N** (nagybetű) vagy **n** (kisbetű) jelölést kapjuk.

Összefüggés. A csillag- és deltakapcsolás már ismert összefüggéseiből következik:

- csillag: $U_v = \sqrt{3}\,U_f$, $I_v = I_f$;
- delta: $U_v = U_f$, $I_v = \sqrt{3}\,I_f$.

A **zegzug (Z) kapcsolás** speciális: minden fázis tekercse két féltekercsből áll, amelyeket különböző oszlopokra helyeznek, és egymáshoz képest ellentétes irányban kapcsolnak. Ez csökkenti a nulla sorrendű impedanciát, ezért a zegzug szekunder oldalú transzformátorok jól viselik az egyfázisú, aszimmetrikus terheléseket.

25.3.3.3. Kapcsolási csoport és óraszám

Definíció. A **kapcsolási csoport** a háromfázisú transzformátor primer és szekunder tekercseinek kapcsolási módját, valamint a megfelelő vonali feszültségek közötti fáziseltérést adja meg. A jelölés általános alakja:

- első nagybetű: a nagyobb feszültségű oldal kapcsolása (**Y**, **D**, **Z**);
- második kisbetű: a kisebb feszültségű oldal kapcsolása (**y**, **d**, **z**);
- ha valamelyik csillagpont ki van vezetve, akkor **N** vagy **n**;
- az utolsó szám az **óraszám**, amely az eltérést 30°-os egységekben adja meg.

Szabály. Az **óraszám** értéke 0 és 11 között van, és azt mutatja, hogy a kisfeszültségű oldali megfelelő vonali feszültség hány 30°-os szöggel **késik** a nagyfeszültségű oldali vonali feszültséghez képest. Az óratárcsán a nagy mutató a nagyfeszültségű oldalt jelképezi 12 órán, a kis mutató pedig a kisfeszültségű oldalt; az óraszám a kis mutató állása.

Példa. A **Dyn5** jel azt jelenti:

- **D**: a nagyobb feszültségű oldal delta kapcsolású,
- **y**: a kisebb feszültségű oldal csillag kapcsolású,
- **n**: a kis oldali csillagpont ki van vezetve (nullavezető),
- **5**: a kisfeszültségű oldali vonali feszültség $5 \cdot 30° = 150°$-ot késik a nagy oldalihoz képest.

Hasonlóan **Yzn5** jelentése: nagy oldal csillag, kis oldal zegzug, kivezetett nullavezetővel, 150°-os késés; **Yy0** jelentése: mindkét oldal csillag, nincs kivezetett nullavezető, és a fáziseltérés 0°.

Továbbvitt eredmény. A kapcsolási csoport ismeretét használjuk az Autó-, mérő- és kistranszformátorok, olajtrafó, védelmek, telepítés alfejezetben, ahol az olajtranszformátor üzembe helyezésénél az áttételt és a kapcsolási csoportot ellenőrizzük. A párhuzamos üzem feltételeit a Terhelés, hatásfok, veszteségek és kapcsolások alfejezet már tárgyalta.

25.3.3.4. Elosztótranszformátorok és a nullavezető terhelése

A hazai közcélú elosztóhálózatokban a 10/0,4 kV-os vagy 20/0,4 kV-os transzformátorok (egyes körzetekben 22/0,4 kV-osak is; ellenőrizendő: az elosztói engedélyes aktuális műszaki előírása) leggyakoribb kapcsolási csoportja a **Dyn5** (régebbi hálózatokon **Yzn5** is előfordul, különösen aszimmetrikus terhelésű körzetekben). Ennek oka:

- A szekunder oldal csillagpontja kivezetett, így 230 V fázisfeszültség és 400 V vonali feszültség áll rendelkezésre; a nullavezetőt terhelhetik az egyfázisú fogyasztók.
- A primer delta tekercselés **nem engedi a nulla sorrendű áramok** közvetlen átáramlását a nagyfeszültségű hálózatba. Amikor a szekunder oldalon aszimmetrikus terhelés miatt a nullavezetőn áram folyik, a delta primer oldalon köráram alakul ki, amely ellenhat a nulla sorrendű fluxusnak. Emiatt a fázisfeszültségek aszimmetriája kisebb, mint például egy Yy0 transzformátornál lenne.
- A Dyn5 transzformátor **jól tűri az egyfázisú terhelést**, ezért alkalmas vegyes, lakossági-ipari körzetek ellátására.

Figyelem. A nullavezető terhelhetőségét a transzformátor áramadatlapja és a hálózati engedélyes előírásai szabják meg. Aszimmetrikus terhelésnél a nullavezetőben a fázisáramok vektori összege folyik, ezért a nulla vezető túlterhelhető, ha a tervezés nem veszi figyelembe.

25.3.3.5. Kapocsjelölés és névtábla

A háromfázisú transzformátorok kapcsait szabványosan jelölik, a feszültségszintek szerint:

- nagyobb feszültségű oldal (primer): **1U, 1V, 1W** (és ha van, **1N**),
- kisebb feszültségű oldal (szekunder): **2U, 2V, 2W** és **2N**.

A **névtáblán** a kapcsolási csoporton kívül általában szerepel:

- névleges teljesítmény S_n (kVA),
- névleges feszültségek, pl. $10\,000\,\mathrm{V}/400\,\mathrm{V}$,
- névleges áramok,
- frekvencia,
- rövidzárási feszültség u_k (%),
- hűtési mód és szabvány (MSZ EN 60076 sorozat).

Megjegyzés. A pontos névtábla-mezők gyártónként és szabványkiadásonként eltérhetnek, ezért mindig a tényleges adattáblát kell értelmezni.

25.3.4. Kidolgozott példák

25.3.4.1. 1. példa: Dyn5 elosztótranszformátor névleges áramai

Adott. Egy Dyn5 kapcsolási csoportú elosztótranszformátor:

- névleges teljesítmény $S_n = 630\,\mathrm{kVA}$,
- nagyobb feszültség $U_{1n} = 10\,000\,\mathrm{V}$,
- kisebb feszültség $U_{2n} = 400\,\mathrm{V}$,
- frekvencia 50 Hz.

Keresett. A nagy- és kisfeszültségű oldali névleges vonali áram.

Képlet. Háromfázisú rendszerben a látszólagos teljesítmény:

$$S = \sqrt{3}\, U_v I_v,$$

ahol U_v a vonali feszültség, I_v a vonali áram. Ebből:

$$I_v = \frac{S}{\sqrt{3}\, U_v}.$$

Behelyettesítés.

Nagyfeszültségű oldal:

$$I_{1n} = \frac{630\,000\,\mathrm{VA}}{\sqrt{3} \times 10\,000\,\mathrm{V}} = \frac{630\,000}{17\,320} \approx 36{,}4\,\mathrm{A}.$$

Kisfeszültségű oldal:

$$I_{2n} = \frac{630\,000\,\mathrm{VA}}{\sqrt{3} \times 400\,\mathrm{V}} = \frac{630\,000}{692{,}8} \approx 909\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés. Az áttétel $U_{1n}/U_{2n} = 10\,000/400 = 25$. A névleges áramok aránya fordított: $909/36{,}4 \approx 25$. A két oldal áramaránya megegyezik az áttétellel, tehát a számítás helyes. ∎

25.3.4.2. 2. példa: Óraszám átszámítása fokra

Adott. Egy transzformátor kapcsolási csoportja **Yd11**.

Keresett. A kisfeszültségű oldali vonali feszültség fáziseltérése a nagyfeszültségű oldalhoz képest.

Képlet. Az óraszám h, az eltérés szöge:

$$\varphi_{\text{eltérés}} = h \times 30^\circ.$$

Behelyettesítés. $h = 11$:

$$\varphi_{\text{eltérés}} = 11 \times 30^\circ = 330^\circ.$$

A 330°-os késés egyenértékű 30°-os sietéssel, ezért az Yd11 csoportban a kisfeszültségű oldali vonali feszültség 30°-ot siet a nagyfeszültségű oldalhoz képest. **Megjegyzés.** A szabványos óraszám mindig késést ad meg, de a 330°-os késés ugyanazt a vektort jelenti, mint a 30°-os sietés; a megfogalmazásnál a szabványos értelmezést használjuk. ∎

25.3.4.3. 3. példa: Miért nem mindegy a kapcsolási csoport párhuzamos üzemnél?

Hibás elképzelés. Valaki azt gondolja, hogy két azonos feszültségű és teljesítményű transzformátor párhuzamosan kapcsolható, ha mindkettő 10/0,4 kV-os. Ez **téves**.

Indoklás. Párhuzamos üzemben a két transzformátor primer és szekunder kapcsai azonos fázisú feszültségre kerülnek. Ha a kapcsolási csoportjuk eltérő, például az egyik **Dyn5**, a másik **Yy0**, akkor a szekunder feszültségeik között 150°-os fáziseltérés van, ami azonos nagyságú fázisfeszültségeknél kb. 444 V feszültségkülönbséget jelent (lásd az 5. feladatot). Ez a két szekunder oldal között nagy köráramot hajt, amely már üresjárásban is túlterhelheti a tekercseket, és pillanatszerűen tönkreteheti a transzformátorokat. A kapcsolási csoportnak azonosnak kell lennie (vagy azonos óraszámúnak), és emellett a feszültségáttételnek és a rövidzárási feszültségnek is össze kell illenie.

25.3.5. Szabvány

Szabvány. A háromfázisú teljesítménytranszformátorokra vonatkozó európai/magyar szabvány az **MSZ EN 60076** sorozat (IEC 60076). Ebben a sorozatban rögzítik a teljesítménytranszformátorok névleges adatait, vizsgálatait, hűtési módjait és a kapcsolási csoportok jelölését. A kapcsolási csoport jelölésének logikája (betűk és óraszám) ebből a szabványból származik; a transzformátor kapocs- és kapcsolásicsoport-jelölését a teljesítménytranszformátor-szabványsorozat (MSZ EN 60076-1; ellenőrizendő: pontos szakasz és aktuális kiadás), a rajzjeleket az **MSZ EN 60617** tartalmazza. (A forgógépek, motorok kapocsjelölését az MSZ EN 60034-8 adja; erről a Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány alfejezet szól). A pontos szabványkiadásokat és az esetleges nemzeti kiegészítéseket ellenőrizni kell (aktuális MSZT-katalógus). A névtábla adatainál mindig a gyártói dokumentáció és a hatályos előírás a mérvadó.

25.3.6. Valós életbeli alkalmazás

Eset. Egy közcélú trafóállomásban 630 kVA, 10/0,4 kV, **Dyn5** transzformátor üzemel. A szerelő egy új ipari fogyasztói csatlakozást készít elő, és a kisfeszültségű elosztóban ellenőrzi a fázissorrendet. Azt tapasztalja, hogy a szekunder oldalon a fázisok sorrendje L1, L2, L3, és a nullavezető a csillagpontból van kivezetve, a földeléssel összekötve. A fogyasztói mérőhelynél 400 V vonali feszültséget mér, fázisonként 230 V-ot a nullához képest. Egy egyfázisú, 3,5 kW-os fűtőtestet az L1 fázisra kötnek; ez aszimmetrikus terhelést okoz, de a Dyn5 transzformátor ezt jól viseli. A feszültség a másik két fázison csak minimálisan változik, a nullavezetőn a várható egyfázisú áram folyik. A szerelő tudja: ha egy időben több egyfázisú berendezés kerül ugyanarra a fázisra, a nulla vezető túlterhelhető, ezért a terhelést a fázisok között kiegyenlítve kell elosztani.

Tanulság. A Dyn5 jel rövid, de a gyakorlatban a szerelő számára azt jelenti, hogy a szekunder oldal csillagpontja kivezetett, a nullavezető használható, és a transzformátor jól tűri az egyfázisú fogyasztókat. A kapcsolási csoport félreértése azonban már a csatlakozás tervezésekor hibás döntéshez vezethet.

25.3.7. Interaktív ábra: kapcsolási csoport vizsgáló

Az alábbi interaktív ábrán a felhasználó csúszkával kiválaszthatja a leggyakoribb kapcsolási csoportokat (például **Yy0**, **Yy6**, **Dyn5**, **Yzn5**, **Yd11**). A fázorábrán megjelenik a nagyfeszültségű oldali vonali feszültség referencia vektora (12 óra, függőlegesen felfelé), valamint a kisfeszültségű oldali megfelelő vonali feszültség vektora. Az óratárcsa az adott óraszámot, a szöveges mező a

fáziseltérést fokban mutatja. Egy sematikus kapcsolási vázlat a primer és szekunder tekercsek kapcsolását (delta, csillag, zegzug, nullavezető) ábrázolja.

A statikus tartalék a **Dyn5** állapotot mutatja: delta primer, csillag szekunder kivezetett nullavezetővel, 5-ös óraszám, 150°-os késés.



25.10. ábra. Dyn5 kapcsolási csoport fázorábrája és kapcsolási vázlata

25.3.8. Tipikus hibák

1. **A kis- és nagybetű jelentésének felcserélése.** Gyakori hiba, hogy valaki a **Dyn5** jelet úgy értelmezi, hogy a szekunder oldal delta, a primer pedig csillag. A helyes: a nagybetű mindig a nagyobb feszültségű oldalt jelöli, tehát a **D** a primer delta, az **y** a szekunder csillag.

2. **Az óraszámot közvetlenül foknak gondolni.** Az **5** nem 5°-ot, hanem $5 \cdot 30° = 150°$-ot jelent. Ez a tévedés mérési jegyzőkönyvben vagy fázisforgatásnál rossz következtetéshez vezet.

3. **A nullavezető kivezetését figyelmen kívül hagyni.** Ha a szekunder csillag, de a nullavezető nincs kivezetve (például **Dyn** helyett **Dy**), akkor nem lehet 230 V-os egyfázisú fogyasztókat táplálni. A szerelőnek ellenőriznie kell, hogy a névtáblán és a kapocsdobozban valóban van-e **n** jelű kivezetés.

4. **Eltérő kapcsolási csoportú transzformátorok párhuzamos kapcsolása.** Ez súlyos hiba: még azonos feszültség és teljesítmény mellett is köráram keletkezik, amely a transzformátorokat és a kapcsolókészülékeket károsítja. A párhuzamos üzem előtt a kapcsolási csoportnak azonosnak kell lennie.

25.3.9. Önellenőrzés

1. Mit jelöl a **D** és az **y** betű a **Dyn5** kapcsolási csoportban?
2. Hány fokos fáziseltérés tartozik a **Dyn5** óraszámhoz?
3. Igaz vagy hamis? Az **Yy0** csoportban a szekunder oldali vonali feszültség fázisban van a primer oldalival.
4. Miért előnyös a **Dyn5** elosztótranszformátor erősen aszimmetrikus terhelésnél?
5. Rajzold le vázlatosan a **Dyn5** primer és szekunder tekercseinek kapcsolását, és jelöld a nullavezetőt.
6. Egy 400 kVA, 20/0,4 kV, **Dyn5** transzformátor nagyfeszültségű oldali névleges árama körülbelül mekkora?

25.3.10. Feladatok

1. feladat (A)
Írd le szavakkal a **Yzn5** kapcsolási csoport jelölését: melyik oldal milyen kapcsolású, van-e nullavezető, és mekkora a fáziseltérés?

2. feladat (A)
Hány fokos késést jelent a **Dyn11** óraszám? Ábrázold ezt az óratárcsán vektorokkal.

3. feladat (B)
Egy **Dyn5** transzformátor névleges adatai: $S_n = 250\,\text{kVA}$, $U_{1n} = 20\,000\,\text{V}$, $U_{2n} = 400\,\text{V}$. Számítsd ki mindkét oldal névleges vonali áramát, és ellenőrizd az áttétellel.

4. feladat (B)
Adott egy háromfázisú transzformátor kapcsolási rajza: a primer oldalon a tekercsek csillagban vannak, a szekunder oldalon deltában. A nagymutató a nagyfeszültségű oldali vonali feszültséget jelképezi, a kismutató 11 órán áll. Írd fel a kapcsolási csoport jelét, és mondd meg a szekunder fáziseltérést.

5. feladat (C)
Két transzformátort akarnak párhuzamosan üzemeltetni. Az egyik **Dyn5**, a másik **Yyn0**, mindkettő 10/0,4 kV, 630 kVA. Magyarázd el, miért tilos a párhuzamos kapcsolás, és mi történne, ha mégis megtennék. Válaszodban számítsd ki a két szekunder oldal közötti feszültségkülönbség nagyságát is, feltételezve, hogy a primer oldalak azonos feszültségre vannak kötve, és a fázisfeszültségek azonos nagyságúak.

6. feladat (D)
Egy trafóállomásban a szerelő mérést végez. Azt méri, hogy a kisfeszültségű oldalon a fázissorrend L1, L2, L3, és a 2N nullavezetőn $I_n = 0\,\text{A}$, ha a három fázis árama kiegyenlített. Ezután az L1 fázisra egy $I_{\text{L1}} = 10\,\text{A}$, a másik két fázisra $I_{\text{L2}} = I_{\text{L3}} = 0\,\text{A}$ terhelést kapcsol. Mekkora áram folyik ilyenkor a nullavezetőn, ha a terhelés ohmos? Magyarázd el, miért fontos ez a Dyn5 transzformátornál.

Biztonsági korlát. Trafóállomásban csak jogosult, kioktatott személy dolgozhat; a mérés lakatfogóval (legalább CAT IV besorolású műszerrel), a feszültség alatti részek megérintése nélkül történik; tanulóként a feladatot számítási feladatként oldd meg.

25.3.11. Megoldások

25.3.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **D**: a nagyfeszültségű oldal delta, **y**: a kisfeszültségű oldal csillag, **n**: a szekunder csillagpont kivezetett.

2. $5 \cdot 30^\circ = 150^\circ$.

3. Igaz, az Yy0 jelben a 0 óra 0°-os eltérést jelent.

4. Mert a primer delta tekercselés köráramot alakít ki a nulla sorrendű fluxus ellen, így a fázisfeszültségek aszimmetriája kisebb, mint Yy kapcsolásnál lenne.

5. A rajz: primer delta (3 tekercs háromszögben), szekunder csillag (3 tekercs közös pontja a nullavezető). A kapcsolást a 25.3.2 alszakasz Dyn5-kapcsolási rajza mutatja.

6. $I_{1n} = \frac{400\,000}{\sqrt{3}\times 20\,000} \approx 11{,}5\,\mathrm{A}$.

25.3.11.2. 1. feladat megoldása

A **Yzn5** jelentése:

- **Y**: a nagyfeszültségű oldal csillag kapcsolású,
- **z**: a kisfeszültségű oldal zegzug kapcsolású,
- **n**: a szekunder csillagpont ki van vezetve,
- **5**: 150°-os késés a szekunder vonali feszültségnél.

25.3.11.3. 2. feladat megoldása

A **Dyn11** óraszám $11 \cdot 30^\circ = 330^\circ$. Ez a kisfeszültségű oldali vonali feszültség 330°-os késését jelenti, ami vektoriálisan 30°-os sietés. Az óratárcsán a nagy mutató a 12-nél, a kis mutató a 11-esnél áll.

25.3.11.4. 3. feladat megoldása

Adott. $S_n = 250\,\mathrm{kVA}$, $U_{1n} = 20\,\mathrm{kV}$, $U_{2n} = 400\,\mathrm{V}$.

Keresett. I_{1n} és I_{2n}.

Képlet: $I = \frac{S}{\sqrt{3}\,U_v}$.

Nagyfeszültségű oldal:

$$I_{1n} = \frac{250\,000\,\mathrm{VA}}{\sqrt{3}\times 20\,000\,\mathrm{V}} = \frac{250\,000}{34\,641} \approx 7{,}2\,\mathrm{A}.$$

Kisfeszültségű oldal:

$$I_{2n} = \frac{250\,000\,\mathrm{VA}}{\sqrt{3}\times 400\,\mathrm{V}} = \frac{250\,000}{692{,}8} \approx 361\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés. Az áttétel $20\,000/400 = 50$. Az áramok aránya $361/7{,}2 \approx 50$, tehát a számítás helyes. ∎

25.3.11.5. 4. feladat megoldása

A primer oldal csillag (Y), a szekunder delta (d). Az óraszám 11. Ha a szekunder oldalon nincs kivezetett nullavezető (delta), akkor a jelölés **Yd11**. A szekunder vonali feszültség 330°-ot késik a primerhez képest (vagy 30°-ot siet).

25.3.11.6. 5. feladat megoldása

Adott. T1: **Dyn5**, T2: **Yyn0**, mindkettő 10 kV / 0,4 kV, 630 kVA.

Kérdés. Miért tilos párhuzamosan kapcsolni?

A párhuzamos üzemhez azonos kapcsolási csoport szükséges. Itt az óraszámok különböznek: T1 szekunder feszültsége 150°-ot késik, T2 szekunder feszültsége 0°-ot késik a primerhez képest. A két szekunder oldal közötti fáziseltérés 150°. Ha a primer oldalakat azonos feszültségre kötjük, a szekunder oldalak közötti feszültségkülönbség közelítőleg:

$$\Delta U = 2\,U_f \sin\!\left(\frac{\varphi}{2}\right),$$

ahol U_f a szekunder fázisfeszültség 230 V, $\varphi = 150^\circ$:

$$\Delta U = 2 \times 230 \times \sin(75^\circ) \approx 2 \times 230 \times 0{,}966 \approx 444\,\mathrm{V}.$$

Ez a 444 V a két szekunder oldal közötti kis impedancián keresztül záródik, ami már üresjárásban is a névlegesnél jóval nagyobb köráramot hajthat. A transzformátorok és a kapcsolókészülékek azonnal tönkremehetnek. Ezért a párhuzamos kapcsolás **tilos**, amíg a kapcsolási csoportok azonosak nem lesznek. ∎

25.3.11.7. 6. feladat megoldása

Adott. $I_{\mathrm{L1}} = 10\,\mathrm{A}$, $I_{\mathrm{L2}} = 0$, $I_{\mathrm{L3}} = 0$, a terhelés ohmos, tehát a fázisáramok fázisszögei megegyeznek a feszültségekével.

Keresett. A nullavezető árama I_n.

Négyvezetékes (csillagpontos) rendszerben a nullavezetőben a fázisáramok vektori összege folyik:

$$\vec{I}_n = \vec{I}_{\mathrm{L1}} + \vec{I}_{\mathrm{L2}} + \vec{I}_{\mathrm{L3}}.$$

Mivel a másik két áram nulla:

$$\vec{I}_n = \vec{I}_{\mathrm{L1}} = 10\,\mathrm{A}.$$

Tehát a nullavezetőn ugyanakkora áram folyik, mint az egyetlen terhelt fázison. Ez rávilágít arra, hogy erősen aszimmetrikus terhelésnél a nullavezetőt ugyanolyan keresztmetszetre kell méretezni, mint a fázisvezetőket, vagy akár nagyobbra, ha a harmonikus áramok is jelen vannak. A Dyn5 transzformátor jól tűri az ilyen terhelést, de a szerelőnek biztosítania kell, hogy a nullavezető és a csillagpont bekötése megfelelő legyen. ∎

25.3.12. Rövid összefoglaló

A háromfázisú transzformátor lehet három oszlopos magtranszformátor vagy három egyfázisú egységből álló bank. Tekercseit csillagba (Y/y), deltába (D/d) vagy zegzugba (Z/z) kapcsolhatják; a csillagpont kivezetése N/n jelölést kap. A kapcsolási csoport (pl. Dyn5, Yzn5, Yy0) a nagyobb feszültségű oldal kapcsolását nagybetűvel, a kisebb feszültségű oldalét kisbetűvel, a fáziseltérést pedig óraszámmal adja meg. Az óraszám 0–11 között lehet, minden óra 30°-nak felel meg. A Dyn5 elosztótranszformátort elterjedten használják, mert a szekunder csillagpont kivezetett nullavezetőt ad, a primer delta tekercselés pedig csökkenti az aszimmetrikus terhelés okozta feszültségtorzulást. A kapocsjelölés a nagyfeszültségű oldalon 1U/1V/1W, a kisfeszültségű oldalon 2U/2V/2W/2N. A névtáblán a névleges teljesítmény, feszültségek, áramok, frekvencia, u_k és hűtési mód szerepel. **Továbbvitt eredmény.** A kapcsolási csoportok ismeretét az Autó-, mérő- és kistranszformátorok, olajtrafó, védelmek, telepítés alfejezetben a helyes telepítéshez (fázishelyes bekötés), a párhuzamos üzem feltételeit pedig a Terhelés, hatásfok, veszteségek és kapcsolások alfejezetben már megismertük; a kapcsolási csoport azonosságát a párhuzamos kapcsolás előtt ellenőrizni kell. Eltérő óraszámú transzformátorok párhuzamos kapcsolása tilos, mert nagy köráram keletkezik, amely azonnali meghibásodást okozhat.

25.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

Az elméleti összefüggések (áttétel, óraszám, delta/csillag áram- és feszültségviszonyok) stabil fizikai és elektrotechnikai ismeretek. A kapcsolási csoportok jelölésére vonatkozó szabvány az MSZ EN 60076 sorozat; a pontos kiadást, a kapocsjelölésre vonatkozó jelenlegi szabványokat és a névtáblán előírt mezőket ellenőrizni kell az aktuális MSZT-katalógusban. A Dyn5 elosztótranszformátorok hazai gyakorisága, valamint a nullavezető terhelhetőségére vonatkozó konkrét előírások a hálózati engedélyesek és a gyártók aktuális dokumentációitól függenek.

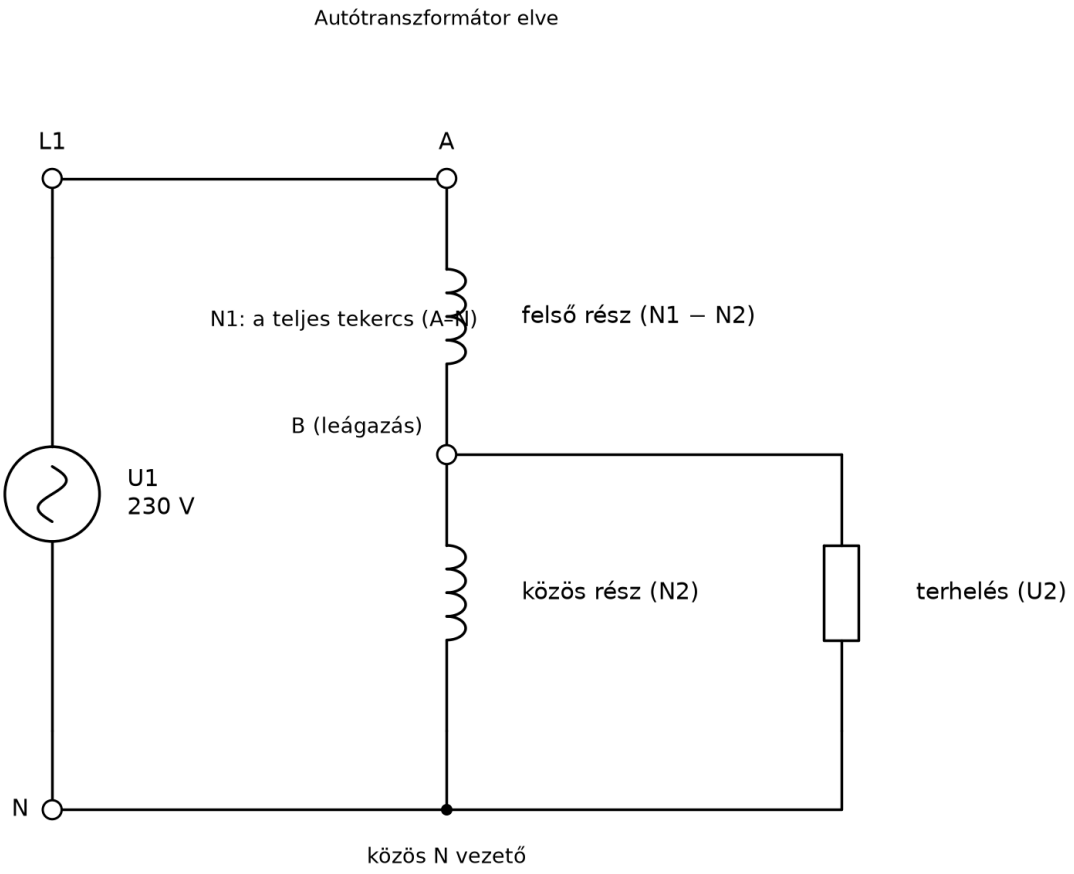
25.4. Autó-, mérő- és kistranszformátorok, olajtrafó, védelmek, telepítés

A Háromfázisú transzformátor és kapcsolási csoportok alfejezetben megismerted a háromfázisú transzformátorok működését, tekercselési kapcsolásait és kapcsolási csoportjait. A szerelői gyakorlatban viszont sokszor nem „nagy” erőátviteli transzformátorral, hanem speciális kivitelű készülékekkel találkozol: csengőtranszformátorral, hegesztőgéppel, vezérlőtranszformátorral, mérőváltókkal vagy egy transzformátorállomás olajhűtésű gépével. Ebben az alfejezetben ezeket a kiviteleket, az áram- és feszültségváltók sajátos veszélyeit, valamint az olajtranszformátorok védelmét és telepítését tanulod meg.

25.4.1. Speciális transzformátorok

25.4.1.1. Autótranszformátor

Az autótranszformátor olyan transzformátor, amelyben a primer és a szekunder oldal nem galvanikusan elválasztott, hanem egyetlen közös tekercsen osztozik. A feszültségváltoztatást a tekercs leágazása adja.



25.11. ábra. Autótranszformátor elve - A primer (U1) a teljes tekercsre kapcsolódik (A és N között, N1 menet); a terhelés a B leágazás és a közös N vezető közé kerül, és csak az alsó, N2 menetes tekercsrész feszültségét kapja: $U2 \approx U1 \cdot N2/N1$. A közös tekercsrész miatt a primer és a szekunder kör nincs galvanikusan elválasztva.

Definíció. Az autótranszformátor egyetlen tekercseléssel rendelkező transzformátor, amelyben a primer és szekunder kör közös tekercsrészen osztozik. A feszültségáttétel közelítőleg a menetszámok arányával egyezik meg, azaz $U_1/U_2 \approx N_1/N_2$.

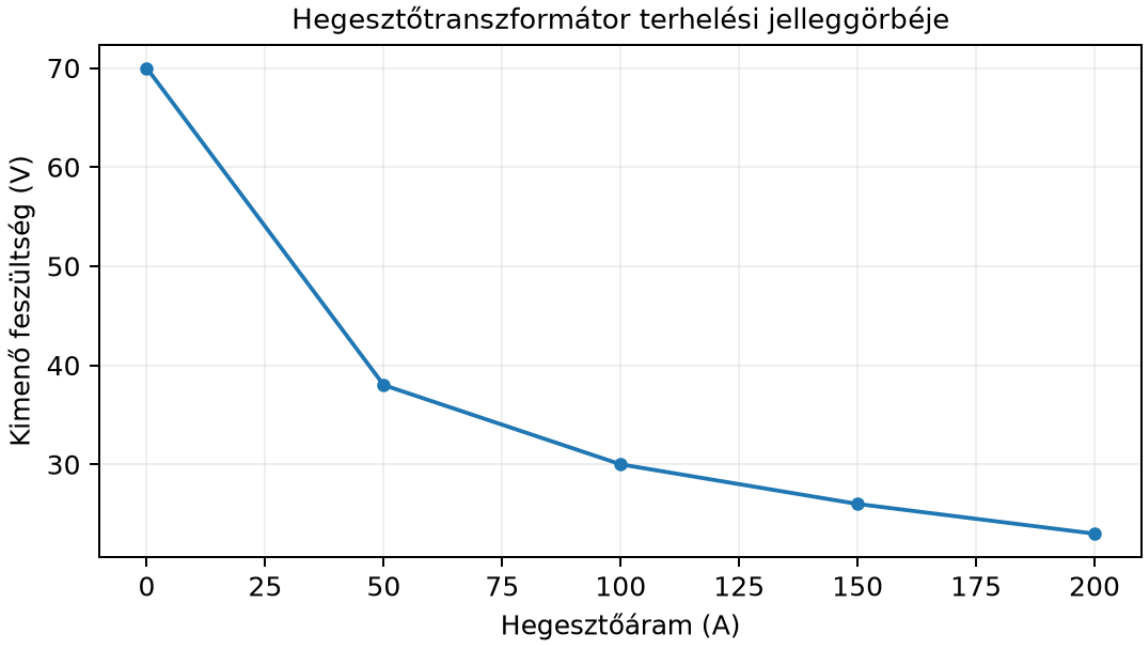
Előnye, hogy kisebb, könnyebb és olcsóbb, mint az azonos teljesítményű kéttekercses transzformátor. Hátránya, hogy a primer és szekunder kör nincs galvanikusan elválasztva, így hálózati feszültségű körben érintésvédelmi szempontból nem ad védőelválasztást. A gyakorlatban autótranszformátort használnak például régi típusú feszültségszabályozókban, indítóberendezésekben vagy szünetmentes tápegységek egyes fokozataiban.

25.4.1.2. Hegesztőtranszformátor

A hegesztőtranszformátor ívhegesztéshez készült, jellemzően lefelé hajló terhelési karakterisztikával. Bekapcsoláskor nagyobb üresjárati feszültség (55–80 V) biztosítja a gyújtást, majd az ív meggyújtása után a feszültség 20–30 V-ra esik le, miközben a hegesztőáram 80–200 A vagy több is lehet.

Szabály. A hegesztőtranszformátort soha ne használd olyan feladatra, ahol a kimenő feszültségnek állandónak kell lennie, mert karakterisztikája szándékosan lágy, azaz a terhelőáram növekedésével a feszültség csökken.

A hegesztőgép primer oldalát általában a műhely elosztójából, külön védőelemmel látják el. A szekunder kört rövid, nagy keresztmetszetű hajlékony kábelekkel, speciális hegesztőfogóval és testkábellel kötik. A testkábel csatlakoztatását a munkadarabhoz mindig közvetlenül, tiszta felületre kell elvégezni.



25.12. ábra. Hegesztőtranszformátor terhelési jelleggörbéje - Szemléltető értékek: tipikus kis hegesztőtranszformátor munkapontjai. A pontos görbe a gyártó adatlapjáról olvasható le.

25.4.1.3. Biztonsági transzformátor

Definíció. A biztonsági transzformátor olyan leválasztó transzformátor, amelynek névleges kimenő feszültsége legfeljebb 50 V váltakozó feszültség, és a primer–szekunder tekercsek között kettős vagy megerősített szigetelés van (MSZ EN 61558-2-6; ellenőrizendő: aktuális kiadás). A SELV vagy PELV áramkör tipikus forrása; a szabvány ezen kívül akkumulátort, a hálózattól független forrást és megfelelő szabványú (SELV-minősítésű) elektronikus tápegységet is elfogad (MSZ HD 60364-4-41; ellenőrizendő: pontos szakasz). Az 50 V-os határ a névleges, üresjárásban is betartandó érték (ellenőrizendő: szabvány). A kimenetét törpefeszültségű áramkörök (SELV vagy PELV) táplálására használják.

Gyakori kivitel: 230 V / 12 V vagy 24 V, 20–200 VA, csengőhöz, LED világításhoz, fürdőszobai tükörvilágításhoz, kaputelefonhoz. A szekunder oldalon nem jelenik meg hálózati feszültség, ezért az ilyen áramkör sokkal kisebb áramütési kockázatot jelent. A csatlakozókapcsokon azonban ügyelj arra, hogy a primer oldal 230 V-os kapcsait ne cseréld fel a 12 V-os kimenettel.

Szabvány. A biztonsági transzformátorok követelményeit az MSZ EN 61558 sorozat tárgyalja (ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás). A gyártói adatlapon fel kell tüntetni a maximális kimenő feszültséget, a teljesítményt és a szigetelési osztályt.

25.4.1.4. Választótranszformátor (leválasztó transzformátor)

A választó- vagy leválasztó transzformátor áttétele általában 1:1, azaz kimenő feszültsége megegyezik a bemenővel, de a szekunder oldal galvanikusan el van választva a hálózattól. A cél a védőelválasztás: ha a szekunder körben egy testzárlat alakul ki, a primer hálózat földelt pontja és a szekunder kör között nincs vezető kapcsolat, ezért a hibafeszültség nem zárul áramkörré. Ilyen táplálást például kéziszerszámoknál, szűk, vezetőképes környezetben (kazán, tartály) végzett munkánál vagy javítóműhelyi mérőhelyen használnak. (Az orvosi helyiségek leválasztó transzformátoros táplálása más rendszer: orvosi IT-hálózat szigetelésfigyelővel, több fogyasztóval; ez nem védőelválasztás – ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-710.)

Szabály. Védőelválasztásnál a szekunder kör egyetlen pontját sem szabad földelni vagy védővezetőhöz kötni; egy leválasztó transzformátorról lehetőleg egyetlen készüléket táplálj. Több készülék csak akkor csatlakozhat, ha testeiket földeletlen, szigetelt egyenpotenciálú vezető köti össze, és a további feltételek teljesülnek (MSZ HD 60364-4-41, védőelválasztás; ellenőrizendő: pontos szakasz). A szekunder vezeték legyen rövid és ellenőrizhető, mert egy második szigetelési hiba már veszélyes érintési feszültséget okozhat.

25.4.1.5. Gyújtótranszformátor

A gyújtótranszformátor nagyon nagy feszültséget állít elő kis teljesítménnyel, hogy szikrát gyújtson: gázégőben, olajégőben, szikraköznél. A kimenő feszültség 7–15 kV lehet, árama néhány milliamper. Mivel a kimenet nagyfeszültségű, műszerrel nem szabad közvetlenül mérni; a hibakeresés csakis gyártói dokumentáció alapján, szakképzett személlyel és az előírt biztonsági szabályokkal történhet.

25.4.2. Áramváltó és feszültségváltó

A mérőváltók feladata, hogy a nagy áramú vagy nagy feszültségű hálózati mennyiséget a mérőműszerek és védelmi relék számára kezelhető, kis értékre alakítsák át, ugyanakkor galvanikus leválasztást is biztosítsanak. Az áramváltó az áramot, a feszültségváltó a feszültséget alakítja át.

25.4.2.1. Áramváltó

Definíció. Az áramváltó olyan mérőváltó, amelynek primer tekercse sorosan csatlakozik a mérendő áramú vezetékbe, szekunder tekercse pedig zárt áramkörre (mérőműszerre, relére vagy rövidzárra) kapcsolódik. Névleges szekunder árama Magyarországon jellemzően 1 A vagy 5 A.

Az áramváltó menetszám-áttétele úgy működik, hogy a primer menetszám N_1 kicsi, a szekunder menetszám N_2 nagy. Ideális esetben:

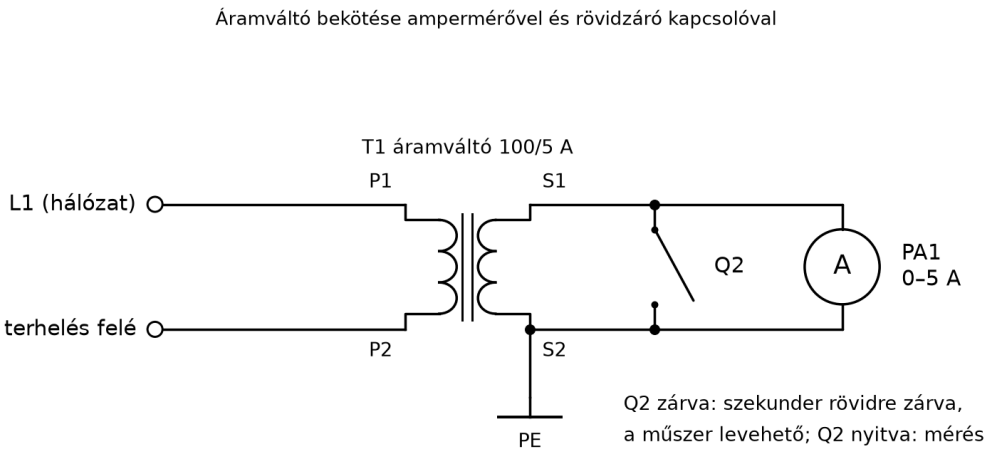
$$I_1 N_1 = I_2 N_2 \quad \Rightarrow \quad I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1}{\vartheta_i},$$

ahol ϑ_i az áramváltó névleges áttétele, például $\vartheta_i = 100/5 = 20$.

A gyakorlati áramváltókon a névleges adatok felirata például: „100/5 A 5 VA 0,5 osztály”.

Figyelem. Áramváltó üzem közben a szekunder oldalát soha nem szabad megszakítani! Ha a szekunder kör nyitott marad, a primer áram a vasmagot erősen telítésbe viszi, a szekunder

kapcsokon veszélyesen nagy feszültség (akár több kV) indukálódik, és a vas is túlmelegedhet. Ezért az áramváltó szekunderét, ha nincs rácsatlakoztatott műszer, rövidre kell zárni, vagy erre szolgáló rövidzáró kapcsolóval kell felszerelni.



25.13. ábra. Áramváltó bekötése ampermérővel és rövidzáró kapcsolóval - A primer (P1–P2) a fővezetőbe sorosan kapcsolódik, a szekunder (S1–S2) galvanikusan elválasztott kör: S1 → PA1 ampermérő → S2. A Q2 rövidzáró kapcsoló az S1 és S2 kapcsok között, a műszerrel párhuzamosan van: zárva rövidre zárja a szekundert (a műszer ekkor levehető), nyitva mérünk. Az S2 kapocs földelt (PE). A szekunder kört üzem közben megszakítani tilos.

A rajzon a primer (P1–P2) a fővezetőbe sorosan kapcsolódik, a szekunder kör (S1–S2) ettől galvanikusan elválasztott. A Q2 rövidzáró kapcsoló a műszerrel párhuzamosan, közvetlenül az S1 és S2 kapcsok között van: a műszer levétele előtt Q2-t zárjuk, így a szekunder kör soha nem szakad meg. Az S2 kapocs földelt.

Szabvány. Az áramváltók és feszültségváltók követelményeit, pontossági osztályait a mérőváltókra vonatkozó MSZ EN 61869 sorozat tartalmazza (ellenőrizendő: pontos szabványhivatkozás). A védőföldelést a szekunder kapocsra általában az S2-re kell kötni, a gyártói rajz szerint.

25.4.2.2. Feszültségváltó

Definíció. A feszültségváltó olyan mérőváltó, amelynek primer tekercse párhuzamosan csatlakozik a mérendő feszültségre, szekunder tekercse pedig nagy impedanciájú, közel üresjárásban működő terhelésre (voltmérő, védelmi relé). Névleges szekunder feszültsége 100 V vagy $100/\sqrt{3}$ V.

A feszültségváltó áttétele:

$$\vartheta_u = \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2}.$$

Például egy 10 kV / 100 V-os feszültségváltó áttétele 100.

Figyelem. A feszültségváltó szekunder oldalát sem szabad rövidre zárni, mert a nagy szekunder áram a kis tekercsellenálláson keresztül gyorsan tönkreteszi a tekercset, és veszélyes hő keletkezhet. A szekunder kör egyik pontját általában földelni kell, így a szekunder áramkör a nagyfeszültségtől leválasztott, földpotenciálhoz rögzített áramkör lesz.

25.4.3. Kidolgozott példák

Példa 1 – Autótranszformátor. Egyetlen tekercs feszültségszabályozóként működik. A teljes tekercs 230 V-ra csatlakozik, menetszáma 920. A 110 V-os leágazás hány menetes?

Adott: $U_1 = 230\,\mathrm{V},\ N_1 = 920,\ U_2 = 110\,\mathrm{V}$. Keresett: N_2.

A feszültségáttétel:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \Rightarrow \quad N_2 = N_1 \frac{U_2}{U_1}.$$

Behelyettesítve:

$$N_2 = 920 \cdot \frac{110}{230} = 920 \cdot 0{,}4783 \approx 440\,\mathrm{menet}.$$

Ellenőrzés: a feszültségarány $110/230 \approx 0{,}48$, a menetszám-arány $440/920 \approx 0{,}48$, tehát egyezik. ∎

Példa 2 – Áramváltó. Egy 100/5 A-es, 0,5 osztályú áramváltóra 5 A-es ampermérő csatlakozik. Mekkora szekunder áram folyik, ha a primer vezeték 60 A-t visz?

Adott: $\vartheta_i = 100/5 = 20,\ I_1 = 60\,\mathrm{A},\ I_{2\mathrm{névl}} = 5\,\mathrm{A}$. Keresett: I_2.

$$I_2 = \frac{I_1}{\vartheta_i} = \frac{60}{20} = 3\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: 60 A a névleges primer áram 60%-a, így a szekunder áramnak is a névleges 60%-ának, azaz 3 A-nak kell lennie. A műszer skálája természetesen 100 A-re kalibrálható, így 60 A-t mutat. ∎

Példa 3 – Feszültségváltó. Egy 10 000/100 V-os feszültségváltóra 100 V-os voltmérő van kötve. A primer feszültség 10 450 V. Mennyit mutat a voltmérő?

Adott: $\vartheta_u = 10\,000/100 = 100,\ U_1 = 10\,450\,\mathrm{V}$. Keresett: U_2.

$$U_2 = \frac{U_1}{\vartheta_u} = \frac{10\,450}{100} = 104{,}5\,\mathrm{V}.$$

Ellenőrzés: a primer feszültség 4,5%-kal haladja meg a névleges feszültséget, így a szekunder feszültség is 4,5%-kal nagyobb, azaz 104,5 V. A műszer skálája 10 000 V-ra kalibrálva 10 450 V-ot mutat. ∎

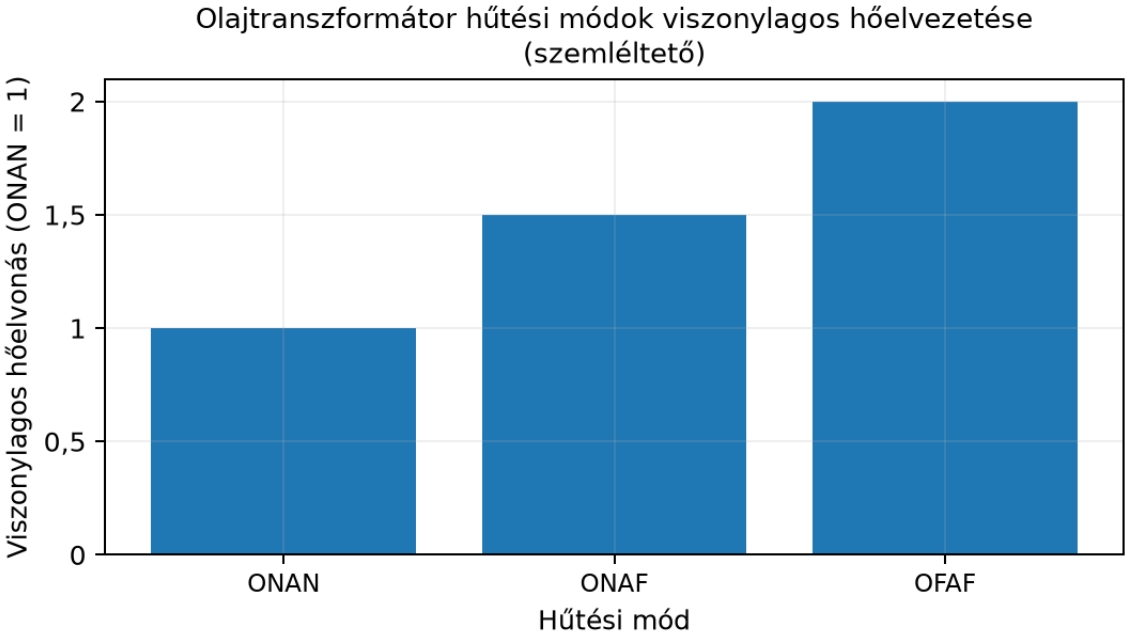
25.4.4. Olajtranszformátor: felépítés, hűtés és védelem

A nagyobb teljesítményű elosztótranszformátorok (például 50–1600 kVA) gyakran olajszigetelésű és olajhűtésű kivitelben készülnek. A transzformátor aktív része (vasmag és tekercsek) fémtartályban, ásványi vagy növényi alapú szigetelőolajban helyezkedik el. Az olaj kettős szerepet lát el: szigetel és elvezeti a hőt.

A hűtés módja szerint megkülönböztetjük:

- ONAN: olaj természetes keringésű, levegő természetes áramlású;
- ONAF: olaj természetes, levegő kényszerített (ventilátoros);
- OFAF: olaj kényszerített, levegő kényszerített áramlású.

A tartály felületét gyakran bordákkal vagy radiátorokkal növelik. A felső és alsó hőmérséklet-különbség természetes keringést indít el, ezért a meleg olaj felfelé száll, a hűtőbordán lehűl, majd alul visszaáramlik a tekercsekhez.



25.14. ábra. Olajtranszformátor hűtési módok viszonylagos hőelvezetése (szemléltető) - Szemléltető arányok, nem gyártói adat: csak a sorrendet (ONAN < ONAF < OFAF) mutatják. A valós hőelvonást és a hozzá tartozó terhelhetőséget a gyártó adja meg a környezeti hőmérséklet és a terhelés függvényében (ellenőrizendő: adatlap).

Buchholz-relé. Az olajtöltetű transzformátor tartálya és a konzervátor (olajtágulási tartály) közé gázrelé, ún. Buchholz-relé van beépítve. A belső szigetelési hiba (szikrázás, ívképződés) során az olaj elbomlik, gáz képződik. A gázbuborék a relébe jutva először a felső úszót megbillenti, ami riasztást ad; ha a hiba nagyívű, akkor az olajáramlás hirtelen meglökésre az alsó úszót is átbillenti, ami azonnali kikapcsolást vált ki.

A Buchholz-relé két fokozatú: „riasztás” (gázgyűlés) és „kioldás” (erős olajáramlás). A riasztásnál a transzformátort ellenőrizni kell, mintát venni az olajból, és gázanalízist végezni. A kioldásnál a transzformátort nem szabad visszakapcsolni alapos vizsgálat nélkül.

Hőmérséklet-védelem. Az olaj hőmérsékletét a tartályba épített hőmérővel jelzik, gyakran kontaktusokkal: előbb jelzés (pl. 80 °C), majd kioldás (pl. 95 °C) – az értékeket mindig

a gyártói útmutató határozza meg, ezért jelölésük szükséges. A tekercshőmérséklet-mérő az olajhőmérséklethez hozzáad egy, a tekercsárammal arányos hőmérséklet-különbözetet, így a valós tekercshőmérsékletet becsüli.

Egyéb védelmek. Az elosztótranszformátor primer oldalát túláramvédelem, gyakran olvadóbiztosító vagy motoros hajtású megszakító védi. A szekunder oldalon kismegszakítók vagy megszakítók adják a túlterhelés- és zárlatvédelmet. Nagyobb egységeknél differenciálvédelem, túlnyomás-védelem, olajszint-ellenőrzés is előfordul. A védelmeket a hálózati engedélyes előírásai és az MSZ EN 60076 sorozat szerint alakítják ki (ellenőrizendő: aktuális kiadás).

Szabvány. Az erőátviteli transzformátorokra vonatkozó általános követelményeket az MSZ EN 60076 sorozat tárgyalja. A villamos berendezés telepítésénél az MSZ HD 60364 és a hálózati engedélyes csatlakozási feltételei az irányadók (ellenőrizendő: pontos hivatkozások).

25.4.5. Telepítés, üzembe helyezés és karbantartás

Az olajtranszformátorokat általában transzformátorállomásba szerelik. A telepítés során be kell tartani a gyártói utasításokat és a helyi előírásokat.

Szabály. A transzformátor környezetét úgy kell kialakítani, hogy a keletkező hőt el tudja vezetni, a szivárgó olaj ne szennyezze a talajt, és tűz esetén a láng ne terjedhessen át a szomszédos épületekre. Ezt a telepítési helyszín típusa (beltéri, kültéri) és a környezet szerint kell méretezni (ellenőrizendő: aktuális tűzvédelmi és környezetvédelmi előírások).

A beltéri transzformátorhelyiségnél különös figyelmet kell fordítani a szellőzésre. A természetes szellőzés alsó és felső nyílásokkal biztosítható; a méretezést a hőveszteség, a helyiség térfogata és a megengedett belső hőmérséklet alapján számítják. Kültéri állomásnál a burkolat, a kerítés és a tűztávolság a meghatározó.

Az üzembe helyezés előtt ellenőrizni kell:

- a szigetelési ellenállást (primer–szekunder, tekercs–föld),
- az olajszintet és az olaj állapotát,
- a Buchholz-relé működését (próbanyomóval),
- a védelmek beállítását és kioldását,
- a földelőhálózathoz való csatlakozást,
- az áttételt és a kapcsolási csoportot.

A karbantartás időszakos feladatai: olajminta-vétel (szigetelési szilárdság, víztartalom, gázanalízis), szigetelési ellenállás mérés, csatlakozók húzása, elszíneződés és szivárgás keresése, a hűtőfelület tisztítása, a védelmek működési próbája.

25.4.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy középfeszültségű/kisfeszültségű (KÖF/KIF) transzformátorállomásban az olajtranszformátor primer oldala 10 kV-os középfeszültségű hálózathoz csatlakozik, szekunder oldala a 230/400 V-os kisfeszültségű elosztót táplálja. Az állomásban a szerelő azt tapasztalja, hogy a Buchholz-relé riasztást adott, de a transzformátor még üzemel. A szakszemélyzet olajmintát vesz, és a gázanalízis arra utal, hogy a tekercsszigetelés (papír-olaj) helyi túlmelegedést szenvedett; valószínűleg egy laza csatlakozás vagy a hűtés nem megfelelő. A szakszemélyzet a transzformátort kiveszi az üzemből, megismétli az olaj-gázanalízist (trend), megméri a tekercsellenállásokat és a szigetelési ellenállást; a laza belső csatlakozás vagy a túlmelegedés okát a gyártó bevonásával tárják fel, és csak a hiba megszüntetése és a vizsgálatok megfelelő eredménye után helyezik újra

üzembe. A hiba tanulsága: a gázrelé riasztása nem „csak egy jelzés”, hanem a belső bomlási folyamat korai jele, amelyet mindig komolyan kell venni.

Biztonsági korlát. A fenti műveletek hálózati feszültségű és középfeszültségű környezetben történtek; ilyen munkát csak jogosult, a hálózati engedélyes által felhatalmazott szakszemélyzet végezhet, a feszültségmentesítés öt szabályával.

25.4.7. Hibakeresési eset

Eset: Áramváltó szekunder szakadás. Egy ipari elosztóban a szerelő azt észleli, hogy az energiafogyasztás-mérő áramértéke időnként nullára esik, miközben a motorok járnak. A kapcsolószekrényben lévő áramváltó szekunder kivezetéseit megvizsgálva az egyik sorkapocs meleg, a szigetelés enyhén barna, és a kapcsolatok lazák.

Tünet: a mérő nem mutat áramot, a sorkapocs melegszik, szikrázásnyom látszik.

Hipotézis: a szekunder kör szakadt, ezért az áramváltó vasmagja telítésbe ment, nagy feszültség indukálódik, és a laza érintkezés melegszik.

Mérés és ok: a berendezést feszültségmentesítik (öt szabály). A szekunder kör folytonosságát multiméterrel ellenőrzik; a kapocs és a vezeték között szakadást találnak. A primer oldalt eközben nem szabad bontani, amíg a szekunder nincs megbízhatóan rövidrezárva vagy a berendezés le van választva.

Javítás: a szekunder kört megfelelő keresztmetszetű vezetékkel, húzónyomatékos sorkapoccsal újrakötik, az áramváltó szekunder S2 kivezetését földelik. A visszakapcsolás után a mérő újra pontos értéket mutat.

Megelőzés: az áramváltó szekunderét mindig tehermentesített, jól húzott csatlakozóval kell szerelni; a mérő levételéhez rövidzáró kapcsolót vagy rövidzárat kell alkalmazni. A szekunder áramkört időszakosan ellenőrizni kell.

25.4.8. Tipikus hibák

1. **Áramváltó szekunder szakadásának figyelmen kívül hagyása.** Ha üzem közben a szekunder kört megszakítják, nagy, veszélyes feszültség jelenhet meg. Helyes: mérő levétele előtt rövidre zárni a szekunder kapcsokat.
2. **Biztonsági transzformátor összekeverése a leválasztóval.** A biztonsági trafó kimenő feszültsége ≤50 V, a leválasztó transzformátor kimenő feszültsége akár 230 V is lehet. Helyes: a típust a feladatnak megfelelően választani.
3. **Olajtranszformátor riasztásának ignorálása.** A Buchholz-relé riasztása után a transzformátort tovább terhelik. Helyes: azonnal kivizsgálni, olajmintát venni, a gyártói és üzemeltetői utasítás szerint eljárni.
4. **Hegesztőtranszformátor hosszabbítóval, rossz kábellel.** A nagy primer áram és a hosszabbító ellenállása feszültségesést, melegedést, tüzet okozhat. Helyes: rövid, megfelelő keresztmetszetű betáp, külön védőelem.

25.4.9. Önellenőrzés

1. Mi a különbség az autótranszformátor és a leválasztó transzformátor között?
2. Miért veszélyes az áramváltó szekunder körét megszakítani?
3. Egy 200/5 A-es áramváltóra 5 A-es ampermérő van kötve. Mennyi a szekunder áram, ha a primer áram 150 A?
4. Mi a Buchholz-relé két fokozata és mit jelez?
5. Milyen hűtési módokat ismerünk az olajtranszformátoroknál?
6. Miért földelik a feszültségváltó szekunder oldalának egyik pontját?

A válaszokat lásd a Megoldások elején.

25.4.10. Feladatok

1. feladat (A). Sorolj fel három speciális transzformátort és jellemezd a feladatukat egy-egy mondatban.

2. feladat (A). Egy autótranszformátor teljes tekercsének menetszáma 1200, primer feszültsége 230 V. Hány menetes a leágazás, ha a kimeneti feszültség 115 V?

3. feladat (B). Egy 300/5 A-es áramváltó szekunder oldalára 5 A-es mérő van kötve. Számítsd ki a szekunder áramot 75, 150 és 300 A primer áramnál. Ellenőrizd az arányosságot.

4. feladat (B). Egy feszültségváltó áttétele 10 000/100. A voltmérő 98,5 V-ot mutat. Mekkora a primer feszültség?

5. feladat (C). Egy hegesztőtranszformátor primer feszültsége 230 V, üresjárati szekunder feszültsége 70 V, névleges hegesztőárama 180 A. A szekunder munkafeszültség 30 V; a szekunder ív ohmosnak vehető. Becsüld meg a primer áramot névleges hegesztőáramnál, ha a primer teljesítménytényező 0,55 (kompenzálatlan, szórótranszformátoros gép), és a transzformátor hatásfoka 90%. Ellenőrizd a nagyságrendet.

6. feladat (D). Egy elosztó szekrényben áramváltó van az energiafogyasztó mérőhöz. A mérő áramot nem mutat. Írd le a hibakeresés lépéseit a feszültségmentesítéstől a javításig, figyelembe véve az áramváltó szekunder szakadásának veszélyét.

25.4.11. Megoldások

25.4.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Az autótranszformátornál a primer és szekunder közös tekercsen osztozik, nincs galvanikus leválasztás; a leválasztó transzformátor primer és szekunder tekercse egymástól független, galvanikusan elválasztott.
2. A szekunder szakadáskor a primer áram a vasmagot telítésbe viszi, a szekunder kapcsokon nagyon nagy feszültség indukálódik, ami életveszélyes és a mérőt is tönkreteszi.
3. $I_2 = I_1 / \vartheta_i$, ahol $\vartheta_i = 200/5 = 40$. Így $I_2 = 150/40 = 3{,}75\,\text{A}$.
4. A Buchholz-relé első fokozata a gázgyülem miatt riasztást ad; második fokozata az erős olajáramlás miatt azonnali kikapcsolást vált ki.
5. ONAN, ONAF, OFAF. Az első betű az olaj (természetes/kényszerített), a második a levegő (természetes/kényszerített) áramlását jelzi.
6. A szekunder oldal egyik pontját földelik, hogy a szekunder áramkör földpotenciálhoz legyen rögzítve, és ne lebegjen, így a szigetelési hibából eredő veszélyes feszültség megjelenését elkerüljék.

25.4.11.2. Feladatok megoldása

1. feladat. Például: - Autótranszformátor: egy tekercs, a feszültséget leágazással változtatja, galvanikus leválasztás nélkül. - Hegesztőtranszformátor: lehajló karakterisztikával nagy hegesztőáramot ad. - Biztonsági transzformátor: legfeljebb 50 V kimenő feszültség, galvanikus leválasztással, törpefeszültségű áramkörökhöz.

2. feladat. Adott: $N_1 = 1200$, $U_1 = 230\,\mathrm{V}$, $U_2 = 115\,\mathrm{V}$. Képlet: $N_2 = N_1 \frac{U_2}{U_1}$. Behelyettesítés: $N_2 = 1200 \cdot \frac{115}{230} = 1200 \cdot 0{,}5 = 600$ menet. Ellenőrzés: a kimeneti feszültség a fele a bemenőnek, tehát a menetszám is a fele. ∎

3. feladat. Áttétel $\vartheta_i = 300/5 = 60$. - 75 A-nél: $I_2 = 75/60 = 1{,}25\,\mathrm{A}$, - 150 A-nél: $I_2 = 150/60 = 2{,}5\,\mathrm{A}$, - 300 A-nél: $I_2 = 300/60 = 5\,\mathrm{A}$. Ellenőrzés: az áramok aránya megegyezik a primer áramok arányával, tehát lineáris. ∎

4. feladat. Adott: $\vartheta_u = 100$, $U_2 = 98{,}5\,\mathrm{V}$. Képlet: $U_1 = U_2 \cdot \vartheta_u = 98{,}5 \cdot 100 = 9850\,\mathrm{V}$. Ellenőrzés: a szekunder feszültség kicsit kisebb, mint a névleges 100 V, tehát a primer is kicsit kisebb, mint a névleges 10 000 V, a kapott 9850 V helyes nagyságrendű. ∎

5. feladat. Adott: $U_1 = 230\,\mathrm{V}$, $U_2 = 30\,\mathrm{V}$, $I_2 = 180\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi_1 = 0{,}55$, $\eta = 0{,}9$ (szórótranszformátoros, kompenzálatlan hegesztőtranszformátor, ellenőrizendő: gyártói adatlap); a szekunder ív ohmos ($\cos\varphi_2 = 1$). A szekunder hatásos teljesítmény:

$$P_2 = U_2 I_2 = 30 \cdot 180 = 5400\,\mathrm{W}.$$

A primer hatásos teljesítménye a hatásfok miatt:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{5400}{0{,}9} = 6000\,\mathrm{W}.$$

A primer áram:

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1 \cos\varphi_1} = \frac{6000}{230 \cdot 0{,}55} = \frac{6000}{126{,}5} \approx 47\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: 180 A hegesztőáram 30 V-nál 5,4 kW hatásos teljesítmény; a primer oldalon 230 V-nál ez kb. 47 A. A hegesztőtranszformátor nagy szórási reaktanciája miatt a primer $\cos\varphi$ kicsi, ezért a primer áram jóval nagyobb, mint amit a hatásos teljesítményből $\cos\varphi = 1$-gyel becsülnénk (kb. 26 A). Egy szokásos 16 A-es dugaszolóaljzat-kör erre nem elég: a hegesztőgép külön, méretezett áramkört igényel (ellenőrizendő: gyártói adat, bekapcsolási idő). ∎

6. feladat. A hibakeresés lépései: 1. Feszültségmentesítés az öt biztonsági szabály szerint: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése (kétpólusú feszültségvizsgálóval (MSZ EN 61243-3) minden vezetőpáron (L–L, L–PE), a vizsgáló működését előtte és utána ismert forráson ellenőrizve), földelés és rövidrezárás szükség esetén, szomszédos részek lefedése. 2. Ellenőrizni, hogy a mérő áramváltó csatlakozása biztonságos-e: a szekunder kör kivezetései megfelelően rögzítettek-e, nincs-e laza sorkapocs. 3. A szekunder kör folytonosságának mérése multiméterrel; ha szakadt, meg kell találni a szakadás helyét. 4. Ha a mérőt le kell venni, előbb a szekunder kapcsokat rövidre kell zárni egy rövidzáró kapcsolóval vagy ideiglenes rövidzárral, hogy a primer áram ne okozzon veszélyes feszültséget. 5. A szakadt vezeték javítása vagy a kapocs meghúzása, majd a rövidzár eltávolítása. 6. A visszakapcsolás után ellenőrizni, hogy a mérő ismét áramot mutat, és a csatlakozók nem melegszenek.

25.4.12. Rövid összefoglaló

A speciális transzformátorok közül az autótranszformátor egyetlen tekercset használ, emiatt nincs galvanikus leválasztása; a hegesztőtranszformátor lágy, lehajló karakterisztikát ad; a biztonsági transzformátor ≤50 V kimenő feszültséggel táplál SELV/PELV köröket; a választótranszformátor 1:1 áttétellel védőelválasztást biztosít; a gyújtótranszformátor nagyfeszültségű szikrát állít elő. Az áramváltó primer oldala soros, szekunder oldala zártan üzemel; az áttétel $I_2 = I_1/\vartheta_i$, a szekunder szakadása tilos, mert nagy feszültséget indukál. A feszültségváltó primer oldala párhuzamos, szekunder oldala közel üresjárásban működik, rövidzárása tilos. Az olajtranszformátorok hűtése ONAN, ONAF vagy OFAF módú lehet. Védelmükben a Buchholz-relé kiemelt szerepet kap: a gázgyülem riasztást, az erős olajáramlás kioldást vált ki. A telepítésnél a szellőzést, a tűztávolságot és az olajfelfogást az előírások szerint kell kialakítani. Az üzembe helyezéskor és karbantartáskor ellenőrizni kell a szigetelést, az olaj állapotát, a védelmek működését és a földelést. Minden munkánál be kell tartani a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát, és hálózati feszültségű beavatkozást csak jogosult személy végezhet.

25.4.13. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezetben hivatkozott szabványok: MSZ EN 61558 (transzformátorok biztonsága), MSZ EN 61869 (mérőváltók), MSZ EN 60076 (erőátviteli transzformátorok), MSZ HD 60364 (kisfeszültségű villamos berendezések). A pontos szabványszámok, szakaszok, hőmérsékleti határértékek és a hűtési módok besorolása a hatályos kiadások szerint ellenőrizendők. A megadott példák értékei tanulási célúak, éles telepítésnél a gyártói adatlap és a hatályos előírások a mérvadók.

26 Aszinkron (indukciós) gépek

26.1. Szerkezet és működési elv, forgó mágneses mező

26.1.1. Motiváció: miért kell ismerned a forgó mágneses mezőt?

Amikor egy háromfázisú aszinkron motort bekötsz, a kapocsdobozban hat tekercskapoccsal (U1, V1, W1, U2, V2, W2), a PE-kapoccsal, valamint három fázisvezetővel és a védővezetővel találkozol. A motor mégis magától elindul, és a tengelye egy adott irányba forog. Ha rossz irányba forog, a fázissorrend megcserélésével megfordíthatod; ha nem indul, gyakran az egyik fázis hiányzik. Ahhoz, hogy ezeket a jelenségeket ne csak betanult fogásként, hanem szakszerűen tudd kezelni, ismerned kell az aszinkron motor szerkezetét és a forgó mágneses mező keletkezésének elvét.

Ebben az alfejezetben felépítjük a motort az állórésztől a forgórészig, és megértjük, hogyan hoz létre a háromfázisú tekercselés állandó nagyságú, folyamatosan forgó mágneses mezőt. A megértéshez felhasználjuk A háromfázisú rendszer és a hálózati jellemzők és a Mágneses tér, indukció és mágneses kör alfejezet alapjait. A tényleges bekötés hálózati feszültségen csak jogosult személy feladata; tanulóként csak tanműhelyi környezetben, oktató felügyeletével dolgozz.

26.1.2. Szemléletes kép: a motor mint elektromos forgó mágnes

Az aszinkron motor két fő mágnesköre az **állórész** és a **forgórész**. Az állórész (sztátor) a házhoz rögzített, hornyokkal ellátott lemezelt vasmag, amelyben háromfázisú tekercselés helyezkedik el. A forgórész (rotor) a tengelyen ül, és a két csapágy között szabadon forog. A két rész között keskeny, néhány tized milliméteres légrés van, amelyen a mágneses mező átlép.

A háromfázisú állórész-tekercselés úgy van kialakítva, hogy a három tekercs tengelye a térben 120°-kal el van forgatva egymáshoz képest. Ha ezekre a tekercsekre egymáshoz képest időben 120°-kal eltolt, szimmetrikus háromfázisú feszültséget kapcsolunk, a tekercsekben folyó áramok egy **állandó nagyságú, állandó sebességgel forgó mágneses mezőt** hoznak létre. Ez a forgó mező indukál feszültséget a forgórészben, és az így keletkező áramok, valamint a mező kölcsönhatása nyomatékot hoz létre. A motor tehát úgy működik, mint egy „elektromos mókuskerék”: a mező fut előre, a forgórész pedig „üldözi”, de soha nem éri utol teljesen.

A motor egyszerűsített metszetét (ház, hornyos állórész-vasmag a három fázistekercs U1–U2, V1–V2, W1–W2 oldalaival, keskeny légrés, kalickás forgórész a rudakkal, tengely) „A forgó mágneses mező keletkezése” pont ábrájának bal felső része mutatja.

26.1.3. Az aszinkron motor fő szerkezeti részei

26.1.3.1. Állórész

Az állórész feladata a forgó mágneses mező létrehozása. Fő részei:

- **Lemezelt vasmag:** vékony, egymástól szigetelt szilícium-vas lemezekből áll. A lemezelés csökkenti az örvényáramú veszteségeket. A belső kerületen hornyok vannak, amelyekbe a tekercselés kerül.
- **Háromfázisú tekercselés:** a motor pólusszámától függően több tekercscsoportból áll. A tekercsek végeit a kapocsdobozban hozzák ki, jellemzően U1, V1, W1 kezdetek és U2, V2, W2 végek jelöléssel.
- **Ház és csapágyak:** a ház védi a belső részeket, tartja a csapágyakat és elvezeti a hőt. A házon bordák, a tengelyen gyakran hűtőventilátor van.

A pólusszám a tekercselés kialakításától függ. Egy **póluspár** (p) egy északi és egy déli pólust jelent; a **pólusszám** ennek kétszerese: **2p**. Ha egy tekercselésben 4 pólus van, akkor p = 2 póluspár, és a forgó mező a hálózati frekvencia felénél, 50 Hz esetén 1500 1/min szinkron fordulatszámon forog.

26.1.3.2. Forgórész (rotor)

Az aszinkron motornak két fő forgórésztípusa van.

26.1.3.2.1. Kalickás (rövidrezárt) forgórész A kalickás forgórész a leggyakoribb és legegyszerűbb felépítésű. A lemezelt vasmag hornyaiba **rudak** vannak behelyezve vagy öntve, a rudak végeit pedig két **rövidrezáró gyűrű** köti össze. A rudak és a gyűrűk együttesen egy „mókuskerékhez" vagy kalickához hasonló zárt hurkokat alkotnak. A rudak anyaga gyakran alumínium vagy réz; a kisebb motoroknál a kalickát nyomásos öntéssel, egy darabban alakítják ki. A kalicka nem rendelkezik szigetelt tekercseléssel, és nincs kivezetése; az áram a rudakban indukált feszültség hatására folyik.

26.1.3.2.2. Csúszógyűrűs forgórész A csúszógyűrűs (tekercselt forgórészű) motor forgórészén a kalicka helyett **háromfázisú tekercselés** van. A tekercs végeit a tengelyre szerelt három **csúszógyűrűre** vezetik ki. A gyűrűkhöz **szénkefék** csatlakoznak, amelyek lehetővé teszik, hogy a forgórészkörbe külső ellenállásokat vagy más eszközöket iktassunk. Ezt jellemzően nagy indítónyomatékot igénylő hajtásoknál használják, mert a külső ellenállással az indítási tulajdonságok szabályozhatók. A csúszógyűrűs motor bonyolultabb és karbantartásigényesebb, mint a kalickás.

26.1.4. A forgó mágneses mező keletkezése

A forgó mágneses mező megértéséhez induljunk ki három, térben 120°-kal eltolt tekercsből. Kapcsoljunk rájuk szimmetrikus háromfázisú feszültséget. Az egyes fázisok áramait az idő függvényében egymáshoz képest 120°-kal eltolt szinuszos jelként írhatjuk le:

$$i_{\mathrm{L1}}(t) = I_m \cos(\omega t),$$

$$i_{\mathrm{L2}}(t) = I_m \cos(\omega t - 120^\circ),$$

$$i_{\mathrm{L3}}(t) = I_m \cos(\omega t - 240^\circ).$$

Mindhárom tekercs a saját tengelye mentén mágneses indukciót hoz létre, amelynek pillanatértéke arányos az adott fázis áramával. Vizsgáljuk meg például a $t = 0$ időpillanatot. Ekkor az L1 fázis árama maximális, az L2 és L3 árama pedig a maximum felével ellentétes. A három mágneses indukcióvektor eredője az L1 tengely irányába mutat, nagysága pedig a maximális indukció másfélszerese. Egy későbbi időpontban, amikor az L2 árama maximális, az eredő mező az L2 tengely irányába mutat. Az eredő mező tehát az idő haladtával folyamatosan elfordul, miközben nagysága állandó marad.

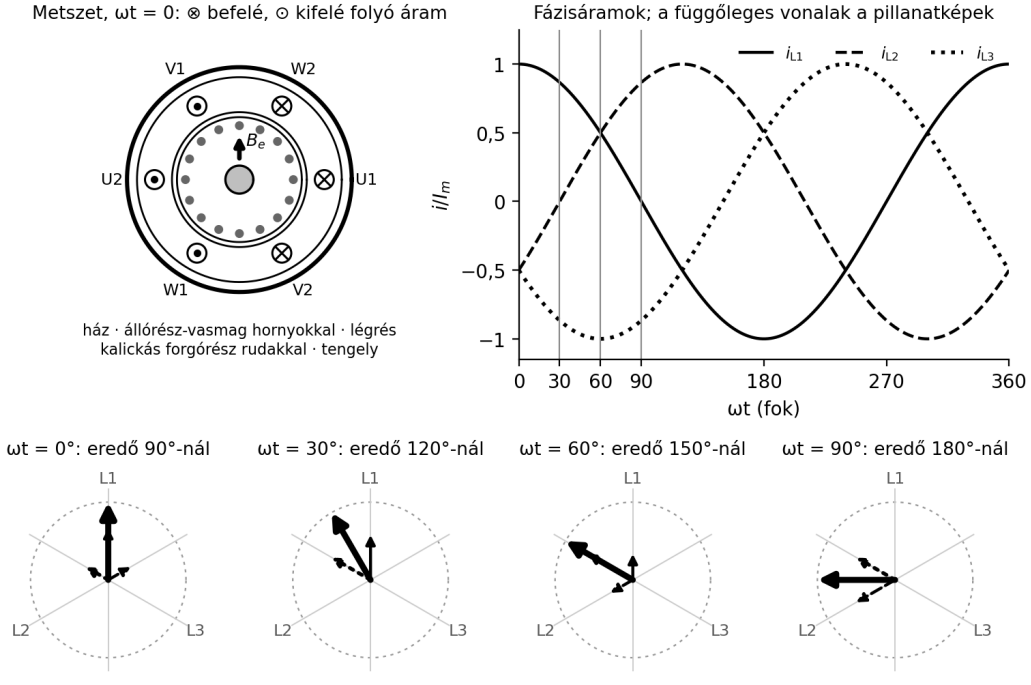
Az eredő mező nagysága:

$$B_{\text{eredő}} = \frac{3}{2} B_{\max},$$

ahol $B_{\max}$ az egy fázistekercs által keltett maximális mágneses indukció. Ez az érték a tekercsáramok és a gép mágneses körének kialakításától függ.

A mező forgásiránya a fázissorrendet követi. Ha a fázissorrend L1–L2–L3, akkor a mező az L1 tengelyétől az L2 tengelye felé forog. Ha két fázist felcserélsz, a fázissorrend megfordul, és a mező az ellenkező irányba forog. Ezt használjuk a motor forgásirányának megváltoztatására.

Az alábbi ábra mindezt egyszerre mutatja. Bal felül a motor metszete látható az $\omega t = 0$ pillanatban (⊗: befelé, ⊙: kifelé folyó áram), jobb felül a három fázisáram időfüggvénye. Alul négy pillanatkép (ωt = 0°, 30°, 60° és 90°): a vékony nyilak az egyes tekercsek pillanatnyi indukcióját, a vastag nyíl az eredőt jelölik. Az eredő hossza mindig $1{,}5\,B_{\max}$, iránya pedig éppen annyit fordul, amennyit ωt nő. Az interaktív változatban lejátszható az animáció, csúszkával léptethető ωt, az „L2–L3 csere” kapcsolóval megfordul a forgásirány, az „L3 szakadás” kapcsolóval pedig látható, hogy egy fázis kiesésekor az eredő már nem forog, csak egy egyenes mentén lüktet.



Vékony nyilak: az L1 (folytonos), L2 (szaggatott), L3 (pontozott) tekercs indukciója; vastag nyíl: az eredő, mindig $1{,}5 \cdot B_{max}$ (szaggatott kör).

26.1. ábra. A forgó mágneses mező keletkezése: motormetszet, fázisáramok és az eredő indukció négy pillanatban

26.1.5. Szinkron fordulatszám és pólusszám

Definíció. A **szinkron fordulatszám** az a fordulatszám, amellyel az állórész által keltett forgó mágneses mező forog. Jele n_s, mértékegysége általában 1/min.

Összefüggés. A szinkron fordulatszám a hálózati frekvencia és a póluspárok számának hányadosával arányos:

$$n_\mathrm{s} = \frac{60 f}{p},$$

ahol:

- n_s a szinkron fordulatszám (1/min),
- f a hálózati frekvencia (Hz),
- p a **póluspárok száma** (póluspár, nem pólusszám).

A képletben a 60-as szorzó a másodperc és a perc közötti átváltásból adódik.

Levezetés. Egy póluspár esetén (p = 1) a forgó mező egy teljes mechanikai fordulatot tesz meg egy periódus alatt. Ha a frekvencia f, akkor másodpercenként f periódus játszódik le, tehát a mező másodpercenként f fordulatot tesz meg. Ez percenként $60f$ fordulat:

$$n_\mathrm{s} = 60 f \quad \text{ha } p = 1.$$

Ha a tekercselésben p póluspár van, akkor a mező egyetlen periódus alatt csak $1/p$ mechanikai fordulatot tesz meg, mert a gép kerülete mentén p darab azonos póluspár helyezkedik el. Ezért a fordulatszám:

$$n_\mathrm{s} = \frac{60 f}{p}.$$

∎

Számítás. Magyarországi hálózaton $f = 50\,\mathrm{Hz}$. Az alábbi táblázat a leggyakoribb pólusszámokhoz tartozó szinkron fordulatszámokat mutatja:

Pólusszám 2p	Póluspár p	Szinkron fordulatszám (1/min)
2	1	3000
4	2	1500
6	3	1000
8	4	750

A valós motorok terhelt állapotban ennél valamivel kisebb fordulatszámon forognak. Az eltérést **szlipnek** nevezzük, és részletesen a Szlip, nyomaték, jelleggörbe és adattábla alfejezetben tárgyaljuk.

A táblázat értékeit az alfejezet végén az interaktív szinkron fordulatszám-kalkulátor ábrája is mutatja.

Megjegyzés. A fenti értékek a magyarországi 50 Hz-es hálózatra vonatkoznak. Más országokban, például Észak-Amerikában 60 Hz a hálózati frekvencia, ezért ugyanaz a motor ott nagyobb szinkron fordulatszámon forogna. A hazai telepítésnél mindig a motor adattábláján megadott, 50 Hz-re vonatkozó adatokat kell figyelembe venni.

26.1.6. A forgórészben indukált feszültség és a nyomaték keletkezése

Amikor a motor áll, a forgó mágneses mező a forgórész rudait a szinkron fordulatszámnak megfelelő relatív sebességgel metszi. A Faraday-féle indukciós törvény szerint a rudakban feszültség indukálódik:

$$e = B \cdot l \cdot v,$$

ahol B a légrés mágneses indukciója, l a rúd aktív hossza, v pedig a rúd és a mező közötti relatív sebesség. A kalicka zárt hurkai miatt az indukált feszültség hatására áram folyik a rudakban és a rövidrezáró gyűrűkben.

A mágneses mezőben lévő áramvezetőre erő hat, amelyet a Lorentz-erő ír le:

$$F = B \cdot I \cdot l.$$

A forgórész rudaira ható erők a tengelytől mért távolságuk miatt **nyomatékot** hoznak létre, amely a forgórészt a mező forgásirányába mozdítja. A forgórész felgyorsul, de soha nem éri el a szinkron fordulatszámot, mert ha a mező és a forgórész azonos sebességgel forogna, a relatív sebesség nulla lenne, nem indukálódna feszültség, és nem keletkezne nyomaték. A motor tehát **aszinkron** módon működik: a forgórész sebessége mindig kisebb a szinkron fordulatszámnál.

Az eltérést a s szlippel jellemzik:

$$s = \frac{n_\mathrm{s} - n}{n_\mathrm{s}},$$

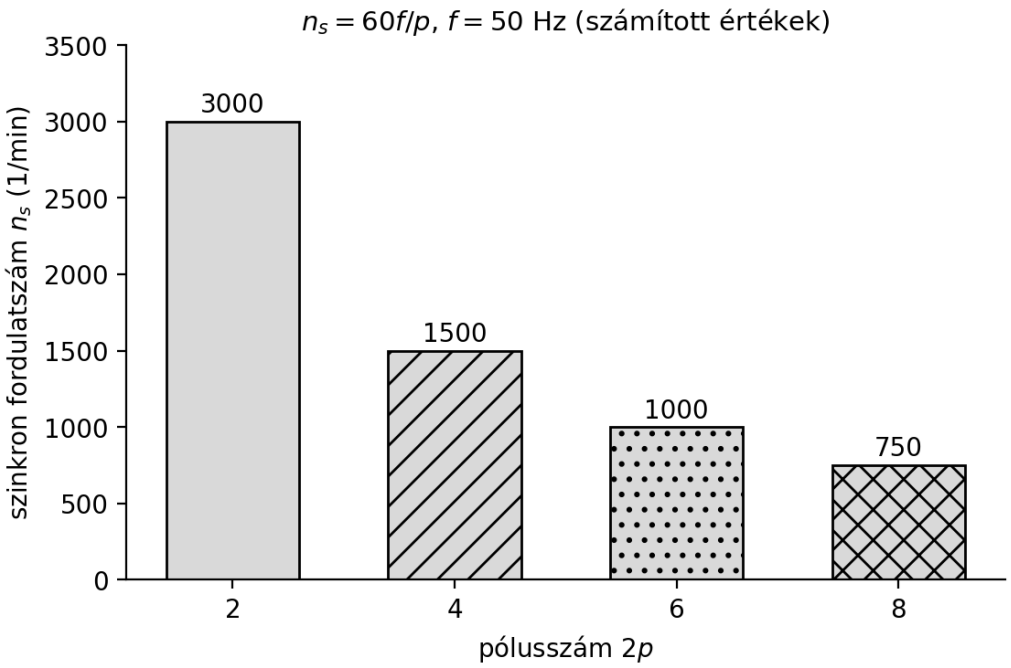
ahol n a forgórész tényleges fordulatszáma (1/min). Indításkor $n = 0$, tehát a szlip értéke 1; a névleges üzemben a szlip jellemzően néhány százalék. A szlip pontos tárgyalása a Szlip, nyomaték, jelleggörbe és adattábla alfejezetbe tartozik, de a fogalmat itt azért vezetjük be, hogy a működési elvet pontosan ki tudjuk mondani.

26.1.7. Szinkron és aszinkron gép üzemviteli különbségei

A szinkron gép forgórésze állandó mágneses térrel rendelkezik, és a forgórész a mezővel azonos, szinkron fordulatszámon forog. Az aszinkron gép forgórésze viszont a mezőnél lassabban forog, mert a nyomaték keltéséhez szükség van a relatív elmozdulásra. A szinkron gép fordulatszáma mereven kötött a frekvenciához és a pólusszámhoz; az aszinkron gép fordulatszáma terhelés hatására enyhén csökken. A szinkron gépet gyakran generátorként használják erőművekben, az aszinkron motor pedig az ipari hajtások leggyakoribb gépe.

26.1.8. Interaktív elem: szinkron fordulatszám-kalkulátor

A `figures/` mappában található interaktív ábra lehetővé teszi, hogy a tanuló beállítsa a hálózati frekvenciát (pl. 50 Hz vagy 60 Hz) és a póluspárok számát, majd azonnal lássa a szinkron fordulatszámot 1/min és rad/s mértékegységben. Az ábrán egy sematikus, forgó vektor is megjelenik, amely a forgó mágneses mező irányát és sebességét szemlélteti. A statikus tartalék ábra a táblázat értékeit oszlopdiagramon mutatja: 50 Hz-en a 2, 4, 6 és 8 pólusú motorok szinkron fordulatszámát mutatja.



26.2. ábra. Szinkron fordulatszám-kalkulátor statikus tartaléka: a 2, 4, 6 és 8 pólusú motorok szinkron fordulatszáma 50 Hz-en.

26.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy karbantartó egy háromfázisú szivattyúmotort cserél. A régi motor adattábláján 1420 1/min szerepelt, az új motor adattáblája 1380 1/min fordulatot tüntet fel. A karbantartó először azt gondolta, hogy hibás az új motor, mert a szivattyú szállítása (térfogatárama) csökkent. A fordulatszámokból azonban látszik, hogy mindkét gép 4 pólusú, hiszen 50 Hz-en a szinkron fordulatszám 1500 1/min. A különbséget a szlip okozza: a régi motor kisebb szlipjű volt, az új motor nagyobb szlipjű, ezért terhelés alatt alacsonyabb fordulatszámon forog. Az 1420 és 1380 1/min mindössze kb. 2,8 %-os eltérés, ami a szivattyú affinitási törvényei szerint a szállítást néhány százalékkal csökkenti. A megoldás egy, a régivel azonos névleges fordulatszámú (1420 1/min körüli) motor lett; a pólusszám ugyanaz (4), csak a szlip különbözik. Más pólusszámú motor itt nem jöhet szóba, mert a szinkron fordulatszám 1500 1/min-ről 1000 vagy 3000 1/min-re ugrana. Tanulság: csere előtt az adattábla teljes egyezését (teljesítmény, névleges fordulatszám/szlip, hatásfokosztály) ellenőrizni kell. A bekötést és az éles indítást csak jogosult személy végezhette.

26.1.10. Tipikus hibák

Hiba: a póluspár és a pólusszám összekeverése. A képletben p a póluspárok száma, tehát egy 4 pólusú motornál p = 2. Ha valaki a nevezőbe 2p-t ír, 1500 helyett 750 1/min-et kap, és rosszul azonosítja a motort. A megoldás: mindig írd fel a jelöléseket.

Hiba: a fázissorrend figyelmen kívül hagyása. A három fázis bekötése után a motor rossz irányba foroghat. A forgásirány megváltoztatásához **két tetszőleges fázist** kell felcserélni. Ha mindhárom vezetéket egy-egy hellyel továbbviszed (ciklikus csere: L1→L2, L2→L3, L3→L1), a fázissorrend nem változik, a motor ugyanarra forog.

Hiba: a szinkron fordulatszám és a tényleges fordulatszám azonosítása. A motor soha nem forog pontosan 1500 1/min-en, ha 4 pólusú. Az adattáblán szereplő 1420 vagy 1380 1/min jelzi az aszinkron működést. A szinkron fordulatszám csak a mágneses mező fordulatszáma.

Hiba: 60 Hz-es motor 50 Hz-es hálózatra kötése. Egy 60 Hz-re tervezett motor 50 Hz-en kisebb szinkron fordulatszámon forog, és a mágneses telítődés miatt túlmelegedhet. Ezt az esetet külföldi berendezések beüzemelésekor mindig ellenőrizni kell.

26.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a kalickás forgórész tekercsei szigetelt rézhuzalból készülnek? Indokold!
2. Számítsd ki a szinkron fordulatszámot 50 Hz-es hálózaton, ha a motor pólusszáma $2p = 8$.
3. Mi történik a forgó mágneses mezővel, ha az egyik fázis megszakad?
4. Mi a különbség a pólusszám és a póluspár között? Melyiket használjuk a szinkron fordulatszám képletében?
5. Miért nem éri el az aszinkron motor forgórésze a szinkron fordulatszámot?
6. Hogyan lehet megváltoztatni a háromfázisú aszinkron motor forgásirányát?

26.1.12. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a póluspárt, és számítsd ki a szinkron fordulatszámot 50 Hz-es hálózaton $p = 2$ póluspár esetén.

2. feladat (A). Add meg a szinkron fordulatszámot $p = 3$ és $p = 4$ póluspárnál 50 Hz-en. Melyik motor fordul lassabban?

3. feladat (B). Egy 4 pólusú motor adattábláján 1420 1/min szerepel. Határozd meg a szinkron fordulatszámot, és számítsd ki a relatív eltérést (a szlip értékét) a fordulatszámokból.

4. feladat (B). Rajzold le sematikusan a három fázistekercs térbeli elhelyezkedését az állórészben, és magyarázd el, miért szükséges a 120°-os térbeli eltolás a forgó mező létrejöttéhez.

5. feladat (C). Egy 8 pólusú motor 730 1/min névleges fordulatszámon jár 50 Hz-es hálózaton. Mennyi a szinkron fordulatszám? Miért nem éri el a 750 1/min-et? Ha ugyanezt a motort 60 Hz-es hálózatra kapcsolnák (csak elméleti számításként), mekkora lenne a szinkron fordulatszáma?

6. feladat (D). Egy háromfázisú, 4 pólusú motort csillag kapcsolásban indítanak, de a motor csak zúg, nem forog, és az egyik fázis vezetéke melegszik. Milyen lehetséges hibát feltételeznél? Ismertesd a hibakeresés lépéseit feszültségmentesítés után, a biztonsági szabályok betartásával.

26.1.13. Megoldások

26.1.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A kalickás forgórészben a rudak általában csupasz (nem szigetelt) alumíniumból vagy rézből készülnek, és a rövidrezáró gyűrűk kötik össze őket. A szigetelt tekercselés a csúszógyűrűs forgórészre jellemző.
2. **Számítás.** $2p = 8$, tehát $p = 4$. $n_s = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750\,1/\text{min}$.

3. Ha az egyik fázis megszakad, a háromfázisú tekercselésben nem jön létre forgó mező, csak lüktető (alternáló) mező. Az álló motornál nincs indítónyomaték, a motor zúg és nem indul. Ha a motor már forgott, egyfázisú üzemmel tovább foroghat, de túlmelegszik és károsodhat.
4. A **póluspár** egy északi és egy déli pólusból áll, jele p. A **pólusszám** ennek kétszerese, jele 2p. A szinkron fordulatszám képletében a póluspárok számát (p) használjuk.
5. Mert a nyomaték keltéséhez relatív elmozdulás szükséges a forgó mező és a forgórész között. Ha a fordulatszám elérné a szinkron értéket, a relatív sebesség nulla lenne, nem indukálódna feszültség a forgórészben, és megszűnne a nyomaték.
6. Két tetszőleges fázis felcserélésével. Ezáltal a fázissorrend megfordul, és a forgó mező iránya is megfordul.

26.1.13.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A). A póluspár egy északi és egy déli mágneses pólusból áll. A póluspárok száma p, a pólusszám 2p. p = 2 póluspár esetén:

$$n_\mathrm{s} = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500\,1/\mathrm{min}.$$

2. feladat (A). p = 3 esetén:

$$n_\mathrm{s} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000\,1/\mathrm{min}.$$

p = 4 esetén:

$$n_\mathrm{s} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750\,1/\mathrm{min}.$$

A p = 4 póluspárú motor forog lassabban.

3. feladat (B). A 4 pólusú motornál p = 2, tehát a szinkron fordulatszám:

$$n_\mathrm{s} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500\,1/\mathrm{min}.$$

A relatív eltérés (szlip):

$$s = \frac{n_\mathrm{s} - n}{n_\mathrm{s}} = \frac{1500 - 1420}{1500} = \frac{80}{1500} = 0{,}0533 \approx 5{,}3\,\%.$$

4. feladat (B). A három tekercs tengelyét 120°-kal elforgatva helyezzük el az állórészben. Ezt a szöget az indokolja, hogy a háromfázisú áramok időbeli eltolása is 120°, így az egyes tekercsek által keltett mágneses mezők eredője egyenletesen forog. Ha a térbeli eltolás nem lenne pontosan 120°, a mező nem lenne állandó nagyságú, és a motor nyomatéka egyenetlenül változna.

5. feladat (C). 2p = 8, p = 4. A szinkron fordulatszám:

$$n_\mathrm{s} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750\,1/\mathrm{min}.$$

A motor 730 1/min-en forog, mert az aszinkron működés miatt a forgórész a szinkron fordulatszámnál kisebb sebességgel forog. A relatív eltérés:

$$s = \frac{750 - 730}{750} = \frac{20}{750} = 0{,}0267 \approx 2{,}7\,\%.$$

Ha ugyanezt a motort 60 Hz-es hálózatra kapcsolnák (csak elméleti számításként), a szinkron fordulatszám:

$$n_\mathrm{s} = \frac{60 \cdot 60}{4} = 900\,1/\mathrm{min}.$$

Megjegyzés. A 60 Hz-es hálózatra való csatlakoztatást Magyarországon nem szabad elvégezni; a példa csak a frekvencia hatását szemlélteti.

6. feladat (D). A tünetek alapján valószínűleg az egyik fázis megszakadt, vagy a kapocsdobozban az egyik tekercsvég nincs megfelelően bekötve. Egyfázisú táplálásnál a háromfázisú tekercselésben nem jön létre forgó mező, ezért a motor nem indul, zúg, és a melegedés is egyenetlen.

A hibakeresés lépései feszültségmentesítés után:

1. **Az öt biztonsági szabály:** leválasztás (motorvédő kapcsoló vagy megszakító kikapcsolása), visszakapcsolás elleni biztosítás (lakat, figyelmeztető tábla), a feszültségmentesség megállapítása kétpólusú, a mérés előtt és után ismert forráson ellenőrzött feszültségvizsgálóval (megfelelő CAT-besorolás), földelés és rövidre zárás ott, ahol előírt, a közeli feszültség alatti részek lefedése.
2. Ha a motor kondenzátort vagy frekvenciaváltót tartalmaz, várd meg a kisütési időt (ellenőrizendő: gyártói adat), és ellenőrizd a maradék feszültséget.
3. Szemrevételezéssel ellenőrizni a kapcsolódobozban a csatlakozásokat és a kapcsok szorosságát.
4. Multiméterrel ellenőrizni a fázisvezetők folytonosságát az elosztótól a motorig.
5. Ellenőrizni a motor tekercseinek ellenállását a kapcsokon: szimmetrikus tekercsellenállásokat kell kapni.
6. Ellenállásmérővel megkeresni a megszakadt fázist.
7. A hibás vezeték vagy kapocs kijavítása után újra bekötni és szakszerűen beüzemelni.

A munkát csak jogosult személy végezheti; a tanuló gyakorlatban csak oktató felügyeletével dolgozhat.

26.1.14. Rövid összefoglaló

Az aszinkron motor állórésze háromfázisú tekercselést tartalmaz, amelyre szimmetrikus feszültséget kapcsolva **állandó nagyságú, folyamatosan forgó mágneses mező** jön létre. A mező forgásiránya a fázissorrendet követi; két fázis cseréje megfordítja. A mező fordulatszáma a szinkron fordulatszám:

$$n_\mathrm{s} = \frac{60 f}{p},$$

ahol p a póluspárok száma. A forgórész lehet kalickás vagy csúszógyűrűs. A forgó mező feszültséget indukál a forgórész rudakban, az indukált áramok és a mező kölcsönhatása nyomatékot hoz létre. A motor forgórésze csak akkor fejt ki nyomatékot, ha a mezőhöz képest lemarad; ezért

fordulatszáma mindig kisebb a szinkron fordulatszámnál. Az eltérést szlipnek nevezzük, és a következő alfejezetben tárgyaljuk.

Továbbvitt eredmény. A forgó mágneses mező, a póluspár és a szinkron fordulatszám fogalma elengedhetetlen a Szlip, nyomaték, jelleggörbe és adattábla, a Szinkron generátor és motor, gerjesztés és a Tekercselés, impregnálás, csapágyak és szénkefe alfejezetekhez. A szlip $s = (n_\mathrm{s} - n)/n_\mathrm{s}$ képletéből adódik, hogy a forgórészben indukált feszültség és áram frekvenciája $f_2 = s \cdot f$ (álló forgórésznél, indításkor $s = 1$, tehát 50 Hz; névleges üzemben néhány Hz).

A hálózati feszültségű munkát csak jogosult személy végezheti; a méréseknél és bekötéseknél mindig tartsd be a feszültségmentesítés öt szabályát.

26.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet fizikai és elektrotechnikai alapjai stabil tananyagokon alapulnak. A motorok adattáblájára és teljesítményadataira a forgó villamos gépekre vonatkozó MSZ EN 60034 sorozat vonatkozik **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**. A szinkron fordulatszám képletében megadott 50 Hz-es értékek a magyarországi hálózatra érvényesek. A konkrét motorfordulatszámok, pólusszámok és szlipek a gyártói adatlaptól függnek, ezért mindig a gép adattábláját kell először ellenőrizni.

26.2. Szlip, nyomaték, jelleggörbe és adattábla

26.2.1. Motiváció

A műhelyben egy régi motor adattáblája akár lekopott, akár poros, de ha érted, mit jelent a rajta lévő 1450 1/min, a cosφ 0,81 vagy a Δ/Y 230/400 V jelölés, azonnal tudni fogod, hogy a motor megfelel-e a hajtásnak, csillag–delta indítást tudsz-e választani, és miért nem szabad a névleges nyomaték többszörösét tartósan kérni tőle. Az adattábla nem „papír”, hanem a gép villamos és mechanikai személyazonossága: a hibakeresés és a kiválasztás is innen indul. Ebben az alfejezetben a legfontosabb „híd” mennyiséget, a szlipet, és a hozzá kapcsolódó nyomaték–fordulatszám jelleggörbét tanulod meg úgy, hogy számolni és a gyakorlatban ellenőrizni is tudd.

26.2.2. Szemléletes kép: névleges adat egy konkrét motoron

Példa. Egy 5,5 kW-os, 4 pólusú, 50 Hz-es aszinkron motor adattábláján ez áll:

Mennyiség	Érték
Névleges teljesítmény	5,5 kW
Névleges feszültség	Δ 400 V / Y 690 V
Névleges áram	11,5 A (400 V, Δ)
Névleges fordulatszám	1450 1/min
Teljesítménytényező	cosφ = 0,81
Hatásfok / osztály	≈ 85 % / IE1 (régebbi motor; szemléltető érték)
Üzemmód	S1
Védettség	IP 55
Szigetelési osztály	F

A 4 pólusú motor szinkron fordulatszáma 50 Hz-en 1500 1/min, a névleges fordulatszáma pedig 1450 1/min. A kettő különbsége éppen a csúszás (szlip), amely a motor terheléséről és a forgórész veszteségeiről sokat elárul.

26.2.3. A szlip fogalma és képlete

Definíció. A **szlip** (csúszás) azt adja meg, hogy a forgó mágneses mező fordulatszámához képest a forgórész mennyivel marad le, viszonyítva a szinkron fordulatszámhoz:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s},$$

ahol
s a szlip (nincs mértékegysége, gyakran %-ban adják meg),
n_s a szinkron fordulatszám (1/min),
n a tényleges fordulatszám (1/min).

A szinkron fordulatszámot már a Szerkezet és működési elv, forgó mágneses mező alfejezetből ismered:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p},$$

ahol f a hálózati frekvencia (Magyarországon 50 Hz), p pedig a póluspárszám. Figyelj: ha egy motort „4 pólusúnak” neveznek, akkor a pólusszám 4, a póluspárszám 2, tehát $p = 2$; a $n_s = 60 \cdot 50/2 = 1500$ 1/min.

Szabály. A szlip értéke névleges terhelésnél kis motoroknál jellemzően 3–8 % közötti, nagyobb gépeknél 1–3 % is lehet. Pontos értéke a motor tervezésétől függ, és mindig a gyártói adattábla szerint veendő figyelembe **(ellenőrizendő: konkrét motor adattáblája)**.

26.2.4. A rotor frekvenciája

A forgó mágneses mező és a forgórész közötti relatív fordulatszám $s \cdot n_s$. Mivel a rotorban indukált feszültség frekvenciája arányos ezzel a relatív mozgással, a rotoráram frekvenciája:

$$f_r = s \cdot f.$$

Például ha $f = 50$ Hz és $s = 0{,}04$, akkor $f_r = 0{,}04 \cdot 50 = 2$ Hz. Ez azt jelenti, hogy a rotoráram frekvenciája névleges terhelésnél csak néhány hertz, tehát lassan változik; ezért nem kell a rotorkörben nagyfrekvenciás jelenségektől tartani. (Az aszinkron gépet azért nevezik indukciós gépnek, mert a forgórész áramát a forgó mező indukálja, a forgórész nem kap külső táplálást.)

26.2.5. Nyomaték és teljesítmény kapcsolata

Összefüggés. A motor tengelyén leadott teljesítmény és a nyomaték kapcsolata:

$$P = M \cdot \omega,$$

ahol P a mechanikai teljesítmény (W), M a nyomaték (N · m), ω a szögsebesség (rad/s). Ha a fordulatszámot n-ben (1/min) és a teljesítményt kW-ban adjuk meg, a gyakorlatban használt alak:

$$M = \frac{9550 \cdot P}{n},$$

ahol P kW-ban, n 1/min-ben, M N · m-ben adódik. A 9550-es szorzó a mértékegység-átváltásból származik: $60/(2\pi) \cdot 1000 \approx 9549{,}3$, egyszerűsítve 9550.

Számítás. Mennyi a névleges nyomatéka az 5,5 kW-os, 1450 1/min-es motornak?

Adott: $P = 5{,}5$ kW, $n = 1450$ 1/min. Keresett: M.

$$M = \frac{9550 \cdot 5{,}5}{1450} = \frac{52\,525}{1450} \approx 36{,}2 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Ellenőrzésképp: a teljesítmény $P = M \cdot \omega$, ahol $\omega = 2\pi n/60 = 2\pi \cdot 1450/60 \approx 151{,}8$ rad/s. $M \cdot \omega = 36{,}2 \cdot 151{,}8 \approx 5495$ W $\approx 5{,}5$ kW, tehát a számítás helyes.

26.2.6. A nyomaték–fordulatszám jelleggörbe

Az aszinkron motor nyomatéka nem állandó: erősen függ a fordulatszámtól, azaz a szliptől. A gyártói katalógusokban gyakran ábrázolják a **nyomaték–fordulatszám jelleggörbét** ($M(n)$ görbét). A görbe alakját a következő egyszerűsített, ún. **Kloss-féle összefüggés** jól leírja:

$$\frac{M}{M_b} = \frac{2}{\dfrac{s}{s_b} + \dfrac{s_b}{s}},$$

ahol M_b a **billenőnyomaték** (a maximális nyomaték), s_b pedig a **billenőszlip** (az a szlip, amelynél a billenőnyomaték fellép). Ez az összefüggés a névleges tartományban és a billenőpont környékén jól közelíti a görbét, de nagy szlipeknél (az indítás közelében) és a féküzemben már csak durva közelítésnek tekintendő: a kalickás forgórész indításkor megnövekvő ellenállását nem veszi figyelembe, ezért a valós indítónyomatéknál általában kisebbet ad.

A görbe fontos pontjai:

- **Indítónyomaték** (M_i): a fordulatszám nulla, azaz $s = 1$. Általában a névleges nyomaték 1,2–2,5-szerese, motor fajtától függően.
- **Billenőnyomaték** (M_b): a maximális nyomaték; jellemzően a névleges nyomaték 2–3,5-szerese. Ezt a motornak csak rövid ideig szabad leadnia, mert a forgórész túlmelegszik.
- **Üzemi pont**: a motor a terhelő gép nyomatékigénye és a motor görbéjének metszéspontjánál áll be. A névleges üzemi pont a névleges fordulatszám és névleges nyomaték pontja.
- **Szinkron fordulatszám** (n_s): ideális esetben a nyomaték nulla, mert ha a forgórész pontosan a mezővel együtt forogna, nem indukálódna áram, így nincs nyomaték.

Üzemtartományok a fordulatszám szerint:

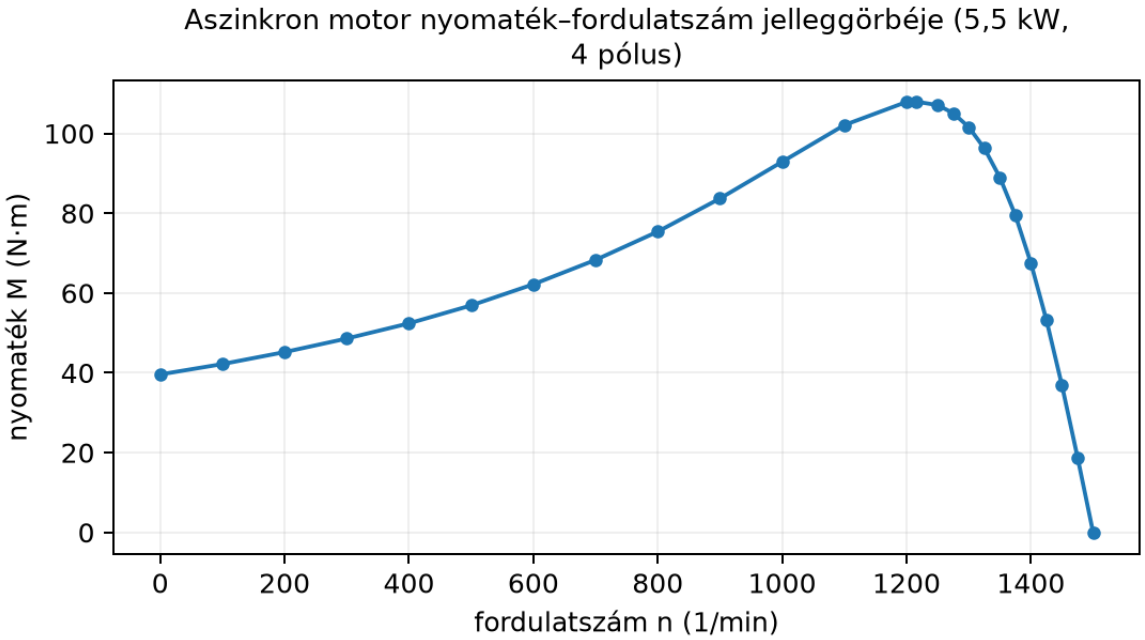
- **Motorüzem:** $0 < n < n_s$, tehát $0 < s < 1$. A hálózatból felvett villamos energiát a motor mechanikai munkává alakítja.
- **Generátorüzem:** $n > n_s$, tehát $s < 0$. Ha a meghajtó gép a motort a szinkron fordulatszám fölé forgatja, a gép visszatáplál a hálózatba.
- **Féküzem (ellenáramú fékezés):** $n < 0$, tehát $s > 1$. Ha a forgásiránnyal ellentétes forgó mező hat rá, a gép erősen fékez, és nagy áramot vesz fel; ezt csak vezérelten, korlátozott ideig szabad használni.

Összefüggés. A hálózati feszültség csökkenése nagyon erősen hat a nyomatékra: a billenőnyomaték közelítőleg a feszültség négyzetével arányos:

$$M_b \propto U^2.$$

Ha például a kapocsokon a 400 V helyett csak 360 V jelenik meg (10 % esés), a billenőnyomaték kb. $0{,}9^2 = 0{,}81$-szeresére, tehát 19 %-kal csökken. Ezért az alulfeszültség miatt a motor könnyen lefulladhat, miközben az áramfelvétele megnő.

Az alábbi ábra a 5,5 kW-os, 4 pólusú motor szemléltető nyomaték–fordulatszám görbéjét mutatja.



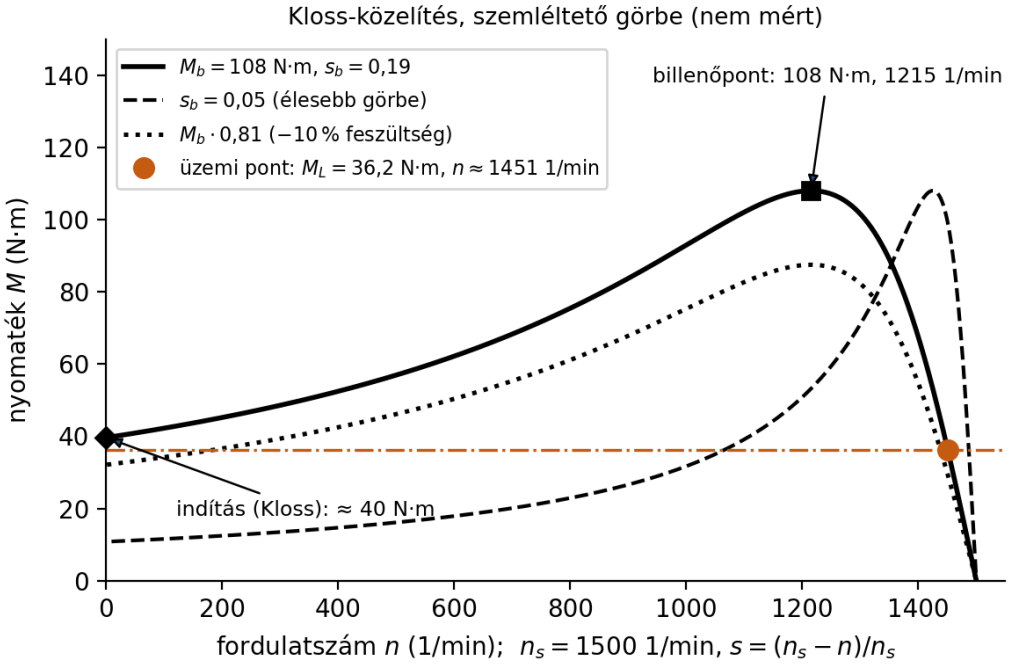
26.3. ábra. Aszinkron motor nyomaték–fordulatszám jelleggörbéje (5,5 kW, 4 pólus) - Szemléltető görbe, a Kloss-képletből számolva: M_b = 108 N · m, s_b = 0,19 (ezzel a 36,2 N · m-es névleges terheléshez n ≈ 1450 1/min tartozik), n_s = 1500 1/min. Az indítás közelében a képlet csak közelítő.

A görbe a Kloss-képletből számolt: $M_b = 108$ N · m, $s_b = 0{,}19$ (a billenőpont $n = 1500 \cdot (1 - 0{,}19) = 1215$ 1/min-nél van), és ezekkel a paraméterekkel a 36,2 N · m-es névleges terheléshez éppen kb. 1450 1/min tartozik. A billenőnyomaték tehát közel háromszorosa a névlegesnek. A névleges munkapont a szinkron fordulatszám közelében, a görbe meredek, stabil szakaszán van. Az indítónyomatékra ($s = 1$) a képlet csak kb. 40 N · m-t ($\approx 1{,}1\, M_n$) ad; a valós kalickás

motor indítónyomatéka a katalógusok szerint ennél nagyobb: kis és közepes motoroknál gyakran 2–2,5 M_n (a fenti 1,2–2,5-szeres tartomány felső része; ellenőrizendő: gyártói adatlap), mert a Kloss-képlet az indítás közelében csak közelítő.

26.2.7. Interaktív jelleggörbe

A HTML-kiadásban az alábbi ábra interaktív: a billenőnyomaték, a billenőszlip és a terhelő nyomaték csúszkával állítható, a görbe és az üzemi pont azonnal frissül.



26.4. ábra. Szlip–nyomaték jelleggörbe

A statikus tartalék ábrán ugyanaz a görbe látható, mint a fenti charton ($M_b = 108$ N · m, $s_b = 0{,}19$): feltüntetve a Kloss-képletből adódó indítónyomatékot (≈ 40 N · m), a billenőpontot (1215 1/min), a 36,2 N · m-es üzemi pontot (≈ 1450 1/min), valamint összehasonlításul egy élesebb ($s_b = 0{,}05$) és egy 10 %-kal kisebb feszültséghez tartozó görbét. Az interaktív változatban próbáld ki: ha a billenőszlipet 0,05-re csökkented, a görbe élesebbé válik, a billenőnyomaték közelebb kerül a szinkron fordulatszámhoz.

26.2.8. A felvett teljesítmény, a hatásfok és a cosφ

A motor az adattáblázott névleges tengelyteljesítményt (P_n) nem 100 % hatásfokkal állítja elő. A hálózatból felvett hatásos villamos teljesítmény háromfázisú, szimmetrikus hálózat esetén:

$$P_{\text{fel}} = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I \cdot \cos\varphi,$$

ahol U_v a vonali feszültség (400 V), I a vonali áram, $\cos\varphi$ a teljesítménytényező. A hatásfok:

$$\eta = \frac{P_{\text{le}}}{P_{\text{fel}}}.$$

A felvett teljesítmény egy része rézveszteségre (állórész és forgórész ellenállása), vasveszteségre és súrlódásra megy el, ezért a hatásfok mindig kisebb 1-nél. Az aszinkron motor hatásfoka névleges terhelésnél jellemzően 80–95 %, a teljesítménytényező pedig gyakran 0,75–0,90 közötti.

Számítás. Mennyi az 5,5 kW-os, 400 V-os, 11,5 A-es, $\cos\varphi = 0{,}81$-es motor felvett teljesítménye és hatásfoka?

Adott: $U_v = 400$ V, $I = 11{,}5$ A, $\cos\varphi = 0{,}81$, $P_{\text{le}} = 5{,}5$ kW. Keresett: P_{fel} és η.

$$P_{\text{fel}} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 11{,}5 \cdot 0{,}81 = 1{,}732 \cdot 400 \cdot 11{,}5 \cdot 0{,}81$$

$$= 1{,}732 \cdot 400 \cdot 9{,}315 \approx 1{,}732 \cdot 3726 \approx 6{,}45 \text{ kW}.$$

$$\eta = \frac{5{,}5}{6{,}45} \approx 0{,}853 = 85{,}3\,\%.$$

Ellenőrzés: a felvett és leadott teljesítmény különbsége $6{,}45 - 5{,}5 = 0{,}95$ kW veszteség, ami a felvett teljesítmény 14,7 %-a, és ez összhangban van a kb. 85 %-os hatásfokkal.

26.2.9. Az adattábla értelmezése

Definíció. Az **adattábla** a villamos gépen elhelyezett, a gyártó által megadott tábla, amely a gép azonosításához és biztonságos üzemeltetéséhez szükséges névleges adatokat és jelöléseket tartalmazza.

Szabvány. A villamos gépek adattáblájára és üzemmódjaira vonatkozó általános követelményeket az MSZ EN 60034-1 (villamos gépek – 1. rész: névleges adatok és üzemmódok) szabályozza. A védettségi fokozat az MSZ EN 60529 (IP-kód), a szigetelési osztály az IEC 60085/MSZ EN 60034-1 köre szerint értendő. A konkrét értékeket mindig a gyártói adattábla és kezelési utasítás rögzíti **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és gyártói dokumentáció)**.

A leggyakoribb adattábla-mezők:

- **Névleges teljesítmény (P_n)**: a tengelyen leadott maximális tartós mechanikai teljesítmény kW-ban.
- **Névleges feszültség (U_n)**: gyakran „Δ/Y” formában, pl. Δ 230 V / Y 400 V, vagy Δ 400 V / Y 690 V. Az előbbi azt jelenti, hogy a tekercsek deltakapcsolásban 230 V-on, csillagkapcsolásban 400 V-on üzemeltethetők.
- **Névleges áram (I_n)**: a felvett vonali áram a megadott feszültségen és névleges terhelésen.
- **Névleges fordulatszám (n_n)**: a tényleges rotorfordulatszám névleges terhelésnél; ebből számítjuk a szlipet.
- **Teljesítménytényező ($\cos\varphi$)**: a felvett hatásos teljesítmény és látszólagos teljesítmény aránya.
- **Hatásfok és hatásfokosztály** (pl. $\eta = 89{,}2$ %, IE3): a motor energiahatékonysági besorolása (MSZ EN 60034-30-1). Az EU motorrendelete (2019/1781/EU) a legtöbb új háromfázisú motornál legalább IE3-at ír elő (ellenőrizendő: a rendelet aktuális követelményei és határidői); motorcserénél a hatásfokosztályt is egyeztesd.
- **Üzemmód (S1, S2, …)**: S1 a folyamatos üzem, amikor a motor állandó névleges terheléssel, a hőmérséklet-kiegyenlítődés eléréséig és azon túl is üzemelhet. Az S2…S10 az időszakos, szaggatott vagy változó terhelésű üzemmódokat jelöli.
- **IP-védettség**: pl. IP 55 (por ellen védett, vízsugár ellen védett).

- **Szigetelési osztály**: pl. F (155 °C) – a megengedett hőmérsékletet a szigetelőanyag hőállósági osztálya határozza meg.

Példa. A fenti adattábla szerint a Δ 400 V / Y 690 V jelentése: a motor tekercseit deltakapcsolásban 400 V-os, csillagkapcsolásban 690 V-os hálózatra köthetjük. Ha a hálózat 400 V, akkor a tekercsek deltakapcsolása a helyes; csillagba kötve a tekercsekre csak $400/\sqrt{3} \approx 230$ V jutna, és a motor lényegesen kisebb nyomatékkal, tartósan nem terhelhetően járna. Ezt a gondolatot a Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány alfejezet használja tovább.

Továbbvitt eredmény. Az adattáblán szereplő kapcsolási feszültség (Δ/Y) és a névleges fordulatszám, áram, cosφ értékek nélkülözhetetlenek a Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány alfejezetben, ahol a tényleges bekötést tanulod meg, valamint a Diagnosztika: szemrevételezés, mérések, hibajegyzőkönyv alfejezet hibakeresési lépéseihez, mert a mért fordulatszámból számolt szlip és a névleges adatok összevetése utal a túlterhelésre, alulfeszültségre vagy mechanikai hibára.

26.2.10. Kidolgozott példa: adattábla teljes értelmezése és szlipelemzés

Számítás. A festőüzem egyik motorjának adattáblája:

- 3~ 400 V, 50 Hz, 7,5 kW, 1460 1/min, 14,4 A, $\cos\varphi = 0{,}85$, S1, IP 54, F.

Vizsgáljuk meg, hogy a motor megfelel-e a szivattyúnak, ha a szivattyú névleges fordulatszáma 1460 1/min, és a tengelyen 7,5 kW-ot igényel.

Először a szinkron fordulatszám: a fordulatszám 1460 1/min közel van 1500-hoz, tehát 4 pólusú motor ($p = 2$), $n_s = 1500$ 1/min. A szlip:

$$s = \frac{1500 - 1460}{1500} = \frac{40}{1500} = 0{,}0267 \approx 2{,}67\,\%.$$

Ez normális, a motor a névleges pontján üzemelhet. A névleges nyomaték:

$$M_n = \frac{9550 \cdot 7{,}5}{1460} = \frac{71\,625}{1460} \approx 49{,}1\ \mathrm{N \cdot m}.$$

A felvett hatásos teljesítmény:

$$P_{\mathrm{fel}} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 14{,}4 \cdot 0{,}85 = 1{,}732 \cdot 400 \cdot 12{,}24 \approx 1{,}732 \cdot 4896 \approx 8{,}48\ \mathrm{kW}.$$

A hatásfok:

$$\eta = \frac{7{,}5}{8{,}48} \approx 0{,}884 = 88{,}4\,\%.$$

A motor adattáblája tehát megfelel a szivattyúnak, ha a szivattyú nyomatékigénye a névleges értékhez közel van. Amennyiben a szivattyú 8,2 kW-ot venne fel, a motor túlterhelten, magasabb szlippel járna, és előbb-utóbb a hőkioldó leoldaná.

26.2.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy ipari darabológép hajtását 5,5 kW-os motorral cserélték. A szerelő bekötötte, de a motor néhány perc után rendszeresen leoldott. A feszültség mérésénél kiderült, hogy a csatlakozási ponton a névleges 400 V helyett 352 V volt (12 %-os feszültségesés a hosszú tápkábel miatt). A motor billenőnyomatéka $(352/400)^2 \approx 0{,}77$-szeresére esett, és a gép nyomatékigénye meghaladta a csökkent billenőnyomatékot, ezért a motor „lefulladt”, miközben az áram a névleges többszörösére nőtt. A megoldás a vezeték keresztmetszetének növelése volt. A tanulság: a jelleggörbe és az adattábla csak névleges feszültség mellett érvényes.

26.2.12. Tipikus hibák

1. **Hiba:** valaki a szinkron fordulatszámot írja be a felülvizsgálati jegyzőkönyvbe a mért fordulatszám helyett. **Következmény:** a szlip számolásnál $s = 0$ adódik, ami azt a hamis látszatot kelti, hogy a motor üresjárásban jár. **Helyes:** mindig a mért rotorfordulatszámot jegyezzük fel.
2. **Hiba:** a nyomatékot a teljesítményből úgy számolják, hogy az n_s-t használják n helyett. **Következmény:** a kapott nyomaték kissé kisebb, mint a valós tengelynyomaték; nagy szlipnél a hiba jelentőssé válhat. **Helyes:** a tényleges n fordulatszámmal számoljunk.
3. **Hiba:** a motort tartósan a billenőnyomaték közeli ponton szeretnék üzemeltetni, mert „ott a legnagyobb a nyomaték”. **Következmény:** a motor áramfelvétele és melegedése hatalmas, a túlterhelésvédelem hamar leold. **Helyes:** a névleges munkapontot kell tartani, a billenőnyomatékot csak rövid ideig szabad kihasználni.
4. **Hiba:** az adattáblán szereplő Δ/Y feszültséget figyelmen kívül hagyva a 400 V-os hálózatra csillagba kötik a Δ 400 V-os motort. **Következmény:** a tekercsfeszültség 230 V, a motor alulgerjesztetten, gyenge nyomatékkal, nagy szlippel jár, és túlmelegszik. **Helyes:** az adattábla feszültségjelölése szerint kell bekötni (lásd Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány).

26.2.13. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: ha a forgórész pontosan a szinkron fordulatszámmal forog, a motor nyomatéka maximális. Indokold.
2. Számítsd ki a szlipet: 4 pólusú, 50 Hz-es motor névleges fordulatszáma 1440 1/min.
3. Mi a rotoráram frekvenciája, ha $f = 50$ Hz és $s = 0{,}03$?
4. Az adattáblán S1 üzemmódot látunk. Mit jelent?
5. Hogyan változik a billenőnyomaték, ha a hálózati feszültség 400 V-ról 370 V-ra esik? (közelítőleg)
6. Melyik üzemtartományban van a motor, ha a forgórész a mezővel ellentétes irányban forog ($n < 0$)?

26.2.14. Feladatok

1. feladat (A). Egy 2 pólusú, 50 Hz-es aszinkron motor névleges fordulatszáma 2860 1/min. Mekkora a szlip?

2. feladat (A). Egy 3 kW-os, 1420 1/min-es motor névleges nyomatékát kérdés. Mennyi a nyomaték N · m-ben?

3. feladat (B). Egy 400 V-os, 8,4 A-es, cosφ = 0,82-es, 4 kW-os, 1420 1/min-es motor adatai alapján számítsd ki: a felvett hatásos teljesítményt, a hatásfokot és a szlipet.

4. feladat (B). Egy 6 pólusú, 50 Hz-es motor névleges szlipje 3 %. Mennyi a szinkron és a névleges fordulatszám? Mekkora a rotoráram frekvenciája?

5. feladat (C). Egy mérés során a motor tengelyén 14 N · m nyomatékot mérünk 2870 1/min fordulatszámon. Mekkora a leadott mechanikai teljesítmény? Adott a motor hálózati teljesítményfelvétele 5,4 kW. Mekkora a hatásfok ebben a munkapontban? (Ellenőrizd: lehet-e a hatásfok 1-nél nagyobb? Mit jelentene, ha a mért leadott teljesítmény nagyobb lenne a felvettnél?)

6. feladat (D). Egy üzemi elosztóban egy csillag-delta indítású motor diagnosztikáját végzed. A motor adattáblája: 4 kW, Δ 400 V / Y 690 V, 1430 1/min, cosφ = 0,80, IP 54, S1, F. A mért fordulatszám terhelés alatt 1380 1/min, a vonali feszültség 398 V. A szlip növekedéséből következtess: mi lehet a hiba? Milyen mérést végeznél?

26.2.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** $n = n_s$ esetén a szlip nulla, így nem indukálódik rotoráram, és a nyomaték nulla (ideális üresjárás). A maximális nyomaték a billenőszlipnél lép fel, amely nagyobb nullánál.
2. $n_s = 1500$ 1/min (4 pólus = 2 póluspár). $s = (1500-1440)/1500 = 60/1500 = 0{,}04 = 4\,\%$.
3. $f_r = s \cdot f = 0{,}03 \cdot 50 = 1{,}5$ Hz.
4. Az S1 folyamatos üzemmód: a motor állandó terheléssel, hőmérsékleti egyensúlyig és azon túl is üzemelhet.
5. A billenőnyomaték arányos a feszültség négyzetével: $(370/400)^2 = 0{,}8556$, tehát kb. 14,4 %-kal csökken.
6. $n < 0$, tehát $s > 1$; a gép féküzembe (ellenáramú fékezés) kerül.

1. feladat megoldása.
2 pólus = 1 póluspár, $n_s = 60 \cdot 50/1 = 3000$ 1/min.
$s = (3000 - 2860)/3000 = 140/3000 = 0{,}0467 = 4{,}67\,\%$.

2. feladat megoldása.
$M = 9550 \cdot 3/1420 = 28\,650/1420 \approx 20{,}2$ N · m.

3. feladat megoldása.
Felvett teljesítmény:
$P_{\text{fel}} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 8{,}4 \cdot 0{,}82 \approx 4{,}77$ kW.
Hatásfok: $\eta = 4/4{,}77 \approx 0{,}838 = 83{,}8\,\%$ (a 80–95 %-os tipikus tartományban).
Szinkron fordulatszám: 4 pólusnál $n_s = 1500$ 1/min; szlip: $(1500 - 1420)/1500 = 80/1500 = 0{,}0533 = 5{,}33\,\%$.

4. feladat megoldása.
6 pólus = 3 póluspár, $n_s = 60 \cdot 50/3 = 1000$ 1/min.
Névleges fordulatszám: $s = (n_s - n)/n_s$, tehát $n = n_s(1 - s) = 1000 \cdot (1 - 0{,}03) = 970$ 1/min.
Rotorfrekvencia: $f_r = s \cdot f = 0{,}03 \cdot 50 = 1{,}5$ Hz.

5. feladat megoldása.
A mechanikai teljesítmény: $P_{\text{le}} = M \cdot \omega$, ahol $\omega = 2\pi n/60 = 2\pi \cdot 2870/60 \approx 300{,}5$ rad/s.
$P_{\text{le}} = 14 \cdot 300{,}5 \approx 4207$ W $\approx 4{,}2$ kW.
A hatásfok: $\eta = 4{,}21/5{,}4 \approx 0{,}78 = 78\,\%$ (kisebb, mint 1, tehát reális).
Ellenőrzés: a felvett teljesítmény (5,4 kW) nagyobb a leadottnál (4,2 kW); a különbség (kb. 1,2

kW) veszteség. Ha a mérés fordított eredményt adna (a leadott nagyobb a felvettnél, $\eta > 1$), az mérési hibára utalna.

6. feladat megoldása.
A névleges szlip: $n_s = 1500$ 1/min, $n_n = 1430$ 1/min, $s_n = (1500 - 1430)/1500 = 0{,}0467 = 4{,}67\,\%$.
A mért szlip: $s_{\text{mért}} = (1500 - 1380)/1500 = 120/1500 = 0{,}08 = 8\,\%$.
A szlip a névleges közel kétszeresére nőtt, ami nagyobb nyomatékigényt vagy túlterhelést jelezhet. A vonali feszültség 398 V, tehát a feszültségesés nem jelentős. Mivel a motor csillag-delta indítású, Y-Δ indításnál először azt ellenőrizd, hogy az átkapcsolás megtörténik-e: ha a motor csillagban marad, a tekercsekre csak kb. 230 V jut, a nyomaték kb. harmadára esik, és terhelés alatt nagy a szlip. Ellenőrizd az időrelé beállítását, a deltakontaktor (K3) behúzását és segédérintkezőit, majd lakatfogóval a fázisáramokat (csillagban maradt motornál az áram terhelés alatt a névleges körül vagy fölötte van, a motor melegszik). Ha a váltás rendben van, a tekercsfeszültség csökkenése is szóba jöhet. Érdemes megmérni az egyes fázisáramokat lakatfogóval; ha az áram meghaladja a névlegest, a hajtás túlterhelt, vagy mechanikai hiba (pl. csapágy, szoruló tengely) áll fenn. A szlipnövekedés a terhelés vagy a motor belső hibájának irányába mutat.

26.2.16. Rövid összefoglaló

Az aszinkron motor a forgó mágneses mező fordulatszámánál kisebb fordulatszámmal forog. A **szlip** $s = (n_s - n)/n_s$ azt fejezi ki, mekkora ez a lemaradás. A szinkron fordulatszám $n_s = 60f/p$; a rotoráram frekvenciája $f_r = s \cdot f$. A nyomaték a teljesítményből és a fordulatszámból számítható: $M = 9550P/n$ (P kW-ban, n 1/min-ben, M N · m-ben). A nyomaték–fordulatszám jelleggörbén megkülönböztetjük az **indítónyomatékot**, **billenőnyomatékot** és a **névleges üzemi pontot**. A billenőnyomaték a feszültség négyzetével arányos, ezért az alulfeszültség kritikus. A görbe három tartománya: motorüzem ($0 < n < n_s$), generátorüzem ($n > n_s$) és féküzem ($n < 0$). A motor adattáblája tartalmazza a névleges teljesítményt, feszültséget, áramot, fordulatszámot, cosφ-t, üzemmódot (pl. S1), IP-védettséget és szigetelési osztályt. Ezeket az adatokat a Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány és a Diagnosztika: szemrevételezés, mérések, hibajegyzőkönyv alfejezetek használják tovább. Az adattábla mindig a gyártó hivatalos dokumentuma, ezért névleges adatként elsődleges forrás.

26.2.17. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ EN 60034-1 (villamos gépek – névleges adatok és üzemmódok) – ellenőrizendő aktuális kiadás.
- MSZ EN 60529 (IP-védettség) – ellenőrizendő aktuális kiadás.
- IEC 60085 (szigetelési osztályok) – ellenőrizendő aktuális kiadás.
- A gyártói adattáblán szereplő konkrét értékek gyártónként és motortípusonként eltérnek; a példák tanulási célú, tipikus értékek.

26.3. Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány

26.3.1. Miért éppen a kapocsdoboz és a forgásirány?

Egy új háromfázisú motort szállítanak a műhelybe. A dobozon ott az adattábla: „230/400 V, Δ/Y, 1,5 kW, cos φ = 0,82”. A szerelő kinyitja a kapocsdobozt, és hat sorkapcsot lát, rajta gyárilag elhelyezett, áthidalható fémlemezekkel. Ha a hidakat rosszul teszi fel, a motor zúgni

kezd, túlmelegszik, túláramvédő leold, rosszabb esetben a tekercs szigetelése károsodik. Ha pedig a tápvezeték fázisait rossz sorrendben köti, a ventilátor visszafelé forog, a szivattyú nem szállít, a megmunkálógép kiszakítja a munkadarabot. Ez az alfejezet pontosan ezt a két helyzetet tanítja meg: hogyan kell a motor tekercseit a hálózati feszültséghez illeszteni a kapocsdobozban, és hogyan kell a forgásirányt megbízhatóan beállítani és ellenőrizni.

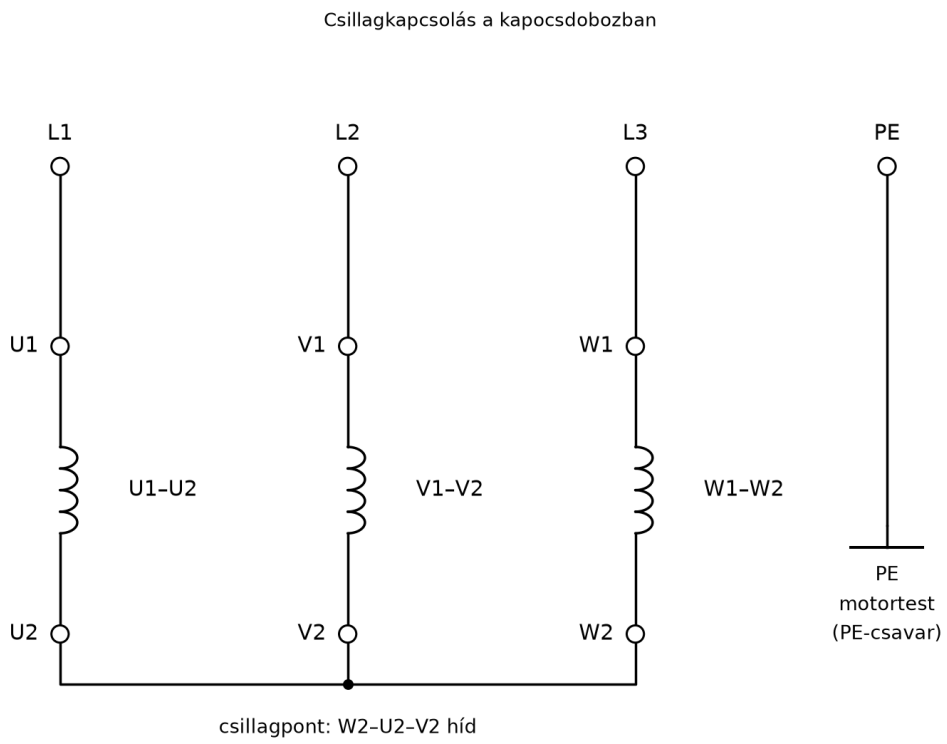
26.3.2. Szemléletes kép: a kapocsdoboz belülről

A képzeletbeli kapocsdobozban hat, két sorba rendezett csavar vagy lapos csatlakozó van. A szabványos kapocstáblán az egyik sorban **W2, U2, V2**, a másikban **U1, V1, W1** felirat olvasható, egymás alatt eltolva (felül U1, V1, W1, alul eltolva W2, U2, V2: W2 az U1 alatt, U2 a V1 alatt, V2 a W1 alatt; ellenőrizendő: MSZ EN 60034-8 ábrája és a gyártói kapocstábla). A motor belsejében három, egymástól független tekercs helyezkedik el: az egyik tekercs két vége az **U1** és **U2**, a másodiké a **V1** és **V2**, a harmadiké a **W1** és **W2** kapocsra van kivezetve. A gyártó a kapocshidakkal lehetővé teszi, hogy a hat kapcsot kétféleképpen kössük össze: **csillagba** (Y) vagy **deltába** (Δ). Ezért ugyanaz a motortest két különböző hálózati feszültséghez használható, ha a tekercsfeszültség megfelelő.

Definíció. A **kapocsdoboz** a motor áramkötéseinek csatlakoztatására szolgáló tér, ahol a tekercsek végei sorkapcsokra vannak kivezetve, és hidakkal alakítható ki a tekercsek kapcsolása.

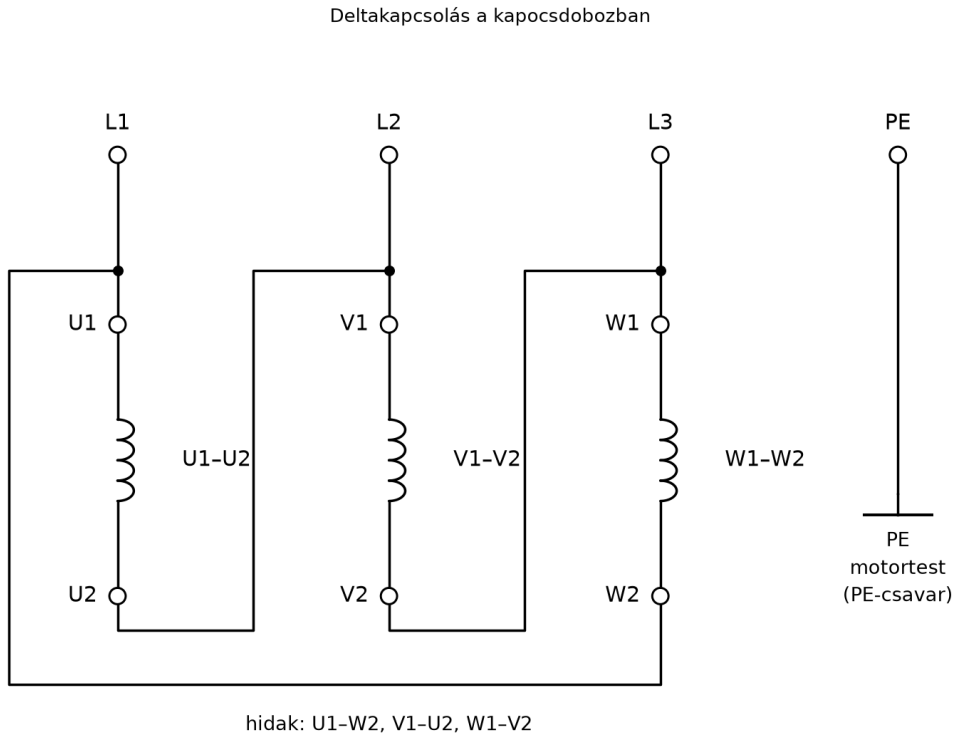
Szabály. A kapocsjelölések a mai szabvány szerint: a tekercs kezdete **U1, V1, W1**, a vége **U2, V2, W2**. Régi motorokon és terveken gyakran **U, V, W** – **X, Y, Z** jelölést találsz (U1→U, U2→X, V2→Y, W2→Z; ellenőrizendő: régi MSZ/DIN jelölés), a megfeleltetést mindig méréssel ellenőrizd. (Lásd a Motorok és transzformátorok rajzjelei, kapocstáblák alfejezetet.)

A kapocsdoboz bekötését a következő kapcsolási rajzok mutatják.



26.5. ábra. Csillagkapcsolás a kapocsdobozban - A hálózat L1, L2, L3 fázisa a tekercsek kezdetére (U1, V1, W1) csatlakozik; a tekercsvégeket (U2, V2, W2) a kapocstábla W2–U2–V2 során egy vízszintes híd közösíti (csillagpont). A PE (zöld-sárga) a motortest PE-csavarjára kerül. Egy tekercsre a vonali feszültség $1/\sqrt{3}$-a jut (400 V-os hálózaton $\approx$ 230 V).

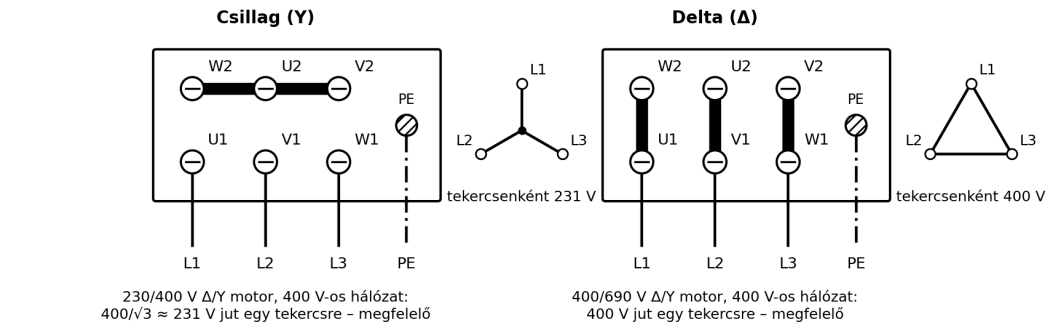
A kapcsolási rajz leírása: a felső tápsor L1, L2, L3 az U1, V1, W1 kapcsokra csatlakozik; a három függőleges tekercs U1–U2, V1–V2, W1–W2; az alsó végek (U2, V2, W2) össze vannak kötve, ez a csillagpont – a kapocstáblán ez a W2–U2–V2 sor vízszintes hídja. A PE-vezető a motortest PE-csavarjára csatlakozik.



26.6. ábra. Deltakapcsolás a kapocsdobozban - A szabványos kapocstábla három függőleges hídja (U1–W2, V1–U2, W1–V2) a tekercseket zárt háromszögbe köti; a hálózat L1 az U1, L2 a V1, L3 a W1 kapocsra csatlakozik. A PE (zöld-sárga) a motortest PE-csavarjára kerül. Egy tekercsre a teljes vonali feszültség jut.

A kapcsolási rajz leírása: ugyanaz a hat kapocs, de most a szabványos kapocstábla három függőleges hídja köti össze a tekercseket zárt háromszögbe: U1–W2, V1–U2 és W1–V2; a tápfázisok az U1, V1, W1 kapcsokon maradnak, a PE a motortesten.

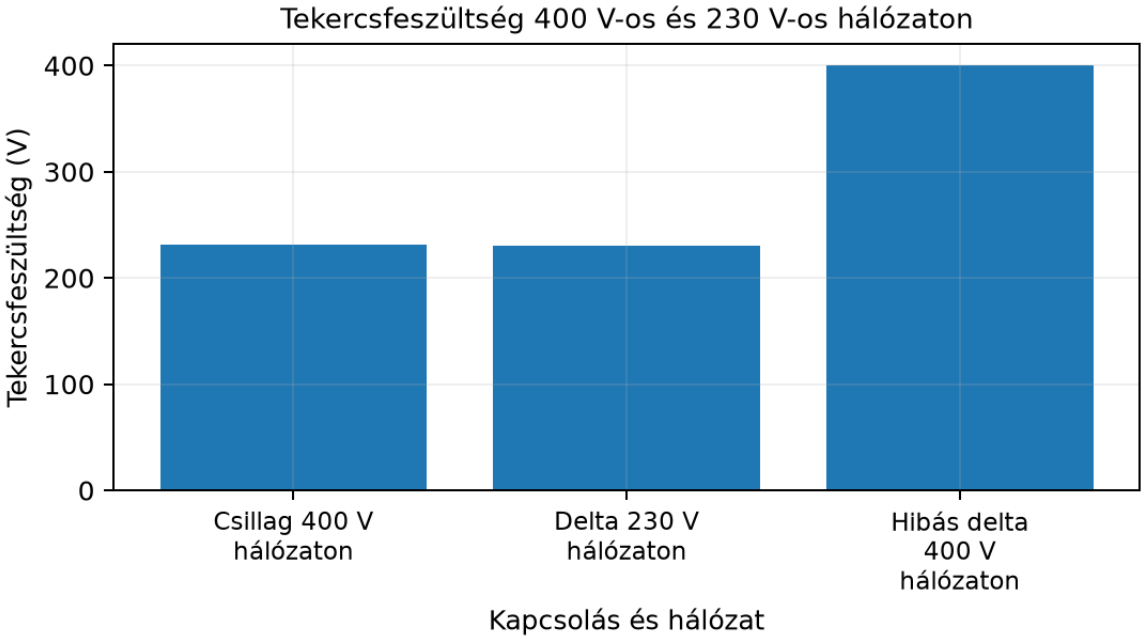
A valódi kapocstáblán a hat kapocs két, egymás alatti sorban van: a felső sorban U1, V1, W1, az alsóban eltolva W2, U2, V2 (W2 az U1, U2 a V1, V2 a W1 alatt; a fizikai elrendezés gyártónként eltérhet). Így a csillaghíd egyetlen vízszintes sáv az alsó soron, a deltahidak pedig három függőleges sáv. Az alábbi ábra a két hídkiosztást a fejezet két motorjával mutatja 400 V-os hálózaton: a 230/400 V Δ/Y motort csillagba kötjük (egy tekercsre $\approx$ 231 V jut), a 400/690 V Δ/Y motort deltába (egy tekercsre 400 V jut). Az interaktív változatban kiválaszthatod az adattáblát és a hídkiosztást; a kijelző mutatja a tekercsfeszültséget és azt, hogy ez megfelelő, túl nagy (a motor túlmelegszik) vagy túl kicsi (nyomatékhiány). Az „L1–L2 csere” gomb a forgásirányt fordítja meg, a hidakat nem változtatja.



Vastag fekete sáv: kapocshíd. Felső sor W2–U2–V2, alsó sor U1–V1–W1; a tápvezetékek mindig az U1, V1, W1 kapcsokra csatlakoznak. Szemléltető rajz, a kiosztást a gyártói kapocstábla adja (ellenőrizendő).

26.7. ábra. Motor-kapocstábla csillag- és deltahidakkal, a tekercsfeszültséggel

A feszültségviszonyokat szemlélteti a következő számított oszlopdiagram.



26.8. ábra. Tekercsfeszültség 400 V-os és 230 V-os hálózaton - Szemléltető, számított érték: U_f = 400/√3 ≈ 231 V, illetve U_f = U_v. A hibás delta 400 V-os hálózaton 400 V-ot ad a 230 V-os tekercsre, ami túlmelegedést okoz.

26.3.3. Csillag- és deltakapcsolás a feszültséghez illesztve

Törvény. A háromfázisú tekercselésnél a fázistekercsre jutó feszültség: - csillagkapcsolásban $U_f = \dfrac{U_v}{\sqrt{3}}$, ahol U_v a vonali feszültség; - deltakapcsolásban $U_f = U_v$.

Szabály. A motor adattáblájának kettős feszültségjelölése mindig a **delta feszültség / csillag feszültség** sorrendet követi (például **230/400 V Δ/Y** vagy **400/690 V Δ/Y**). A kisebbik feszültség a tekercs névleges feszültsége delta kapcsolásban, a nagyobbik pedig ugyanannak a tekercsnek a csillag kapcsolásban megengedett feszültsége.

Példa. Egy motor adattáblája: **230/400 V Δ/Y**. Ez azt jelenti, hogy a tekercs **230 V**-ra készült. Ha a hálózat vonali feszültsége $U_v = 400\,\mathrm{V}$, akkor csillagkapcsolásban $U_f = 400/\sqrt{3} \approx 230\,\mathrm{V}$, tehát a motor **csillagban** köthető. Ha valaki deltába kötné, akkor $U_f = 400\,\mathrm{V}$ jutna a 230 V-os tekercsre, ami nagy áramot és gyors túlmelegedést okoz.

Számítás. Legyen a hálózat $U_v = 400\,\mathrm{V}$. Csillagkapcsolásban a tekercsfeszültség:

$$U_f = \frac{400\,\mathrm{V}}{\sqrt{3}} \approx 231\,\mathrm{V}.$$

Ez illik a 230 V-os tekercshez. Deltakapcsolásban $U_f = 400\,\mathrm{V}$, ami nem illik. Tehát a **230/400 V Δ/Y** motort a 400 V-os hálózaton **csillagba kell kötni**.

Megjegyzés. Ha a helyszínen csak 230 V vonali feszültségű háromfázisú hálózat lenne (ritka, egyes külföldi vagy régi rendszerek), ugyanezt a motort **deltába** kellene kötni, mert akkor $U_f = 230\,\mathrm{V}$.

26.3.4. A forgásirány beállítása

A háromfázisú aszinkron motor forgásiránya a tápláló fázisok **sorrendjétől** függ. A forgó mágneses mező iránya a fázissorrenddel egyezően forog; ha a fázissorrend megfordul, a forgó mező is megfordul, és vele a tengely is.

Szabály. A forgásirány megváltoztatásához a motor **betápláló oldalán** bármely **két fázist fel kell cserélni** (például L1 és L2, L1 és L3, vagy L2 és L3). A kapocsdobozban a hidakat **nem** szabad megváltoztatni; azok a feszültséghez illesztett kapcsolást adják, nem a forgásirányt.

Gyakorlati megvalósítás. Ha a motort közvetlenül kötjük, a kapocsdobozban a tápfázisok két vezetékét kicseréljük. Ha mágneskapcsolóról vagy motorvédő kapcsolóról tápláljuk, a cserét a mágneskapcsoló betápláló oldalán vagy a motorvédő kapcsoló után végezzük, mindig azonosítva a fázisokat. A fázissorrendet célszerű fázissorrend-mérővel is ellenőrizni.

Figyelem. A forgásirányváltást kizárólag feszültségmentes állapotban, a tápellátás biztosított kikapcsolása után szabad elvégezni. A forgásirányt a hajtási tengelyvég felől nézve adjuk meg. Ha az L1–L2–L3 (jobbforgású) fázissorrendet az U1–V1–W1 kapcsokra kötjük, a motor ebből a nézőpontból az óramutató járásával egyezően (jobbra) forog (MSZ EN 60034-8; ellenőrizendő: pontos szakasz). Ezért érdemes bekötés előtt fázissorrend-mérővel ellenőrizni a betáplálást.

26.3.5. Bekötés előtti ellenőrzések

Mielőtt a hidakat feltennénk és a tápvezetékeket csatlakoztatnánk, ellenőrizni kell a motor villamos állapotát. A mérések védik a motort és a szerelőt is.

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések ellenőrzésére az **MSZ HD 60364-6** sorozat vonatkozik; a forgógépek kapocsjelölését az **MSZ EN 60034-8** szabályozza. A méréseknél a határértékeket mindig az aktuális szabvány és a gyártói adatlap alapján kell meghatározni. **(ellenőrizendő: aktuális kiadás, határértékek)**

Gyakorlati mérések:

1. **Szigetelési ellenállás mérése.** Szigetelési ellenállás-mérővel (pl. 500 V DC vizsgálófeszültség; multiméter erre nem alkalmas, MSZ EN 61557-2) megmérjük az egyes tekercsek és a motortest közötti ellenállást. Új, tiszta motoron tipikusan több száz MΩ; a minimálisan elfogadható érték a gép névleges feszültségétől függ, például 1 MΩ alatt nem szabad üzembe helyezni (ellenőrizendő: pontos határérték). A mérés előtt a motor kapocsdobozában a

tekercsek legyenek szétválasztva (hidak leemelve), és a mérés feszültségmentes állapotban történjen.

2. **Tekercsellenállás és kapocspárok azonosítása.** Ohmmérővel minden tekercspár (U1-U2, V1-V2, W1-W2) ellenállását megmérjük. A három értéknek közel azonosnak kell lennie; nagy eltérés vagy szakadás hibás tekercsre utal. Ezzel azonosíthatóak a kapcsok, ha a jelölés hiányos.
3. **Hurokellenőrzés (a táphálózat felől).** A kész bekötés után hurokimpedancia-méréssel meggyőződhetünk arról, hogy a hibaáramút megfelelő-e. A hurokimpedanciát feszültség alatt, erre szolgáló hurokimpedancia-mérővel (MSZ EN 61557-3) méri a jogosult szakember; a tanuló ezt csak oktatói felügyelettel figyelheti meg. A szigetelés- és tekercsellenállás-mérés ezzel szemben feszültségmentes állapotban történik. **(ellenőrizendő: mérési módszer, határérték)**

Szabály. A mérés előtt mindig a **feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát** kell alkalmazni: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás (ha előírt), szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

26.3.6. Gyakorlati útmutató: motor bekötése a kapocsdobozban

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Hálózati feszültségű munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet, a hatályos előírások szerint.

Cél. Háromfázisú aszinkron motor bekötése a hálózati feszültséghez illesztett csillag- vagy deltakapcsolásban, a forgásirány ellenőrzése.

Eszközök, anyagok: motor (ismert adattáblával), kapocshidak, csavarhúzó, villáskulcs, kétpólusú feszültségvizsgáló (MSZ EN 61243-3), multiméter, szigetelési ellenállás-mérő, fázissorrend-mérő (opcionális), védőkesztyű, védőszemüveg, feszültségmentesítő eszközök, jegyzőkönyv.

Lépések:

1. **Feszültségmentesítés.** Kapcsold le a motor tápellátását, biztosítsd a visszakapcsolás ellen (lakat, tiltótábla), állapítsd meg a feszültségmentességet kétpólusú feszültségvizsgálóval (megfelelő CAT-besorolás) a motor kapcsain minden fázis között és minden fázis és a PE között; a vizsgálót előtte és utána ismert feszültségforráson ellenőrizd, földeld és zárd rövidre a munkaterületet, ha előírt, takard le a szomszédos feszültség alatti részeket.
2. **Adatlap ellenőrzése.** Olvasd le a motor adattábláját: névleges feszültség, kapcsolás, áram, teljesítmény, cos φ, fordulatszám. Győződj meg arról, hogy a hálózati feszültség (például 400 V) és a motor adatai összhangban vannak.
3. **Kapocsdoboz kinyitása és szemrevételezés.** Ellenőrizd, hogy a kapcsok sértetlenek, a jelölések olvashatók, a hidak megfelelően illeszkednek, nincs idegen anyag, nedvesség.
4. **Szigetelési mérés.** Emeld le a hidakat. Minden tekercs és a motortest között, valamint a tekercsek között mérj szigetelési ellenállást. A mért értéket hasonlítsd a határértékhez (például > 1 MΩ, de a gyártói/szabványérték az irányadó).
5. **Tekercsellenállás mérés.** Ohmmérővel azonosítsd és mérd meg az U1-U2, V1-V2, W1-W2 párokat. Az értékeknek közel egyformának kell lenniük. Jegyezd fel az értékeket.
6. **Kötés kiválasztása.** A hálózati feszültség és az adattábla alapján döntsd el: 400 V-os hálózaton a 230/400 V Δ/Y motort csillagba kösd; 230 V-os hálózaton deltába. A 400/690 V Δ/Y motort 400 V-os hálózaton deltába kell kötni (mert a tekercse 400 V-os). Általában: a tekercsre jutó feszültség ne haladja meg a tekercs névleges feszültségét.

7. **Hidak elhelyezése.** Csillagkapcsoláshoz a **U2, V2, W2** kapcsokat kösd össze egy híddal (vagy a gyári híddal). Deltakapcsoláshoz a **U1–W2**, **V1–U2**, **W1–V2** hidakat helyezd fel. Húzd meg a csavarokat a gyártó által megadott nyomatékkal (ellenőrizendő: nyomaték értéke).
8. **Tápvezetékek csatlakoztatása.** A motor tápellátását a **U1, V1, W1** kapcsokra kösd (L1→U1, L2→V1, L3→W1). A védővezetőt (PE) a motor védőcsatlakozójára csatlakoztasd. A nullavezetőt háromfázisú motornál általában nem kell csatlakoztatni, mert a motor szimmetrikus háromfázisú fogyasztó.
9. **Forgásirány ellenőrzése.** A bekötés után, feszültség alá helyezés előtt ellenőrizd a csavarok meghúzását, a kapcsok sorrendjét. Kapcsold be rövid időre, és figyeld a tengely forgásirányát. Ha a forgásirány nem megfelelő, **feszültségmentesíts**, és cserélj fel **két tápvezetéket** a kapocsdobozban (vagy a mágneskapcsoló előtt). Ne nyúlj a hidakhoz.
10. **Dokumentálás.** Vegyél fel jegyzőkönyvet a mérésekről, a bekötési módról, a forgásirányról és az esetleges cserékről.

Ellenőrzési pontok: - A szigetelési ellenállás minden körben a határérték felett van. - A tekercsellenállások közel azonosak. - A hidak pontosan a kiválasztott kapcsolásnak felelnek meg. - A tápvezetékek a U1, V1, W1 kapcsokra csatlakoznak. - A védővezető csatlakoztatva van. - A forgásirány a berendezés követelményének megfelelő. - A kapocsdoboz fedele vissza van helyezve, a tömítések sértetlenek.

26.3.7. Hibakeresési eset

Tünet. Egy új, 1,5 kW-os motort a szerelő bekötött, de a motor hangos, erősen melegszik, és a motorvédő kapcsoló néhány másodperc után leold. A tengely alig forog, vagy nem indul el.

Hipotézis. A motor adattáblája 230/400 V Δ/Y, a hálózat 400 V. A szerelő valószínűleg **deltába** kötötte a motort, mert a kapocsdobozban a gyári híd gyárilag delta állásban volt, és nem ellenőrizte az adattáblát.

Mérés. Feszültségmentesítés után a kapocsdobozban a hidak delta bekötést mutatnak (U1–W2, V1–U2, W1–V2). A motor adattáblája: Δ 230 V / Y 400 V. A számított tekercsfeszültség delta bekötésben 400 V, ami a 230 V-os tekercsre túl nagy.

Ok. A motor tekercsére a névleges 230 V helyett 400 V jut, ezért a tekercs erős telítésbe kerül, a felvett áram megnő, a motor túlmelegszik és a túláramvédelem leold.

Javítás. Feszültségmentes állapotban a hidakat csillag kapcsolásra kell átrendezni (U2–V2–W2 közösítése), majd a tápvezetékeket visszakötni a U1, V1, W1 kapcsokra. Ezután a motor normál áramfelvétellel, a névleges fordulatszám közelében fog járni.

Megelőzés. Mindig az adattábla alapján, a hálózati feszültséggel összevetve válasszuk ki a kapcsolást. A bekötés után rövid próbaindítással ellenőrizzük az áramfelvételt (pl. lakatfogóval), és hasonlítsuk össze az adattáblán szereplő névleges árammal.

26.3.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy épületgépészeti kivitelezésen egy légkezelő ventilátort szereltek. A villanyszerelő bekötötte a motort, és a próbaindításnál a ventilátor **visszafelé forgott**: a levegőt a kifúvó ág felől szívta. A hiba a tápvezetékek bekötésekor történt: a mágneskapcsoló kimeneti oldalán az L1 és L2 fázist felcserélték. A megoldás egyszerű volt: feszültségmentesítés után a mágneskapcsoló után két fázist megcseréltek. A motor ezután a helyes irányba forgott, a légcsatorna nyomásviszonyai a

tervezettnek megfelelőek lettek. Az eset tanulsága: a forgásirányt mindig a teljes rendszerrel együtt kell ellenőrizni, nem elég a motort magában beindítani.

26.3.9. Tipikus hibák

1. **A hidak elmaradnak vagy rossz helyre kerülnek.** Ha egy tekercs nem kapcsolódik, a motor zúg, nem indul, és túláramvédő leold. Csillagkapcsolásnál gyakori, hogy a U2–V2–W2 híd hiányzik, vagy csak két kapcsot köt össze.
2. **Csillag és delta felcserélése.** A 230/400 V-os motort 400 V-os hálózaton deltába kötik, vagy a 400/690 V-ost csillagba. Mindkettő helytelen feszültséget ad a tekercsre, ami túlterhelést vagy nyomatékcsökkenést okoz.
3. **A forgásirányt a hidak átrendezésével próbálják megváltoztatni.** Ez nem változtatja meg a fázissorrendet, viszont rossz kapcsolást hozhat létre. A forgásirányt kizárólag a betápláló fázisok cseréjével szabad befolyásolni.
4. **A védővezetőt nem csatlakoztatják.** A motor fémteste hibás szigetelés esetén feszültség alá kerülhet, ami érintésvédelmi kockázatot jelent. A PE vezetőt mindig csatlakoztatni kell.
5. **A szigetelési ellenállást nem mérik meg bekötés előtt.** Egy régi, nedves motor szigetelési hibája az első bekapcsolásnál zárlatot okozhat; a méréssel ez megelőzhető.

26.3.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a kapocsdobozban az U2, V2, W2 kapcsokat csillagkapcsolásnál össze kell kötni? Indokolj.
2. Egy motor adattáblája: „400/690 V Δ/Y”. Milyen kapcsolást választanál 400 V-os hálózaton, és miért?
3. Hogyan változtatod meg a háromfázisú motor forgásirányát? Melyik vezetékeket cseréled?
4. Miért kell a motor tekercsellenállását megmérni bekötés előtt?
5. Mi a hiba ebben a kapcsolásban: a motor 230/400 V Δ/Y, a hálózat 400 V, és a kapocsdobozban a hidak delta állásban vannak?

26.3.11. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a kapocsdoboz szerepét, és sorold fel a hat kapocs jelölését a mai szabvány szerint.

2. feladat (A). Egy háromfázisú hálózat vonali feszültsége 400 V. Mekkora a csillagkapcsolású motor tekercsfeszültsége? Számítsd ki.

3. feladat (B). Adott egy motor, adattáblája: **230/400 V Δ/Y**, névleges áram 3,4 A. A rendelkezésre álló hálózat 400 V. Milyen kötést választanál? Rajzold fel a kapocsdoboz bekötését (csillag vagy delta), és jelöld a tápvezetékek csatlakozási pontjait.

4. feladat (B). A motort csillagba kötötted, de a forgásirány ellentétes a kívánttal. Írd le lépésről lépésre, mit teszel, milyen biztonsági szabályok betartásával.

5. feladat (C). Egy motor kapocsdobozában a következő hidak vannak: U1–W2, V1–U2, W1–V2. A motor adattáblája: **400/690 V Δ/Y**. A hálózat feszültsége 400 V. Helyes-e a bekötés? Indokold számítással. Ha nem, mit változtatnál?

6. feladat (D). Bekötés előtt szigetelési ellenállást mérsz. Az U1–test mérés 0,8 MΩ, a V1–test mérés 0,9 MΩ, a W1–test mérés 12 MΩ. A tekercsellenállások: U1-U2 = 4,2 Ω, V1-V2 = 4,1 Ω,

W1-W2 = 4,15 Ω. A motor névleges feszültsége 400 V, a környezet tiszta. Mi a teendőd? Milyen hibára gyanakszol, és milyen további mérést végeznél?

26.3.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. **Igaz.** Csillagkapcsolásnál a tekercsek végeit (U2, V2, W2) közösítjük, és a táp a kezdetekre (U1, V1, W1) csatlakozik.
2. **Deltába.** A 400/690 V Δ/Y jelölés azt jelenti, hogy a tekercs névleges feszültsége 400 V, és delta kapcsolásban a tekercsfeszültség éppen a vonali feszültség. 400 V-os hálózaton tehát delta a megfelelő. Csillagban 690 V-os hálózat kellene a teljes kihasználáshoz.
3. A forgásirányt a betápláló **két fázis felcserélésével** lehet megváltoztatni, például L1 és L2 cseréjével. A motoron belüli hidakat nem szabad változtatni.
4. A tekercsellenállás-méréssel azonosíthatjuk a kapocspárokat, és ellenőrizhetjük, hogy nincs szakadás vagy zárlat a tekercsekben; a három értéknek közel azonosnak kell lennie.
5. A kapcsolás delta, a hálózat 400 V, a tekercs névleges feszültsége 230 V (a 230/400 V Δ/Y jelölés szerint). Delta kapcsolásban a tekercsre 400 V jut, ami túl nagy, a motor túlmelegszik. Csillagba kell kötni.

Feladatok megoldásai:

1. feladat. A kapocsdoboz a motor tekercs végeinek csatlakoztatására szolgáló sorkapocs-tér, ahol a tekercsek kapcsolása hidakkal állítható be. A kapocsjelölések: U1, V1, W1 (kezdetek) és U2, V2, W2 (végek).

2. feladat.
Adott: $U_v = 400\,\mathrm{V}$.
Keresett: U_f csillagban.
Képlet: $U_f = U_v/\sqrt{3}$.
Behelyettesítés: $U_f = 400\,\mathrm{V}/1{,}732 \approx 231\,\mathrm{V}$.
Ellenőrzés: csillagban a fázisfeszültség mindig kisebb a vonalinál, ez megfelel.

3. feladat. A motor 230/400 V Δ/Y jelölése: a tekercs 230 V-os. 400 V-os hálózaton csillagkapcsolást kell választani, mert $U_f = 400/\sqrt{3} \approx 230\,\mathrm{V}$. A kapocsdobozban U2–V2–W2 közösítendő, a táp L1→U1, L2→V1, L3→W1. A rajz megegyezik a fenti csillag kapcsolási rajzzal.

4. feladat. Feszültségmentesítés az öt biztonsági szabállyal (a feszültségmentesség ellenőrzésével együtt, a vezetékekhez nyúlás előtt). A motor forgásiránya ellentétes, ezért a betápláló vezetékek közül kettőt (például L1 és L2) a kapocsdobozban felcserélünk; a hidakhoz nem nyúlunk. Ellenőrizzük a kötések meghúzását, visszahelyezzük a fedelet, megszüntetjük a földelést/rövidzárat és a lezárást, majd rövid próbaindítással ellenőrizzük a forgásirányt. Dokumentáljuk a cserét.

5. feladat. A hidak delta kapcsolást mutatnak (U1–W2, V1–U2, W1–V2). Motor adattábla: 400/690 V Δ/Y, tehát a tekercs névleges feszültsége 400 V. Hálózat: 400 V. Deltakapcsolásban $U_f = U_v = 400\,\mathrm{V}$, ami pontosan a tekercs névleges feszültsége, tehát a bekötés **helyes**. Ha csillagba kötnénk, akkor $U_f = 400/\sqrt{3} \approx 230\,\mathrm{V}$, ami alacsony, a motor nyomatéka jelentősen csökkenne, és túlterhelhető lenne.

6. feladat. A szigetelési ellenállás U1 és V1 tekercs–test között 0,8–0,9 MΩ, ami a tananyagban használt 1 MΩ-os példahatár alatt van, ezért a motor ebben az állapotban nem helyezhető üzembe (a pontos határ a gyártói adat és a hatályos szabvány; ellenőrizendő); a W1–test 12 MΩ. A tekercsellenállások közel azonosak, tehát a tekercsek villamosan épek. A gyanú: a motor

nedves vagy szennyezett, esetleg a szigetelés az U és V fázis környékén gyengült. Teendő: a motort ne kapcsold be; mérd meg a tekercsek közötti szigetelést is (U–V, V–W, W–U); vizsgáld meg a kapocsdobozt nedvességre, száríttasd ki a motort (pl. meleg levegővel), majd a névleges feszültséghez illő vizsgálófeszültséggel (a 400 V-os motornál 500 V DC) ismételd meg a mérést. Csak a határérték feletti szigetelési ellenállás esetén helyezhető üzembe. A pontos határértéket a gyártói adatlap és az aktuális szabvány adja meg. **(ellenőrizendő: határérték)**

26.3.13. Rövid összefoglaló

A háromfázisú aszinkron motor kapocsdobozában a hat kivezetés (U1, V1, W1 kezdetek, U2, V2, W2 végek) hidakkal csillag- vagy deltakapcsolásba köthető. Csillagkapcsolásnál a tekercsek végeit közösítjük, és a táp a kezdetekre csatlakozik; ekkor a tekercsfeszültség $U_f = U_v/\sqrt{3}$. Deltakapcsolásnál U1–W2, V1–U2, W1–V2 hidak vannak, és a tekercsfeszültség $U_f = U_v$. A motor adattáblájának kettős feszültségjelölése (pl. 230/400 V Δ/Y) meghatározza, hogy a tekercs milyen feszültségre készült: 400 V-os hálózaton a 230/400 V-os motort csillagba, a 400/690 V-os motort deltába kell kötni. A forgásirányt a betápláló fázisok sorrendje szabja meg; a forgásirányváltáshoz **két tápvezetéket kell felcserélni** (például L1–L2), a motoron belüli hidakat nem szabad megváltoztatni. Bekötés előtt szigetelési ellenállást és tekercsellenállást kell mérni, a kapcsolást az adattáblával egyeztetni, és a védővezetőt csatlakoztatni. **Továbbvitt eredmény.** A csillag–delta kapcsolás és a forgásirányváltás ismerete közvetlenül szükséges az Indítás: közvetlen, csillag–delta, lágyindító, csúszógyűrűs, az Egyfázisú aszinkron motorok és a Motor kapocsbekötése és beüzemelése alfejezetekben, ahol a kapcsolási módokat vezérlési és gyakorlati szinten is alkalmazzuk.

26.3.14. Források és ellenőrzési hiányok

A kapocsdobozos csillag–delta kapcsolás logikája és a forgásirányváltás elve stabil elektrotechnikai alapismeret. A kapocsjelöléseket az **MSZ EN 60034-8**, a villamos berendezések ellenőrzését az **MSZ HD 60364-6** sorozat, a mérések módszereit az **MSZ EN 61557** sorozat szabályozza; a határértékek (szigetelési ellenállás, csavarnyomaték) a mindenkori szabványkiadás és a gyártói adatlapok függvényei, ezért azokat a felhasználás előtt ellenőrizni kell. A példában szereplő szigetelési ellenállás határértékek tájékoztató jellegűek, és nem helyettesítik a gyártói vagy szabványos előírást.

26.4. Indítás: közvetlen, csillag–delta, lágyindító, csúszógyűrűs

Az aszinkron motor indítása az egyik leggyakrabban félreértett része a hajtástechnikának. A szerelő a munkahelyen leggyakrabban akkor találkozik vele, amikor egy motor bekapcsolásakor a világítás megbillen, egy kismegszakító leold, vagy a szomszédos gépsor vezérlése újraindul. Ilyenkor nem feltétlenül a motor hibás, hanem az indítási módot kell a hálózathoz és a terheléshez igazítani.

26.4.1. Szemléletes kép: miért nagy az indítási áram?

Álló motornál a forgórész fordulatszáma nulla, vagyis a forgórészhez képest a forgó mágneses mező a szinkron fordulatszámmal halad. Az indukált forgórész-áram ezért a legnagyobb: a gép ilyenkor rövidre zárt transzformátorként viselkedik, amelynek a szekunder oldala (a forgórész) áll. A hálózatból felvett indítási áramlökés jellemzően a motor névleges áramának 5–8-szorosa. Ez

rövid ideig tart, de a hálózati impedancián akkora feszültségesést okozhat, hogy a közelben lévő fogyasztók feszültsége leesik. Ezért a nagyobb motoroknál nem mindegy, hogyan indítunk.

Definíció. Indítási áram I_{ind}: az a legnagyobb vonali áram, amelyet a motor álló állapotból való felgyorsítása közben a hálózatból felvesz.
Definíció. Indítónyomaték M_{ind}: az a nyomaték, amelyet a motor álló állapotban, a forgórész fordulatszámának nulla értékénél kifejt.
Definíció. Indítási áramszorzó k_i: a motorkatalógusokban megadott arány, $k_i = I_{ind}/I_n$.

Az indítási mód kiválasztásakor két kérdést kell feltenni:

1. Megengedi-e a hálózat az indítási áramot?
2. Elég-e a motor indítónyomatéka a terhelés legyőzéséhez?

26.4.2. Közvetlen indítás (DOL)

A legegyszerűbb és legolcsóbb mód, amikor a motort közvetlenül, teljes hálózati feszültségre kapcsoljuk, például egy mágneskapcsolóval vagy motorvédő kapcsolóval. A motorkapcsokra azonnal a névleges feszültség kerül, a motor a természetes nyomaték–fordulatszám görbéje szerint gyorsul fel.

Előnyei: egyszerű, kevés alkatrész, teljes indítónyomaték.
Hátránya: nagy indítási áramlökés, ami feszültségletörést okozhat.

A közvetlen indítás tipikus alkalmazási területe a kis teljesítményű motor, illetve az olyan ipari hálózat, ahol a zárlati teljesítmény nagy, és a hálózati engedélyes megengedi. A hálózati engedélyes gyakran korlátozza a legnagyobb indítási áramot; ezt mindig ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: az adott elosztói terület csatlakozási feltételei)**.

26.4.3. Csillag–delta (Y-Δ) indítás

A csillag–delta indítás a motor tekercseinek kapcsolási módját használja ki. **Feltétel.** Y-Δ indítás csak olyan motorral végezhető, amelynek tekercse delta kapcsolásban a hálózati vonali feszültségre méretezett – 400 V-os hálózaton Δ 400 V / Y 690 V adattáblájú motorral –, és mind a hat tekercsvég (U1…W2) hozzáférhető. A 230/400 V Δ/Y motor 400 V-on Y-Δ indításra nem alkalmas (lásd Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány). Ilyen motornál a tekercs névleges feszültsége 400 V. Indításkor a tekercseket csillagba kapcsolják, így minden tekercsre csak $U_f = 400/\sqrt{3} \approx 230\,\text{V}$ jut. Amikor a motor felgyorsult, a kapcsolás deltába vált.

Törvény. A Y-Δ indítás vonali indítási árama harmada a közvetlen delta indítási áramának, és az indítónyomaték is harmada.

Levezetés. Delta kapcsolásban minden fázistekercsre a vonali feszültség U_v jut, csillagkapcsolásban pedig $U_v/\sqrt{3}$. A fázisáram közelítőleg arányos a fázisfeszültséggel, ezért a csillagkapcsolás fázisárama $1/\sqrt{3}$-szorosa a delta fázisáramának. Csillagkapcsolásban a vonali áram megegyezik a fázisárammal, delta kapcsolásban a vonali áram $\sqrt{3}$-szorosa a fázisáramnak. A hálózati vonali áramok aránya tehát:

$$\frac{I_Y}{I_D} = \frac{1/\sqrt{3}}{\sqrt{3}} = \frac{1}{3}.$$

A nyomaték a fázistekercs feszültségének négyzetével arányos:

$$\frac{M_Y}{M_D} = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 = \frac{1}{3}.$$

∎

Példa. Egy 11 kW-os, 400 V-os, 4 pólusú motor névleges árama $I_n = 21\,\mathrm{A}$, az indítási áramszorzója $k_i = 6{,}5$. A közvetlen delta indítási áram:

$$I_D = k_i \cdot I_n = 6{,}5 \cdot 21 = 136{,}5\,\mathrm{A},$$

a Y-Δ indítás hálózati indítási árama:

$$I_Y = \frac{136{,}5}{3} = 45{,}5\,\mathrm{A}.$$

Ha a közvetlen indítónyomaték $M_D = 1{,}8\,M_n$, akkor a Y-Δ indítónyomaték:

$$M_Y = \frac{1{,}8\,M_n}{3} = 0{,}6\,M_n.$$

Ez a motor tehát Y-Δ indítással csak akkor indul el, ha a terhelőnyomaték kisebb, mint a névleges nyomaték 60%-a. Ventilátornál, fűrészgépnél vagy szivattyúnál ez gyakran teljesül, de nagy tehetetlenségű gépnél vagy teli szállítószalagnál nem biztos.

A Y-Δ indítás főáramkörét az alábbi háromvonalas vázlat mutatja. A lényeg, hogy a tekercsvégek (U2, V2, W2) két különböző helyre kapcsolhatók: csillagban K2 köti őket össze csillagponttá, deltában K3 a szomszédos tekercs kezdetére (U2 → V1, V2 → W1, W2 → U1) kapcsolja őket. A hőkioldó (F2) a K3 leágazása után, a tekercs kezdete előtt van, így csak a tekercsáramot méri, ezért a beállítása a névleges áram kb. 0,58-szorosa (ellenőrizendő: gyártói ajánlás; a vezérlést és a beállítást a Csillag–delta indítás vezérlése alfejezet tárgyalja).

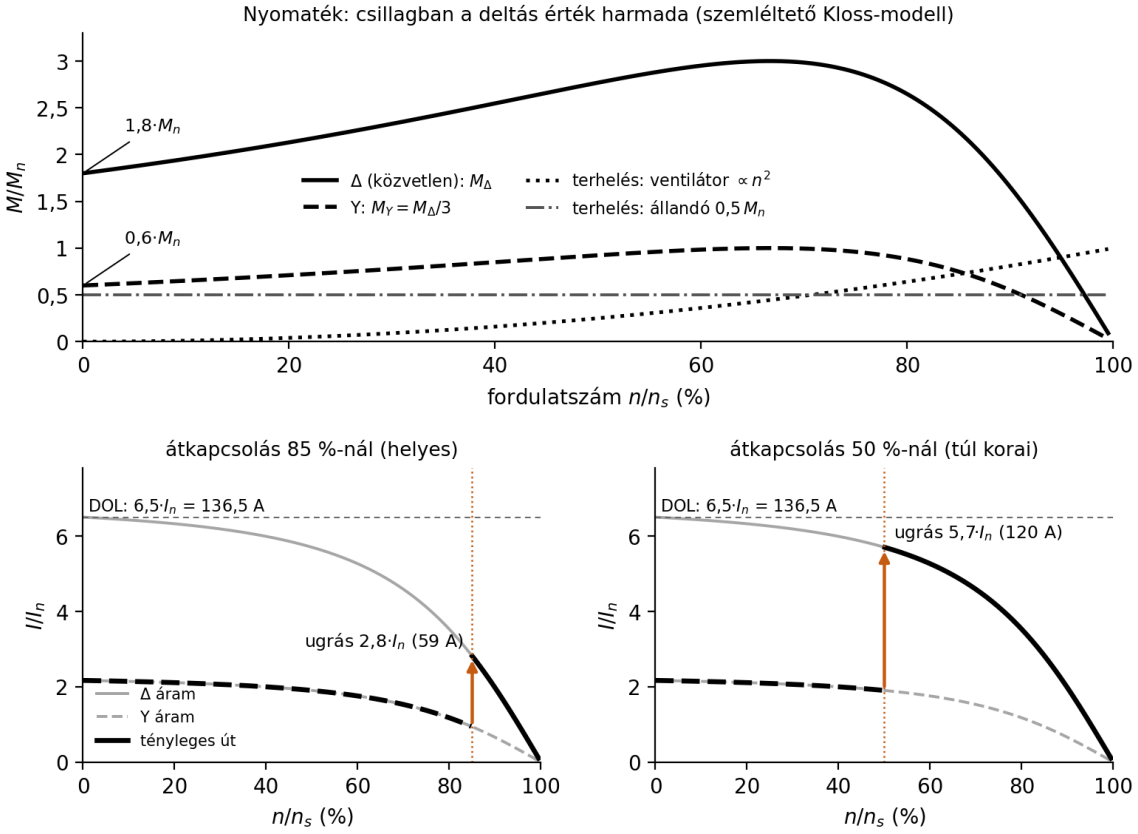
26.9. ábra. Y-Δ indítás főáramköri vázlata (háromvonalas) - Szemléltető, háromvonalas rajz. F1 zárlatvédelem, K1 hálózati mágneskapcsoló, F2 hőkioldó (a K3 leágazása után, a tekercsáramot méri; beállítása ≈ 0,58 · I_n – ellenőrizendő: gyártói ajánlás, lásd a vezérlésnél). K1 a hálózatot az U1, V1, W1 kapcsokra adja. Csillagban K2 köti össze az U2, V2, W2 kapcsokat (csillagpont); deltában K2 nyit, és K3 az U2-t a V1-re, a V2-t a W1-re, a W2-t az U1-re kapcsolja. K3 és K2 villamosan és mechanikusan reteszelt. PE a motortesten.

A kapcsolási sorrend a következő:

1. Behúz a hálózati kapcsoló (K1).

2. Behúz a csillagpontkapcsoló (K2).
3. A motor csillagkapcsolásban felgyorsul.
4. Amikor a fordulatszám eléri a névleges érték 80–90%-át, K2 elenged.
5. Kis késleltetés után behúz a delta-kapcsoló (K3).
6. A motor delta kapcsolásban fut tovább.

Az alábbi ábra a példa 11 kW-os motorjának nyomaték- és áramgörbéjét mutatja a fordulatszám függvényében, közvetlen (delta) és csillag kapcsolásban. Felül látszik, hogy csillagban a nyomaték mindenütt a deltás érték harmada (indításkor $0{,}6\,M_n$), alul pedig az, hogy mi történik az átkapcsoláskor: 85 %-os fordulatszámnál az áram kb. $0{,}9\,I_n$-ről csak kb. $2{,}8\,I_n$-re (59 A) ugrik, 50 %-nál viszont kb. $5{,}7\,I_n$-re (120 A), ami majdnem a közvetlen indítás 136,5 A-es áramlökése. A görbék szemléltető modellből számoltak (Kloss-alak, $M_b = 3\,M_n$), nem mért értékek. Az interaktív változatban az átkapcsolási fordulatszám és a terhelés típusa (ventilátor vagy állandó $0{,}5\,M_n$) állítható; az ábra kijelzi az áramugrást, és figyelmeztet, ha a motor csillagban nem gyorsul fel a beállított fordulatszámig.



26.10. ábra. Közvetlen és csillag–delta indítás: nyomaték és áram a fordulatszám függvényében, az átkapcsolás 85 %-nál és 50 %-nál

A vezérlési oldalt részletesen a Csillag–delta indítás vezérlése alfejezet tárgyalja.

26.4.4. Lágyindító

A lágyindító félvezetős kapcsolóelemekkel, jellemzően tirisztorokkal fokozatosan emeli a motorkapcsok feszültségét. Nem változtatja a frekvenciát, csak a feszültséget, ezért a motor fordulatszáma a természetes aszinkron jelleggörbe mentén alakul, de az indítási áramot korlátozza.

Definíció. Lágyindító (soft starter): olyan motorindító készülék, amely az indítás alatt a motor kapocsfeszültségét fokozatosan növeli, általában áramkorlátozással.

A lágyindító fontosabb beállításai:

- **Kezdőfeszültség:** az indítás kezdetén a motorkapcsokra adott feszültség. Jellemzően a névleges feszültség 30–50%-a.
- **Indítási idő:** az az idő, amely alatt a feszültség a kezdőfeszültségről a névleges értékre emelkedik.
- **Áramkorlát:** az a legnagyobb vonali áram, amelyet az indítás alatt a lágyindító megenged. Gyakori érték 2,5–4,5 I_n között van.
- **Leállási rámpa:** lassú leállításhoz használható, például szivattyúknál a nyomáslökés elkerülésére.

A lágyindító árama a gyártói adat szerint állítható, de a nyomatékra vonatkozó összefüggés mindig érvényes:

Szabály. A motor nyomatéka közelítőleg a kapocsfeszültség négyzetével arányos. Ha a feszültséget a felére csökkentjük, az indítónyomaték körülbelül a negyedére esik.

Példa. Ugyanazt a 11 kW-os motort lágyindítóval indítjuk, és az áramkorlátot 3,5 I_n értékre állítjuk. A közvetlen indítási áram 6,5 I_n, így a kezdeti feszültség közelítőleg:

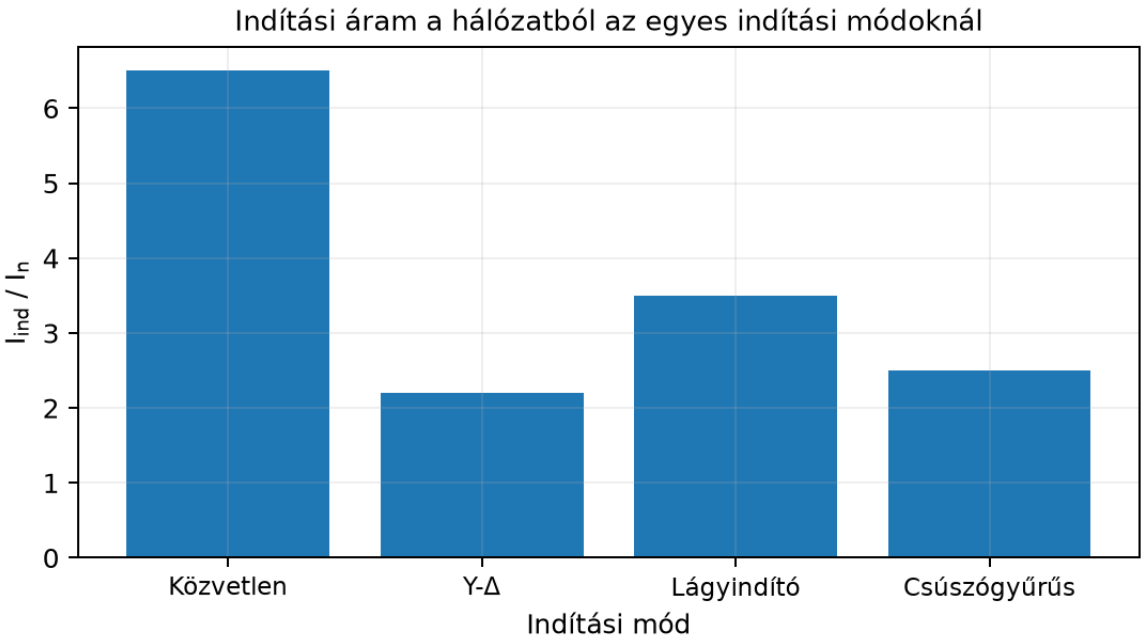
$$U_{ind} \approx U_n \cdot \frac{3{,}5\, I_n}{6{,}5\, I_n} = 0{,}54\, U_n.$$

A kezdeti indítónyomaték a közvetlen indítónyomatékhoz képest:

$$M_{soft} \approx 0{,}54^2 \cdot M_D = 0{,}29 \cdot 1{,}8\, M_n = 0{,}52\, M_n.$$

Ez az érték nagyon közel van a Y-Δ indítás nyomatékához, de a lágyindító előnye, hogy az áram és a nyomaték folyamatosan, lökésmentesen változik.

A következő ábra a négy indítási mód hálózatból felvett indítási áramát hasonlítja össze:



26.11. ábra. Indítási áram a hálózatból az egyes indítási módoknál - Szemléltető értékek 11 kW, 400 V motorra; a lágyindító áramkorlátja 3,5 · In, a csúszógyűrűs motor külső ellenállással 2,5 · In. A nyomatékarányokat lásd a szövegben.

26.4.5. Csúszógyűrűs motor indítása

A csúszógyűrűs aszinkron motor forgórész-tekercselése szigetelt, és a tekercsvégeket csúszógyűrűkre vezetik ki. A keféken keresztül a forgórész áramkörébe külső ellenállásokat lehet iktatni.

Törvény. A forgórész áramkörébe kapcsolt külső ellenállás:

- csökkenti az indítási áramot,
- a maximális nyomaték szlipjét a nagyobb szlip felé tolja,
- így az indítónyomatékot megnövelheti.

A maximális nyomaték nagysága a forgóköri ellenállástól nem függ, csak az a szlip változik, ahol a maximális nyomaték fellép. Ez azt jelenti, hogy a külső ellenállást úgy lehet méretezni, hogy a maximális nyomaték éppen álló állapotnál, azaz $s = 1$-nél jöjjön létre. Ekkor a motor a legnagyobb nyomatékával tud elindulni, miközben az indítási áram a névleges áram 2–3-szorosára csökkenthető.

Az indítás folyamata:

1. A forgórész körébe a legnagyobb külső ellenállást iktatják.
2. A motor nagy indítónyomatékkal, csökkentett árammal elindul.
3. A fordulatszám növekedésével az ellenállásfokozatokat fokozatosan kiiktatják.
4. A motor a teljes fordulatszámon rövidrezárt forgórésszel fut.

Példa. Egy 15 kW-os csúszógyűrűs motor névleges árama $I_n = 28\,\mathrm{A}$. Külső ellenállás nélkül az indítási áram $5{,}5\,I_n$, az indítónyomaték pedig $0{,}8\,M_n$ lenne. A megfelelő külső ellenállással az indítási áramot $2{,}5\,I_n$ értékre, az indítónyomatékot pedig $1{,}6\,M_n$ értékre állítjuk be.

Az indítási áram:

$$I_{ind} = 2{,}5 \cdot 28 = 70\,\text{A},$$

a közvetlen, ellenállás nélküli indítási áram:

$$I_D = 5{,}5 \cdot 28 = 154\,\text{A}.$$

Látható, hogy az indítási áram több mint felére csökkent, miközben az indítónyomaték a duplájára nőtt. A csúszógyűrűs indítást ezért nagy tehetetlenségű gépeknél, malmoknál, daruknál, emelőknél használják, ahol a Y-Δ indítás nyomatéka nem lenne elég.

26.4.6. Az indítási módok összehasonlítása

Indítási mód	Indítási áram a hálózatból	Indítónyomaték	Jellemző alkalmazás
Közvetlen (DOL)	5–8 I_n	1,2–2,5 M_n (a motor adatától függően; ellenőrizendő: gyártói adatlap)	Kis és közepes motor, erős hálózat
Y-Δ	kb. $1/3\,I_{DOL}$	kb. $1/3\,M_{DOL}$	Üres vagy kis terhelésű indítás, nagyobb motor
Lágyindító	állítható, tip. 2–4 I_n	feszültségcsökkenés négyzetével csökken	Szivattyú, ventilátor, szállítópálya, kíméletes indítás
Csúszógyűrűs	2–3 I_n	akár 2–2,5 M_n	Nagy tehetetlenségű terhelés, malom, daru, emelő

Szabvány. A motorindító kapcsolókészülékekre, mágneskapcsolókra és motorvédő kapcsolókra az MSZ EN 60947 sorozat vonatkozik; a motorindító kombinációk kialakítását és a gyártói bekötési előírásokat mindig az adott készülék dokumentációja szerint kell követni **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és gyártói adatlapok)**.

26.4.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy kisebb ipari csatlakozású üzemben 15 kW-os szivattyúmotort közvetlen indítással helyeztek üzembe. Az első indításnál a szomszédos gépsor PLC-je újraindult, mert a hálózati feszültség rövid időre a megengedett érték alá esett. A hálózati engedélyes előírta az indítási áram korlátozását **(ellenőrizendő: az adott hálózati engedélyes csatlakozási feltételei)**.

A megoldás lágyindító beépítése lett. Az áramkorlátot 3 I_n értékre állították, az indítási időt 8 s-ra, a kezdőfeszültséget pedig a szivattyú nyomatékigényéhez igazították. A motor így lökésmentesen indult, a PLC-k nem hibásodtak, és a csőhálózatban sem keletkezett nyomáslökés.

Tanulság: az indítási mód kiválasztása nem csak a motor, hanem a hálózat és a környező fogyasztók védelmét is szolgálja.

26.4.8. Tipikus hibák

Hiba 1. A Y-Δ átkapcsolás túl korán történik. Ha a motor még nem érte el a névleges fordulatszám 80–90%-át, a delta kapcsolás pillanatában majdnem akkora áramlökés keletkezik, mint a közvetlen indításnál. A motorvédő kapcsoló vagy a kismegszakító leold. **Helyes:** az átkapcsolást időrelével, de a gyakorlatban a motor felgyorsulásának ellenőrzésével és a gyártói ajánlás szerinti időzítéssel kell beállítani.

Hiba 2. A lágyindító áramkorlátját túl alacsonyra állítják. A motor nyomatéka a feszültség négyzetével csökken, ezért előfordulhat, hogy a motor nem tud elindulni, csak zümmög, és a hőkioldó lekapcsolja. **Helyes:** a kezdőfeszültséget és az áramkorlátot a terhelőnyomaték ismeretében kell beállítani; ha a motor terhelten nem indul, az áramkorlátot a gyártó által megengedett határon belül növelni kell.

Hiba 3. Csúszógyűrűs motornál a külső ellenállásfokozatokat nem iktatják ki időben. A forgórész és az ellenállások túlmelegszenek, a kefék gyorsan kopnak. **Helyes:** az indítási folyamatot az ellenállásfokozatok kiiktatására tervezett kontaktorokkal és időrelékkel, vagy automatikus indítóval kell vezérelni.

Hiba 4. Közvetlen indítást alkalmaznak olyan hálózaton, ahol a hálózati engedélyes az indítási áramot korlátozza. A nagy indítási áram feszültségletörést okoz, és a szomszédos fogyasztók leállhatnak. **Helyes:** a csatlakozási feltételeket és a hálózati visszahatást mindig ellenőrizni kell a kivitelezés előtt.

Hiba 5. Y-Δ indítást választanak olyan motorra, amelynek adattáblája 230/400 V Δ/Y. **Következmény:** 400 V-on csak csillagban üzemeltethető; a Y-Δ indítóval deltában 400 V jutna a 230 V-os tekercsre, és a motor károsodik. **Helyes:** Y-Δ indításhoz Δ 400 V / Y 690 V adattáblájú motor kell (lásd Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány).

26.4.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A Y-Δ indítás indítónyomatéka harmada a közvetlen delta indítás indítónyomatékának.
2. Miért nagyobb az aszinkron motor indítási árama a névleges áramánál?
3. Egy motor közvetlen indítási árama 180 A. Mennyi lesz a hálózatból felvett indítási áram Y-Δ indításnál?
4. Melyik indítási módot választanád egy nagy tehetetlenségű géphez, ha az indítónyomatékot is növelni kell?
5. Mi a különbség a lágyindító és a frekvenciaváltó között?

A válaszok a Megoldások szakasz elején találhatók.

26.4.10. Feladatok

1. feladat (A). Írd le a közvetlen indítás előnyeit és hátrányait.

2. feladat (A). Egy motor névleges árama $I_n = 30\,\text{A}$, indítási áramszorzója $k_i = 7$. Számítsd ki a közvetlen indítási áramot.

3. feladat (B). Egy 15 kW-os motor közvetlen delta indítási árama 190 A, indítónyomatéka $2\,M_n$. Számítsd ki a Y-Δ indítás hálózati indítási áramát és indítónyomatékát.

4. feladat (B). Egy lágyindítóval indított motor közvetlen indítási árama $6\,I_n$. A lágyindítót $4\,I_n$ áramkorlátra állítják. Becsüld meg a kezdeti kapocsfeszültséget és a kezdeti indítónyomatékot a közvetlen indítás arányában.

5. feladat (C). Egy csúszógyűrűs motor külső ellenállás nélkül $5\,I_n$ indítási árammal és $0{,}7\,M_n$ indítónyomatékkal indul. A külső ellenállást úgy állítják be, hogy az indítási áram $2{,}5\,I_n$ legyen, az indítónyomaték pedig $1{,}4\,M_n$. Magyarázd el, miért növekedhet a nyomaték az áram csökkenése ellenére.

6. feladat (D). Motorvezérlő szekrényben Y-Δ indítót építesz. A motor nem kapcsol át deltába, és a motorvédő relé leold. Ismertesd a hibakeresés lépéseit a **feszültségmentesítés öt biztonsági szabálya** szerint, és jelöld meg, milyen méréseket végeznél feszültségmentes állapotban, illetve jogosult oktató felügyeletével feszültség alatt.

26.4.11. Megoldások

26.4.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A Y-Δ indítás fázisfeszültsége $1/\sqrt{3}$-szorosa a delta fázisfeszültségnek, ezért a nyomaték $(1/\sqrt{3})^2 = 1/3$-szoros.
2. Álló motornál a forgórészhez képest a forgó mező a legnagyobb sebességgel halad, a forgórészben a legnagyobb feszültség indukálódik, és a rövidrezárt forgórészen nagy áram folyik; a gép rövidre zárt transzformátorként viselkedik.
3. $I_Y = 180/3 = 60\,\mathrm{A}$.
4. Csúszógyűrűs motort, mert a külső forgórész-ellenállással az indítónyomaték növelhető, miközben az indítási áram csökken.
5. A lágyindító csak a feszültséget csökkenti, a frekvenciát nem; a frekvenciaváltó a feszültséget és a frekvenciát együtt változtatja, így a fordulatszámot is szabályozza.

26.4.11.2. 1. feladat

Közvetlen indítás előnyei: egyszerű kapcsolás, kevés alkatrész, teljes indítónyomaték. Hátrányai: nagy indítási áramlökés, amely feszültségletörést okozhat a hálózaton, ezért csak akkor alkalmazható, ha a hálózat és a hálózati engedélyes megengedi.

26.4.11.3. 2. feladat

Adott: $I_n = 30\,\mathrm{A}$, $k_i = 7$.
Keresett: I_{ind}.
Képlet: $I_{ind} = k_i \cdot I_n$.
Behelyettesítve: $I_{ind} = 7 \cdot 30 = 210\,\mathrm{A}$.
Ellenőrzés: 5–8-szoros tartományba esik, a 7-szeres érték reális.

26.4.11.4. 3. feladat

Adott: $I_D = 190\,\mathrm{A}$, $M_D = 2\,M_n$.
Y-Δ indításnál:

$$I_Y = \frac{I_D}{3} = \frac{190}{3} = 63{,}3\,\mathrm{A},$$

$$M_Y = \frac{M_D}{3} = \frac{2\,M_n}{3} = 0{,}67\,M_n.$$

Ellenőrzés: a Y-Δ indítás indítási árama a névleges áramhoz képest a motor adataitól függően általában 2–3-szoros; ez a 63,3 A érték egy kb. 28 A névleges áramú, 15 kW-os motornál reális (190/28 ≈ 6,8-szoros direkt indítási áram; 63,3/28 ≈ 2,3-szoros Y-Δ indításnál).

26.4.11.5. 4. feladat

Adott: $k_i = 6$, áramkorlát $4\,I_n$.
A kezdeti feszültség:

$$U_{ind} \approx U_n \cdot \frac{4\,I_n}{6\,I_n} = 0{,}67\,U_n.$$

A nyomatékarány:

$$M_{soft} \approx 0{,}67^2 \cdot M_D = 0{,}45\,M_D.$$

Ha a közvetlen indítónyomaték például $1{,}8\,M_n$, akkor $M_{soft} \approx 0{,}81\,M_n$, tehát a motor még el tud indulni, de kisebb terhelésnél.

26.4.11.6. 5. feladat

A csúszógyűrűs motor külső ellenállása a forgórész áramkörének ellenállását növeli. A maximális nyomaték nagysága nem változik, de az a szlip, ahol a maximális nyomaték fellép, a nagyobb szlip felé tolódik. Ezáltal az álló állapot ($s = 1$) közelebb kerül a maximális nyomatékhoz, így az indítónyomaték nőhet, miközben a forgórész-áram és a hálózati indítási áram csökken.

26.4.11.7. 6. feladat

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Feszültségmentesítés lépései:

1. Lekapcsolás: a vezérlőszekrény főkapcsolójának kikapcsolása.
2. Visszakapcsolás elleni biztosítás: a főkapcsoló reteszelése, illetve lakatolás.
3. Feszültségmentesség ellenőrzése: kétpólusú feszültségvizsgálóval minden fázis között (L1–L2, L2–L3, L3–L1), valamint a fázisok és N, illetve a fázisok és PE között; a vizsgálót a mérés előtt és után ismert feszültségforráson ellenőrizd.
4. Földelés és rövidre zárás: ha a munkavégzési előírás előírja, a munkaterület földelése.
5. Szomszédos feszültség alatti részek lefedése: ha a szekrényben más áramkör is van.

Ezután feszültségmentes állapotban ellenőrizni kell:

- a vezérlés kapcsolási rajzát,
- a K1, K2, K3 mágneskapcsolók behúzását és érintkezőit,
- a Y-Δ időrelé beállítását és érintkezőit,
- a K2 és K3 közötti reteszelés érintkezőit,

- a kapcsok meghúzási nyomatékát.

Feszültség alatt, jogosult oktató felügyeletével mérni lehet a motor kapocsfeszültségét, az áramfelvételt, valamint a K2 és K3 tekercsének feszültségét. Ha a K2 elenged, de a K3 nem húz be, a hiba a K3 tekercsének áramkörében, a reteszelésben vagy az időrelé záró érintkezőjében keresendő.

26.4.12. Rövid összefoglaló

Az aszinkron motor álló állapotból való indításakor a hálózatból felvett indítási áram a névleges áram 5–8-szorosa. A túlzott indítási áram feszültségletörést okozhat, ezért az indítási módot a hálózat és a terhelés ismeretében kell kiválasztani. A közvetlen indítás egyszerű, de nagy áramlökést okoz. A Y-Δ indításnál a motor indításakor a tekercsek csillagkapcsolásban, majd delta kapcsolásban futnak; a hálózati indítási áram és az indítónyomaték egyaránt a közvetlen delta indítás értékének egyharmada. Ez a Y-Δ indítás vezérlésének alapja a Csillag–delta indítás vezérlése alfejezetben. A lágyindító feszültségcsökkentéssel korlátozza az áramot; a nyomaték közelítőleg a kapocsfeszültség négyzetével arányos. A csúszógyűrűs motor külső forgórész-ellenállással csökkentett áram mellett nagy indítónyomatékot tud kifejteni, ezért nagy tehetetlenségű gépekhez használják. Az indítási módot mindig a motor, a terhelés és a hálózati engedélyes előírásai szerint kell megválasztani.

26.4.13. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ EN 60947 sorozat (motorindító kapcsolókészülékek): a konkrét szabványkiadást és a motorindítási követelményeket a tervezés előtt ellenőrizni kell.
- A hálózati engedélyes csatlakozási feltételei: az adott elosztói terület előírásait ellenőrizni kell.
- A lágyindítók és csúszógyűrűs motorok gyártói adatlapjai: az áramkorlátok, ellenállásfokozatok és időzítések az adott gyártó dokumentációjából származnak.

Továbbvitt eredmény. A Y-Δ indítás áram- és nyomatékaránya egyharmad, a motor nyomatéka a kapocsfeszültség négyzetével arányos, a csúszógyűrűs gép forgórész-ellenállása a maximális nyomaték szlipjét tolja el. Ezeket az eredményeket használjuk a Fordulatszám-változtatás, Dahlander, frekvenciaváltó és fékezés és a Csillag–delta indítás vezérlése alfejezetekben.

26.5. Fordulatszám-változtatás, Dahlander, frekvenciaváltó és fékezés

26.5.1. Motiváció: miért kell a fordulatszámot szabályozni?

Egy szellőzőventilátornál gyakran nem a teljes levegőmennyiségre van szükség. Ha a motort állandó névleges fordulatszámon járatjuk, és a levegőmennyiséget zsalukkal vagy fojtószerkezettel csökkentjük, a motor továbbra is majdnem teljes áramot vehet fel, a fölösleges nyomás pedig a fojtáson hővé alakul. Ugyanez igaz szivattyúra, szállítószalagra, darura vagy szerszámgépre is: a fordulatszám a folyamat igényéhez igazítása energiát takarít meg, kíméli a mechanikát, és jobb technológiát ad.

A csúszógyűrűs motorokról és az indításról már volt szó az Indítás: közvetlen, csillag–delta, lágyindító, csúszógyűrűs alfejezetben. Most arra válaszolunk, mi történik indítás után: hogyan lehet egy aszinkron motor fordulatszámát tartósan eltéríteni a névleges értéktől, és hogyan lehet a hajtást szabályozottan lefékezni.

26.5.2. A fordulatszám meghatározása

Az aszinkron gép fordulatszáma a szinkron fordulatszám és a szlip ismeretében:

$$n = (1 - s)\, n_{\mathrm{s}}$$

ahol

$$n_{\mathrm{s}} = \frac{60 f}{p}$$

- n: a forgórész fordulatszáma, 1/min
- n_{s}: szinkron fordulatszám, 1/min
- f: az állórész áram frekvenciája, Hz
- p: póluspárok száma (nem a pólusszám; a pólusszám $2p$)
- s: szlip

Ebből a képletből közvetlenül látszik, hogy a fordulatszám három villamos úton befolyásolható:

1. változtatjuk a p póluspárszámot,
2. változtatjuk az f frekvenciát,
3. növeljük a szlipet, például csúszógyűrűs motoron forgórészköri ellenállással vagy feszültségcsökkentéssel.

A szlip növelése általában veszteséges, mert a forgórészkörben a szliparányos teljesítmény hővé alakul, ezért csak korlátozottan, például lágyindításkor, csúszógyűrűs hajtásnál vagy kis fordulatszám-tartományban használják.

26.5.3. Pólusszámváltás és a Dahlander-motor

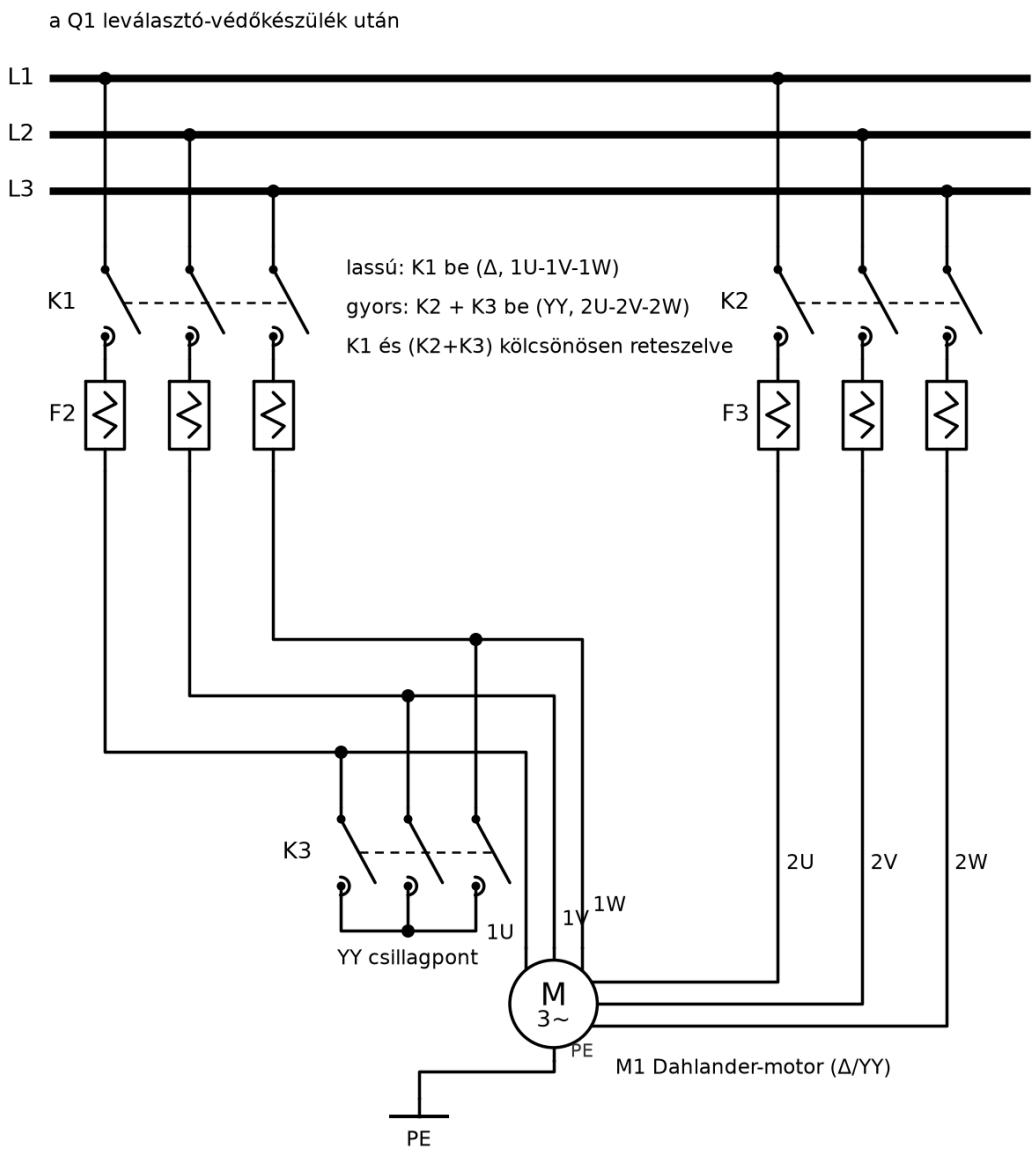
Ha a folyamatnak két elkülönült, jól meghatározott fordulatszámra van szüksége, a pólusszámváltós motor egyszerű és olcsó megoldás lehet. A legismertebb kialakítás a **Dahlander-motor** (átkapcsolható tekercselésű, kétsebességű aszinkron motor), amely egyetlen állórésztekercseléssel két pólusszámot tud megvalósítani. A gyakorlatban a két szinkron fordulatszám jellemzően 1:2 arányú, például $2p = 4/2$ esetén 1500 és 3000 1/min, vagy $2p = 8/4$ esetén 750 és 1500 1/min szinkron értéket ad. A tényleges terhelt fordulatszám a szlip miatt kissé kisebb.

A működési elv a tekercscsoportok soros, illetve párhuzamos kapcsolásán alapul. A lassú fokozatban a tekercsrészek úgy kapcsolódnak, hogy nagyobb pólusszám alakul ki; a gyors fokozatban ugyanazok a részek úgy kapcsolódnak, hogy a pólusszám feleződik. A kapocsdobozban gyakran a delta/kettős csillag (Δ/YY) átkapcsolást találjuk, de más kapcsolási csoport is előfordul; **mindig a kapocstábla és a gyártói dokumentáció a mérvadó**.

Figyelem. A Dahlander-motor nem folyamatos fordulatszám-szabályozó, csak két diszkrét fokozatot ad. Ha a folyamat finoman változtatható fordulatot kíván, akkor frekvenciaváltóra lesz szükség.

26.5.3.1. Dahlander-motor főáramköri elve

A gyakorlatban a fokozatokat egymással reteszelt mágneskapcsolók választják ki. A Δ/YY Dahlander-motornál a lassú fokozatban K1 az 1U–1V–1W kapcsokat táplálja (a 2U–2V–2W kapcsok szabadon maradnak); a gyors fokozatban K2 a 2U–2V–2W kapcsokat táplálja, K3 pedig az 1U–1V–1W kapcsokat köti össze, ez adja a kettős csillag csillagpontját. Az alábbi rajz a főáramkör szemléltető váza (egy motor, hat kivezetés, három kontaktor), nem teljes huzalozási terv.



26.12. ábra. Dahlander-motor (Δ/YY) átkapcsolás elvi főáramköre - Szemléltető, háromvonalas elvi vázlat: K1 a lassú fokozatban az 1U–1V–1W kapcsokat táplálja (Δ, 2U–2V–2W nyitva); a gyors fokozatban K2 a 2U–2V–2W kapcsokat táplálja, K3 pedig az 1U–1V–1W kapcsokat köti össze (YY csillagpont). K1 és a K2+K3 páros villamosan és mechanikusan reteszelt, mindkét fokozatnak saját hőkioldója van (F2, F3). PE a motortestre. A pontos kapocskiosztást a motor kapocstáblája és a gyártói dokumentáció adja meg (ellenőrizendő).

A két fokozat kiválasztásának villamos reteszelése különösen fontos: ha valaki egyszerre kapcsolná be a lassú és a gyors kontaktort, a motor egyszerre két különböző kapcsolásban látna feszültséget, ami rövidzárlathoz, tekercskárosodáshoz és balesethez vezethet.

26.5.3.2. Hol használják?

A Dahlander-motort tipikusan ott alkalmazzák, ahol két üzemi pont elég, például kétfokozatú ventilátornál, keverőgépnél, régi szerszámgépek főhajtásánál vagy mosógép dobjánál. Előnye, hogy nincs szükség drága elektronikára, hátránya viszont a fix fokozatok, a nagyobb indítási áramlökés, valamint a tekercselés és az átkapcsoló kapcsolás bonyolultsága.

26.5.4. Frekvenciaváltós szabályozás

A mai, energiatakarékos hajtások leggyakoribb eszköze a **frekvenciaváltó** (VFD, variable frequency drive). A frekvenciaváltó a hálózati 50 Hz-es feszültséget egyenirányítja, egyenfeszültségű közbenső körbe viszi, majd félvezetős inverterrel változtatható frekvenciájú és nagyságú háromfázisú feszültséget állít elő. Az aszinkron motor szinkron fordulatszáma így:

$$n_{\mathrm{s}} = \frac{60 f}{p}$$

szerint folyamatosan változtatható.

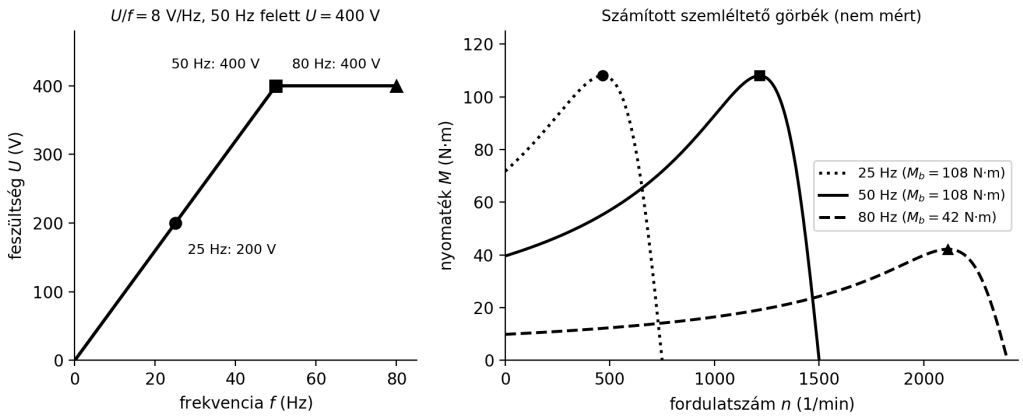
26.5.4.1. Miért kell az U/f arány?

Az aszinkron motor állórészfluxusát közelítőleg a feszültség/frekvencia arány határozza meg. Ha csak az f frekvenciát csökkentenénk, de a feszültséget nem, a motor vasat telítésbe vinné, a gerjesztő áram és a veszteség megnőne. Ha csak a feszültséget csökkentenénk változatlan frekvenciánál, a fluxus lecsökkenne, és a motor nyomatéka összeesne. Ezért a frekvenciaváltó a névleges pont alatt közelítőleg állandó U/f arányt tart:

$$\frac{U}{f} = \text{állandó}$$

Például ha a motor névleges feszültsége 400 V, a hálózati frekvencia 50 Hz, akkor az arány $400\,\mathrm{V}/50\,\mathrm{Hz} = 8\,\mathrm{V/Hz}$. Ennél a motornál 25 Hz frekvencián körülbelül $U = 25 \cdot 8 = 200\,\mathrm{V}$ vonali feszültség szükséges ahhoz, hogy a nyomaték közel névleges maradjon. A névleges frekvencia felett a feszültség már nem növelhető tovább biztonságosan, ezért a frekvencia növelésével a fluxus csökken. Ez a **mezőgyengítéses tartomány**: a nyomaték csökken, a teljesítmény viszont közel állandó lehet.

Interaktív ábra. Az alábbi interaktív ábrán (a nyomtatott kiadásban statikus változat) egy csúszkával lehet állítani a frekvenciát 10 és 80 Hz között. Az ábra egyszerre mutatja a U/f egyenest és a hozzá tartozó nyomaték-fordulatszám görbét. A görbék a Szlip, nyomaték, jelleggörbe és adattábla alfejezet 5,5 kW-os motorjának Kloss-modelljéből számoltak ($M_b = 108$ N · m, $s_b = 0{,}19$ 50 Hz-en, azaz a billenőpont 285 1/min-tel a szinkron fordulatszám alatt van). Állandó U/f mellett a görbe alakja nem változik, csak a fordulatszám-tengely mentén tolódik el: 25 és 50 Hz-en a billenőnyomaték azonos (108 N · m), 80 Hz-en a mezőgyengítés miatt kb. $(50/80)^2 \cdot 108 \approx 42$ N · m-re csökken.



26.13. ábra. Frekvenciaváltó U/f és nyomaték-fordulatszám görbék

26.5.4.2. Bekötés és kábelezés

A frekvenciaváltó betáplálását általában leválasztó/védő kismegszakítóval látják el, a kimenő motorkábelt pedig árnyékolt kábellel kötik a motorhoz. A védővezetőt a hálózat felől a frekvenciaváltón keresztül a motorig végig folytonosan kell vezetni.

26.14. ábra. Frekvenciaváltó alap főáramköri váza - Szemléltető vázlat. Q1 leválaszt és véd, a frekvenciaváltó (A1) betáplálása L1-L2-L3, kimenete U-V-W a motor U1-V1-W1 kapcsaira. A PE (zöld-sárga) a hálózattól a frekvenciaváltó PE-kapcsán át a motortestig végig folytonos. Az analóg fordulatjel (AI) árnyékolt vezérlőkábelen érkezik. A pontos kapocsjelölést és az árnyékolás bekötését a gyártói dokumentáció adja meg (ellenőrizendő).

A frekvenciaváltó kimenete nem szinuszos, hanem nagy kapcsolási frekvenciájú, impulzusszerű feszültség. A motor induktivitása kisimítja az áramot, ezért a motoráram már közel szinuszos, de a kábel és a motor mégis nagyobb villamos igénybevételt kaphat.

EMC és szerelési szabályok.

- A motorkábelt lehetőleg árnyékolt kábellel kell szerelni, az árnyékolást a frekvenciaváltó és a motor felől is nagy felületen, EMC-tömszelencével vagy igazított árnyékolóbilincsekkel kell földelni. A pontos megoldást a gyártó adja meg.
- A motorkábel hosszát a gyártó által megadott érték alatt kell tartani. Hosszú kábelnél feszültség-visszaverődés, túlfeszültség és nagyobb zavarkibocsátás léphet fel; ilyenkor kime-

neti fojtó vagy szinuszszűrő szükséges **(ellenőrizendő: a kiválasztott frekvenciaváltó adatlapja)**.
- A vezérlőkábeleket (indítás, fordulatjel, hiba-visszajelzés) a motorkábeltől elkülönítetten, lehetőleg árnyékolt kábelen kell vezetni.
- A védővezetőt tilos megszakítani, kötni csak zöld-sárga vezetővel szabad.
- Ha a frekvenciaváltó körében áram-védőkapcsoló (RCD) van, annak típusát a gyártó adja meg: a frekvenciaváltó hibaáramában egyenáramú összetevő is lehet, amely az AC vagy A típusú RCD-t „elvakíthatja", ezért háromfázisú frekvenciaváltónál jellemzően B típus szükséges (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-53 és gyártói kézikönyv). A bemeneti szűrők miatt a védővezető-áram nagy lehet (3,5 mA fölött), ezért a PE-t megerősítve kell kialakítani (nagyobb keresztmetszet vagy kettőzött védővezető; ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-54 és gyártói előírás). A védővezetőt soha nem szabad kihagyni, és az RCD zavaró kioldása miatt sem szabad leválasztani vagy áthidalni.
- A frekvenciaváltó kimenetére nem szabad fázisjavító kondenzátort vagy olyan szűrőt kötni, amelyhez a gyártó nem járult hozzá: a kondenzátor a kapcsolófrekvencián túláramot okozhat, és tönkreteheti a kimenő fokozatot.

26.5.4.3. Védelmek

A frekvenciaváltó a motorvédő kapcsoló és a lágyindító funkcióit egy készülékben tudja ellátni, de a védelmet paraméterezni kell:

- **Motor túlterhelés elleni védelme:** a motor névleges áramának és fordulatszámfüggő hűtésének figyelembevételével. Gyakran belső termikus kép (I^2t) számol a motor melegedéséről.
- **Kimeneti rövidzárlat és földzárlat:** a frekvenciaváltó kimeneti oldalán áramérzékelés védi a félvezetőket.
- **Közbenső kör túlfeszültség:** fékezéskor a motor generátorként visszatáplálhat, ezért fékellenállás vagy regeneratív egység kellhet.
- **Túlfeszültség, alulfeszültség, fáziskimaradás:** a frekvenciaváltó figyeli a hálózati oldalt és hibaüzenetet ad.
- **Motor hőmérséklet:** PTC-termisztor bemenet is gyakran van a nagyobb hajtásokon.

Figyelem. A frekvenciaváltó kondenzátorai kikapcsolás után is életveszélyes feszültséget tárolhatnak. A készülék megbontása előtt a gyártói utasításban megadott kisülési időt mindig ki kell várni, és a feszültségmentességet meg kell mérni. Hálózati feszültségű munkát csak jogosult személy végezhet.

26.5.5. Fékezési módok

Az aszinkron motor leállítása nem mindig lehet természetes kifutás. Ha a terhelést gyorsan, iránytartóan vagy biztonságosan kell megállítani, aktív fék kell. A négy fő módszer:

1. **Mechanikus fék:** rugóerővel záró, villamosan oldó, illetve hidraulikus/pneumatikus fék. Előnye, hogy árammentes állapotban is tart, ezért emelőgépen, lejtős szállítópályán biztonsági féknek használják. Hátránya a kopás, karbantartási igény és a fékbetétek késleltetése.
2. **Egyenáramú fékezés (dinamikus fékezés):** a motor leválasztása után az állórészre kis egyenfeszültséget kapcsolunk. A motor álló mágneses mezőt hoz létre, a forgórészben indukált áram nyomatéka fékezi a forgó tömeget. Előnye az egyszerűség, hátránya, hogy a nyomaték nulla fordulatszámon nulla, tehát a terhet nem tartja.

3. **Ellenáramú fékezés:** a fékezés idejére a motor két fázisát felcseréljük, így a forgó mező iránya megfordul. A motor nyomatéka a forgásiránnyal ellentétes, a forgórész árama és vesztesége nagy. Nulla fordulatszám környékén a táplálást le kell kapcsolni, különben a motor ellenkező irányba indul.
4. **Generátoros fékezés:** ha a terhelés hajtja a motort (süllyedő teher, lejtő, gyors lassítás), a motor generátorként viselkedik. A frekvenciaváltós hajtásnál a kimeneti frekvencia csökkentésekor a forgórész a szinkron mező fölé kerül, és energia áramlik vissza a közbenső körbe. Ezt fékellenálláson (fékchopper) hővé kell alakítani, vagy regeneratív egységgel a hálózatba táplálni.

26.5.6. Kidolgozott példák

Példa 1: Dahlander-motor fordulatszámai

Adott egy Dahlander-motor, $2p = 4/2$, $f = 50\,\text{Hz}$. A lassú fokozat szlipje névleges terhelésen 5%, a gyors fokozaté 4%.

Lassú fokozat, $p = 2$:

$$n_\text{s} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500\,1/\text{min}$$

$$n = (1 - 0{,}05) \cdot 1500 = 1425\,1/\text{min}$$

Gyors fokozat, $p = 1$:

$$n_\text{s} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000\,1/\text{min}$$

$$n = (1 - 0{,}04) \cdot 3000 = 2880\,1/\text{min}$$

A két üzemi pont tehát körülbelül 1425 és 2880 1/min.

Példa 2: feszültség és fordulatszám frekvenciaváltós táplálásnál

Egy 400 V, 50 Hz névleges feszültségű, $2p = 4$ pólusú motort frekvenciaváltóval 25 Hz-en járatunk. A motor névleges fordulatszáma 50 Hz-en 1430 1/min, így a szlip $s = 1 - \frac{1430}{1500} = 0{,}0467$. A gyakorlatban a szlipsebesség közel állandó, ezért 50 Hz-en a szlipsebesség $1500 - 1430 = 70$ 1/min. 25 Hz-en:

$$n_\text{s} = \frac{60 \cdot 25}{2} = 750\,1/\text{min}$$

$$n \approx 750 - 70 = 680\,1/\text{min}$$

Az U/f arány tartásához:

$$U_{25\,\text{Hz}} = 400 \cdot \frac{25}{50} = 200\,\text{V}$$

Tehát a frekvenciaváltónak körülbelül 200 V vonali feszültséget kell előállítania.

Példa 3: fékezési energia

A fékellenállás méretezéséhez a mozgási energiából indulunk ki:

$$W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} J \omega^2$$

Legyen a hajtás tehetetlenségi nyomatéka $J = 0{,}5\,\text{kg}\cdot\text{m}^2$, a fékezés előtti fordulatszám $n = 1450\,1/\text{min}$. A szögsebesség:

$$\omega = 2\pi \frac{n}{60} = 2\pi \frac{1450}{60} = 151{,}8\,\text{rad/s}$$

$$W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 0{,}5 \cdot 151{,}8^2 \approx 5{,}76 \cdot 10^3\,\text{J} = 5{,}76\,\text{kJ}$$

Ha ezt a frekvenciaváltó 2 s alatt állítja le, akkor az átlagos fékezési teljesítmény:

$$P \approx \frac{5{,}76\,\text{kJ}}{2\,\text{s}} = 2{,}88\,\text{kW}$$

A fékellenállásnak ezt az átlagot és a rövid idejű csúcsigénybevételt is el kell viselnie; a pontos méretezés a gyártói adatokból történik.

26.5.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy szellőztető rendszerben a motor közvetlen indítással, állandó 50 Hz-en járt, a levegőmennyiséget pedig motoros zsaluval fojtották. Az áramfelvétel alig csökkent, a zaj és a karbantartási igény viszont nagy volt. A kivitelező frekvenciaváltót épített be, a zsalut teljesen nyitva hagyta, és a fordulatot nyomásjel alapján szabályozta. A ventilátor teljesítményfelvétele a fordulatszám harmadik hatványával csökkent, ezért már 80%-os fordulaton is jelentős energia-megtakarítás jelentkezett. A hibakeresés során azonban először túlfeszültség-hibát tapasztaltak lassításkor: a motor generátoros üzembe került, és a közbenső kör feszültsége megnőtt. A megoldás a lassítási idő növelése, majd később fékellenállás beépítése volt.

26.5.8. Tipikus hibák

- **Fázisjavító kondenzátor a frekvenciaváltó és a motor közé.** A kondenzátor a nagy kapcsolási frekvencián túláramot okoz, tönkreteheti az invertert; a fázisjavítást a hálózati oldalon, a gyártó engedélye szerint kell megoldani, vagy el kell hagyni.
- **Dahlander-motor gyors és lassú kontaktorának hiányzó reteszelése.** Ha egyszerre húz be a két kontaktor, a motor belső kapcsolása rövidzárlatot okozhat; a helyes vezérlésben villamos és mechanikai reteszelés is szükséges.
- **Ellenáramú fékezés nulla fordulatszámnál nem kapcsol le.** A motor ellenkező irányba indul, és a mechanika sérülhet; a fékezést fordulatszám- vagy időrelével le kell állítani.
- **Frekvenciaváltó kimenetére szerelt szakaszoló, amelyet terhelés alatt kapcsolnak.** A frekvenciaváltó kimenete terhelés alatt szakaszolva a félvezetőket veszélyezteti; a szakaszolást csak feszültségmentes állapotban, a gyártói előírás szerint szabad működtetni.

26.5.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a frekvenciaváltóval a szinkron fordulatszám változtatható? Indokold röviden.
2. Miért kell a névleges frekvencia alatt közel állandó U/f arányt tartani?
3. Mekkora a Dahlander-motorra jellemző elvi fordulatszám-arány?
4. Melyik fékezési mód tartja meg a terhet árammentes állapotban?
5. Miért kell a frekvenciaváltó motorkábelénél általában árnyékolt kábelt használni?
6. Milyen hibát jelezhet a frekvenciaváltó, ha gyors lassításkor a közbenső kör feszültsége túl magas lesz?

26.5.10. Feladatok

1. feladat (A)
Számítsd ki egy $2p = 6$ pólusú aszinkron motor szinkron fordulatszámát $f = 50\,\text{Hz}$ és $f = 35\,\text{Hz}$ esetén.

2. feladat (A)
Sorolj fel három villamos módszert az aszinkron motor fordulatszámának befolyásolására, és nevezd meg az alapképletet.

3. feladat (B)
Egy Dahlander-motor $2p = 8/4$, a hálózati frekvencia 50 Hz. A lassú fokozat szlipje 6%, a gyorsé 4%. Számítsd ki a két szinkron és a két tényleges terhelt fordulatszámot.

4. feladat (B)
Egy 400 V, 50 Hz, $2p = 4$ pólusú motort frekvenciaváltóval 30 Hz-en járatunk. A motor 50 Hz-en 1450 1/min fordulatú. Számítsd ki a 30 Hz-hez tartozó szinkron fordulatszámot, a becsült tényleges fordulatszámot és a szükséges vonali feszültséget, ha az U/f arány állandó.

5. feladat (C)
Egy függőleges emelőt négyféle módon lehetne fékezni: mechanikus fék, egyenáramú fékezés, ellenáramú fékezés, generátoros/fékellenállásos fékezés. Melyiket választanád biztonsági tartóféknek, és melyiket gyors, kényelmes lassításra? Indokold a választásodat.

6. feladat (D)
Egy frekvenciaváltóval hajtott szállítószalag lassításkor gyakran hibaállapotba megy, és a kijelzőn a túlfeszültségre utaló kód látható. Mi lehet az ok, és milyen műszerrel, illetve milyen mérési ponton kezdenéd a hibakeresést? Mi a lehetséges megoldás?

26.5.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. Az $n_\text{s} = 60f/p$ képletből látszik, hogy a frekvencia változtatása a szinkron fordulatszámot arányosan változtatja.
2. Az állandó U/f arány közel állandó fluxust tart. Ha a feszültség nem csökkenne a frekvenciával, a motor vasa telítésbe kerülne; ha túlzottan csökkenne, a nyomaték esne le.
3. Jellemzően 1:2, mert a pólusszám feleződik.
4. A mechanikus, rugóerővel záró fék.
5. A frekvenciaváltó kimeneti jelimpulzusai elektromágneses zavart keltenek; az árnyékolt motorkábel és a jó földelés csökkenti a kisugárzott zavarást.
6. Túlfeszültség-hibát, mert a motor generátoros üzembe kerül, és a közbenső kör feszültsége megnő.

1. feladat (A)
$2p = 6$, tehát $p = 3$.

$$n_{\mathrm{s},50} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000\,1/\mathrm{min}$$

$$n_{\mathrm{s},35} = \frac{60 \cdot 35}{3} = 700\,1/\mathrm{min}$$

2. feladat (A)
Három módszer: pólusszámváltás (pl. Dahlander), frekvenciaváltás, szlipnövelés (pl. csúszógyűrűs motoron forgórészköri ellenállással). Alapképlet:

$$n = (1 - s)\frac{60f}{p}$$

3. feladat (B)
$2p = 8$, azaz $p = 4$; $2p = 4$, azaz $p = 2$.

Lassú fokozat szinkron fordulatszáma:

$$n_{\mathrm{s,lassú}} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750\,1/\mathrm{min}$$

Tényleges lassú:

$$n_{\mathrm{lassú}} = (1 - 0{,}06) \cdot 750 = 705\,1/\mathrm{min}$$

Gyors fokozat szinkron fordulatszáma:

$$n_{\mathrm{s,gyors}} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500\,1/\mathrm{min}$$

Tényleges gyors:

$$n_{\mathrm{gyors}} = (1 - 0{,}04) \cdot 1500 = 1440\,1/\mathrm{min}$$

4. feladat (B)
$p = 2$, $f = 30\,\mathrm{Hz}$.

Szinkron fordulatszám:

$$n_{\mathrm{s}} = \frac{60 \cdot 30}{2} = 900\,1/\mathrm{min}$$

A 50 Hz-es szlipsebesség $1500 - 1450 = 50$ 1/min, ezért:

$$n \approx 900 - 50 = 850\,1/\mathrm{min}$$

A feszültség:

$$U_{30} = 400 \cdot \frac{30}{50} = 240\,\text{V}$$

5. feladat (C)
Biztonsági tartóféknek a mechanikus, rugóerővel záró fék való, mert áram nélkül is megtartja a terhet. Kényelmes, kopásmentes lassításra generátoros/fékellenállásos fékezés vagy egyenáramú fékezés alkalmas. Az ellenáramú fékezés gyors, de nagy hőtermeléssel és irányváltási veszéllyel jár, ezért emelőn nem önálló biztonsági fék.

6. feladat (D)
A tünet arra utal, hogy lassításkor a motor generátoros üzembe kerül, és a közbenső kör feszültsége a megengedett fölé emelkedik. A hibakeresést a frekvenciaváltó kijelzőjén és hibanaplójában kezdjük: lassításkor kiolvassuk a közbenső köri feszültséget és a hibakódot, ellenőrizzük a lassítási időt és a fékellenállás-paramétereket. Ha a fékellenállást vagy a chopper bekötését kell ellenőrizni, azt csak az öt biztonsági szabály szerinti leválasztás, a gyártói kisütési idő kivárása és a feszültségmentesség (a DC-kör is) mérése után, jogosult személy végezheti; a közbenső kört (kb. 560–800 V DC) üzem közben, megbontott készüléken mérni tilos. Megoldás lehet a lassítási idő növelése, fékchopper és fékellenállás beépítése, regeneratív visszatápláló egység alkalmazása, vagy a mechanikai terhelés csökkentése. A munkát csak jogosult személy végezheti.

26.5.12. Rövid összefoglaló

Az aszinkron motor fordulatszámát az $n = (1 - s)\frac{60f}{p}$ összefüggés szerint elsősorban a pólusszám, a frekvencia vagy a szlip változtatásával lehet befolyásolni. A Dahlander-motor egy átkapcsolható tekercseléssel két, jellemzően 1:2 arányú fokozatot ad, de nem folyamatos szabályozó. A modern, energiatakarékos megoldás a frekvenciaváltó, amely a névleges frekvencia alatt közel állandó U/f arányt tart, a fölött pedig mezőgyengítéssel működik. A frekvenciaváltó beépítésekor a motor túlterhelés-, rövidzárlat- és hővédelmét, az EMC-szerelést és az árnyékolt, jól földelt motorkábelt kiemelten kell kezelni. Fékezésre mechanikus, egyenáramú, ellenáramú vagy generátoros módszer használható; a tartófék mindig mechanikus legyen, ha a teher áram nélkül is elmozdulhatna. **Továbbvitt eredmény.** A frekvenciaváltó paraméterezését és hibakódjait a Vezérlések hibakeresése és a Motorvédelmek, lágyindítók és frekvenciaváltók az elosztóban alfejezet használja fel; a Dahlander kapcsolás kontaktoros logikáját a Kétsebességű, sorrendi és késleltetett vezérlések alfejezet tárgyalja.

26.5.13. Források és ellenőrzési hiányok

- Frekvenciaváltókra és EMC-re: az MSZ EN 61800 sorozat, valamint a gyártói telepítési kézikönyvek **(ellenőrizendő: a pontos kiadás és az országspecifikus telepítési előírások)**.
- Motorok kapocstáblája és forgásiránya: MSZ EN 60034-8 vagy a mindenkori MSZ EN 60034 sorozat vonatkozó része **(ellenőrizendő: a hivatkozott szabványrész és annak hatályos kiadása)**.
- A fékellenállás méretezése mindig a frekvenciaváltó gyártói adatlapja szerint történik. A példák tanulási célú, egyszerűsített számítások, nem tervezési előírások.

26.6. Egyfázisú aszinkron motorok

26.6.1. Motiváció: miért kell egyfázisú motort ismerned?

A háztartási és kisipari fogyasztók zöme – hűtő, mosógép, szellőzőventilátor, kompresszor, kézi szerszám, kerti vízpumpa – egyfázisú hálózatról üzemel. Ha ilyen motort kell bekötnöd, javítanod vagy kicserélned, nem elég tudnod, hogy „van benne kondenzátor”: értened kell, hogyan jön létre a forgó mágneses mező, miért van két tekercscsatlakozás, hogyan változtatható a forgásirány, és mi történik, ha a kondenzátor vagy a centrifugál kapcsoló meghibásodik. Ez az alfejezet a gyakorlatban leggyakoribb egyfázisú aszinkron motorokkal foglalkozik: a kondenzátoros és az árnyékolt pólusú motorral.

Mire jó ez a munkahelyen? Egy kondenzátoros motor bekötésénél a legkisebb tévedés is azt eredményezheti, hogy a motor nem indul, túlmelegszik, vagy rossz irányba forog. A hibakeresésnél pedig gyakran nem a motor, hanem a kondenzátor vagy a kapcsoló a ludas – ezt méréssel kell elkülöníteni.

26.6.2. Szemléletes kép: egy ventilátor, amelyik zúg, de nem indul

Képzelj el egy régi, de szép asztali ventilátort. Bekapcsolás után zúg, a tengelye rezeg, de nem forog. Ha kézzel meglökjük, néha elindul, máskor nem. Ez a tipikus kondenzátorhiba képe. A motor nem tud önállóan elindulni, mert hiányzik a segédfázis árama, amely a forgó mezőt elindítaná. Ilyen esetben a szerelő nem azonnal a motort bontja, hanem előbb a kondenzátort méri.

26.6.3. Az egyfázisú aszinkron motor elve: miért kell segédfázis?

A háromfázisú aszinkron motornál a három, térben 120°-kal eltolt tekercsben folyó, időben is 120°-kal eltolt áramok **eleve forgó mágneses mezőt** hoznak létre. Az egyfázisú motornál viszont csak **egy váltakozó áramú tekercs** van – vagy annak különböző részei –, így a gerjesztés csak **lüktető**, nem forgó mezőt kelt. Egy lüktető mező két, ellentétes irányban forgó, azonos nagyságú mező összegére bontható. Álló forgórésznél a két forgó mező nyomatéka éppen kiejti egymást, ezért a motor **nem indul el**.

Ahhoz, hogy a motor elinduljon, legalább két, térben eltolt tekercsen időben eltolt (fázisban eltolt) áramot kell átvezetnünk. Ezt szolgálja a **segédfázis** vagy **indítótekercs**. A két tekercs árama közötti fáziseltolást leggyakrabban **kondenzátor** hozza létre. A motor elindulása után a segédfázist sok esetben kiiktatják, de vannak üzemi kondenzátoros motorok is, ahol a segédfázis állandóan be van kapcsolva.

Megjegyzés. A kondenzátor fázistoló szerepe közvetlenül a Kondenzátorok kapcsolása és az RC-tag alfejezetben tanult váltakozó áramú kondenzátor-viselkedésre épül. A kondenzátor árama $\varphi = 90^\circ$-kal siet a feszültségéhez képest, így a segédtekercsben folyó áram időben eltolódik a főtekercs áramához képest.

26.6.4. A kondenzátoros egyfázisú motor felépítése

A motor állórészében két tekercs van:

- **Főtekercs** (üzemi tekercs, munkatekercs): ez adja a motor nyomatékának nagy részét.

- **Segédtekercs** (indítótekercs): térben eltolt – jellemzően 90°-kal – a főtekerccsel. A segédtekercs árama a kondenzátoron keresztül folyik, így fázisban eltér a főtekercs áramától.

A forgórész **kalickás** (rövidre zárt) forgórész, mint a háromfázisú aszinkron motornál. A segédtekercs és a főtekercs együtt olyan, mint egy **aszimmetrikus kétfázisú** motor, amely elegendő indítónyomatékot ad.

A kondenzátor kapcsolása szerint két alaptípust különböztetünk meg:

1. **Indítókondenzátoros motor (CSIR):** a kondenzátor csak indításkor van a segédtekercs körében. Amikor a fordulatszám eléri a névleges érték kb. 70–80 %-át, egy **centrifugál kapcsoló** (vagy újabb motoroknál elektronikus indítórelé) lekapcsolja a segédtekercset. A motor ezután csak a főtekerccsel jár.
2. **Üzemi kondenzátoros motor (PSC):** a kondenzátor állandóan az áramkörben van. A segédtekercs üzemszerűen is terheli a kondenzátort. Ennek kisebb az indítónyomatéka, de egyszerűbb a szerkezet, és a cos φ is kedvezőbb lehet. Gyakran szellőzőkben, keringtetőszivattyúkban, klímakompresszorokban alkalmazzák.

Létezik **indító- és üzemi kondenzátoros motor** is (két kondenzátorral), ahol a nagyobb kapacitású indítókondenzátort a centrifugál kapcsoló lekapcsolja, az üzemi kondenzátor viszont folyamatosan ellátja a segédtekercset.

26.6.4.1. Kondenzátor az áramkörben

Az indítókondenzátor **nagy kapacitású, rövid üzemidejű** elektrolitikus vagy fóliás AC-kondenzátor. Az üzemi kondenzátor **kisebb kapacitású, folyamatos üzemű** fóliakondenzátor. A rossz kondenzátor a leggyakoribb egyfázisú motorhiba.

Figyelem. A motor kondenzátorát mindig a motorgyártó által megadott típusra és feszültségre cseréld. A kapacitás eltérése megváltoztatja a segédfázis áramát: túl nagy kapacitás túlmelegíti, túl kicsi csökkenti az indítónyomatékot.

Az alábbi kapcsolási rajz egy indítókondenzátoros, centrifugál kapcsolóval ellátott motort mutat.

26.15. ábra. Indítókondenzátoros egyfázisú motor kapcsolási rajza - Két párhuzamos ág L és N között: a főtekercs (U1–U2) közvetlenül, a segédtekercs (Z1–Z2) a C1 indítókondenzátorral és az S2 centrifugál kapcsolóval sorban; S2 nyugalmi (álló motornál) zárt érintkező, ezért a rajzon zárva látszik. Az S1 kapcsoló a fázisvezetőben van; a motortest a PE-re csatlakozik. Az S2 a felgyorsulás után (kb. a szinkron fordulatszám 70–80 %-ánál, ellenőrizendő: gyártói adat) bontja a segédágat.

Az ábrán a motor két tekercse külön látszik: a főtekercs (U1–U2) közvetlenül L és N között, a segédtekercs (Z1–Z2) a kondenzátorral és a centrifugál kapcsolóval sorban, a főtekerccsel párhuzamosan; a motortest a PE-re csatlakozik. A gyakorlati rajzokon gyakran egyetlen motorjelképpel és a kondenzátorral egyszerűsítik ugyanezt.

26.6.5. Forgásirányváltás, bekötési rajz és motorvédelem

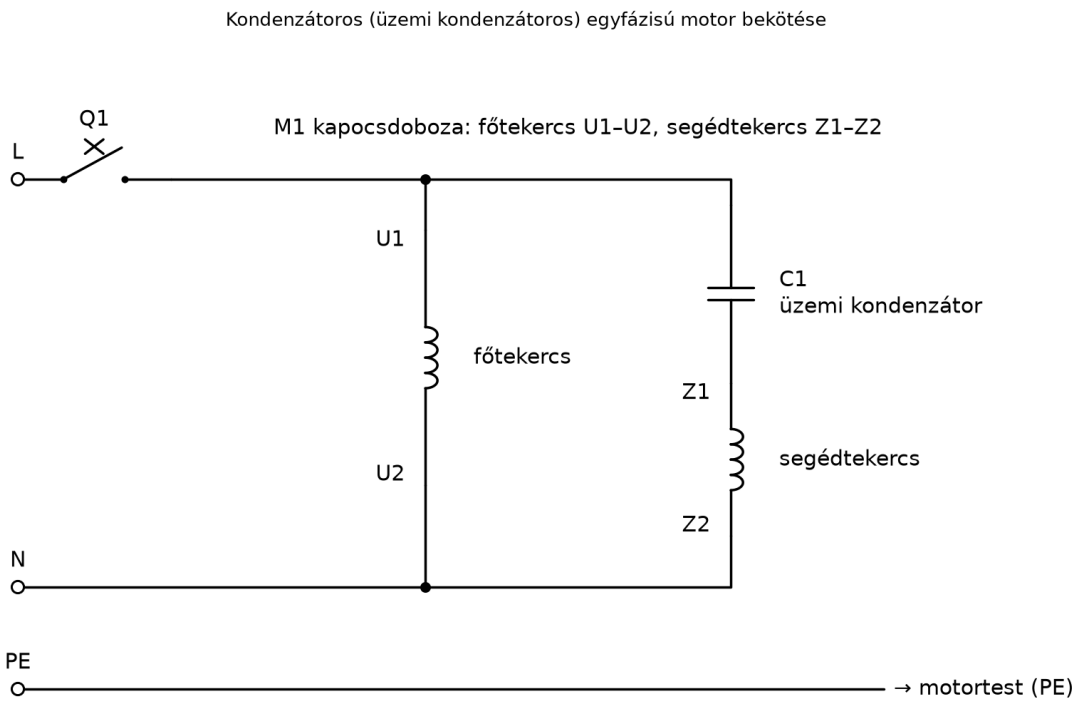
A forgásirány meghatározásához a fő- és segédtekercs áramának fázissorrendjét kell megcserélni. A legegyszerűbb módja, ha **a segédtekercs csatlakoztatását megfordítjuk**. Ekkor a segédtekercs árama fázisban ellenkező irányú lesz a főtekercshez képest, és a motor ellenkező irányba indul. A főtekercs bekötését nem cseréljük.

Gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a **segédtekercs sorkapcsok jelölését** (pl. Z1, Z2) felcseréljük. A főtekercs kapcsait U1-nel és U2-vel, a segédtekercs kapcsait Z1-gyel és Z2-vel jelölik. A motorvédőt (hővédelmet) a közös fázisvezetőbe, mindkét tekercság elé kapcsoljuk (L → motorvédő → U1 és a kondenzátoros ág közös pontja), hogy a segédág is védett legyen; a beépített tekercshővédő bekötését a gyártói rajz adja meg.

A pontos bekötést az alábbiak szerint ellenőrizd:

1. **Határozd meg a tekercseket.** A kapocstáblán vagy a rajzon az U1–U2 a fő-, Z1–Z2 a segédtekercs.

2. **Kösd a hálózatot a főtekercsre.** L a motorvédőn át az U1-re, N az U2-re.
3. **Kösd a kondenzátort a segédtekercccsel sorba.** A kapocsdobozban gyakran a kondenzátor kivezetései már a Z1 és a hálózat egyik pontja közé vannak kötve.
4. **Ellenőrizd a forgásirányt** biztonságos körülmények között a kapcsolás után.



26.16. ábra. Kondenzátoros (üzemi kondenzátoros) egyfázisú motor bekötése - A főtekercs (U1–U2) közvetlenül L–N között, a segédtekercs (Z1–Z2) az üzemi kondenzátorral (C1) sorban, a főtekercccsel párhuzamosan. Q1 a fázisvezetőben; a motortest a PE-re csatlakozik. Forgásirányváltás: a segédtekercs Z1 és Z2 bekötését kell felcserélni, a főtekercsét nem.

A gyakorlatban a motor adattáblája és a csatlakozódoboz felirata mindig elsődleges. Ha a felirat hiányzik, a tekercspárok ellenállásméréssel azonosíthatók: a főtekercs általában kisebb ellenállású, a segédtekercs nagyobb.

26.6.6. Az árnyékolt pólusú motor: a legegyszerűbb egyfázisú motor

Az árnyékolt pólusú (spalt) motor a legegyszerűbb és legolcsóbb egyfázisú aszinkron motor. Nincs benne kondenzátor, nincs centrifugál kapcsoló, és a forgásiránya is csak a gyártásnál változtatható. Az állórész pólusain egy **rövidre zárt rézgyűrűt** (árnyékoló menetet) helyeznek el. Ez a gyűrű késlelteti a pólus árnyékolt részének mágneses fluxusát, így a pólus szélén **fázisban eltolt fluxus** jön létre. Ez a kis aszimmetria elegendő ahhoz, hogy a mező „végigsöpörjön” a póluson, és a kalickás forgórész elinduljon.

Az árnyékolt pólusú motor jellemzően **kis teljesítményű** (néhány watt – néhány 100 W), **alacsony hatásfokú**, de egyszerű és csendes. Tipikus alkalmazásai: kis ventilátorok, mikrohullámú sütő tányérforgatója, hűtőgép-ventilátorok, kis szivattyúk (pl. mosogatógép-ürítő).

Megjegyzés. Az árnyékolt pólusú motornál a fáziseltolt fluxusnak ugyanaz a szerepe, mint a kondenzátoros motornál: indítónyomatékot hoz létre. A kalickás forgórész itt is ugyanúgy működik, mint a Szerkezet és működési elv, forgó mágneses mező alfejezetben tárgyalt motoroknál.

26.6.7. Indítási módok: kondenzátoros és árnyékolt pólusú motor

Az egyfázisú motorok indítása attól függ, hogy a motor milyen segédfázist használ.

- **Indítókondenzátoros motor:** indításkor a kondenzátor biztosítja a nagy indítónyomatékot. A centrifugál kapcsoló kb. 70–80 %-os fordulatszámnál kiiktatja a segédkört. Ez a leggyakoribb nagy indítónyomatékú egyfázisú megoldás.
- **Üzemi kondenzátoros motor:** a segédtekercs mindig be van kapcsolva. Az indítónyomaték kisebb, de az egyszerűség és a jó cos φ miatt sok szellőző- és szivattyús alkalmazásban ez terjedt el.
- **Árnyékolt pólusú motor:** csak a póluson lévő rézgyűrű határozza meg az indítást. Az indítónyomaték kicsi, ezért csak könnyű indítású terhelésekhez (ventilátor, keverő) alkalmas.

Szabály. Az egyfázisú motor indítónyomatéka a segédtekercs térbeli és időbeli eltérésétől függ. Minél jobban megközelíti a 90°-os térbeli és időbeli eltérést, annál jobb a forgómező-képzés. A kondenzátor áramának φ fáziseltolása éppen ezt az időbeli eltérést hozza létre. A gyakorlatban a kondenzátor értékét a gyártó úgy méretezi, hogy a segédtekercs árama kb. 90°-kal siessen a főtekercs áramához viszonyítva.

Figyelem. A kondenzátor értékét ne változtasd meg önkényesen. Ha nagyobb kapacitást teszel, a segédtekercs árama nő, a motor túlmelegszik. Ha kisebbet, az indítónyomaték csökken, és a motor nehezen indul.

26.6.8. Számítási példa: kondenzátor áram és meddő teljesítmény

Az üzemi kondenzátor váltakozó áramú viselkedését a Kondenzátorok kapcsolása és az RC-tag alapján számolhatjuk. A kondenzátor árama:

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{1/(2\pi f C)} = 2\pi f C U$$

Példa 1. Egy 230 V, 50 Hz hálózati feszültségű, üzemi kondenzátoros motornál a kondenzátor kapacitása $C = 4\,\mu\text{F}$. Mekkora áram folyik a kondenzátoron?

Adott: $U = 230\,\text{V}$, $f = 50\,\text{Hz}$, $C = 4\,\mu\text{F} = 4 \cdot 10^{-6}\,\text{F}$.

Keresett: I_C.

Képlet: $I_C = 2\pi f C U$.

Behelyettesítés: $I_C = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 230\,\text{V} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 230$.

Számítás: $I_C \approx 0{,}289\,\text{A}$.

Ellenőrzés: A meddő teljesítmény $Q = U I_C = 230 \cdot 0{,}289 \approx 66{,}5\,\text{var}$. Ez jóval kisebb, mint a motor néhány száz wattos teljesítménye, ami egy ilyen kisméretű üzemi kondenzátorra reális.

Példa 2. Egy indítókondenzátoros motornál az indítókondenzátor $C = 100\,\mu\text{F}$. Mekkora áramot venne fel a kondenzátor önmagában, ha $U = 230\,\text{V}$ feszültségre kapcsoljuk? (Ez felső becslés a segédtekercs áramára: a segédtekerccsel sorban a tényleges áram kisebb.)

Adott: $C = 100 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}$, $U = 230\,\mathrm{V}$, $f = 50\,\mathrm{Hz}$.

Keresett: I_C.

Behelyettesítés: $I_C = 2\pi \cdot 50 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 230$.

Számítás: $I_C \approx 7{,}23\,\mathrm{A}$.

Ellenőrzés: A segédtekercs ellenállása (a fejezet szerint 20–50 Ω) sorban van a kondenzátorral, ezért a tényleges áram kisebb: például 30 Ω-nál $|Z| \approx \sqrt{30^2 + 31{,}8^2} \approx 43{,}7\,\Omega$ és $I \approx 5{,}3\,\mathrm{A}$ (a tekercs induktivitását elhanyagolva; $X_C = 1/(2\pi \cdot 50 \cdot 100 \cdot 10^{-6}) \approx 31{,}8\,\Omega$). Ez az áram nagyobb, mint a motor névleges árama lehet, ami indításkor elfogadható, hiszen az indítókondenzátor csak rövid ideig van bekapcsolva. A centrifugál kapcsoló ezután lekapcsolja.

Hibás példa. Ha valaki a 4 µF-os üzemi kondenzátort 100 µF-os indítókondenzátorra cseréli, a segédtekercsben folytonosan nagy áram fog folyni, ami rövid időn belül túlmelegíti a motort. A cseréhez az adattábla és a gyártói adatlap ismerete szükséges.

26.6.9. Szabványi háttér

Szabvány. Az egyfázisú aszinkron motorokra is a villamos forgógépek általános előírásai vonatkoznak. Az MSZ EN 60034 sorozat (a villamos forgógépek névleges adatai és teljesítménye) ad iránymutatást a kapocstábla adataihoz, a veszteségekhez és a hatásfok osztályokhoz. A motor védettségére az MSZ EN 60529 (IP-kód) vonatkozik. A motorvédő kapcsolókra, mágneskapcsolókra és hőkioldókra az MSZ EN 60947 sorozat vonatkozik. A gépek villamos berendezéseire – ha a motor egy gépi berendezés része – az MSZ EN 60204-1 érvényes. A pontos kapcsolási rajzot és a csatlakozódoboz feliratait mindig a motorgyártó dokumentációja adja meg. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás)**

26.6.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy szerviztechnikus egy hűtőkamra szellőzőmotorját hozza be javításra. A motor zúg, erősen melegszik, és nem indul el. A szerelő megméri a kondenzátort, és az értéke a névleges 6 µF helyett 1,5 µF. A kondenzátor tehát „kiöregedett”. A csere után a motor elindul, de a szerelő észreveszi, hogy a forgásirány nem megfelelő. A motor a levegőt befelé fújja, nem kifelé. A megoldás: a segédtekercs két kivezetését (Z1 és Z2) a kapocstáblán felcseréli a főtekercshez képest; a kondenzátor a segédtekerccsel sorban marad, így a segédtekercs árama a főtekercséhez képest ellenkező irányú fázistolást kap. (A kondenzátor két kivezetésének felcserélése nem változtatna a forgásirányon.) A motor most már a kívánt irányba forog.

Tanulság: a kondenzátorhiba és a forgásirányprobléma gyakran együtt fordul elő. A kondenzátor cseréje után mindig ellenőrizni kell a forgásirányt is.

26.6.11. Gyakorlati útmutató: kondenzátoros egyfázisú motor bekötése és forgásirány ellenőrzése

Cél: Kondenzátoros, egyfázisú aszinkron motor bekötése, forgásirányváltás és a kondenzátor ellenőrzése.

Eszközök és anyagok: kétpólusú feszültségvizsgáló (MSZ EN 61243-3; ellenőrizendő: aktuális kiadás), digitális multiméter (CAT III), kapacitásmérő (vagy multiméter kapacitásmérés funkcióval), szigetelési ellenállás-mérő, csavarhúzókészlet, érvéghüvely, a motor kapcsolási rajza, az adattábla fényképe.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Az öt biztonsági szabály minden mérés előtt:

1. Lekapcsolás – a motor áramtalanítása.
2. Visszakapcsolás elleni biztosítás – pl. lakatolás.
3. Feszültségmentesség ellenőrzése – kétpólusú feszültségvizsgálóval L–N, L–PE és N–PE között, a vizsgálót előtte és utána ismert forráson ellenőrizve (nem fázisceruzával).
4. Földelés és rövidre zárás – ha szükséges.
5. Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.

Lépések:

1. **Fényképezd le** a kapocstáblát, a bekötést és az adattáblát.
2. **Feszültségmentesítsd** a motort az öt biztonsági szabály szerint.
3. **Ellenőrizd a kondenzátort.** A feszültségmentesítés után a kondenzátor még fel lehet töltve: kisütő ellenállással (ellenőrizendő: gyártói ajánlás, pl. 10 kΩ / 5 W) süsd ki, majd multiméterrel mérd meg, hogy a kapcsain nincs feszültség. Csak ezután csatlakoztasd le, és mérj kapacitásmérővel. Csavarhúzóval rövidre zárni tilos (ív, szerszám- és kondenzátorkárosodás). A mért érték a névleges ±5–10 %-on belül legyen. Ha sokkal kisebb, a kondenzátor hibás.
4. **Határozd meg a tekercspárokat.** Ohmmérővel mérd a kapcsokat. A legkisebb ellenállású pár a főtekercs (pl. 8–20 Ω), a nagyobb ellenállású pár a segédtekerccsel (pl. 20–50 Ω).
5. **Kösd a hálózat fázisát a motorvédőn át a közös pontra** (U1; innen ágazik a főtekercs és a kondenzátoros segédág), az N-t az U2-re. A kapocstábla és a gyártói rajz az irányadó.
6. **Kösd a segédtekerccsel sorba** a kondenzátort, és a másik végét a hálózat egyik pontjára (a rajz szerint).
7. **Ellenőrizd a forgásirányt** biztonságos körülmények között. Ha rossz az irány, feszültségmentesítés (az öt szabály) után cseréld fel a segédtekercs két végét (Z1 és Z2) a főtekercshez képest; a kondenzátor a segédtekerccsel sorban marad, kivezetéseinek cseréje nem változtat a forgásirányon.
8. **Mérj indítási áramot és üzemi áramot** lakatfogóval, ha a körülmények engedik. A névleges áram a motor adattáblájáról olvasható le.

Ellenőrzési pontok:

- A kondenzátor kapacitása a névleges érték közelében van.
- A szigetelési ellenállás a tekercsek és a motorház között legalább 1 MΩ (kis motoroknál jellemzően ennél nagyobb); értékhatárt lásd az aktuális szabványban.
- A motor beindul, és a terhelésnek megfelelő áramot vesz fel.
- A forgásirány megfelelő.

Tipikus hibák:

- A kondenzátor kisütése elmarad → áramütés veszélye.
- A fő- és a segédtekercs felcserélése → a motor rossz irányba vagy rendellenesen indul, a segédtekercs (és a kondenzátor) túlmelegszik, indítókondenzátoros motornál a centrifugálkapcsoló bontása után leállhat. Helyes: a tekercspárokat ellenállásméréssel azonosítani (4. lépés), és a gyártói rajz szerint bekötni.
- A kondenzátor értékének önkényes megváltoztatása → túlmelegedés vagy indítási probléma.
- A forgásirány ellenőrzésének kihagyása a bekötés után.

Dokumentálás: A bekötést a kapcsolási rajzon rögzítsd, fényképpel és a mért értékekkel (kondenzátor, ellenállások, üzemi áram) együtt.

26.6.12. Tipikus hibák fogalmi és számítási szinten

1. **Hiba:** Azt gondolni, hogy az egyfázisú aszinkron motornak forgó mágneses mezeje van már egyetlen tekercs esetén is. **Helyes:** Az egyfázisú tekercs önmagában lüktető mezőt kelt, ami két ellentétes irányú forgó mező összege. Forgás csak a segédfázissal jön létre.
2. **Hiba:** A kondenzátor áramának kiszámításánál elfelejteni, hogy a kapacitást farádba kell átváltani. **Helyes:** $4\,\mu\text{F} = 4 \cdot 10^{-6}\,\text{F}$, így az áram nem 4-gyel, hanem $4 \cdot 10^{-6}$-tal számolandó.
3. **Hiba:** Az indítókondenzátoros motor kondenzátorát állandó üzemre méretezettnek gondolni. **Helyes:** Az indítókondenzátor csak rövid ideig tartó igénybevételre való, ezért a centrifugál kapcsoló meghibásodása esetén a kondenzátor és a segédtekercs kiég.
4. **Hiba:** A forgásirányt a főtekerccsel sorba kötött hálózati fázis és nulla felcserélésével megváltoztatni. **Helyes:** Az egyfázisú motornál a fázis-nulla felcserélése nem változtat a forgásirányon, mert mindkét tekercs árama egyszerre fordul meg. A forgásirány csak a segédtekercs két végének (Z1–Z2) a főtekercshez képesti felcserélésével változtatható.

26.6.13. Önellenőrzés

1. Miért nem indul el az egyfázisú aszinkron motor egyetlen főtekercs esetén?
2. Mi a különbség az indítókondenzátoros és az üzemi kondenzátoros motor között?
3. Egy 8 µF-os üzemi kondenzátor 230 V, 50 Hz hálózaton hány amperes áramot vesz fel? ($I_C = ?$)
4. Hogyan változtatható meg a kondenzátoros egyfázisú motor forgásiránya?
5. Milyen hiba tünete, ha a motor zúg, de nem indul, és kézi megforgatásra sem indul el?
6. Milyen méréssel lehet a fő- és a segédtekercset megkülönböztetni?

26.6.14. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel az egyfázisú aszinkron motor két legfontosabb típusát, és írd le a különbségüket.

2. feladat (A) Egy 6 µF-os fóliakondenzátort 230 V, 50 Hz hálózatra kapcsolunk. Mekkora a kondenzátor árama?

3. feladat (B) Egy indítókondenzátoros motor indítókondenzátora 80 µF. Mekkora áramot venne fel a kondenzátor önmagában 230 V, 50 Hz-en? Miért csak felső becslés ez a segédtekercs áramára, ha a kondenzátor a segédtekerccsel sorban van?

4. feladat (B) Rajzold le egy indítókondenzátoros, centrifugál kapcsolóval ellátott motor kapcsolási rajzát. Jelöld a főtekercs (U1–U2), a segédtekercs (Z1–Z2), a kondenzátor és a centrifugál kapcsoló szerepét.

5. feladat (C) Egy szervizben egy mosógép motorja nem indul. A kondenzátor kapacitásmérésen a névleges 12 µF helyett 3 µF-ot mutat. Magyarázd el, miért nem indul a motor, és milyen további vizsgálatot végeznél.

6. feladat (D) Egy üzemi kondenzátoros ventilátormotor gyenge légáramot ad. A kondenzátor mért értéke 7 µF, a névleges 8 µF. A motor árama 0,75 A, a névleges 0,9 A. Hogyan döntesz a kondenzátor cseréjéről? Milyen mérést végeznél még?

26.6.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Az egyfázisú aszinkron motor egyetlen tekercs esetén lüktető mágneses mezőt kelt, amely két ellentétes irányú forgó mezőből áll. Álló forgórésznél a két nyomaték kiejti egymást, ezért nincs indítónyomaték.
2. Az indítókondenzátoros motornál a kondenzátor csak indításkor van az áramkörben, és egy centrifugál kapcsoló kiiktatja. Az üzemi kondenzátoros motornál a kondenzátor állandóan be van kapcsolva.
3. $I_C = 2\pi f C U = 2\pi \cdot 50 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot 230 \approx 0{,}578\,\text{A}$.
4. A segédtekercs két végét (Z1 és Z2) cseréljük fel a főtekercshez képest; a kondenzátor a segédtekerccsel sorban marad (a kondenzátor kivezetéseinek cseréje nem változtat a forgásirányon).
5. Ha meglökésre sem indul, valószínűleg a főtekercs szakadt, a táplálás hiányzik (pl. a kapcsoló vagy a hővédő kioldott), vagy a forgórész mechanikusan beszorult. Ha meglökésre elindul, a segédkör (kondenzátor, nyitva ragadt centrifugál kapcsoló, segédtekercs-szakadás) a hibás.
6. Ohmmérővel: a főtekercs ellenállása kisebb, a segédtekercsé nagyobb.

1. feladat (A) megoldása

A kondenzátoros motor (indító- vagy üzemi kondenzátoros) és az árnyékolt pólusú motor. A kondenzátoros motornál a segédtekerccsel sorba kötött kondenzátor hozza létre a fáziseltolást. Az árnyékolt pólusú motornál a póluson lévő rövidre zárt rézgyűrű késlelteti a fluxust a pólus egy részén, ami elegendő a forgó mezőhöz kis teljesítménynél.

2. feladat (A) megoldása

Adott: $C = 6\,\mu\text{F} = 6 \cdot 10^{-6}\,\text{F}$, $U = 230\,\text{V}$, $f = 50\,\text{Hz}$.

Képlet: $I_C = 2\pi f C U$.

Behelyettesítés: $I_C = 2\pi \cdot 50 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 230$.

Számítás: $I_C \approx 0{,}434\,\text{A}$.

Ellenőrzés: A kondenzátor meddő árama ésszerű: a kisméretű üzemi kondenzátorok árama tizedamper nagyságrendű.

3. feladat (B) megoldása

Adott: $C = 80\,\mu\text{F} = 80 \cdot 10^{-6}\,\text{F}$, $U = 230\,\text{V}$, $f = 50\,\text{Hz}$.

Képlet: $I_C = 2\pi f C U$.

Behelyettesítés: $I_C = 2\pi \cdot 50 \cdot 80 \cdot 10^{-6} \cdot 230$.

Számítás: $I_C \approx 5{,}78\,\text{A}$.

Ellenőrzés: Ez a kondenzátor önálló árama, felső becslés: a segédtekercs (pl. 30 Ω) sorban van, ezért a tényleges áram kisebb ($X_C \approx 39{,}8\,\Omega$, $|Z| \approx 49{,}8\,\Omega$, $I \approx 4{,}6\,\text{A}$ a tekercs induktivitását elhanyagolva). Az áram így is nagyobb lehet a motor névleges áramánál. Indításkor rövid ideig ilyen áram is folyhat, ezért az indítókondenzátor csak rövid bekapcsolásra készül.

4. feladat (B) megoldása

A kapcsolási rajzot a 26.6.4 alszakasz indítókondenzátoros rajza mutatja. A főtekerccsel sorba a hálózat, a segédtekerccsel sorba a kondenzátor és a centrifugál kapcsoló van. A centrifugál

kapcsoló nyugalmi (álló motornál) zárt, a fordulatszám növekedésével bontja az áramkört, így lekapcsolja a segédkört.

5. feladat (C) megoldása

A mosógép motorja azért nem indul, mert a kondenzátor kapacitása a névleges 12 µF helyett 3 µF, ami nem ad elég fáziseltolást a segédtekerccsel, így nincs indítónyomaték. A további vizsgálat:

- Ellenőrizni kell a tekercsek ellenállását (fő- és segédtekercs).
- Szigetelési mérést kell végezni a motorház és a tekercsek között.
- Meg kell vizsgálni a centrifugál kapcsolót vagy az elektronikus relét.
- A kondenzátor cseréje után próbaindítást kell végezni.

6. feladat (D) megoldása

A kondenzátor 7 µF a névleges 8 µF-hoz képest: ez kb. 12,5 % eltérés, ami a megengedett tűrésen (ált. ±5–10 %) kívül esik, tehát a kondenzátor valószínűleg kiöregedett. A csökkent kapacitás miatt a segédtekerccsel soros kör reaktanciája nő, a segédtekerccsel folyó áram csökken, így a motor légteljesítménye gyenge, a motor árama is csökken. A kondenzátor cseréjét javaslom. Mérések: kapacitásmérés, szigetelési ellenállás mérés, üzemi áram mérése a csere után.

26.6.16. Rövid összefoglaló

Az egyfázisú aszinkron motor önállóan nem indul, mert egyfázisú tekercs lüktető mezejéből nem jön létre forgó mező. A forgás megindításához segédfázis szükséges. A kondenzátoros motornál a segédtekerccsel sorba kötött kondenzátor időbeli fáziseltolást hoz létre. Az indítókondenzátoros motornál a kondenzátort centrifugál kapcsoló iktatja ki; az üzemi kondenzátoros motornál a kondenzátor állandóan be van kapcsolva. A forgásirány a segédtekercs csatlakozóinak (Z1–Z2) felcserélésével változtatható, nem a hálózati fázis-nulla felcserélésével. Az árnyékolt pólusú motor a póluson elhelyezett rövidre zárt rézgyűrűvel kelt fáziseltolt fluxust, így kis teljesítményű ventilátorokban használatos. A leggyakoribb hiba a kondenzátor kapacitásvesztése, amely a motor indításaképtelenségéhez vezet. A hibakeresés során mindig előbb a kondenzátort, a centrifugál kapcsolót és a tekercsek ellenállását mérjük. A motor specifikációját mindig az adattáblája és a gyártói dokumentáció határozza meg.

26.6.17. Források és ellenőrzési hiányok

A leírt kapcsolások és összefüggések az elektrotechnika klasszikus alapelvein nyugszanak. A motorok névleges adatai, a kondenzátor értékei, a kapocstábla-jelölések, a szigetelési ellenállás határértékei és az IP-védettség a mindenkori gyártói adatoktól és a hatályos szabványoktól függenek. A szabványhivatkozások (MSZ EN 60034, MSZ EN 60529, MSZ EN 60204-1, MSZ EN 60947) iránymutatók; a pontos szakasz- és táblázatszámok, valamint a hatályos kiadások ellenőrzendők.

27 Szinkron gépek

27.1. Szinkron generátor és motor, gerjesztés

27.1.1. Miért kell pontosan ismerned a szinkron gépet?

Ha egy kórház tartalék áramforrásánál a dízelmotor „nem jár pontosan”, vagy egy nagy kompresszorhajtásnál állandó fordulatszámot kell tartani, akkor szinkron géppel találkozol. Az erőművi generátorok túlnyomó része szinkron generátor, a nagy ipari hajtások egy részénél pedig szinkron motort használnak, mert a fordulatszáma független a terheléstől, és a meddőteljesítményét a gerjesztéssel lehet szabályozni.

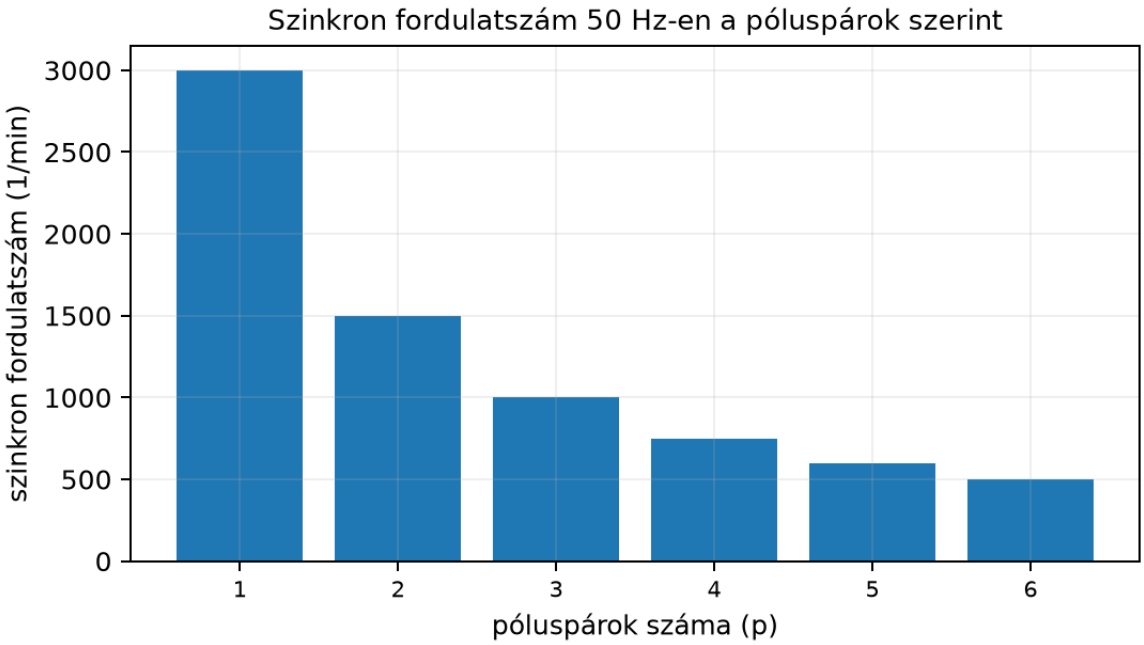
A szinkron gép első ránézésre sokban hasonlít az aszinkron gépre, de a forgórésze alapvetően más. Míg az aszinkron gép forgórészében a szükséges mágneses teret indukció hozza létre, addig a szinkron gép forgórésze egyenárammal gerjesztett mágneskerék vagy állandó mágnes. Ebből következik a legfontosabb tulajdonsága: a forgórész **pontosan a forgó mágneses mezővel együtt**, azzal szinkronban forog.

27.1.2. Szemléltető kép: állórész, kapcsok és szinkron fordulatszám

Először az állórész oldalról nézzük a gépet. Az alábbi elvi kapcsolási rajzon a három fáziskapcsot (U1, V1, W1, mindegyik külön fázisvezetőn), a csillagba kötött állórész-tekercselést és a forgórész egyenáramú gerjesztőkörét (F1–F2) látod; a géptest a PE-re csatlakozik. A gerjesztőkör az, ami a szinkron gépet az aszinkrontól megkülönbözteti.

27.1. ábra. Szinkron gép háromfázisú állórészének elvi bekötése - Elvi vázlat: az L1, L2, L3 fázis külön vezetéken csatlakozik az U1, V1, W1 kapocsra; az állórész tekercsei csillagba kötve. A szinkron gép lényege a forgórész egyenáramú gerjesztése (F1–F2 gerjesztőtekercs, külön egyenáramú forrás, csúszógyűrűn vagy kefe nélküli gerjesztőn át; a kapocsjelölés ellenőrizendő: MSZ EN 60034-8 és a gyártói kapocstábla). A géptest a PE-re csatlakozik.

A fordulatszámot a hálózati frekvencia és a póluspárok száma határozza meg. Ez az egyik legfontosabb összefüggés, ezért érdemes rögtön számokkal is megnézni.



27.2. ábra. Szinkron fordulatszám 50 Hz-en a póluspárok szerint - n_s = 60 · f / p, f = 50 Hz; a pontok számított értékek, nem katalógusadatok.

A diagramról leolvasható, hogy 50 Hz-en egy kétpólusú gép (p = 1 póluspár) 3000 1/min, egy négypólusú gép (p = 2) 1500 1/min, egy tizenkét pólusú gép (p = 6) pedig 500 1/min szinkron fordulatszámon forog.

27.1.3. A szinkron gép felépítése

Definíció. A **szinkron gép** olyan villamos forgógép, amelynek állórészén háromfázisú (ritkábban egyfázisú) váltakozó áramú tekercselés, forgórészén pedig egyenárammal gerjesztett póluskerék vagy állandó mágnes van. Üzemállapotától függően **szinkron generátorként** vagy **szinkron motorként** dolgozik.

A gép két alapvető szerkezeti egysége:

- **Állórész (armatúra):** lemezelt villamoslemez-test, hornyokban elhelyezett, rendszerint háromfázisú tekercseléssel. Ez a rész nagyon hasonlít az aszinkron gép állórészéhez.
- **Forgórész (póluskerék):** egyenárammal gerjesztett elektromágnes vagy állandó mágnes. A gerjesztő egyenáramot a forgórész tekercsébe kell juttatni.

Megjegyzés. A magyar gyakorlatban a p betűvel általában a **póluspárok számát** jelöljük, a pólusok száma pedig $2p$. Tehát egy „négypólusú” gépnél $p = 2$.

A fordulatszám alapösszefüggése:

Összefüggés. A szinkron fordulatszám:

$$n_s = \frac{60\,f}{p}$$

ahol:

- n_s a szinkron fordulatszám, 1/min,
- f a hálózati frekvencia, Hz,
- p a póluspárok száma.

Ez onnan adódik, hogy egy póluspárú gépnél egy teljes periódus egy teljes fordulatnak felel meg. 50 Hz-en tehát egy póluspárnál másodpercenként 50 fordulat történik, azaz percenként 3000 fordulat. Két póluspárnál egy periódus csak fél fordulatot ad, ezért a fordulatszám 25 fordulat/s, azaz 1500 1/min.

27.1.4. Két rotortípus: kiálló pólusú és hengeres pólusú forgórész

A forgórész kialakítása szerint két fő típust különböztetünk meg.

Kiálló pólusú forgórész (póluskerék). A pólusok jól láthatóan, különálló pólussarukkal emelkednek ki a tengelyből. A pólustestekre koncentrált gerjesztő tekercseket helyeznek. Ez a kialakítás ott alkalmas, ahol sok póluspár kell, tehát a fordulatszám viszonylag alacsony. Jellemzően vízerőművi generátorokban, lassú dízelgenerátorokban és nagy pólusszámú szinkron motorokban használják. A kiálló pólusú gép légrése a pólus alatt kisebb, a pólusok között nagyobb, ezért a mágneses kör „irányfüggő".

Hengeres pólusú (sima pólusú) forgórész. A forgórész egy hengeres acéltömbből készül, hosszirányú hornyokban elosztott gerjesztő tekercseléssel. A légrés gyakorlatilag egyenletes. Ez a kialakítás nagy fordulatszámra alkalmas, mert a mechanikai igénybevételt jobban bírja. Jellemzően hőerőművi turbógenerátorokban és gázturbinás generátorokban alkalmazzák, 3000 1/min (kétpólusú) vagy 1500 1/min (négypólusú) fordulaton.

Példa. Egy 50 Hz-es vízerőművi generátort 125 1/min fordulattal hajt a turbina. Mekkora a póluspárok és a pólusok száma?

Adott: $f = 50\,\text{Hz}$, $n_s = 125\,1/\text{min}$
Keresett: p, majd $2p$
Képlet: $p = \frac{60\,f}{n_s}$
Behelyettesítés: $p = \frac{60 \cdot 50}{125} = \frac{3000}{125} = 24$
Eredmény: $p = 24$ póluspár, azaz $2p = 48$ pólus.
Ellenőrzés: 50 Hz-en 1 póluspár 3000 1/min; 24 póluspárnál 3000/24 = 125 1/min, ami megegyezik. Ez a gép csak kiálló pólusú lehet, hengeres pólusú rotor ilyen sok pólussal és ilyen alacsony fordulaton nem épül.

27.1.5. Gerjesztési módok

A forgórész mágneses terét létre kell hozni. Erre több megoldás létezik.

Egyenáramú gerjesztés csúszógyűrűvel és kefével. A forgórész gerjesztő tekercsének két vége két, a tengelyre szerelt **csúszógyűrűre** csatlakozik. A csúszógyűrűkhöz szénkefék nyomódnak, ezeken át kapja a forgórész a külső gerjesztő egyenáramot. A gerjesztő forrás lehet külön egyenáramú generátor, vagy egyenirányítós gerjesztő. Ez a megoldás egyszerű, jól látható, de a kefék és csúszógyűrűk kopnak, karbantartást igényelnek, és a kefekopás szénport okozhat.

Kefe nélküli (brushless) gerjesztés. Nagyobb gépeknél gyakori. A fő szinkron gép tengelyére egy kis háromfázisú **gerjesztő generátort** építenek. Ennek állórészét gerjesztik, a forgórészén háromfázisú tekercselés van, amelynek kimenetét a tengelyre szerelt forgó diódahíd egyenirányítja. Az így kapott egyenáram közvetlenül, csúszógyűrű és kefe nélkül táplálja a fő gép forgórészének

gerjesztő tekercsét. A gerjesztőáramot az állórész oldalról lehet szabályozni, így a teljes rendszer karbantartásigénye kisebb.

Állandó mágneses gerjesztés. Kis teljesítményű szinkron gépeknél, szervomotoroknál, egyes kisgenerátoroknál és több modern hajtásnál a forgórész állandó mágnesből készül. Ilyenkor nincs szükség gerjesztő egyenáramra, de a gerjesztés nem szabályozható olyan egyszerűen.

A gerjesztőáram szerepe kettős: beállítja az indukált feszültség nagyságát, és befolyásolja a gép meddőteljesítmény-felvételét vagy -leadását. Ezt részletesebben a Hálózatra kapcsolás, V-görbe, fázisjavítás és aggregátor alfejezetben vizsgáljuk.

27.1.6. A szinkron gép működési elve

Az állórész háromfázisú tekercselése ugyanazt a forgó mágneses mezőt hozza létre, amit az aszinkron gépnél a Szerkezet és működési elv, forgó mágneses mező alfejezetben tanultál. A különbség a forgórészben van.

27.1.6.1. Szinkron generátor működése

Ha egy hajtógép (gőzturbina, gázturbina, vízturbina, dízelmotor) a gerjesztett póluskereket állandó n_s fordulattal forgatja, akkor a pólusok mágneses tere folyamatosan metszi az állórész tekercsvezetőit. A mozgási indukció miatt az állórész tekercseiben váltakozó feszültség indukálódik.

Összefüggés. Szinuszos fluxuseloszlást feltételezve az egy fázisban indukált feszültség effektív értéke:

$$E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f N \Phi \approx 4{,}44 f N \Phi$$

ahol:

- E az indukált feszültség effektív értéke, V,
- f a frekvencia, Hz,
- N egy fázis sorba kapcsolt, effektív menetszáma,
- Φ a pólusonkénti hasznos fluxus, Wb.

A 4,44 tényező a szinuszos indukcióból adódik: a csúcsérték $2\pi f N \Phi$, az effektív érték ennek $1/\sqrt{2}$-szerese, így a tényező $2\pi/\sqrt{2} \approx 4{,}44$.

A gyakorlatban a pontos értéket a tekercselési tényező, a telítés és a tekercselés kialakítása is befolyásolja, ezért az egyszerű képlet becslésre való. A tervezésnél a gyártói adatlap és a hatályos szabvány a mérvadó.

Számítás. Egy 50 Hz-es szinkron generátor egy fázisának effektív menetszáma $N = 20$, a pólusonkénti fluxus $\Phi = 0{,}05\,\text{Wb}$. Mekkora a fázisfeszültség?

Adott: $f = 50\,\text{Hz}$, $N = 20$, $\Phi = 0{,}05\,\text{Wb}$
Keresett: E
Képlet: $E = 4{,}44 f N \Phi$
Behelyettesítés: $E = 4{,}44 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 0{,}05 = 4{,}44 \cdot 50 = 222\,\text{V}$
Ellenőrzés: ha a gép vonali feszültsége $U_v = \sqrt{3}\,U_f$, akkor $U_v = 1{,}732 \cdot 222 \approx 384\,\text{V}$, ami a 400 V-os hálózat közelébe esik. A kerekítések és a tekercselési tényező miatt reális példa.

A generátor frekvenciája tehát **csak a hajtás fordulatszámától és a póluspárok számától** függ:

$$f = \frac{p\,n}{60}$$

A feszültséget pedig elsősorban a gerjesztőárammal szabályozzák. Ha a generátort önálló szigetüzemben használják, a hajtómotor fordulatszám-szabályozója tartja a frekvenciát, a feszültségszabályozó (AVR) pedig a gerjesztést.

27.1.6.2. Szinkron motor működése

Ha a háromfázisú állórészt rákapcsolják a hálózatra, az állórész forgó mágneses mezőt hoz létre. A gerjesztett póluskerék északi és déli pólusai „beakadnak” a forgó mező ellentétes pólusaiba, és a forgórész a mezővel azonos, szinkron fordulattal forog.

A szinkronmotor legfontosabb üzemi előnye, hogy a fordulatszáma **nem csökken** a terhelőnyomaték növekedésével, amíg a terhelés a megengedett határon belül van. Terheléskor a forgórész pólustengelye a forgó mezőhöz képest egy kis **terhelési szöggel** hátrafordul, de a fordulatszám változatlan marad. Ha a terhelés túl nagy, a gép kiesik a szinkronból és megáll, ezért a szinkronmotort mindig a billenőnyomaték alatt kell üzemeltetni.

A szinkronmotor hátránya, hogy önmagában, álló helyzetből nem tud egyszerűen felpörögni a forgó mezővel szinkronba, mert a nagy tehetetlenségű gerjesztett rotor nem tudja azonnal követni a hirtelen elinduló mezőt. Gyakori megoldás, hogy a pólussarukba egy **indító/ csillapító kalickát** építenek. A gép ezzel aszinkron motorként felfut; felfutás közben a gerjesztőtekercset kisütő ellenálláson át rövidre zárják, majd a szinkron fordulatszám közelében a gerjesztés rákapcsolása után a rotor behúz a szinkron fordulatra. Más megoldás a frekvenciaváltós indítás, amikor a frekvenciát alacsony értékről fokozatosan emelik.

27.1.7. Hőerőművi és vízerőművi generátorok

A rotortípusok gyakorlati okból különülnek el.

- **Hőerőműben** a gőzturbina nagy fordulatszámú, ezért a generátor általában kétpólusú, $n_s = 3000\,1/\text{min}$, vagy négypólusú, $n_s = 1500\,1/\text{min}$. A nagy fordulatszám miatt a forgórész hengeres pólusú, mert a kiálló pólusok nagy centrifugális erőt nehezen viselnének. Az ilyen gépet gyakran **turbógenerátornak** nevezik.
- **Vízerőműben** a vízturbina fordulatszáma viszonylag alacsony, például 100–750 1/min. Ezért sok póluspárra van szükség, és a lassú, nagy átmérőjű forgórészt kiálló pólusokkal építik. Egy 125 1/min-es, 50 Hz-es gépnél 48 pólus van, ahogy az előző példában kiszámoltuk.

Ugyanez a logika érvényes a motoros hajtásokra is: nagy fordulatszámú kompresszorhajtáshoz hengeres pólusú szinkronmotor, lassú, nagy nyomatékú hajtáshoz kiálló pólusú szinkronmotor illik.

27.1.8. Szinkron és aszinkron gép összehasonlítása

Jellemző	Szinkron gép	Aszinkron gép
Forgórész mágneses tere	egyenárammal gerjesztett vagy állandó mágnes	a forgó mező indukálja
Fordulatszám	pontosan szinkron, n_s	terheléssel kissé csökken, $n = n_s(1 - s)$
Szlip	$s = 0$	üzemben jellemzően $s = 0{,}02 \ldots 0{,}08$
Meddőteljesítmény	gerjesztéssel szabályozható	hálózatból fogyaszt
Indítás	segédberendezést igényelhet	általában egyszerűen, közvetlenül indítható
Ár, bonyolultság	általában drágább, bonyolultabb	egyszerűbb, olcsóbb

Továbbvitt eredmény. Az itt bevezetett szinkron fordulatszám képlet, a gerjesztőáram szerepe és a póluskiválasztás közvetlenül kell a(z) Hálózatra kapcsolás, V-görbe, fázisjavítás és aggregátor alfejezetben, ahol a szinkronizálást, a hálózatra kapcsolást és a meddőteljesítmény-szabályozást tárgyaljuk. A gerjesztett forgórész egyenáramú táplálása, a kefés és kefe nélküli megoldás pedig előkészíti a(z) Egyenáramú gép: szerkezet, gerjesztés, indítás alfejezetet.

Szabvány. A villamos forgógépek általános követelményeit az MSZ EN 60034 sorozat tárgyalja. A hálózatra kapcsolás és a hálózati párhuzamos üzem részletes feltételeit a hálózati engedélyes előírásai rögzítik. A pontos kiadásokat és határértékeket minden kivitelezés vagy vizsgálat előtt ellenőrizni kell. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és hálózati engedélyesi előírás)**

27.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy kórházi tartalék áramforrás dízelaggregátorának 400 V-os szinkron generátora négypólusú, ezért a szinkron fordulatszáma 1500 1/min. Az átadás előtti ellenőrzésen a kezelőpanel 51,2 Hz-et és 418 V vonali feszültséget mutat.

A szerelő először kiszámolja, hogy a frekvencia miért magas. Négypólusú gépnél $p = 2$, tehát:

$$n = \frac{60\,f}{p} = \frac{60 \cdot 51{,}2}{2} = 1536\,\mathrm{1/min}$$

A hajtómotor tehát nem 1500, hanem 1536 1/min fordulaton jár. A szerelő a dízelmotor fordulatszám-szabályozóját úgy állítja be, hogy a frekvencia pontosan 50,0 Hz legyen, ami 1500 1/min-es generátorfordulatnak felel meg. Ezután a feszültségszabályozó (AVR) alapjelét úgy módosítja, hogy a kapocsfeszültség terheletlen állapotban is 400 V körül legyen. Végül próbaterheléssel ellenőrzi, hogy a feszültség és a frekvencia a megengedett sávon belül marad-e.

Biztonsági korlát. A szinkron gépen, annak kapcsain, gerjesztőkörén és hajtásán végzett munkát csak feszültségmentesítés, reteszelés és a hajtás kikapcsolása után szabad végezni. Hálózati feszültségen és forgó gépen tanuló önállóan nem dolgozhat.

27.1.10. Tipikus hibák

Hiba. A szinkron generátor hajtását úgy állítják be, hogy a tengely fordulatszáma 1450–1480 1/min legyen, mert „az aszinkron motoroknál is ennyi”. A szinkron gépnél ilyenkor nem 50 Hz, hanem például 48,3 Hz keletkezik, ami zavarokat okozhat.
Helyes gyakorlat: a frekvenciát a $n_s = 60f/p$ képlet szerint pontosan 50 Hz-re állítják, azaz négypólusú gépnél 1500 1/min-re.

Hiba. A kefés gerjesztésű gépnél a csúszógyűrűt és a keféket nem ellenőrzik. A kopott vagy beragadt kefe miatt a gerjesztőáram megszakad, a generátor feszültsége összeomlik, motorüzemben pedig a gép kieshet a szinkronból.
Helyes gyakorlat: a kefék hosszát, rugónyomását, a csúszógyűrűk felületét és a kefe-átmenetet a gyártó előírása szerint rendszeresen ellenőrzik.

Hiba. A szinkronmotort úgy indítják aszinkron módon, hogy a gerjesztőtekercs nyitva marad, vagy a gerjesztést már álló helyzetben rákapcsolják. A nyitott gerjesztőtekercsben felfutáskor veszélyesen nagy feszültség indukálódik (átüthet a szigetelésen, a csúszógyűrűn életveszélyes lehet), a korán bekapcsolt gerjesztés pedig lengést és nagy áramlökést okoz; a gép nem ér szinkron fordulatra, vagy a védelme lekapcsol.
Helyes gyakorlat: felfutáskor a gerjesztőtekercs kisütő ellenálláson át rövidre zárt; a gerjesztést a szinkron fordulatszám közelében (kb. 95 %, ellenőrizendő: gyártói adat) a gyártó által előírt automatika kapcsolja rá, az indítókalicka segítségével.

27.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A szinkron gép forgórésze terheléskor a forgó mágneses mezőnél kissé lassabban forog. Indokold is!
2. Mennyi egy 50 Hz-es, négypólusú szinkron gép szinkron fordulatszáma?
3. Miért használnak vízerőművi generátorokban jellemzően kiálló pólusú forgórészt?
4. Mi a kefe nélküli gerjesztés legfontosabb előnye?
5. Mit lehet szabályozni a szinkron gép gerjesztőáramával?
6. Mi történik a szinkronmotorral, ha a terhelőnyomaték meghaladja a billenőnyomatékot?

27.1.12. Feladatok

1. feladat (A). Egy 50 Hz-es szinkron generátor póluspárok száma $p = 4$. Mekkora a szinkron fordulatszáma?

2. feladat (A). Sorold be a következő alkalmazásokat a megfelelő rotortípushoz: gőzturbinás erőművi generátor 3000 1/min fordulaton; vízerőművi generátor 125 1/min fordulaton!

3. feladat (B). Egy szinkron generátor fázisonkénti effektív menetszáma $N = 24$, a pólusonkénti fluxus $\Phi = 0{,}04\,\mathrm{Wb}$, a frekvencia 50 Hz. A tekercselési tényezőt hanyagold el. Mekkora lesz a fázisfeszültség?

4. feladat (B). Egy négypólusú szinkron generátor tengelyét 1470 1/min fordulattal forgatják. Mekkora lesz a kimeneti frekvencia? Miért nem megfelelő ez a fordulatszám 50 Hz-es hálózathoz?

5. feladat (C). Egy vízturbina 187,5 1/min fordulattal hajt egy 50 Hz-es szinkron generátort. Hány pólusú a generátor, és milyen forgórész-kialakítás indokolt?

6. feladat (D). Egy tartalék aggregátor négypólusú szinkron generátoránál a kezelőpanel 51,2 Hz frekvenciát és 418 V vonali feszültséget mutat. Milyen sorrendben, és mit állítanál be a helyes 50 Hz és 400 V eléréséhez? Fogalmazd meg a lépéseket ellenőrzési pontokkal!

27.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A szinkron gép forgórésze pontosan a forgó mezővel azonos fordulatszámon forog, szlipje nulla. A kissé lassabb forgás az aszinkron gépre jellemző.
2. $n_s = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500\,1/\text{min}$
3. Mert a vízturbinák fordulatszáma alacsony, ezért sok póluspár kell. A sok pólus kiálló pólusú szerkezettel jól megépíthető.
4. Nincs kopó kefe és csúszógyűrű, ezért kisebb a karbantartási igény, és nincs kefekopásból származó szennyezés.
5. A gerjesztőárammal az indukált feszültség nagyságát, illetve a meddőteljesítmény-felvételt vagy -leadást lehet szabályozni.
6. A szinkronmotor kiesik a szinkronból, megáll, és eközben nagy áramlökés léphet fel, ezért a védelmének le kell kapcsolnia.

1. feladat megoldása

$n_s = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750\,1/\text{min}$

2. feladat megoldása

- Gőzturbinás generátor 3000 1/min: ez kétpólusú ($p = 1$), nagy fordulatszámú gép, ezért **hengeres pólusú** forgórész.
- Vízerőművi generátor 125 1/min: sok pólusú, lassú gép, ezért **kiálló pólusú** forgórész.

3. feladat megoldása

$E = 4{,}44 f N \Phi = 4{,}44 \cdot 50 \cdot 24 \cdot 0{,}04$
$E = 4{,}44 \cdot 50 \cdot 0{,}96 = 4{,}44 \cdot 48 = 213{,}12\,\text{V}$

A fázisfeszültség körülbelül 213 V.

4. feladat megoldása

Négypólusú gépnél $p = 2$. A frekvencia:

$$f = \frac{p\,n}{60} = \frac{2 \cdot 1470}{60} = \frac{2940}{60} = 49\,\text{Hz}$$

Ez nem megfelelő 50 Hz-es hálózathoz, mert a szinkron generátornak pontosan a hálózati frekvenciát kell adnia. A hajtás fordulatszámát 1500 1/min-re kell beállítani.

5. feladat megoldása

$p = \frac{60 f}{n_s} = \frac{60 \cdot 50}{187{,}5} = \frac{3000}{187{,}5} = 16$ póluspár.
A pólusok száma $2p = 32$. Mivel a fordulatszám alacsony és a pólusszám nagy, **kiálló pólusú** forgórész indokolt.

6. feladat megoldása

Először a frekvenciát és a fordulatot kell rendbe tenni. Négypólusú gépnél $p = 2$. A mért 51,2 Hz-hez tartozó fordulatszám:

$$n = \frac{60 \cdot 51{,}2}{2} = 1536\,1/\text{min}$$

Ezért a dízelmotor fordulatszám-szabályozóját úgy kell állítani, hogy a generátor fordulatszáma 1500 1/min legyen. Ellenőrzés: a panelen 50,0 Hz-nek kell megjelennie.

Ezután a feszültséget kell beállítani. A 418 V-os vonali feszültség túl nagy, ezért a feszültségszabályozó (AVR) alapjelét, illetve a gerjesztőáramot úgy kell csökkenteni, hogy a vonali feszültség terheletlen állapotban 400 V legyen. Végül próbaterheléssel ellenőrizni kell, hogy a feszültség és a frekvencia a megengedett sávban működik, és a mért értékeket dokumentálni kell.

27.1.14. Rövid összefoglaló

A szinkron gép állórésze háromfázisú váltakozó áramú tekercselést tartalmaz, forgórésze pedig egyenárammal gerjesztett póluskerék vagy állandó mágnes. A forgórész pontosan a forgó mágneses mezővel azonos fordulatszámon forog, ezért a szlip mindig nulla. A fordulatszámot a póluspárok száma és a hálózati frekvencia határozza meg: $n_s = 60f/p$, ahol p a póluspárok száma. A hengeres pólusú rotor nagy fordulatszámú hőerőművi turbógenerátorokhoz, a kiálló pólusú rotor lassú vízerőművi generátorokhoz való. A gerjesztő egyenáram csúszógyűrűn és kefén át, vagy kefe nélküli gerjesztő generátorral jut a forgórészbe. A generátor indukált feszültsége közelítőleg $E = 4{,}44 f N \Phi$, a frekvenciát a hajtás fordulatszáma, a feszültséget pedig elsősorban a gerjesztőáram szabályozza. A szinkronmotor fordulatszáma terhelés mellett sem csökken, de túlterhelésre kiesik a szinkronból, és indítása segédberendezést igényelhet. A gerjesztés mélyebb üzemi hatásait a Hálózatra kapcsolás, V-görbe, fázisjavítás és aggregátor, az egyenáramú gerjesztőkört az Egyenáramú gép: szerkezet, gerjesztés, indítás alfejezet fejti tovább.

27.2. Hálózatra kapcsolás, V-görbe, fázisjavítás és aggregátor

27.2.1. Miért kell ezt tudnod a munkahelyen?

Képzeld el, hogy egy üzem tartalék áramforrásaként szinkron generátort hajtó dízelaggregátort szerelnek. A hálózati feszültség kimarad, a gép elindul, de a generátort csak akkor szabad a fogyasztói hálózatra kapcsolni, ha a feszültsége, frekvenciája és fázishelyzete megfelelő. Ha egy pillanattal korábban vagy később kapcsolsz, akkora áramlökés keletkezhet, amely tönkreteheti a kapcsolókészüléket, a generátor tekercselését vagy a hajtómotort. Ugyanez a kérdés merül fel akkor is, amikor egy szinkron gépet szándékosan párhuzamosan akarunk kötni a közcélú hálózattal.

A másik oldalról: ha egyszer már hálózaton üzemel a szinkron gép, a gerjesztőáram állításával nem a hatásos teljesítményt, hanem elsősorban a meddőteljesítményt tudod szabályozni. Ezért a szinkron gép nemcsak generátor, hanem „forgó fázisjavító” is lehet: felesleges meddőt ad le, vagy éppen meddőt vesz fel, attól függően, hogyan gerjeszted. Ezt a viselkedést mutatja a V-görbe, amelyet a gyakorlatban is használnak az üzemállapot megítélésére.

Ebben az alfejezetben a szinkronozás feltételeit, a V-görbét, a szinkron kompenzátort és az aggregátorok átkapcsolását tanulod meg. **Biztonsági korlát.** A hálózati feszültségű (230/400 V) munka, az aggregátor bekötése és a szinkronozás csak jogosult személy felügyeletével végezhető; tanulóként önállóan ne próbáld.

27.2.2. Szemléletes kép: szinkronizálni kell

Egy háromfázisú szinkron generátort akkor kapcsolhatunk hálózatra, ha a kapcsoló két oldalán a feszültségek minden pillanatban közel azonosak. Ezt úgy képzelhetjük el, mint két fázort, amelyeknek a kapcsolás pillanatában egybe kell esniük. Ha a két fázor közötti szög nem nulla, a különbségük egy hajtó feszültséget hoz létre, amely a generátor és a hálózat közötti kis impedancián nagy áramot hajt. Ezért a szinkronozás nem más, mint a két feszültség-fázor egyeztetése.

A későbbiekben a V-görbe szemlélteti, hogy a gerjesztőáram változtatásával az állórészáram minimumon megy át. Ezt a görbét diagramon is bemutatjuk.

27.2.3. 1. A szinkronozás feltételei

Definíció. Szinkronozásnak nevezzük azt a műveletet, amellyel egy szinkron generátort (vagy egy másik hálózatot) úgy kapcsolunk párhuzamosan a meglévő hálózattal, hogy a kapcsolási tranziens áram és nyomatéklökés a lehető legkisebb legyen.

Ahhoz, hogy a párhuzamos kapcsolás biztonságos legyen, az alábbi négy feltételnek kell egyidejűleg teljesülnie:

1. **Feszültségnagyság egyezése.** A generátor kapocsfeszültsége közel egyenlő a hálózati feszültséggel: $U_{\text{gen}} \approx U_{\text{hál}}$. Nagy eltérés esetén a feszültségkülönbség önmagában is áramot hajt.
2. **Frekvencia egyezése.** A generátor frekvenciájának meg kell egyeznie a hálózati frekvenciával: $f_{\text{gen}} = f_{\text{hál}}$ (nálunk 50 Hz). Ha a frekvencia kissé eltér, a fázishelyzet folyamatosan csúszik, és a szinkronozási pillanat nehezen található el.
3. **Fázissorrend azonossága.** A generátor L1–L2–L3 sorrendjének meg kell egyeznie a hálózat fázissorrendjével. Ha a fázissorrend fordított, a kapcsolás után a gép forgó mágneses tere a hálózatéval ellentétes irányba forog, ami rövidzárlathoz hasonló áramot és mechanikai rángatást okoz.
4. **Fázisszög nulla (vagy közel nulla) a kapcsolás pillanatában.** Ha a feszültség-fázorok közötti szög δ nem nulla, a különbségi feszültség ΔU a kapcsolás pillanatában áramlökést hoz létre.

Törvény. Ha a két feszültség azonos nagyságú, de közöttük δ fázisszög van, a fázisfeszültségek különbségének nagysága:

$$\Delta U_f = 2\,U_f \sin\left(\frac{\delta}{2}\right),$$

ahol U_f a fázisfeszültség. Ebből a közelítő kiegyenlítő áram:

$$I_{\text{lökés}} \approx \frac{\Delta U_f}{X_s},$$

ahol X_s a generátor és a hálózat közötti eredő reaktancia fázisonként (a szinkron reaktancia és a hálózati impedancia összege). A képlet egyszerűsítő, mert a tranziens jelenségben a tranziens reaktancia is szerepet játszik, de a nagyságrendet jól mutatja.

Példa. Egy 400 V-os, 50 Hz-es hálózatra kell kapcsolni egy szinkron generátort. A generátor és a hálózat feszültsége megegyezik, de a szinkronozás pillanatában $\delta = 30^\circ$ eltérés van. A generátor

és a hálózat közötti eredő reaktancia fázisonként $X_s = 0{,}5\,\Omega$. Mekkora közelítő áramlökés várható?

Megoldás.

Adott: $U_v = 400\,\mathrm{V}$, tehát $U_f = 400/\sqrt{3} \approx 230\,\mathrm{V}$; $\delta = 30^\circ$; $X_s = 0{,}5\,\Omega$.

Keresett: $I_{\text{lökés}}$.

$$\Delta U_f = 2 \cdot 230\,\mathrm{V} \cdot \sin\left(\frac{30^\circ}{2}\right) = 460\,\mathrm{V} \cdot \sin 15^\circ \approx 460\,\mathrm{V} \cdot 0{,}2588 \approx 119\,\mathrm{V}.$$

$$I_{\text{lökés}} \approx \frac{119\,\mathrm{V}}{0{,}5\,\Omega} \approx 238\,\mathrm{A}.$$

Ez a gép névleges áramához képest sokszoros áram lehet; a védelmek leoldanak, és a mechanikai lökés is káros. Ezért a szinkronozás során a $\delta = 0$ közeli állapotot kell eltalálni. ∎

Mérési módszerek. A szinkronozáshoz a gyakorlatban feszültségmérőt, frekvenciamérőt, fázissorrend-mérőt és szinkronoszkópot használnak. A szinkronoszkóp mutatja a fáziseltérést, és a kapcsolást a nulla fázisszög közelében lehet elvégezni. Nagyobb gépeknél automatikus szinkronozó berendezés végzi a kapcsolást. **(ellenőrizendő: aktuális gyártói és hálózati engedélyesi előírások)**

27.2.4. 2. V-görbe és a gerjesztés hatása

A Szinkron generátor és motor, gerjesztés alfejezetben láttuk, hogy a szinkron gép kapocsfeszültségét a gerjesztés és a fordulatszám határozza meg. Hálózatra kapcsolt gépen azonban a kapocsfeszültséget a hálózat rögzíti, ezért a gerjesztőáram változtatása nem a feszültséget, hanem a gép meddőteljesítményét változtatja meg.

Definíció. A **V-görbe** a hálózatra kapcsolt szinkron gép állórészáramát (I_s) ábrázolja a gerjesztőáram (I_f) függvényében, állandó hatásos teljesítmény mellett. A görbe V (vagy U) alakú, mert van egy gerjesztési érték, ahol az állórészáram minimális, és ettől jobbra-balra nő.

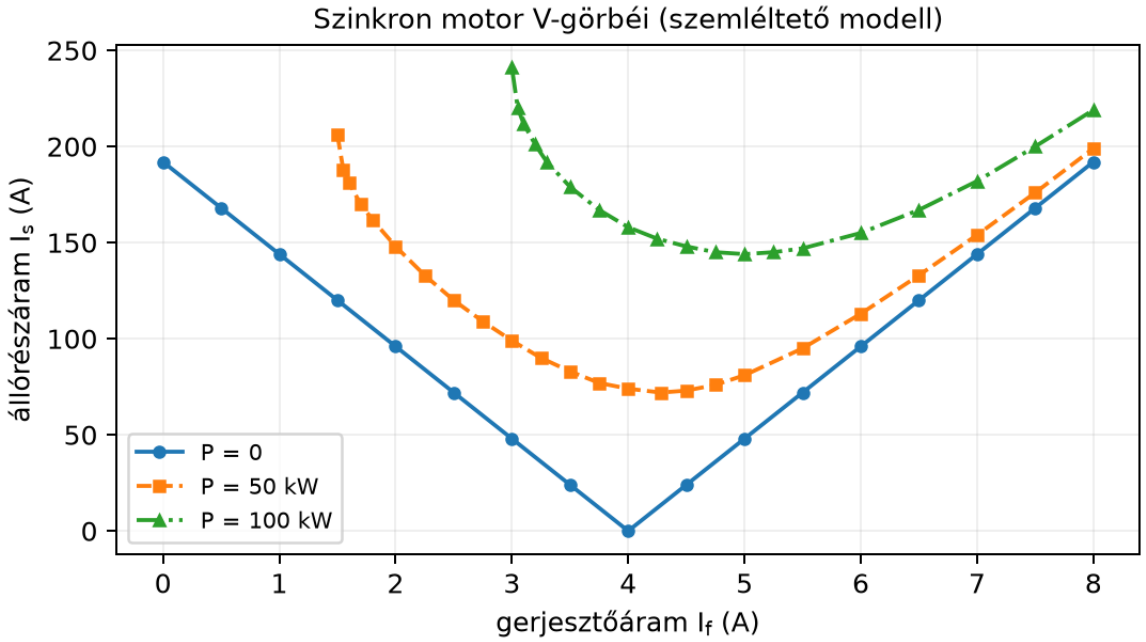
A V-görbét így értelmezzük:

- A minimumpontban a gép **csak hatásos áramot** vesz fel, tehát $\cos\varphi = 1$, a meddőteljesítmény nulla.
- A minimumponttól **balra** a gép **alulgerjesztett**: a gerjesztése kisebb a $\cos\varphi = 1$ állapothoz tartozónál, ezért a gép **induktív jellegű** meddőt vesz fel a hálózatból (mint egy tekercs).
- A minimumponttól **jobbra** a gép **felülgerjesztett**: a gerjesztése nagyobb ennél, ezért **kapacitív jellegű** meddőt ad le a hálózatnak (mint egy kondenzátor).
- Az „$E < U \rightarrow$ induktív, $E > U \rightarrow$ kapacitív” szabály csak **üresjárásban** ($P = 0$) pontos. Terhelt gépnél a $\cos\varphi = 1$ állapotban is $E > U$, mert $E^2 = U^2 + (X_s I)^2$; a határ ilyenkor $E\cos\delta = U$ (δ a terhelési szög).

Magyarázat. A szinkron **motor** fázisonkénti egyszerűsített feszültség-egyensúlya (fogyasztói előjellel, az állórész-ellenállást elhanyagolva): $U = E + jX_s I_s$, ahol E a gerjesztéstől függő belső feszültség, U a hálózati fázisfeszültség, X_s a szinkron reaktancia, I_s az állórészáram. (Generátornál ugyanez $E = U + jX_s I_s$ alakban írható.) Az áram hatásos összetevőjét a tengelyterhelés (motornál) vagy a hajtógép (generátornál) szabja meg; a gerjesztés csak azt dönti el, hogy az áram a feszültséghez képest késik (induktív), fázisban van, vagy siet (kapacitív). Üresjárásban

($P = 0$) az $E = U$ gerjesztésnél nem folyik meddő áram; terhelés alatt a $\cos\varphi = 1$ ponthoz már $E > U$ tartozik, ezért a V-görbe minimuma a terheléssel nagyobb gerjesztés felé tolódik.

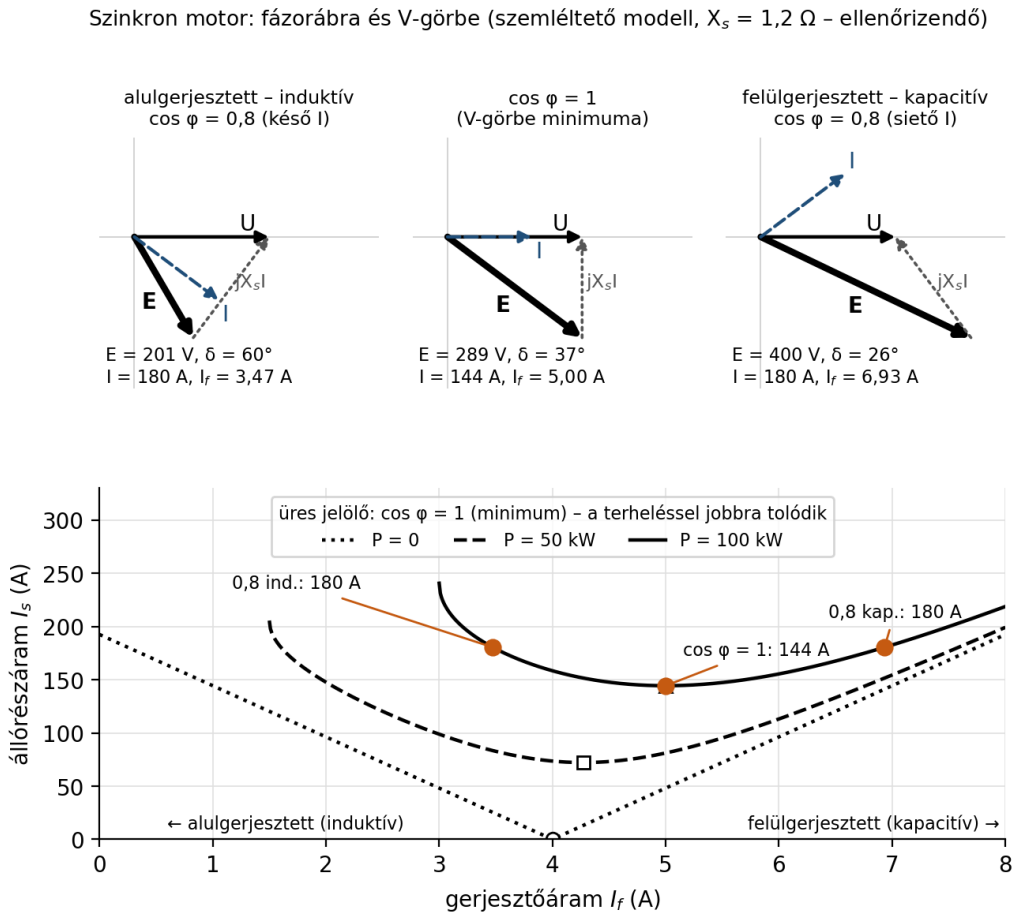
Ábra. A V-görbék szemléltető diagramja:



27.3. ábra. Szinkron motor V-görbéi (szemléltető modell) - Szemléltető, fázorábrából számolt értékek (ellenőrizendő modell): U_f = 231 V, X_s = 1,2 Ω, E = 57,7 V/A · I_f (üresjárásban I_f0 = 4 A-nél E = U_f), I_p = P/(√3 · 400 V); I_q = (U_f − √(E² − (X_s · I_p)²))/X_s, I_s = √(I_p² + I_q²). A görbék bal vége a stabilitási határ (E = X_s · I_p). A minimum (cos φ = 1) a terheléssel nagyobb gerjesztés felé tolódik: P = 0-nál 4 A, 50 kW-nál 4,3 A, 100 kW-nál 5,0 A; ettől balra induktív, jobbra kapacitív jellegű a gép.

Az ábrán jól látszik, hogy nagyobb hatásos terhelésnél a V-görbe felfelé tolódik, mert a hatásos áramösszetevő nagyobb, és a minimuma (a $\cos\varphi = 1$ pont) jobbra, nagyobb gerjesztés felé kerül. A görbék bal vége a stabilitási határ: ennél kisebb gerjesztésnél a terhelési szög elérné a 90°-ot, és a motor kiesne a szinkronizmusból.

A következő ábra a kidolgozott példa három állapotát (alulgerjesztett $\cos\varphi = 0{,}8$, $\cos\varphi = 1$, felülgerjesztett $\cos\varphi = 0{,}8$) fázorábrán és a 100 kW-os V-görbén mutatja. Alulgerjesztésnél $E \approx 201$ V, $I_s \approx 180$ A (késő áram); $\cos\varphi = 1$-nél $E \approx 289$ V $> U_f = 231$ V, $I_s \approx 144$ A; felülgerjesztésnél $E \approx 400$ V, $I_s \approx 180$ A (siető áram). A HTML-kiadásban a gerjesztőáram és a terhelés csúszkával állítható, a fázorok és a munkapont élőben mozognak.



27.4. ábra. Szinkron motor fázorábrája és V-görbéje alul-, normál és felülgerjesztésnél (szemléltető modell, $X_s = 1{,}2\,\Omega$)

Kidolgozott példa – gerjesztés és meddőteljesítmény. Egy hálózatra kapcsolt szinkron motor hatásos teljesítménye $P = 100\,\text{kW}$, kapocsfeszültsége $U = 400\,\text{V}$. A gerjesztést úgy állították be, hogy $\cos\varphi = 1$ legyen. A gép névleges hatásos árama ekkor:

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3}\,U} = \frac{100\,000\,\text{W}}{\sqrt{3}\cdot 400\,\text{V}} \approx 144\,\text{A}.$$

Ez az áram a V-görbe minimumpontjában van.

Most a gerjesztést csökkentjük (alulgerjesztés), aminek hatására a gép $\cos\varphi = 0{,}8$ **induktív** jellegű lesz (a hálózathoz képest). A látszólagos teljesítmény:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{100\,\text{kW}}{0{,}8} = 125\,\text{kVA}.$$

A meddőteljesítmény:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{125^2 - 100^2}\,\text{kvar} = \sqrt{15625 - 10000} = \sqrt{5625} = 75\,\text{kvar}.$$

Az állórészáram:

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3}\,U} = \frac{125\,000\,\text{VA}}{\sqrt{3}\cdot 400\,\text{V}} \approx 180\,\text{A}.$$

A gerjesztőáram csökkentése tehát megnövelte az állórészáramot 144 A-ról 180 A-re, miközben a hatásos teljesítmény változatlan maradt. A gép induktív meddőt vesz fel. Ha a gerjesztést a minimumponton túl növelnénk, a gép kapacitív meddőt adna le, és az állórészáram szintén nőne. ∎

Továbbvitt eredmény. A V-görbe és a gerjesztés–meddőteljesítmény kapcsolat a Fázisjavítás méretezése alfejezetben is előkerül, mert a szinkron gép meddőteljesítmény-szabályozásával is lehet fázisjavítást végezni.

27.2.5. 3. Szinkron kompenzátor és fázisjavítás

Definíció. A **szinkron kompenzátor** olyan szinkron motor, amelyet tengelyterhelés nélkül, erősen felülgerjesztve járatnak, és amelynek feladata meddőteljesítmény termelése (kapacitív fogyasztóként viselkedik) a hálózat számára.

A szinkron kompenzátor működése a V-görbe felülgerjesztett tartományán alapul. Mivel a tengelyterhelés kicsi, a hatásos teljesítményfelvétel csak a veszteségek fedezésére szolgál, a gép így szinte tisztán meddőteljesítményt ad le. Ezzel ugyanazt a hatást érjük el, mint egy kondenzátorteleppel, de a meddőteljesítmény folyamatosan, finoman szabályozható a gerjesztőárammal.

Összefüggés. Ha egy hálózatrész $\cos\varphi_1$-ről $\cos\varphi_2$-re javítandó, a szükséges meddőteljesítmény a Teljesítmények és teljesítménytényező alfejezetből ismert képlettel:

$$Q_C = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)\,.$$

Ezt a meddőteljesítményt egy megfelelő névleges teljesítményű szinkron kompenzátorral is elő lehet állítani.

Példa. Egy üzemi elosztó hatásos terhelése $P = 200\,\text{kW}$, teljesítménytényezője $\cos\varphi_1 = 0{,}7$ induktív. Cél $\cos\varphi_2 = 0{,}9$. Mekkora meddőteljesítményt kell a szinkron kompenzátornak leadnia?

Először a szögek:

$$\varphi_1 = \arccos 0{,}7 \approx 45{,}57^\circ, \quad \tan\varphi_1 \approx 1{,}020,$$

$$\varphi_2 = \arccos 0{,}9 \approx 25{,}84^\circ, \quad \tan\varphi_2 \approx 0{,}484.$$

A szükséges meddő:

$$Q_C = 200\,000\,\text{W}\cdot(1{,}020 - 0{,}484) = 200\,000\cdot 0{,}536 = 107{,}2\,\text{kvar}.$$

Tehát a kompenzátornak kb. 107 kvar kapacitív meddőt kell leadnia folyamatosan, a gerjesztés beállításával. ∎

A gyakorlatban a szinkron kompenzátorokat elsősorban nagyobb hálózatokban, ipari és közcélú állomásokon alkalmazzák, ahol a meddőigény gyorsan változik, és a folyamatos szabályozás előnyös. Háztartási méretű fázisjavításra továbbra is kondenzátortelepeket használnak, mert olcsóbbak és karbantartásmentesebbek.

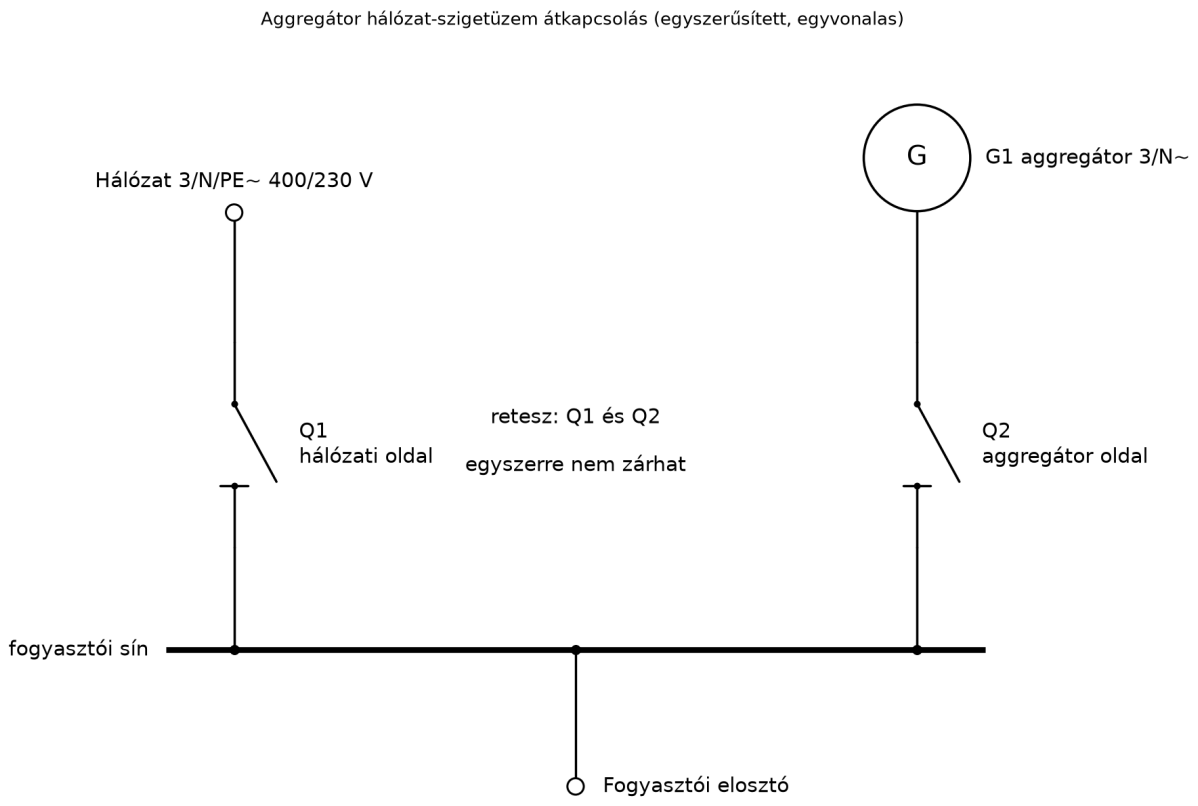
27.2.6. 4. Aggregátor bekötése és átkapcsolás

Definíció. Az **aggregátor** olyan gépcsoport, amelyben egy belső égésű motor (dízel, gáz) hajt egy generátort, rendszerint szinkron generátort. Az aggregátor lehet szigetüzemi tartalék áramforrás, vagy a hálózattal párhuzamosan üzemelő egység.

A legtöbb épület- és ipari alkalmazásban az aggregátor **szigetüzemben** dolgozik: a fogyasztói hálózatot a közcélú hálózattól leválasztva látja el árammal. Ilyenkor nincs szinkronozási feltétel a hálózattal szemben, de a gépnek önállóan kell tartania a feszültséget és a frekvenciát. A hálózatról szigetüzemre történő átkapcsolás kritikus, mert a hálózati oldalt és az aggregátort soha nem szabad egyszerre a fogyasztóra kapcsolni.

Szabály. Az átkapcsolásnak **reteszeltnek** kell lennie: a hálózati kapcsoló (Q1) és az aggregátor kapcsoló (Q2) közül egyszerre csak az egyik lehet zárva, kivéve, ha a berendezés kifejezetten hálózati párhuzamos üzemre készült és a hálózati engedélyes ezt engedélyezte. A visszatáplálás a hálózatba szigetüzem esetén tilos, mert áramütést okozhat a hálózati munkát végző szerelőknek. **(ellenőrizendő: aktuális hálózati engedélyesi előírások)**

Kapcsolási rajz. Az alábbi egyszerűsített sémán látható egy hálózat-szigetüzem átkapcsoló elve:



27.5. ábra. Aggregátor hálózat-szigetüzem átkapcsolás (egyszerűsített, egyvonalas) - Egyvonalas elvi rajz: a fogyasztói sín vagy a Q1 (hálózat), vagy a Q2 (aggregátor) kapcsolón át kap táplálást; a két kapcsoló mechanikusan és villamosan reteszelt, egyszerre csak az egyik lehet zárva (alapállapotban mindkettő nyitva rajzolva). Négypólusú (L1–L3, N) átkapcsoló, a PE folytonos, nem kapcsolt (a N kapcsolása a hálózati rendszertől függ, ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-55 és az elosztói előírás).

A rajz egyszerű egyvonalas elve: balra a hálózati betáp a Q1-en, jobbra az aggregátor a Q2-n át csatlakozik a közös fogyasztói sínre, ahonnan a fogyasztói elosztó indul. A sín tehát mindig csak az egyik kapcsolón át kap táplálást; a két kapcsoló alapállapotban nyitva van rajzolva. A reteszelést mechanikus vagy elektromos úton (általában mindkettővel) valósítják meg.

Gyakorlati sorrend (átkapcsolás hálózatról szigetüzemre):

1. **Hálózati feszültség kimaradását észlelni** (feszültségfigyelő relé vagy kézi).
2. **Q1 hálózati kapcsolót kikapcsolni** és reteszelni.
3. **Ellenőrizni**, hogy a hálózati oldali Q1 nyitott és reteszelt, a hálózati oldal leválasztott (helyzetjelzés, feszültségfigyelő relé).
4. **Indítani az aggregátort**, melegedni hagyni, majd a feszültséget és frekvenciát beállítani.
5. **Q2 aggregátor kapcsolót bekapcsolni** – ekkor az aggregátor táplálja a fogyasztót.
6. **Folyamatosan figyelni** a feszültséget, frekvenciát, terhelést és a motor hőmérsékletét.

Visszaálláskor a sorrend fordított: Q2 ki, Q1 visszakapcsolás, az aggregátor leállítása. A

nullavezetőt is kapcsoló **négy pólusú** átkapcsolót azért használnak, hogy a hálózat és az aggregátor nullapontja ne maradjon összekötve szigetüzemben. Ez a földelési rendszertől is függ, ezért a pontos kialakítást a szabvány és a hálózati engedélyes előírásai szerint kell ellenőrizni.

Szabvány. Az épület- és ipari tartalék áramforrások követelményeit a kisfeszültségű villamos berendezések szabványcsaládja (MSZ HD 60364 sorozat) és a hálózati engedélyes csatlakozási feltételei tartalmazzák. A gépcsoport villamos része az MSZ EN 60204-1 hatálya alá is tartozhat, ha gépi berendezés része. A szinkron gépek vizsgálati és adattáblás követelményei az MSZ EN 60034 sorozatban találhatók. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadások és szakaszok)**

Továbbvitt eredmény. Az aggregátor hálózat-szigetüzem átkapcsolásának alapelveit a Szünetmentes áramforrások, aggregátorok és akkumulátorok alfejezet használja tovább, ahol az UPS és aggregátor együttműködését is tárgyaljuk.

27.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy közepes méretű üzemben a fő elosztóba dízel aggregátort szereltek tartalék forrásként. Az első próbaüzemben a hálózat lekapcsolása után az automatikus átkapcsoló Q1-et kikapcsolta, Q2-t bekapcsolta, de az aggregátor feszültsége és frekvenciája még nem állt be, ezért a fogyasztói oldalon alulfeszültség és frekvenciaingadozás lépett fel, ami néhány vezérlőberendezés hibáját okozta.

A hibát az okozta, hogy a vezérlés nem várt a stabil feszültségre és frekvenciára. A javítás során feszültségfigyelő relét és feszültség-frekvencia ellenőrző fokozatot iktattak az indítási sorrendbe, valamint a Q2 kapcsolót késleltetve csak akkor engedték zárni, ha a generátor feszültsége a névleges ±5%-os sávon belül volt, a frekvencia pedig 49,5–50,5 Hz között. Ezután a próbaüzem már megbízhatóan működött.

A tanulság: az átkapcsolás nem csak kapcsolók kérdése; a generátor üzemkész állapotát is figyelni kell, mielőtt a fogyasztói hálózatra kapcsoljuk.

27.2.8. Tipikus hibák

1. **Szinkronozásnál rossz fázissorrend.** Ha a fázissorrendet nem ellenőrzik, a kapcsolás után a generátor és a hálózat mágneses tere ellentétes irányba forog. A fellépő áramlökés és mechanikai nyomaték tönkreteheti a tengelykapcsolót, a kapcsolókészüléket. A helyes gyakorlat: minden párhuzamos kapcsolás előtt fázissorrend-mérést végezni.
2. **A V-görbe félreértése.** Sokan azt hiszik, hogy a gerjesztőáram növelése a hatásos teljesítményt növeli. Valójában a gerjesztés elsősorban a meddőteljesítményt állítja; a hatásos teljesítményt a hajtógép (turbina, dízelmotor) szabja meg.
3. **Aggregátor átkapcsoló reteszelés nélkül.** Ha a hálózati és az aggregátorkapcsoló egyszerre bekapcsolhat, az aggregátor visszatáplálhat a hálózatba, ami életveszélyes és káros. Mindig reteszelést kell alkalmazni, és a nullavezetőt is megfelelően kell kapcsolni.
4. **A szigetüzemben hálózati szinkronozást várnak el.** Szigetüzemben nincs hálózat, ezért nincs szinkronozás; a gépnek önálló szabályozással kell tartania a feszültséget és frekvenciát. A hálózatra visszakapcsolás előtt viszont már szükség lehet szinkronozásra, ha párhuzamos üzemre készül.

27.2.9. Önellenőrzés

1. Sorold fel a szinkronozás négy feltételét!
2. Miért V alakú a V-görbe? Milyen üzemállapotban van a gép a minimumpontban?
3. Alulgerjesztett szinkron gép induktív vagy kapacitív jellegű-e a hálózat felé?
4. Miért kell négy pólusú átkapcsolót használni az aggregátoros átkapcsolásnál?
5. Egy szinkron kompenzátorral miért lehet fázisjavítást végezni?
6. Mi a veszélye annak, ha az aggregátor visszatáplál a hálózatba?

A válaszokat a Megoldások elején találod.

27.2.10. Feladatok

27.2.10.1. 1. feladat (A)

Ismertesd a szinkronozás feltételeit, és magyarázd el, mi történik, ha a fázisszög $\delta = 0$ helyett $\delta = 20^\circ$ eltéréssel kapcsolunk.

27.2.10.2. 2. feladat (A)

Egy hálózatra kapcsolt szinkron gép hatásos teljesítménye $P = 50\,\mathrm{kW}$, kapocsfeszültsége $U = 400\,\mathrm{V}$. Mekkora az állórészáram, ha $\cos\varphi = 1$? Mekkora a látszólagos és meddőteljesítmény?

27.2.10.3. 3. feladat (B)

Egy szinkron generátor névleges feszültsége $U_v = 400\,\mathrm{V}$, a hálózat fázisfeszültsége is 230 V. A szinkronozáskor a fázisszög eltérés $\delta = 15^\circ$, az eredő reaktancia $X_s = 0{,}4\,\Omega$. Számítsd ki a közelítő áramlökést!

27.2.10.4. 4. feladat (B)

Egy hálózatrész hatásos terhelése $P = 80\,\mathrm{kW}$; a szinkron kompenzátornak $\cos\varphi_1 = 0{,}75$-ről $\cos\varphi_2 = 0{,}95$-re kell javítania a hálózatot. Mekkora meddőteljesítményt kell leadnia?

27.2.10.5. 5. feladat (C)

Egy szinkron motor $P = 150\,\mathrm{kW}$-t vesz fel, $U = 400\,\mathrm{V}$ mellett. A gerjesztést úgy állították, hogy a gép $\cos\varphi = 0{,}85$ **kapacitív** jellegű. Számítsd ki az állórészáramot, a látszólagos és meddőteljesítményt, és értelmezd az eredményt a V-görbén!

27.2.10.6. 6. feladat (D)

Egy tartalék aggregátor átkapcsolása után a fogyasztói oldalon a feszültség 180 V-ra esik, a frekvencia 45 Hz. Mi lehet a hiba, és mit kell ellenőrizni? Fogalmazd meg a lépéseket a biztonsági szabályok betartásával!

27.2.11. Megoldások

27.2.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Feszültségnagyság, frekvencia, fázissorrend, fázisszög nulla (közel nulla).
2. A V-görbe az állórészáramot mutatja a gerjesztőáram függvényében; a minimumpontban $\cos\varphi = 1$, a gép csak hatásos teljesítményt vesz fel.
3. Alulgerjesztve a gép induktív jellegű, meddőt vesz fel.
4. A nullavezetőt is kapcsolni kell, hogy szigetüzemben a hálózat és az aggregátor nullapontja ne maradjon összekötve.
5. Mert felülgerjesztve kapacitív meddőt ad le, mint egy kondenzátor, és a gerjesztéssel szabályozható.
6. A hálózaton dolgozó szerelőket áramütés érheti, és a berendezés is károsodhat.

27.2.11.2. 1. feladat megoldása (A)

A négy feltétel: feszültségnagyság, frekvencia, fázissorrend, fázisszög. Ha $\delta = 20^\circ$, a feszültségkülönbség $\Delta U_f = 2U_f \sin(10^\circ) \approx 2 \cdot 230 \cdot 0{,}1736 \approx 80\,\text{V}$, amely a kis reaktancián nagy áramlökést hoz létre.

27.2.11.3. 2. feladat megoldása (A)

$I = \frac{P}{\sqrt{3}U} = \frac{50\,000}{\sqrt{3}\cdot 400} \approx 72{,}2\,\text{A}$. $S = P = 50\,\text{kVA}$ (mert $\cos\varphi = 1$), $Q = 0$.

27.2.11.4. 3. feladat megoldása (B)

$U_f = 230\,\text{V}$, $\delta = 15^\circ$, $X_s = 0{,}4\,\Omega$. $\Delta U_f = 2 \cdot 230 \cdot \sin(7{,}5^\circ) \approx 460 \cdot 0{,}1305 \approx 60\,\text{V}$. $I_{\text{lökés}} \approx 60/0{,}4 = 150\,\text{A}$.

27.2.11.5. 4. feladat megoldása (B)

$\varphi_1 = \arccos 0{,}75 \approx 41{,}41^\circ$, $\tan\varphi_1 \approx 0{,}882$; $\varphi_2 = \arccos 0{,}95 \approx 18{,}19^\circ$, $\tan\varphi_2 \approx 0{,}329$. $Q_C = 80\,000 \cdot (0{,}882 - 0{,}329) = 80\,000 \cdot 0{,}553 = 44{,}24\,\text{kvar}$.

27.2.11.6. 5. feladat megoldása (C)

$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{150\,000}{0{,}85} \approx 176{,}5\,\text{kVA}$. $Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{176{,}5^2 - 150^2} \approx 93\,\text{kvar}$. Mivel kapacitív jellegű, a gép meddőt ad le, tehát az állórészáramot a V-görbe minimumánál nagyobb, felülgerjesztett pontján találjuk. $I = \frac{S}{\sqrt{3}\cdot 400} \approx 255\,\text{A}$.

27.2.11.7. 6. feladat megoldása (D)

A tünetek alulfeszültségre és alacsony frekvenciára utalnak. A hiba valószínűleg az aggregátor szabályozásában vagy túlterhelésében van. Ellenőrizni kell: a motor fordulatszámát (frekvencia), az automatikus feszültségszabályozót (AVR), a terhelést, a csatlakozó vezetékeket és az átkapcsoló érintkezőit. Mielőtt bármilyen vezetéket, kapcsot vagy az átkapcsolót megbontod: a berendezésnek két forrása van. Válaszd le és reteszeld a hálózati (Q1) és az aggregátor (Q2) kapcsolót is, állítsd az aggregátor vezérlését kézi/tiltott állásba, és akadályozd meg az automatikus indítást (pl. az indítóakkumulátor leválasztásával, a gyártói utasítás szerint). Csak ezután ellenőrizd kétpólusú feszültségvizsgálóval a feszültségmentességet a fogyasztói oldalon (a vizsgálót előtte és utána ismert forráson ellenőrizve), majd alkalmazd az öt biztonsági szabály további lépéseit. A fenti ellenőrzések közül a járó aggregátort igénylőket csak erre jogosult, képzett személy végezheti a gyártói utasítás szerint.

27.2.12. Rövid összefoglaló

A szinkron gép hálózatra kapcsolásának négy feltétele: feszültségnagyság, frekvencia, fázissorrend és fázisszög egyezése. A fázisszögeltérés hatására a $\Delta U_f = 2U_f \sin(\delta/2)$ különbségi feszültség a gép és hálózat közötti reaktancián nagy áramlökést hoz létre. Hálózatra kapcsolt szinkron gépen a gerjesztőáram a meddőteljesítményt szabályozza; a V-görbe az állórészáramot mutatja a gerjesztőáram függvényében, állandó hatásos teljesítmény mellett. Alulgerjesztve a gép induktív, felülgerjesztve kapacitív jellegű. Erre épül a szinkron kompenzátor, amely felülgerjesztett, terhelés nélküli motorral állít elő szabályozható meddőteljesítményt. Az aggregátorok szigetüzemű átkapcsolásakor reteszelt kapcsolókkal kell megakadályozni a hálózattal való egyidejű összeköttetést és a visszatáplálást. **Továbbvitt eredmény.** Az átkapcsolás elvét a Szünetmentes áramforrások, aggregátorok és akkumulátorok alfejezet használja tovább.

27.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

A leírt fizikai összefüggések és a V-görbe értelmezése a klasszikus villamosgépes ismereteken alapul. Az alkalmazott szabványok – MSZ HD 60364 sorozat, MSZ EN 60204-1, MSZ EN 60034 – pontos szakaszait és a hálózati engedélyes aktuális előírásait a kiadás előtt ellenőrizni kell. A konkrét reaktanciaértékek, a szinkronozási módszerek és a szinkron kompenzátor kiválasztási adatai gyártói adatlapokon ellenőrizendők.

28 Egyenáramú és különleges gépek

28.1. Egyenáramú gép: szerkezet, gerjesztés, indítás

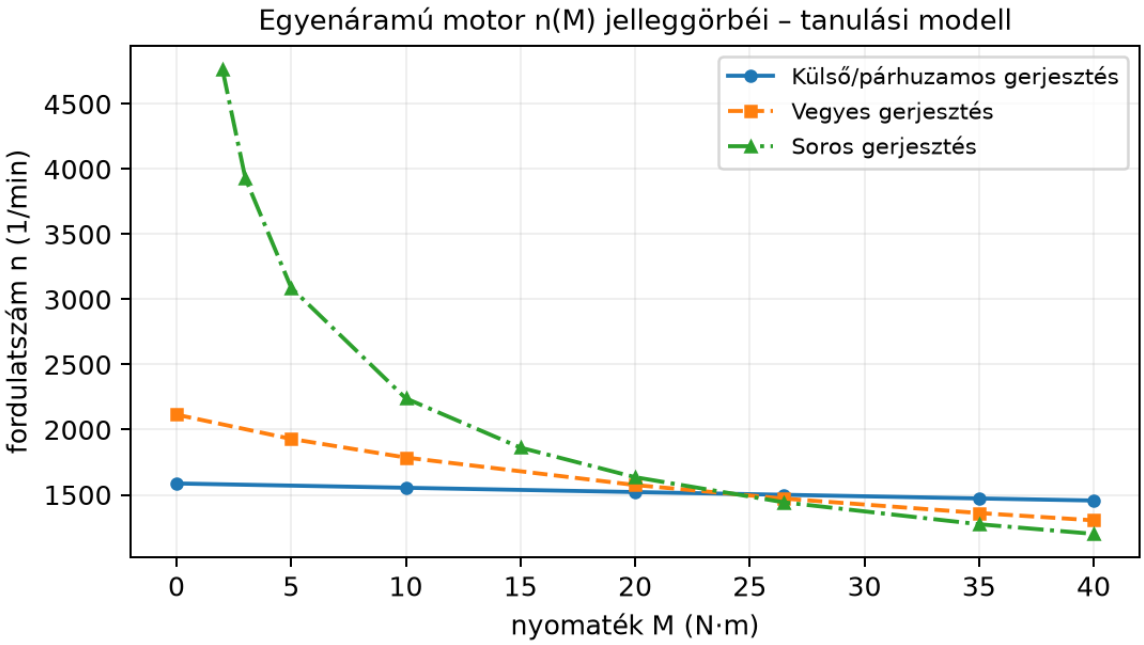
28.1.1. Motiváció

Amikor egy régi villástargonca nem indul, a szerelő először a keféket, a kommutátort és a gerjesztőtekercset ellenőrzi. Amikor egy régi szerszámgép egyenáramú hajtása terhelés hatására lelassul vagy éppen megszalad, a hiba oka gyakran a gerjesztés módjában, az indítóellenállásban vagy a kefeszerkezetben keresendő. Az egyenáramú gép ma már nem a legelterjedtebb hajtás, de az ipari környezetben, járművekben, felvonókban, darukban és régi szerszámgépekben még mindig találkozunk vele. Aki javítani vagy karbantartani akarja, annak pontosan kell értenie, hogyan jön létre a nyomaték, miért forog a gép, és hogyan lehet a fordulatszámot szabályozni.

28.1.2. Szemléletes kép: a gép, amely egyenirányítja saját váltakozó feszültségét

Az egyenáramú gép forgórészében (armatúrájában) váltakozó irányú feszültség indukálódik, miközben a gép egyenárammal működik. A **kommutátor** (áramirányító, régi nevén kollektor) és a **kefék** együttese mechanikus egyenirányítóként dolgozik: a forgórész tekercseiben keletkező váltakozást úgy kapcsolja át, hogy a külső kapcsokon egyenirányú feszültség jelenjen meg generátoros üzemben, illetve a betáplált egyenáramot úgy váltogatja a forgórész tekercseire, hogy a nyomaték mindig azonos irányú legyen motoros üzemben.

A következő diagram a három leggyakoribb gerjesztési mód fordulatszám–nyomaték jellegét mutatja. A tényleges görbék a gép adataitól függenek, ezért az ábra csak a tipikus viselkedést szemlélteti.



28.1. ábra. Egyenáramú motor n(M) jelleggörbéi – tanulási modell - Számított, szemléltető értékek ugyanabból a tanulási modellből, mint a ve101-1 ábra: U = 220 V, I_n = 20 A, R_a = 0,6 Ω, n_n = 1500 1/min, K · Φ_n ≈ 1,324 Vs, M_n ≈ 26,5 N · m; soros: Φ/Φ_n = 1,6x/(1 + 0,6x), x = I_a/I_n, R_s = 0,4 Ω; vegyes: Φ/Φ_n = 0,75 + 0,25x, R_s = 0,2 Ω; n = 60 · (U − I_a · R)/(2π · K · Φ). Nem gyártói adat. A soros motor terhelés nélkül megszaladna, ezért görbéje 2 N · m-nél kezdődik.

Az ábrán látszik: a külső vagy párhuzamos gerjesztésű motor fordulatszáma alig változik a terheléssel („merev” jelleggörbe), a soros motor fordulatszáma erősen csökken növekvő nyomatéknál, a vegyes gerjesztés pedig átmeneti viselkedést mutat.

28.1.3. Szerkezet: állórész, forgórész, kommutátor, kefék

Definíció. Az egyenáramú gép olyan forgó villamos gép, amelynek forgórészében váltakozó irányú feszültség indukálódik, de a kommutátor és a kefék ezt a külső kapcsokon egyenirányúvá alakítják.

A gép fő részei:

- **Állórész:** a házhoz rögzített mágneskör. A főpólusokon helyezkednek el a **gerjesztőtekercsek**, amelyek az állandó mágneses fluxust létrehozzák. Nagyobb gépeknél a főpólusok mellett **segédpólusokat** és **kompenzációs tekercseket** is beépítenek a kommutáció javítására és a szikrázás csökkentésére.
- **Forgórész (armatúra):** hornyolt lemezelt vashenger, amelyben az armatúratekercsek futnak. A tekercsek végei a **kommutátor** szeleteihez csatlakoznak.
- **Kommutátor:** a tengelyre szerelt, egymástól szigetelt rézszeletekből álló gyűrű. A forgórész tekercseit a megfelelő sorrendben kapcsolja a kefék alá.
- **Kefék:** szénből vagy grafitból készült csúszóérintkezők, amelyek a kommutátoron csúszva vezetik az áramot. A **kefetartók** rugóval szorítják őket a kommutátorhoz.

Megjegyzés. A kommutátor és a kefék a gép legkényesebb, kopásnak kitett részei. A kefék cseréje, a kommutátor felületének tisztítása és a rugónyomás ellenőrzése rutin karbantartási feladat.

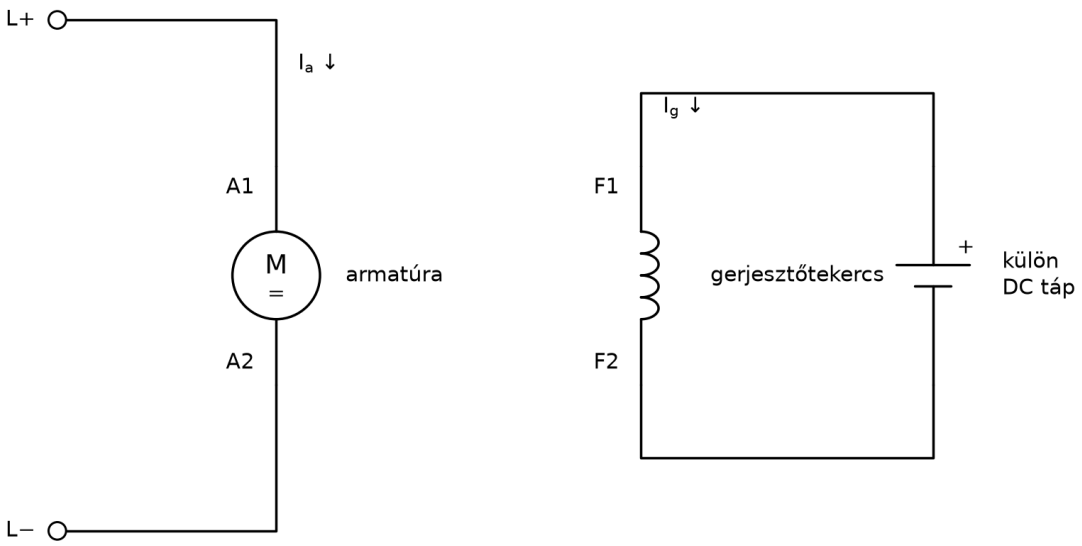
28.1.4. Gerjesztési módok

A gerjesztőtekercs táplálásának módja alapvetően meghatározza a motor fordulatszám–nyomaték viselkedését.

- **Külső gerjesztés (separately excited):** a gerjesztőtekercset külön egyenáramú tápegység táplálja. Az armatúra és a gerjesztő áramkör független.
- **Párhuzamos gerjesztés (shunt):** a gerjesztőtekercs az armatúrával párhuzamosan kapcsolódik a közös kapocsfeszültségre. A gerjesztőáramot a tekercs ellenállása és a kapocsfeszültség határozza meg.
- **Soros gerjesztés (series):** a gerjesztőtekercs az armatúrával sorba van kötve, így ugyanaz az armatúraáram folyik rajta. A fluxus az áram függvénye.
- **Vegyes gerjesztés (compound):** a gépen soros és párhuzamos gerjesztőtekercs is található. A két tekercs fluxusa azonos vagy ellentétes irányú lehet, ami a jelleggörbét a soros és párhuzamos jelleg között állítja be.

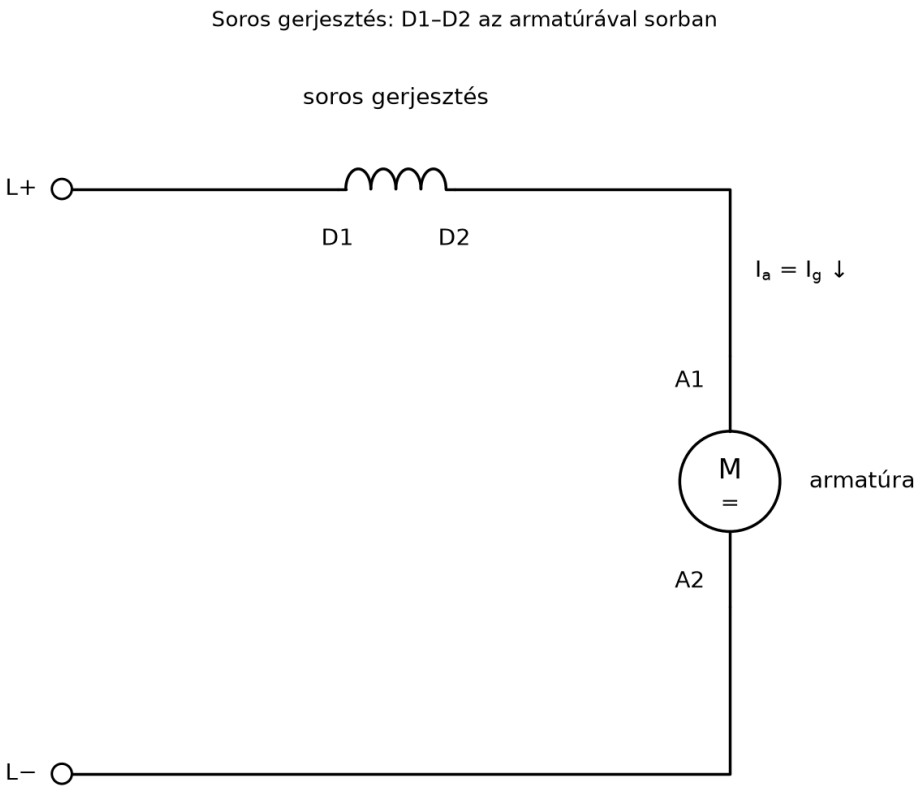
Szabály. A párhuzamos vagy külső gerjesztésű motor fordulatszáma közel állandó, mert a fluxus alig függ a terheléstől. A soros motor nagy indítónyomatékot ad, de üresjáratban a fluxus lecsökkenhet, és a fordulatszám veszélyesen megnőhet („megszaladás”).

A kapocsdobozban a gerjesztési módot a kapocsjelölés alapján ismered fel: armatúra **A1**–**A2**, külső gerjesztés **F1**–**F2**, párhuzamos gerjesztés **E1**–**E2**, soros gerjesztés **D1**–**D2** (segédpólus: B1–B2; a jelölés ellenőrizendő: MSZ EN 60034-8 és a gép kapocstáblája). Az alábbi négy kapcsolási rajz ugyanazt az armatúrát (kör „M” és „=” jellel) mutatja a négy gerjesztési móddal; L+ és L− az egyenáramú tápfeszültség.

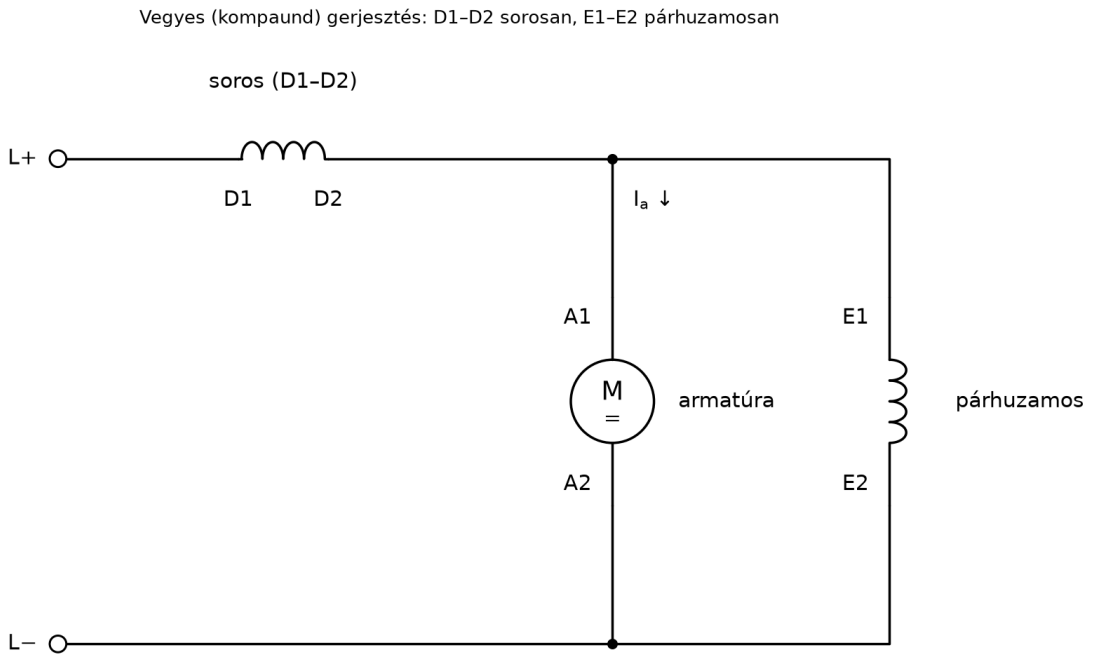


28.2. ábra. Külső gerjesztés: F1–F2 külön egyenáramú forrásról - Az armatúra (A1–A2) és a gerjesztőtekercs (F1–F2) két független áramkör; a fluxus nem függ a terheléstől, a jelleggörbe merev. Kapocsjelölés ellenőrizendő: MSZ EN 60034-8 és a gépi kapocstábla.

28.3. ábra. Párhuzamos (sönt) gerjesztés: E1–E2 az armatúrával párhuzamosan - A gerjesztőtekercs (E1–E2) a közös kapocsfeszültségre kapcsolódik, árama a terheléstől független; merev jelleggörbe. Gerjesztésszakadáskor a fluxus a remanens értékre esik, a motor megszaladhat. Kapocsjelölés ellenőrizendő: MSZ EN 60034-8.



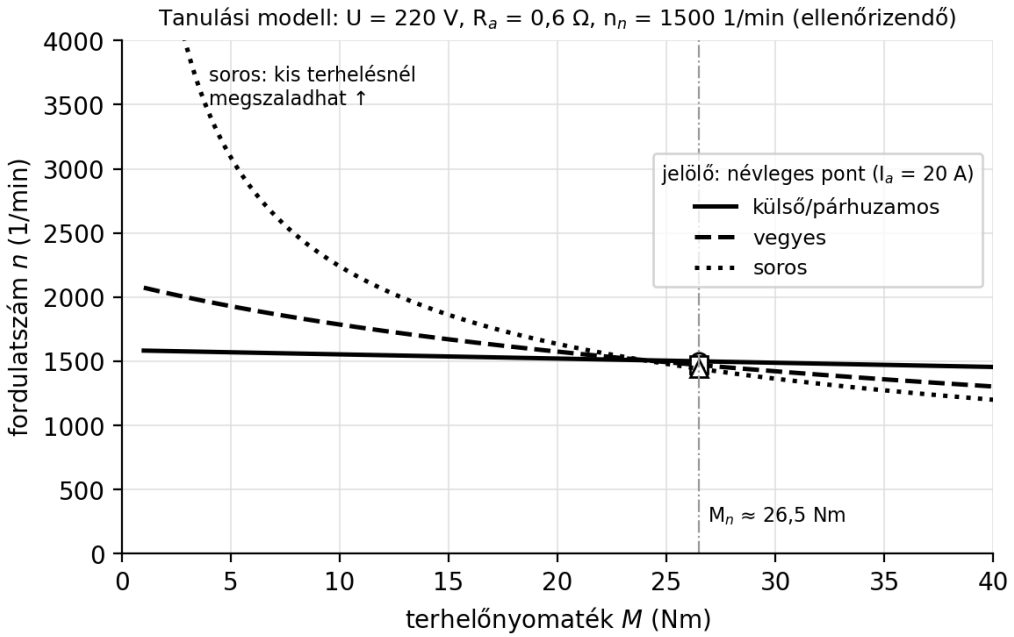
28.4. ábra. Soros gerjesztés: D1–D2 az armatúrával sorban - Ugyanaz az áram folyik a gerjesztőtekercsen (D1–D2) és az armatúrán; a fluxus a terheléssel nő. Lágy jelleggörbe, nagy indítónyomaték; terhelés nélkül megszaladhat, ezért szíjhajtásra nem köthető. Kapocsjelölés ellenőrizendő: MSZ EN 60034-8.



28.5. ábra. Vegyes (kompaund) gerjesztés: D1–D2 sorosan, E1–E2 párhuzamosan - A soros tekercs (D1–D2) a terheléssel növeli, a párhuzamos (E1–E2) állandóan tartja a fluxus nagy részét (rajzon: rövid sönt, az E1–E2 közvetlenül az armatúrával párhuzamos). Átmeneti jelleggörbe; nem szalad meg terhelés nélkül. Kapocsjelölés ellenőrizendő: MSZ EN 60034-8.

A rajzok összevetése: a külső gerjesztésnél a gerjesztőkör teljesen független; a párhuzamosnál a gerjesztőtekercs a kapocsfeszültségen van, árama nem függ a terheléstől (merev jelleggörbe); a sorosnál a teljes armatúraáram átfolyik a gerjesztőtekercsen (lágy jelleggörbe, megszaladhat); a vegyesnél mindkét tekercs megvan (átmeneti jelleg).

A következő ábra a négy mód fordulatszám–terhelés összefüggését egy tanulási modellből számolja az $\omega = (U - I_a R)/(K\Phi)$ és az $M = K\Phi I_a$ összefüggéssel (U = 220 V, I_n = 20 A, R_a = 0,6 Ω, n_n = 1500 1/min; névleges nyomatéknál, kb. 26,5 N · m-nél mindhárom görbe 1440–1500 1/min körül van, a soros motor 2 N · m-nél viszont már kb. 4800 1/min-en járna). A HTML-kiadásban kiválaszthatod a gerjesztési módot, csúszkával állíthatod a terhelést, és párhuzamos gerjesztésnél kipróbálhatod a gerjesztésszakadást (megszaladás).



28.6. ábra. Egyenáramú motor fordulatszáma a terhelőnyomaték függvényében külső/párhuzamos, vegyes és soros gerjesztésnél (tanulási modell)

28.1.5. A motor alapösszefüggései: indukált feszültség és nyomaték

Törvény. A forgó egyenáramú gép armatúrájában indukált feszültség:

$$E = K\,\Phi\,\omega,$$

ahol E az indukált feszültség (V), Φ a pólusonkénti fluxus (Wb), ω a szögsebesség (rad/s), K pedig a gép konstrukciójától függő állandó.

Törvény. Az elektromágneses nyomaték:

$$M = K\,\Phi\,I_a,$$

ahol I_a az armatúraáram (A), M a nyomaték (N · m).

A két képletben ugyanaz a K állandó szerepel, ha konzisztens SI-egységeket használunk. Ez a következőképpen látható be: a mechanikai teljesítmény $P_{\text{mech}} = M\omega$, a villamos teljesítmény, amely az indukált feszültségen átadódik, $P_E = E\,I_a$. Ideális esetben a kettő egyenlő, ezért

$$M\omega = E\,I_a = K\,\Phi\,\omega\,I_a.$$

Mindkét oldalt ω-val osztva:

$$M = K\,\Phi\,I_a.$$

Összefüggés. Motoros üzemben a kapocsfeszültség a következő egyensúlyi egyenletet elégíti ki:

$$U = E + I_a\,R_a,$$

ahol R_a az armatúrakör teljes ellenállása (armatúratekercs, kefék, esetleg soros gerjesztőtekercs ellenállása). Innen az indukált feszültség:

$$E = U - I_a\,R_a,$$

és a fordulatszám:

$$\omega = \frac{U - I_a\,R_a}{K\,\Phi}.$$

Ez a képlet a fő kiindulópontja a fordulatszám-szabályozásnak.

28.1.6. Kidolgozott példák

1. példa – Párhuzamos gerjesztésű motor névleges adatai

Adott: egy egyenáramú párhuzamos gerjesztésű motor kapocsfeszültsége $U = 220\,\mathrm{V}$, armatúraellenállása $R_a = 0{,}5\,\Omega$, armatúraárama $I_a = 20\,\mathrm{A}$. A gépállandó és a fluxus szorzata $K\,\Phi = 1{,}34\,\mathrm{Vs/rad}$ (a névleges pontban).

Keresett: az indukált feszültség, a fordulatszám és a nyomaték.

Számítás. Először az indukált feszültség:

$$E = U - I_a\,R_a = 220 - 20 \cdot 0{,}5 = 210\,\mathrm{V}.$$

A szögsebesség:

$$\omega = \frac{E}{K\,\Phi} = \frac{210}{1{,}34} \approx 156{,}7\,\mathrm{rad/s}.$$

A percenkénti fordulatszám:

$$n = \frac{\omega}{2\pi} \cdot 60 = \frac{156{,}7}{2\pi} \cdot 60 \approx 1497\,\mathrm{1/min}.$$

A nyomaték:

$$M = K\,\Phi\,I_a = 1{,}34 \cdot 20 = 26{,}8\,\mathrm{N \cdot m}.$$

Ellenőrzés. A mechanikai teljesítmény $P_{\mathrm{mech}} = M\,\omega = 26{,}8 \cdot 156{,}7 \approx 4200\,\mathrm{W}$, az indukált teljesítmény $P_E = E\,I_a = 210 \cdot 20 = 4200\,\mathrm{W}$.

2. példa – Soros gerjesztésű motor indítása

Adott: soros gerjesztésű motor, amelynek armatúra- és gerjesztőköri ellenállása együtt $R_a + R_s = 0{,}8\,\Omega$. A hálózati kapocsfeszültség $U = 220\,\mathrm{V}$.

Keresett: a közvetlen indításkor fellépő áramcsúcs, ha az indukált feszültség kezdetben nulla, valamint az az indítóellenállás, amely az indítási áramot 30 A-re korlátozza.

Számítás. Indításkor $\omega = 0$, ezért $E = 0$. Az áram:

$$I = \frac{U}{R_a + R_s} = \frac{220}{0{,}8} = 275\,\text{A}.$$

Ez igen nagy érték, amely a keféket, a kommutátort és a tápláló hálózatot károsíthatja. A kívánt 30 A-es indítási áramhoz szükséges teljes ellenállás:

$$R_{\text{össz}} = \frac{U}{I_{\text{ind}}} = \frac{220}{30} \approx 7{,}33\,\Omega.$$

A külső indítóellenállás:

$$R_{\text{ind}} = R_{\text{össz}} - (R_a + R_s) = 7{,}33 - 0{,}8 = 6{,}53\,\Omega.$$

Ellenőrzés. Ha a motor felgyorsul, az indukált feszültség nő, az áram csökken. Az indítóellenállást fokozatosan ki kell iktatni, hogy a gép elérje a névleges fordulatszámát.

28.1.7. Indítás és fordulatszám-szabályozás

Indítás. Az egyenáramú motor indításakor a fordulatszám még nulla, így az indukált feszültség is nulla. Az indítási áramot csak az armatúrakör kis ellenállása korlátozza, ami veszélyesen nagy lehet. A kíméletes indítás módszerei:

- **Ellenállásos indítás:** az armatúrakörbe kapcsolt, fokozatosan kiiktatható indítóellenállás korlátozza az áramot. Ahogy a gép gyorsul, az indukált feszültség nő, az áram csökken, így az ellenállást ki lehet iktatni.
- **Szabályozott táplálás:** feszültségcsökkentéssel (pl. tirisztoros vagy tranzisztoros hajtásból) az indítási áram a kívánt értéken tartható. Ez a modern megoldás, amely egyúttal folyamatos fordulatszám-szabályozást is lehetővé tesz.

Fordulatszám-szabályozás. A $\omega = \frac{U - I_a R_a}{K\Phi}$ képletből három alapvető szabályozási mód következik:

1. **Armatúrafeszültség változtatása:** csökkentett kapocsfeszültséggel a fordulatszám csökken, növelt feszültséggel nő (a névleges értékig). A módszer a fordulatszámot 0-tól a névlegesig folyamatosan állítja; mivel a fluxus névleges, a motor a teljes tartományban a névleges nyomatékot adhatja (állandó nyomatékú tartomány; a fluxusgyengítés ezzel szemben az állandó teljesítményű tartomány).
2. **Fluxusgyengítés:** a gerjesztőáram csökkentésével a Φ fluxus csökken, így a fordulatszám a névleges érték fölé is növelhető. A nyomaték azonban csökken, mert $M = K\Phi I_a$.
3. **Armatúraköri ellenállás növelése:** egyszerű, de veszteséges és a fordulatszám terhelésfüggő, ezért a gyakorlatban inkább csak indításra vagy kis teljesítménynél használják.

Szabvány. A forgó villamos gépek általános követelményeit az MSZ EN 60034 sorozat tartalmazza (ellenőrizendő: aktuális kiadás és az egyenáramú gépekre vonatkozó rész). A gépek adattábláján a gyártó megadja a névleges feszültséget, áramot, fordulatszámot és gerjesztési módot; a szerelőnek mindig ezeket az adatokat kell alapul vennie.

28.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Régi villamos mozdonyokban és villamosokban hosszú ideig soros gerjesztésű egyenáramú motorokat használtak. A soros motor előnye, hogy induláskor az áram nagy, ezért a fluxus is nagy, így a nyomaték már kis fordulatszámon is igen jelentős – éppen ez kell a szerelvény megindításához. A gyakorlatban azonban a soros motor üresjáratban való járatása tilos, mert a fluxus lecsökken, és a gép megugorhatja a megengedett fordulatszámot, ami a kommutátor és a tekercsek mechanikai sérüléséhez vezethet.

Biztonsági korlát. A beállítás és a mérés előtt a gépet a feszültségmentesítés öt szabálya szerint kell előkészíteni: leválasztás (az armatúra- és a gerjesztőkörben is), visszakapcsolás elleni biztosítás, a feszültségmentesség megállapítása, földelés és rövidre zárás ott, ahol előírt, a közeli feszültség alatti részek lefedése; meg kell várni a forgó részek teljes leállását. A gerjesztőtekercs induktív energiája miatt a DC-kör bontásakor ívveszély van. A munkát csak jogosult, képzett személy végezheti. A forgó gép tengelye, a kommutátor és a kefék sérülést okozhatnak.

28.1.9. Tipikus hibák

1. **Kefekopás figyelmen kívül hagyása.** A kopott kefék rosszul fekszenek fel, szikráznak, a kommutátor felülete beég. A helyes gyakorlat a kefék időszakos ellenőrzése, cseréje és a rugónyomás ellenőrzése a gyártó előírása szerint.
2. **Soros motor üresjáratban indítása.** A soros gerjesztésű motornál az üresjárati fluxus kicsi, ezért a fordulatszám veszélyesen megnőhet. A soros motort csak a terheléssel mereven összekapcsolva (tengelykapcsolóval, fogaskerék-hajtással) szabad üzemeltetni; szíjhajtást nem alkalmazunk, mert ha a szíj leesik vagy elszakad, a motor üresjárásban megszalad.
3. **Indítóellenállás elhagyása.** A közvetlen indítás nagy áramlökést okoz, ami a kommutátort, a keféket és a tápláló hálózatot is károsíthatja. Mindig a gyártó által előírt indítási módot kell alkalmazni.
4. **A gerjesztőáram megszakadása párhuzamos motornál.** Ha a párhuzamos gerjesztőtekercs megszakad, a fluxus a maradék fluxusra csökken, és a motor fordulatszáma rendkívül megnő. A hiba elkerülésére a gerjesztőkört ellenőrizni kell, és adott esetben megszakadás elleni védelmet kell alkalmazni.

28.1.10. Önellenőrzés

1. Mi a kommutátor szerepe az egyenáramú motorban?
2. Milyen gerjesztési módok léteznek, és melyiknek a fordulatszáma a leginkább terhelésfüggő?
3. Miért veszélyes a soros gerjesztésű motor üresjáratban való járatása?
4. Írd fel az egyenáramú motor kapocsfeszültség-egyenletét motoros üzemben.
5. Hogyan lehet csökkenteni az indítási áramot?
6. Melyik szabályozási mód alkalmas a fordulatszám névleges érték fölé növelésére?

28.1.11. Feladatok

1. feladat (A)
Definiáld röviden, mi a kommutátor feladata, és miért van rá szükség az egyenáramú gépben?

2. feladat (A)
Egy párhuzamos gerjesztésű motor kapocsfeszültsége $U = 110\,\mathrm{V}$, armatúraellenállása $R_a = 0{,}4\,\Omega$,

armatúraárama $I_a = 10\,\text{A}$. A gépállandó és a fluxus szorzata $K\Phi = 0{,}8\,\text{Vs/rad}$. Számítsd ki az indukált feszültséget, a szögsebességet, a percenkénti fordulatszámot és a nyomatékot.

3. feladat (B)
Soros gerjesztésű motor armatúra- és gerjesztőköri ellenállása együtt $R_a + R_s = 0{,}6\,\Omega$. A hálózati feszültség 220 V. Mekkora indítóellenállást kell az áramkörbe iktatni, hogy az indítási áram ne haladja meg a 40 A-t? Mekkora lenne az áram indítóellenállás nélkül?

4. feladat (B)
A 2. feladat motorjánál a terhelés nő, ezért az armatúraáram 15 A-re emelkedik. A fluxus állandó marad. Számítsd ki az új fordulatszámot és nyomatékot. Hány százalékkal csökkent a fordulatszám a névleges értékhez képest?

5. feladat (C)
Magyarázd meg a képlet alapján, mi történik a párhuzamos gerjesztésű motor fordulatszámával, ha a terhelés (azaz az armatúraáram) hirtelen megnő, miközben a kapocsfeszültség és a fluxus állandó. Miért nem szabad a párhuzamos gerjesztőkört üzem közben megszakítani?

6. feladat (D)
Egy régi egyenáramú motor erős szikrázást mutat a keféknél, és a fordulatszám ingadozik. Milyen ellenőrzéseket végeznél el feszültségmentes állapotban? Sorold fel a lépéseket, és indokold, milyen hibára utalhatnak a jelek.

28.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. A kommutátor a forgórész tekercseiben indukálódó váltakozó irányú feszültséget egyenirányúvá alakítja a keféknél, illetve motoros üzemben az egyenáramot a megfelelő tekercsoldalakra váltogatja, hogy a nyomaték egyirányú legyen.
2. Külső, párhuzamos, soros és vegyes gerjesztés. A soros gerjesztésű motor fordulatszáma a leginkább terhelésfüggő (nagy nyomatéknál erősen leesik).
3. Mert a fluxus lecsökken, és a fordulatszám a $\omega = (U - I_a R_a)/(K\Phi)$ képlet szerint veszélyesen megnő, ami mechanikai sérülést okozhat.
4. $U = E + I_a R_a$.
5. Indítóellenállással a armatúrakörben, vagy szabályozott táplálással (feszültségcsökkentéssel).
6. Fluxusgyengítéssel (a gerjesztőáram csökkentésével) lehet a fordulatszámot a névleges fölé növelni.

1. feladat megoldása (A)
A kommutátor a forgórész tekercseinek végeit a kefék alá kapcsolja. Forgás közben mindig azokat a tekercsoldalakat kapcsolja be, amelyekben az indukált feszültség éppen a kívánt irányú, így a keféken egyenirányú feszültség jelenik meg (generátoros üzem), illetve az egyenáramot úgy váltogatja, hogy a forgatónyomaték iránya állandó maradjon (motoros üzem).

2. feladat megoldása (A)
Indukált feszültség:

$$E = U - I_a R_a = 110 - 10 \cdot 0{,}4 = 106\,\text{V}.$$

Szögsebesség:

$$\omega = \frac{E}{K\Phi} = \frac{106}{0{,}8} = 132{,}5\,\text{rad/s}.$$

Fordulatszám:

$$n = \frac{\omega}{2\pi} \cdot 60 = \frac{132{,}5}{2\pi} \cdot 60 \approx 1265\,1/\text{min}.$$

Nyomaték:

$$M = K\Phi I_a = 0{,}8 \cdot 10 = 8\,\text{N} \cdot \text{m}.$$

Ellenőrzés: $P_{\text{mech}} = 8 \cdot 132{,}5 = 1060\,\text{W}$, $P_E = 106 \cdot 10 = 1060\,\text{W}$.

3. feladat megoldása (B)
Indítási áram indítóellenállás nélkül:

$$I = \frac{U}{R_a + R_s} = \frac{220}{0{,}6} \approx 366{,}7\,\text{A}.$$

A 40 A-es korláthoz szükséges teljes ellenállás:

$$R_{\text{össz}} = \frac{220}{40} = 5{,}5\,\Omega.$$

Indítóellenállás:

$$R_{\text{ind}} = 5{,}5 - 0{,}6 = 4{,}9\,\Omega.$$

4. feladat megoldása (B)
Az indukált feszültség az új áramnál:

$$E' = U - I'_a R_a = 110 - 15 \cdot 0{,}4 = 104\,\text{V}.$$

Az új szögsebesség:

$$\omega' = \frac{E'}{K\Phi} = \frac{104}{0{,}8} = 130\,\text{rad/s}.$$

Az új fordulatszám:

$$n' = \frac{130}{2\pi} \cdot 60 \approx 1241\,1/\text{min}.$$

A fordulatszám-csökkenés a korábbi 1265 1/min értékhez képest:

$$\Delta n = 1265 - 1241 = 24\,1/\text{min},$$

ami százalékban:

$$\frac{24}{1265} \cdot 100 \approx 1{,}9\%.$$

Az új nyomaték:

$$M' = K\Phi I_a' = 0{,}8 \cdot 15 = 12\,\mathrm{N \cdot m}.$$

A terhelés növekedése tehát kis fordulatszámesést okozott, miközben a nyomaték nőtt.

5. feladat megoldása (C)
A képlet szerint:

$$\omega = \frac{U - I_a R_a}{K\Phi}.$$

Ha a terhelés nő, I_a nő, így az $I_a R_a$ feszültségesés nő, ezért E és vele ω csökken. Párhuzamos gerjesztésnél a fluxus közel állandó, ezért a fordulatszám-csökkenés mérsékelt. Ha a gerjesztőáramkör megszakad, Φ a maradék fluxusra esik le, és a képlet nevezője nagyon kicsi lesz: a fordulatszám rendkívül megnőhet, ami a gép tönkremeneteléhez vezet. Ezért a gerjesztőkört nem szabad üzem közben megszakítani, és néha megszakadás elleni védelmet alkalmaznak.

6. feladat megoldása (D)
Feszültségmentes állapotban a következő lépéseket végezném el:

1. **Lekapcsolás és biztosítás:** a táplálás lekapcsolása, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése kétpólusú feszültségvizsgálóval (MSZ EN 61243-3) minden vezetőpáron (L–L, L–PE), a vizsgáló működését előtte és utána ismert forráson ellenőrizve.
2. **Kefék ellenőrzése:** megvizsgálnám a kefék hosszát és állapotát; a kopott vagy törött kefék cserére szorulnak. Ellenőrizném a kefetartók rugónyomását.
3. **Kommutátor felületének vizsgálata:** egyenletes, fényes felületet várok; beégés, barázdák, szigetelőanyag kiemelkedése vagy olajszennyezés szikrázást okozhat. A felületet finom csiszolóvászonnal lehet tisztítani, de csak a gyártó előírása szerint.
4. **Kommutátor és kefék illeszkedése:** a keféknek teljes felületükön fel kell feküdniük; ha nem illeszkednek, be kell járatni.
5. **Armatúratekercs folytonossága és szigetelése:** feszültségmentesítés (öt szabály) után a folytonosságot ohmmérővel, a tekercsek szigetelési ellenállását a testhez képest szigetelésmérővel (pl. 500 V DC, MSZ EN 61557-2) mérném.
6. **Csapágyak és tengelyjáték:** a csapágykopás a forgórész ütését, ezzel a kommutátor egyenetlen járását okozhatja.

A szikrázás és a fordulatszám-ingadozás leggyakoribb okai: kopott kefék, rossz kefenyomás, szennyezett vagy barázdált kommutátor, valamint tekercs- vagy kommutátorszelet-hiba. A feltárt hibát a gyártói utasítás szerint kell javítani, és a munkát dokumentálni kell.

28.1.13. Rövid összefoglaló

Az egyenáramú gép szerkezetének alapja az állórészen elhelyezett gerjesztőtekercs, a forgórész armatúrája és a kommutátor-kefe rendszer. A kommutátor mechanikus egyenirányítóként teszi lehetővé, hogy a forgórészben indukált váltakozó feszültségből egyenáramú kimenet legyen, illetve motoros üzemben az egyenáramot a nyomaték fenntartása érdekében váltogassa. A gerjesztési módok – külső, párhuzamos, soros, vegyes – alapvetően meghatározzák a fordulatszám–nyomaték jelleget. A motor alapösszefüggései: $E = K\Phi\omega$ (indukált feszültség) és $M = K\Phi I_a$

(nyomaték). Motoros üzemben $U = E + I_a R_a$, így a fordulatszám $\omega = \frac{U - I_a R_a}{K\Phi}$. Indításkor az indukált feszültség nulla, ezért az indítási áram korlátozására indítóellenállást vagy szabályozott táplálást kell alkalmazni. A fordulatszám szabályozható az armatúrafeszültség, a fluxus vagy az armatúraköri ellenállás változtatásával. A soros motor nagy indítónyomatékú, de üresjáratban megszaladhat; a párhuzamos motor fordulatszáma merev, de a gerjesztőáram megszakadása veszélyes. **Továbbvitt eredmény.** A kommutátor, a kefék, a gerjesztési módok és az $M = K\Phi I_a$ összefüggés alapvető a(z) Univerzális, léptető, szervó és BLDC motorok alfejezetben, ahol a kefe nélküli és kommutátoros kivitelek közötti különbségeket tárgyaljuk.

28.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet fizikai és elektrotechnikai alapjai stabil ismeretek. A forgó villamos gépekre vonatkozó szabványoknál az MSZ EN 60034 sorozatot említettem, de annak pontos, az egyenáramú gépekre vonatkozó részeit, aktuális kiadását és a határértékeket a felhasználás előtt ellenőrizni kell. A példákban szereplő $K\Phi$ értékek és ellenállások szemléltető jellegűek, nem konkrét gyártói adatok; a valós gépek adatait mindig az adattábláról és a gyártói dokumentációból kell venni.

28.2. Univerzális, léptető, szervó és BLDC motorok

Az univerzális motor a barkácsgépekben, a BLDC/EC motor a modern szellőztetésben és az elektromos járművekben, a léptetőmotor a CNC-gépekben és a 3D-nyomtatókban, a szervomotor pedig az ipari robotokban dolgozik. Villanyszerelőként nem elég az aszinkron motort ismerni: ha egy kéziszerszámot javítasz, egy szellőzőrendszert korszerűsítesz, vagy egy gyártógép vezérlését kell bekötnöd, ezeknek a különleges motoroknak a működését és vezérlési igényét pontosan értened kell. A rossz kiválasztás nemcsak műszaki hibát, hanem gyors elhasználódást, zajt, lépéskihagyást vagy akár a gép önmagát szétverő rezonanciáját is okozhatja.

28.2.1. Univerzális motor (kefés soros motor)

Motiváció. Egy kézi fúrógépnek nagy legyen az indítónyomatéka, terhelés hatására is forduljon, és lehetőleg könnyű legyen. Ugyanez a feladat áll az ipari porszívók, sarokcsiszolók, fűnyírók előtt.

Definíció. Az univerzális motor olyan kommutátoros, soros gerjesztésű motor, amely egyenfeszültségről és egyfázisú váltakozó feszültségről egyaránt üzemel. A név onnan ered, hogy a hálózati feszültség típusára nézve „univerzális”: 230 V DC és 230 V/50 Hz AC is működteti.

Működés. Az állórész gerjesztőtekercse és a forgórész (armatúra) sorba van kötve. A nyomatékot a gerjesztő mágneses fluxus és a forgórészáram szorzata adja:

$$M = k \cdot \Phi \cdot I_a$$

ahol k a gép konstrukciós állandója, Φ a gerjesztőfluxus, I_a pedig a forgórészáram. Soros kapcsolás miatt mindkettőt ugyanaz az áram hozza létre, ezért kis közelítéssel:

$$\Phi \sim I_a \quad \Rightarrow \quad M \sim I_a^2.$$

Ez a kulcsa a jóindulatú nyomatéknak: indulásnál, amikor a forgórész még lassú, nagy áram folyik, nagy fluxus jön létre, ezért nagy a nyomaték. Ha a gép felgyorsul, az armatúrában indukált ellenfeszültség megnő, az áram lecsökken, a nyomaték visszaesik.

Miért működik váltakozó áramon? Ha a hálózat polaritása minden félperiódusban megfordul, a gerjesztőfluxus és a forgórészáram iránya is egyszerre fordul meg. A két előjelváltás egymást kompenzálja, így a nyomaték átlagos iránya változatlan marad. A pillanatnyi nyomaték ugyan 100 Hz-es lüktetést mutat, de a gép tehetetlensége ezt kisimítja. (A vasveszteség miatt a gép hatásfoka váltakozó áramon valamivel rosszabb, de a működés stabil.)

Jelleggörbe. Az univerzális motor fordulatszám-nyomaték jelleggörbéje erősen eső: üresjárásban hajlamos a megszaladásra, mert kis terhelésnél az áram, és vele a soros gerjesztés fluxusa is lecsökken, így a fordulatszám erősen megnő. Ezt minden gyakorlati útmutatóban figyelembe kell venni: a motort terhelés nélkül, hosszan ne járassuk.

Példa. Egy söprűgép univerzális motorja 230 V, 50 Hz hálózatról 2,5 A-t vesz fel, a teljesítménytényezője pedig $\cos\varphi = 0{,}95$. A hálózatból felvett hatásos teljesítmény:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 230 \cdot 2{,}5 \cdot 0{,}95 = 546{,}25\,\mathrm{W} \approx 546\,\mathrm{W}.$$

Ha a gép hatásfoka 70 %, a kimenő mechanikai teljesítmény $P_{mech} = 0{,}7 \cdot 546 \approx 382\,\mathrm{W}$.

Alkalmazás. Háztartási kisgépek (porszívó, turmixgép, hajszárító motorja), kéziszerszámok (fúró, csiszoló, sarokköszörű), kerti gépek. Az univerzális motor egyszerű, nagy fordulatszámú, feszültségszabályozással (soros félvezetős fázishasítás) széles tartományban fordulatszám-szabályozható.

28.2.2. Kefementes egyenáramú motorok (BLDC/EC)

Motiváció. A hagyományos kommutátoros egyenáramú motor karbantartást igényel: a szénkefék kopnak, a kommutátor koszolódik, és a kefe szikrázása miatt zajos is. A modern épületgépészeti ventilátorok viszont hosszú, karbantartásmentes élettartamot várnak el. Erre a megoldás a kefementes, elektronikusan kommutált motor.

Definíció. A kefementes egyenáramú motor (BrushLess DC, BLDC) állandó mágnesű forgórésszel és háromfázisú állórésztekercseléssel rendelkező szinkronmotor, ahol a mechanikus kommutátort teljesítményelektronikai inverter helyettesíti. A köznyelvben az EC-motor (Electronically Commutated) is elterjedt.

Működés. A forgórész állandó mágneseket hordoz, így nincs szüksége áramra, kefére vagy csúszógyűrűre. Az állórész három tekercspárját az inverter úgy kapcsolja, hogy az éppen a forgórész pólusaihoz képest megfelelő pozícióban elforgatott mágneses mezőt hozzon létre. Ahhoz, hogy az inverter „tudja”, éppen hol van a mágnes, helyzetérzékelés kell:

- **Három Hall-szenzor** a forgórész mágnesmezejét érzékeli (ipari motorokban, ventilátorokban gyakori).
- **Szenzor nélküli (sensorless)** vezérlés: a vezérlő a tekercsekben indukált visszafeszültséget (BEMF) méri, és abból állapítja meg a forgórész helyzetét.

Egy BLDC motor tehát önmagában nem üzemel, mindig hozzá tartozik egy elektronikus hajtás, amely a hálózati feszültséget egyenirányítja, és a háromfázisú tekercsre változó frekvenciájú, változó feszültségű jelet kapcsol.

Előnyök. A kefe elhagyása a kopó alkatrészek számát csökkenti, a hatásfokot növeli, a zajt csökkenti. A BLDC motor fordulatszáma nagyon pontosan szabályozható, és alacsony fordulatszámon is magas nyomatékot ad le. A motort hűteni is könnyebb, mert az állórész tekercsei közel vannak a házhoz.

Példa. Egy EC ventilátormotor leadott tengelyteljesítménye $P_{mech} = 2{,}2\,\mathrm{kW}$, fordulatszáma $n = 1500\,1/\mathrm{min}$. A motor által kifejtett nyomaték:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 1500}{60} = 157{,}08\,\mathrm{rad/s}$$

$$M = \frac{P_{mech}}{\omega} = \frac{2200}{157{,}08} = 14{,}0\,\mathrm{N \cdot m}.$$

EC ventilátorok. Az épületgépészetben az EC motor előnye, hogy a ventilátor és a motor egy egységbe integrálható, a járókerék közvetlenül a külső forgórészre van szerelve, és a forgórész állandó mágneseinek mezője hozza létre a forgatónyomatékot. Az EC ventilátorok (főleg a radiál és axiál típusok) rendkívül jó hatásfokkal működnek, és folyamatos, széles tartományú fordulatszám-szabályozást tesznek lehetővé, például $0-10\,\mathrm{V}$ analóg jellel vagy Modbus hálózaton keresztül.

28.2.3. Léptetőmotorok

Motiváció. Egy 3D-nyomtató nyomtatófeje nem állhat meg „körülbelül” a megfelelő ponton: minden lépést meghatározott szöggel kell megtennie visszacsatolás nélkül, nyitott hurkban. A léptetőmotor éppen erre való.

Definíció. A léptetőmotor olyan többfázisú szinkronmotor, amely a vezérlő impulzusok hatására diszkrét szögelfordulásokat (lépéseket) hajt végre. A lépésszög a motor konstrukciójától függ, tipikusan 1,8° vagy 0,9° lépésenként.

Lépésszög számítása. Ha a motor 200 lépést tesz meg fordulatonként (ez a leggyakoribb 1,8°-os hibrid léptető), a fordulatszám:

$$n\ [1/\mathrm{min}] = \frac{f_{\mathrm{imp}}\ [\mathrm{Hz}] \cdot 60}{\text{lépések száma fordulatonként}}.$$

Példa. Ha a vezérlés $4\,\mathrm{kHz}$ frekvenciával ad impulzusokat egy 200 lépéses motornak, a fordulatszám:

$$n = \frac{4000 \cdot 60}{200} = 1200\,1/\mathrm{min}.$$

Működés. A motor belső felépítésében a forgórész állandó mágnesekkel és sok fogazott vasmaggal rendelkezik. Az állórész tekercseit a vezérlő sorban gerjeszti. Minden gerjesztési lépésben a forgórész legközelebbi stabil pozíciója az adott lépéshez tartozó mágneses csatornához igazodik, így a motor pontosan 1,8° (vagy a mikroléptetés beállításától függően kisebb) szöget fordul.

A léptetőmotor nyomatéka. A motor statikus nyomatéka (holding torque) nagy, de a fordulatszám növekedésével a nyomaték meredeken csökken. A motor kritikus hibaállapotba kerülhet: ha a terhelő nyomaték nagyobb a rendelkezésre álló nyomatéknál, a rotor nem tudja követni a mezőt, és ugrálni kezd, azaz lépéseket veszít. Ezt a tervezésnél kerülni kell: a

léptetőmotort mindig a tényleges működési fordulatszámon érvényes nyomatékra kell méretezni, nem a statikus tartási nyomatékra.

Alkalmazás. CNC- és lézeres vágógépek, 3D-nyomtatók, teleszkópok, orvosi adagolók, régi nyomtatók, léptetőmotoros szelepek.

28.2.4. Szervomotorok

Motiváció. Az ipari robot karjának gyorsan kell mozognia, mégis pontosan megállni. Itt a nyitott hurkú léptetőmotor már nem elég, mert a terhelés változását a vezérlő nem látja. A szervohajtás visszacsatolt rendszer: a motor tényleges pozícióját folyamatosan méri, és a hibát korrigálja.

Definíció. A szervomotor olyan villamos hajtás, amely zárt hurkú szabályozással, visszacsatoló jeladóval (encoder vagy resolver) ellátva működik. A leggyakoribb az AC szervomotor, amely valójában állandó mágneses szinkronmotor (PMSM) vagy BLDC motor, de kifejezetten dinamikus ipari hajtásra tervezték.

A szervo és a léptetőmotor különbsége. A léptetőmotor nyitott hurkú, a szervo zárt hurkú. A szervomotor visszajelzi az aktuális pozíciót, így ha a gép nagy erő hatására elmozdulna, a vezérlő azonnal korrigál. A szervomotor nagy fordulatszámon is megőrzi nyomatékát, így gyors kontúrkövetésre sokkal jobb, mint a léptető.

Vezérlés. A szervomotorhoz mindig hozzátartozik egy szervohajtás (servo drive), amely három hurkot zár:

1. **Áramhurok** – a motor nyomatékát pillanatnyilag szabályozza.
2. **Sebességhurok** – a fordulatszámot tartja a kívánt értéken.
3. **Pozícióhurok** – a tengely pozícióját állítja be a parancsolt értékre.

A hajtás a jelet többféle módon fogadhatja: analóg $0-10\,\mathrm{V}$ feszültség, impulzus (pulse train), vagy digitális terepi busz (CANopen, PROFINET, EtherCAT). A terepi busz a modern gyártósorokban a legelterjedtebb.

Példa. Egy szervomotor $1{,}5\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$ nyomatékot ad le $2500\,1/\mathrm{min}$ fordulatszámon. A leadott mechanikai teljesítmény:

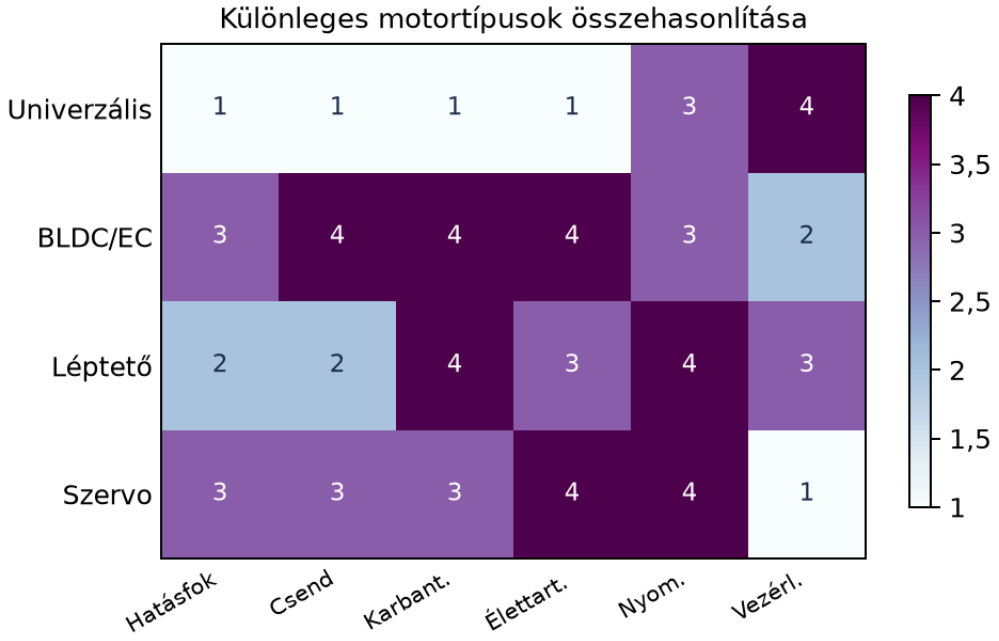
$$\omega = \frac{2\pi \cdot 2500}{60} = 261{,}8\,\mathrm{rad/s}$$

$$P = 1{,}5 \cdot 261{,}8 = 392{,}7\,\mathrm{W}.$$

A szervomotor rövid időre (a gyorsításhoz) a névleges nyomaték többszörösét is leadhatja, ezért indításkor sokkal nagyobb csúcsteljesítményt kell biztosítani.

28.2.5. A motortípusok összehasonlítása

Az alábbi ábra a tárgyalt különleges motorokat hasonlítja össze néhány gyakorlati szempont szerint.



28.7. ábra. Különleges motortípusok összehasonlítása - Szemléltető besorolás 1-től 4-ig (4 = legkedvezőbb). Oszlopok: Hatásfok; Csend = csendesség; Karbant. = karbantartás-mentesség; Élettart. = élettartam; Nyom. = nyomaték kis fordulaton; Vezérl. = a vezérlés egyszerűsége. Az univerzális motor soros gerjesztése miatt kis fordulaton nagy nyomatékú, és egyszerű fázishasítással szabályozható; a léptetőmotor nyílt hurkú impulzusvezérlése jeladó nélkül egyszerű, a szervohajtás hangolást igényel. A végső kiválasztáshoz mindig a gyártói adatlapot kell használni.

A táblázatból jól látszik, hogy az univerzális motor hatásfokban, zajban és élettartamban a szerényebb kategóriába esik, de olcsó, kis fordulaton nagy nyomatékú és egyszerűen szabályozható. A BLDC/EC motor a hatékonyság és a csendesség bajnoka, a léptető az egyszerű pozícióvezérlésé, a szervo a nagy dinamikájú, zárt hurkú feladatoké.

28.2.6. Szabványi követelmények

Szabvány. A változtatható fordulatszámú hajtások (így a BLDC, EC és szervohajtások) elektromágneses összeférhetőségi (EMC) követelményeit az MSZ EN 61800-3 sorozat (ellenőrizendő: aktuális kiadás) írja le. A hajtások telepítésénél a gyártó előírásai szerint árnyékolt motorkábelt és megfelelő földelést kell alkalmazni, különben a kapcsolási zaj zavarhatja a környező érzékelőket és a hálózatot.

Emellett a motor védettsége (IP-kód, MSZ EN 60529) kulcskérdés: egy EC ventilátor a nedves, párás légcsatornában $IP54$ vagy $IP55$ védettséget igényelhet. A bekötésre az épületvillamosági hibavédelem szabályai vonatkoznak (MSZ HD 60364).

28.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Klímaszellőztető rendszer korszerűsítése EC ventilátorral.

Egy régi irodaház szellőztetőjében az 1990-es évekből származó, szíjhajtású aszinkron motoros ventilátort EC ventilátorra cserélik. A karbantartó villanyszerelő feladata az új EC ventilátor bekötése és az üzembe helyezés.

A régi motor közvetlenül a hálózatról, mágneskapcsolóval indult. Az új EC ventilátor egyetlen kompakt egység, amelyben a BLDC motor és a frekvenciaváltó egybe van építve. A bekötés során a szerelő a következőket tapasztalja:

1. **Tápellátás:** A ventilátor elektronikus hajtása 230 V vagy 400 V hálózati betáplálást igényel, de a motorhoz vezető kábelen nem közvetlen hálózati feszültség, hanem a hajtásból kijövő változó frekvenciájú jel van. Ha a hajtás és a motor külön egység (nem integrált kivitel), a köztük lévő kábelen a hajtás kimenete van, ezért azt nem szabad hálózati kábelként bekötni; integrált EC ventilátornál ilyen kábel nincs.
2. **Vezérlés:** A régi rendszerben a ventilátor vagy állt, vagy teljes fordulaton forgott. Az új EC ventilátor $0-10\,\mathrm{V}$ analóg jelet vagy Modbus RTU digitális parancsot fogad. A szerelő az épületfelügyeleti (BMS) rendszer kimenő $0-10\,\mathrm{V}$ jelét köti a hajtás analóg bemenetére, és a hajtás paramétereit beállítja: minimális fordulatszám 20 %, maximális fordulatszám 100 %, lassú felfutás.
3. **Mérés:** A beüzemeléskor a szerelő megméri a motor áramfelvételét és a fordulatszámot. A 70 % fordulatszámnál az EC ventilátor a régi szíjhajtásos rendszerhez képest 30–40 % energiát takarít meg, és a zajszint jelentősen csökken. A szerelő a csapágyhőmérsékletet is ellenőrzi, mert a motor hosszú távú, karbantartásmentes üzeme a csapágy és az elektronika hűtésén múlik.

Tanulság. Az EC motor bekötése nem egyszerűen „három fázis + nulla” kérdése. A hajtás beállítását, az árnyékolt vezérlőkábel használatát és az EMC-előírások betartását is bele kell tervezni a munkába.

28.2.8. Tipikus hibák

1. Univerzális motor terhelés nélküli járása. Ha a motor nincs összekötve a hajtott géppel (pl. szíj leszakad), a soros gerjesztés miatt a fordulatszám a névleges többszörösére is felmehet, ami a kommutátor, a kefék vagy a tekercselés szétrobbanásához vezethet. Helyes gyakorlat: bármilyen javítás után mindig a teljes hajtáslánccal együtt próbáljuk be.

2. BLDC/EC motor bekötése hagyományos aszinkron motorként. A BLDC motor nem közvetlenül a hálózatról működik. Ha valaki a 3 fázist és a nullát rákapcsolja a motor kapcsaira, az a tekercsek és az elektronika azonnali tönkremenetelét okozza. Mindig a hozzá való hajtáson keresztül kell táplálni.

3. Léptetőmotor méretezése a statikus tartási nyomatékra. A léptetőmotor tartási nyomatéka nagy, de a nyomaték a fordulatszám növekedésével meredeken csökken. Ha a tervező a statikus nyomaték alapján választ motort, a gép üzem közben lépéseket fog veszíteni. Mindig a működési fordulatszámon érvényes nyomatékra kell méretezni.

4. Szervohajtás paramétereinek gyári értéken hagyása. A szervohajtást a terheléshez kell hangolni. Ha a sebesség- vagy pozícióhurok erősítése túl nagy, a motor bereng, rezeg, sőt a mechanikát is károsítja. Ha túl kicsi, a mozgás pontatlan. A hangolást mindig a gyártó utasítása szerint, lehetőleg üresjáratból terhelt állapot felé haladva kell elvégezni.

28.2.9. Önellenőrzés

1. Miért működik az univerzális motor váltakozó áramon is?
2. Mi a különbség a kefés és a kefementes (BLDC) egyenáramú motor között?
3. Hogyan számítod ki egy léptetőmotor fordulatszámát az impulzusfrekvenciából?
4. Mi a léptetőmotor és a szervomotor alapvető különbsége?
5. Miért nem szabad a BLDC motort közvetlenül a hálózatra kötni?
6. Milyen nyomaték jellemzi a léptetőmotor lépéskihagyásának határát?

Megoldások az alfejezet végén.

28.2.10. Feladatok

28.2.10.1. 1. feladat (A)

Definiáld az univerzális motort! Milyen nyomatékképlet jellemzi?

28.2.10.2. 2. feladat (A)

Egy 200 lépéses léptetőmotort 2 kHz frekvenciájú impulzussor hajt. Mekkora a fordulatszám?

28.2.10.3. 3. feladat (B)

Egy EC ventilátormotor 1,8 kW mechanikai teljesítményt ad le 1450 1/min fordulatszámon. Számítsd ki a nyomatékát!

28.2.10.4. 4. feladat (B)

Egy fúrógép univerzális motorja 230 V hálózatról 1,2 A-t vesz fel, $\cos\varphi = 0{,}8$. Számítsd ki a hálózati hatásos teljesítményt és a látszólagos teljesítményt!

28.2.10.5. 5. feladat (C)

Adott egy CNC-tengely hajtása, amelyhez vagy $3\,\mathrm{N\cdot m}$ tartási nyomatékú léptetőmotort, vagy $2\,\mathrm{N\cdot m}$ névleges ($6\,\mathrm{N\cdot m}$ csúcs) nyomatékú szervomotort akarnak használni. A gépi folyamat során a tengely nyomatékigénye $1{,}5\,\mathrm{N\cdot m}$, és a tengelynek gyakran kell 0-ról 2000 1/min-ra gyorsulnia, majd pontosan pozícionálni. Melyik motort választanád és miért?

28.2.10.6. 6. feladat (D)

Egy szervohajtás beüzemelése során azt tapasztalod, hogy a motor álló helyzetben éles, zümmögő hangot ad, a tengely pedig milliméteres amplitúdóval berezzen. Mi lehet a hiba? Milyen lépésekkel javítanád?

28.2.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Miért működik az univerzális motor váltakozó áramon is?** Mert soros gerjesztésnél a hálózati polaritásváltás egyszerre változtatja meg a gerjesztőfluxus és a forgórészáram irányát, így a nyomaték iránya változatlan marad.
2. **Mi a különbség a kefés és a kefementes (BLDC) egyenáramú motor között?** A kefés motor mechanikus kommutátort és szénkeféket használ, a BLDC motor állandó mágneses forgórésszel rendelkezik, és elektronikus inverter végzi a kommutációt. A BLDC zajtalanabb, hatékonyabb, de mindig hajtáselektronikát igényel.
3. **Hogyan számítod ki egy léptetőmotor fordulatszámát az impulzusfrekvenciából?** $ n = \frac{f_{\text{imp}} \cdot 60}{\text{lépések száma fordulatonként}} $.
4. **Mi a léptetőmotor és a szervomotor alapvető különbsége?** A léptetőmotor nyitott hurkú (nincs visszacsatolás), a szervomotor zárt hurkú (encoder vagy resolver). A szervo nagyobb dinamikát és pontosabb, gyorsabb pozícionálást tesz lehetővé.
5. **Miért nem szabad a BLDC motort közvetlenül a hálózatra kötni?** Mert a forgórész helyzetét és a tekercsek áramirányát elektronika vezérli; a 50 Hz-es hálózati mező az álló állandó mágneses forgórészt nem tudja szinkronba húzni, a motor nem indul, nagy áramot vesz fel és túlmelegszik (helyzetérzékelés szerinti kommutáció nélkül nem működik).
6. **Milyen nyomaték jellemzi a léptetőmotor lépéskihagyásának határát?** Az aktuálisan rendelkezésre álló nyomaték a fordulatszám növekedésével csökken. Ha a terhelő nyomaték ezt meghaladja, a motor lépéseket veszít.

---

1. feladat (A) megoldása

Az univerzális motor soros gerjesztésű, kommutátoros motor, amely egyaránt üzemel egyenfeszültségről és egyfázisú váltakozó feszültségről. A nyomatékot a $ M = k \cdot \Phi \cdot I_a $ képlet adja. Soros kapcsolás miatt $\Phi \sim I_a$, így $ M \sim I_a^2 $.

2. feladat (A) megoldása

Adott: $f_{\text{imp}} = 2000\,\text{Hz}$, lépésszám fordulatonként $N = 200$.

$$n = \frac{f_{\text{imp}} \cdot 60}{N} = \frac{2000 \cdot 60}{200} = 600\,\text{1/min}.$$

Ellenőrzés: $2000\,\text{imp/s}$ azt jelenti, hogy a motor 10 fordulatot tesz meg másodpercenként, ami $600\,\text{1/min}$. Ez a léptetőmotorok gyakori üzemi tartománya.

3. feladat (B) megoldása

Adott: $P_{mech} = 1800\,\text{W}$, $n = 1450\,\text{1/min}$.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 1450}{60} = 151{,}8\,\text{rad/s}$$

$$M = \frac{P_{mech}}{\omega} = \frac{1800}{151{,}8} = 11{,}9\,\text{N}\cdot\text{m}.$$

A motor tehát körülbelül $12\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$ nyomatékot ad le a ventilátor tengelyén.

4. feladat (B) megoldása

Adott: $U = 230\,\mathrm{V}$, $I = 1{,}2\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi = 0{,}8$.

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 230 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}8 = 220{,}8\,\mathrm{W}.$$

$$S = U \cdot I = 230 \cdot 1{,}2 = 276\,\mathrm{VA}.$$

Ellenőrzés: A 0,8-os teljesítménytényező miatt a látszólagos teljesítmény nagyobb, mint a hatásos, ami az univerzális motoroknál (a vasveszteség és az induktív jelleg miatt) gyakori.

5. feladat (C) megoldása

A $3\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$ tartási nyomatékú léptetőmotor látszólag erősebb, de a léptetőmotor nyomatéka $2000\,1/\mathrm{min}$ fordulatszámon már a statikus nyomaték töredékére csökken. Ha a folyamat $1{,}5\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$ nyomatékot igényel, a léptetőmotor valószínűleg lépéseket fog veszíteni, mert a nyomatéktartaléka elolvad. A $2\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$ névleges nyomatékú szervomotor tartósan is leadja a szükséges $1{,}5\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$-t, a gyorsításhoz pedig rövid ideig a névleges többszörösét (itt $6\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$ csúcsot) adhatja, és a zárt visszacsatolás miatt a pozíciót tartja. (Egy $1\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$ névleges nyomatékú szervomotor a $1{,}5\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$ tartós igényhez kevés lenne: csúcsnyomatékát csak rövid ideig adhatja, tartósan túlmelegedne; a szervomotort a tartós, effektív nyomatékra és a gyorsítás csúcsnyomatékára kell méretezni.) Ezért a gyors gyorsulásra és pontos pozícionálásra a szervomotor a jobb választás.

6. feladat (D) megoldása

A tünet (álló helyzetben berezgés, zümmögés) a szervohajtás helytelen hangolására vagy a visszacsatoló jel zavarára utal.

Lépések:

1. **Ellenőrzés.** Nézd meg a hajtás paramétereit. Ha a pozícióhurok erősítése túl nagy, a motor a parancsolt pozíció körül oszcillál.
2. **Csökkentés.** Csökkentsd a pozícióhurok arányos erősítését (K_p), majd fokozatosan növeld, amíg a rezgés meg nem szűnik, de a pozíciótartás még pontos marad.
3. **Visszacsatolás.** Ha a rezgés nem szűnik meg, ellenőrizd az encoder kábelét! Az árnyékolás hiánya vagy a rossz földelés zajt visz a jelre, ami a szabályozót téves pozícióadatokkal eteti.
4. **Mechanika.** Ha ezek sem segítenek, vizsgáld meg a tengelykapcsolót és a hajtott mechanikát: holtjáték vagy túl lágy tengelycsatlakozás is okozhat berezgést.

28.2.12. Rövid összefoglaló

A különleges motorok a villanyszerelői gyakorlatban egyre fontosabbak, mert az energiahatékonysági és automatizálási igények miatt a hagyományos aszinkron motorok mellett egyre több helyen jelennek meg.

Az **univerzális motor** soros gerjesztésű, kommutátoros gép, amely 230 V DC és 230 V/50 Hz AC hálózatról is üzemel. Nyomatéka $ M = k \cdot \Phi \cdot I_a $, soros kapcsolás miatt $ M \sim I_a^2 $. Előnye a nagy indítónyomaték, hátránya a kefe kopása, zaj, megszaladás. Kéziszerszámokban és porszívókban használják.

A **BLDC/EC motor** állandó mágnesű szinkronmotor, amelyet elektronikus inverter kommutál. Előnye a hosszú élettartam, alacsony zaj, nagy hatásfok. Mindig hajtáselektronikát igényel, a visszacsatolás Hall-szenzorral vagy szenzor nélkül (BEMF) történik. Az EC ventilátorok a modern épületgépészet meghatározó elemei.

A **léptetőmotor** diszkrét szögelfordulásokat hajt végre, nyitott hurkban. A fordulatszám az impulzusfrekvenciából számítható: $ n = \frac{f_{\text{imp}} \cdot 60}{\text{lépésszám}} $. Nyomatéka a fordulatszám növekedésével csökken, ezért lépéskihagyásra hajlamos. A **szervomotor** ezzel szemben zárt hurkú, fordulatszáma és pozíciója nagy dinamikával, pontosan szabályozható.

Továbbvitt eredmény. Az itt tanult nyomaték-fordulatszám kapcsolat, a tehetetlenségi nyomaték és a beépítési módok (tengelykapcsoló, szíj, fogaskerék) közvetlenül megalapozzák a hajtástechnika gépelemeiről szóló Hajtástechnika: gépelemek, tengelykapcsoló, csapágy, szíj alfejezetet. A speciális motor kiválasztásakor soha ne a katalógusban szereplő statikus vagy névleges értékből kiindulva dönts: mindig a tényleges munkapont (nyomaték, fordulatszám, ciklusidő) szerint méretezz, és a hálózati oldalon a hajtás teljesítményigényét, a motor oldalon a vezérlési jelet is dokumentáld. A szerelési munka során a hálózati feszültségű részhez csak jogosult, feszültségmentesítés után nyúlj.

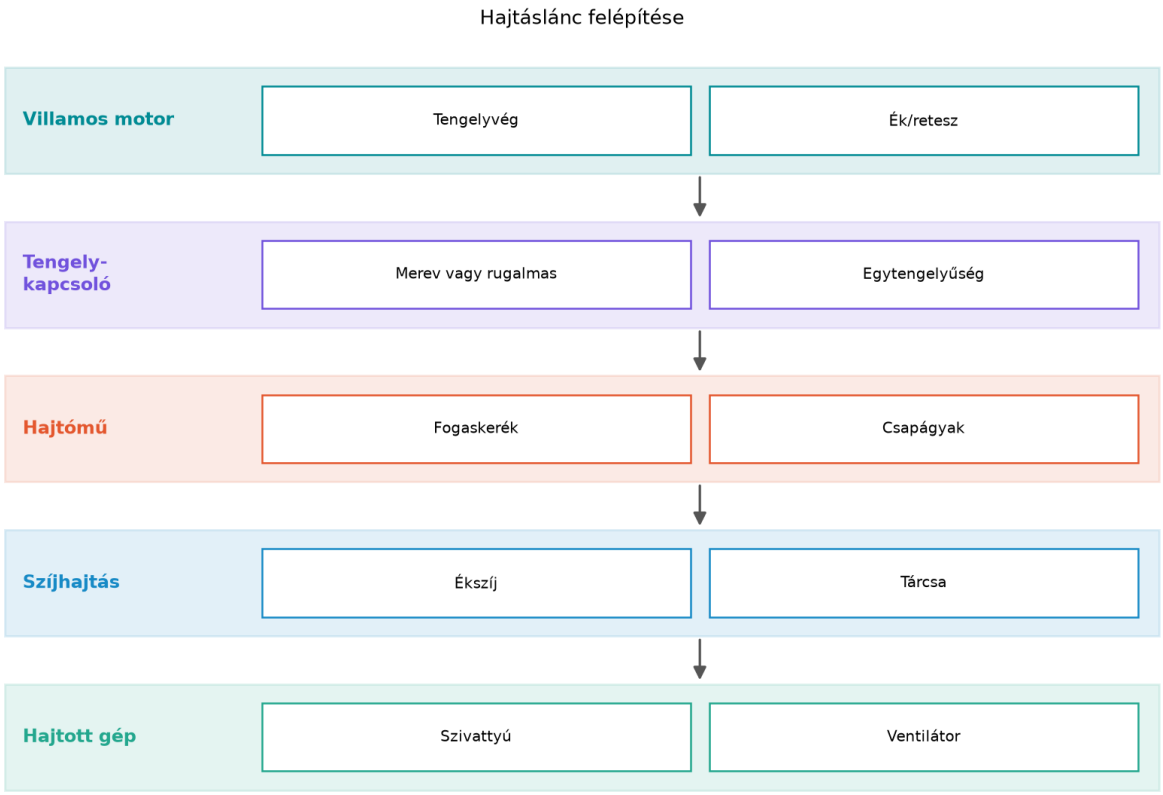
28.3. Hajtástechnika: gépelemek, tengelykapcsoló, csapágy, szíj

28.3.1. Motiváció: miért kell ez a villanyszerelőnek?

Egy ipari szivattyúnál a motor csapágycseréje után a szerelő visszarakta a tengelykapcsolót, de a próbajáraton a berendezés erősen rezeg, a gumi tengelykapcsoló-betét pedig szemmel láthatóan kopik. A villanyszerelő feladata nem ér véget a motor kábeleinek bekötésével: ahhoz, hogy a hajtás hosszú távon üzemeljen, a motor és a hajtott gép közötti mechanikai kapcsolatot is ismernie kell. Ez az alfejezet a villamos motorokhoz kapcsolódó gépelemek – tengelykapcsoló, csapágy, szíjhajtás, fogaskerék – szerepét, beállítását és ellenőrzését tanítja meg.

Biztonsági korlát. A gyakorlati útmutatók tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkoznak; hálózati feszültségen önállóan ne dolgozz.

28.3.2. Szemléletes kép: a hajtáslánc felépítése



28.8. ábra. Hajtáslánc felépítése - A villamos motortól a hajtott gépig terjedő mechanikai erőátvitel elemei felülről lefelé; a teljesítmény a motortól a hajtott gép felé áramlik, a nyilak az egymáshoz kapcsolódó elemeket kötik össze. A hajtómű és a szíjhajtás nem minden hajtásban van meg: a motor a tengelykapcsolón át közvetlenül is hajthatja a munkagépet.

A fenti ábra a tipikus ipari hajtásláncot mutatja: a motor tengelye a tengelykapcsolón keresztül adja át a nyomatékot a hajtóműnek, a hajtómű kimenő tengelye pedig ékszíjjal vagy közvetlenül hajtja a munkagépet. A fejezetben ezeknek az elemeknek a szerelését, beállítását és hibakeresését járjuk körül.

28.3.3. Tengelykapcsolók: típusok, feladatuk és beállítás

Definíció. A **tengelykapcsoló** két, egytengelyű (vagy kis szögeltérésű) tengely összekapcsolására szolgáló gépelem, amely a forgatónyomatékot a hajtó tengelyről a hajtott tengelyre viszi át, miközben lehetővé teheti a két tengely közötti kisebb szerelési hibák kiegyenlítését vagy az oldható kapcsolatot.

A tengelykapcsoló két fő csoportja:

- **Merev tengelykapcsoló:** a két tengelyvéget mereven, játék nélkül köti össze, így a szerelési hibákat nem tudja kiegyenlíteni. Ilyen például a **tárcsás tengelykapcsoló** (a két tárcsát csavarokkal fogjuk össze). Csak pontosan beállított tengelyeknél használható, mert minden eltérés a csapágyakat és a tengelyt terheli.

- **Rugalmas (kiegyenlítő) tengelykapcsoló:** rugalmas betéttel (gumi, műanyag) vagy rugóval rendelkezik, amely elnyeli a kisebb szög- és párhuzamossági hibákat, valamint csillapítja a lökésszerű terhelést. Ilyen például a **karmos tengelykapcsoló** (a két fél közé rugalmas gumicsillag kerül) vagy a **Hardy-tárcsás tengelykapcsoló** (rugalmas tárcsa).

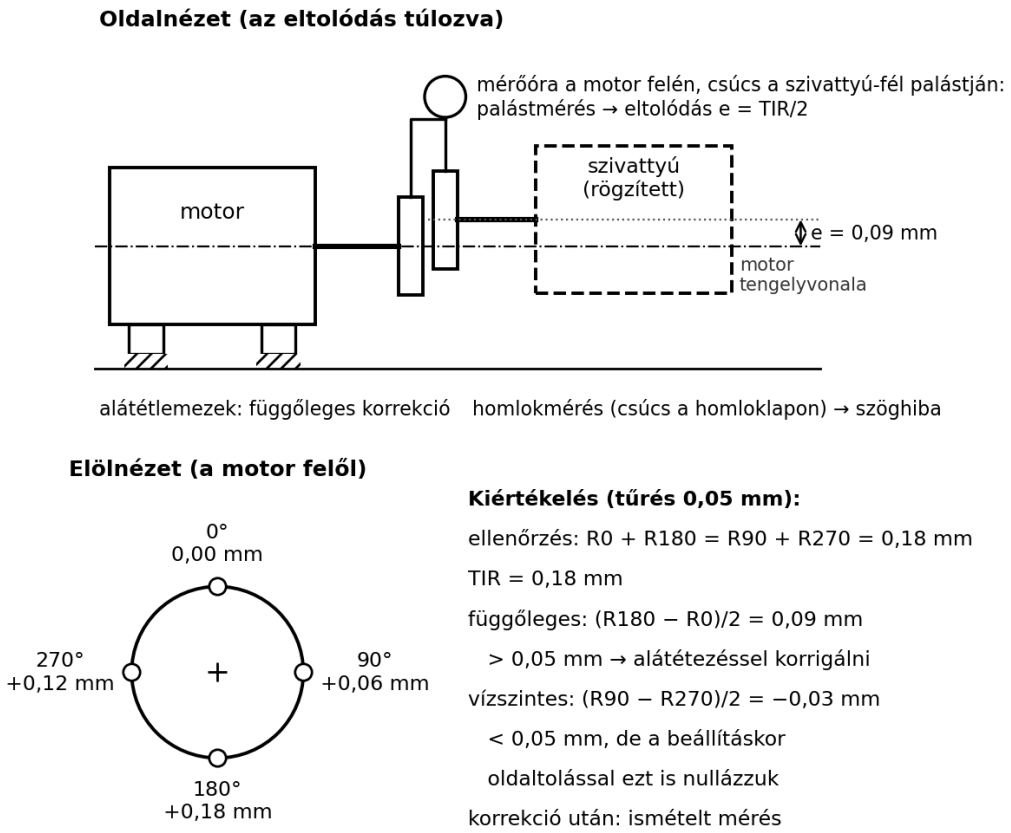
A tengelykapcsoló beállításának legfontosabb követelménye az **egytengelyűség**: a hajtó és a hajtott tengely középvonala egybe kell, hogy essen. Ennek három összetevője van:

1. **Radiális eltérés (párhuzamossági hiba):** a két tengely középvonala párhuzamos, de egymáshoz képest oldalirányban eltolódott.
2. **Szögeltérés:** a két tengely középvonala nem párhuzamos, hanem szöget zár be egymással.
3. **Axiális hézag:** a két tengelykapcsoló-fél közötti tengelyirányú távolság (hézag) nem megfelelő.

Szabály. A tengelykapcsoló beállítását úgy kell elvégezni, hogy a radiális eltérés és a szögeltérés a gyártó által megadott tűrésen belül legyen. A tűrés jellemzően néhány század milliméter (pl. 0,05 mm) radiális eltérésnél, és a tengelykapcsoló gyártójának katalógusából veendő **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.

Mérés mérőórával. Az egytengelyűséget leggyakrabban **mérőórával** (század mm-es pontosságú mérőműszer) és mágneses állvánnyal ellenőrizzük. A mérőórát az egyik tengelykapcsoló-félre rögzítjük, a mérőcsúcsot pedig a másik fél kerületére (radiális mérés) vagy homlokfelületére (axiális mérés) helyezzük. A tengelyt lassan körbeforgatva a mérőóra kitérése megmutatja az eltérést. A mérési pontokat feljegyezzük, és a motor lábainál alátétlemezekkel, illetve a motor eltolásával korrigálunk.

A következő ábra a palástmérést mutatja az 5. feladat adataival. A mérőóra a motor tengelykapcsoló-felén van, a csúcsa a szivattyú-fél palástján; 0°-on (felül) nullázzuk, majd a két tengelyt együtt 90°-onként elforgatva leolvasunk: 0,00 / +0,06 / +0,18 / +0,12 mm. Az ellenőrző összeg ($0 + 0{,}18 = 0{,}06 + 0{,}12$) egyezik, tehát a mérés érvényes. A tengelyek eltolódása a teljes kifutás (TIR) fele: függőlegesen $(0{,}18 - 0)/2 = 0{,}09$ mm, ezt alátétlemezekkel korrigáljuk; vízszintesen (90°-os mínusz 270°-os leolvasás) $(0{,}06 - 0{,}12)/2 = -0{,}03$ mm, ezt a motor oldaltolásával. A homlokmérés (csúcs a homloklapon) a szöghibát mutatja. A HTML-kiadásban a mérés lépésenként lejátszható, és saját eltolódással új mérés indítható.



28.9. ábra. Tengelybeállítás mérőórával: oldalnézet, a négy mérési pozíció leolvasásai és a kiértékelés (5. feladat adatai, tűrés 0,05 mm)

Számítás. Ha a mérőóra a teljes körülfordulás alatt 0,12 mm-t mutat, akkor a **teljes kifutás** (TIR) 0,12 mm. A tengelyek eltolódása ennek fele: 0,06 mm. Ha a megengedett eltolódás 0,05 mm **(ellenőrizendő: a gyártói tűrés eltolódásra vagy TIR-re vonatkozik; adatlapból olvasandó)**, a beállítás nem megfelelő, és a függőleges hibát alátéttel, a vízszintest a motor oldalirányú eltolásával kell korrigálni.

28.3.4. Csapágyak: gördülőcsapágyak, jelölés, kenés és állapotellenőrzés

Definíció. A **csapágy** a forgó tengelyek megtámasztására és a fellépő erők felvételére szolgáló gépelem, amely lehetővé teszi a tengely kis súrlódású forgását. A **gördülőcsapágy** gördülőelemek (golyó vagy görgő) segítségével csökkenti a súrlódást, szemben a csúszócsapággyal, ahol a tengelycsap közvetlenül a csapágy anyagában forog.

A leggyakoribb gördülőcsapágy típusok:

- **Mélyhornyú golyóscsapágy:** radiális erőt, kisebb axiális erőt is felvesz; a legelterjedtebb.
- **Hengeres görgőscsapágy:** nagyobb radiális terhelést bír, de axiális erőt nem (vagy alig) visz el.
- **Kúpgörgős csapágy:** radiális és nagy axiális erőt is képes felvenni, jellemzően párban szerelik.
- **Beálló golyóscsapágy:** a tengely kis szögeltérését is képes kiegyenlíteni.

Csapágyjelölés. A gördülőcsapágyak jelölése szabványos, általában 3–5 számjegyből áll. Például a **6205** jelölésű csapágy:

- Az első számjegy a csapágytípust jelöli: a 6 mélyhornyú golyóscsapágy.
- A második számjegy az átmérősorozat (2: könnyű, 3: középnehéz sorozat; azonos furatnál nagyobb külső átmérő és teherbírás; a szélességi sorozat jelölése a 6-os sorozatnál elmarad; ellenőrizendő: ISO 15 / gyártói katalógus).
- Az utolsó két számjegy a furatkód: 04-től a furat $\times 5$ mm; 00 = 10 mm, 01 = 12 mm, 02 = 15 mm, 03 = 17 mm (pl. a 6203 furata 17 mm; a 6205: $05 \times 5 = 25$ mm).

Így a 6205 csapágy furata 25 mm, típusa mélyhornyú golyóscsapágy.

Kenés. A gördülőcsapágyak üzemi hőmérsékletét és élettartamát a megfelelő kenés biztosítja. A leggyakoribb a **zsírkenés**, ritkábban az **olajkenés**. A kenőzsír mennyiségére vonatkozóan a gyakorlatban irányérték, hogy a csapágyház üres térfogatának kb. 30–50%-a legyen a zsír **(ellenőrizendő: gyártói előírás)**. A túl sok zsír éppúgy káros, mint a túl kevés: a keveredési ellenállás miatt a csapágy melegszik. A kenési periódus a fordulatszámtól, a terheléstől és a környezettől függ, lásd a gyártói katalógust.

Állapotellenőrzés. A csapágy állapotát elsősorban az alábbi jelekből ítélhetjük meg:

- **Hőmérséklet:** a csapágyház üzemi hőmérséklete jellemzően ne haladja meg a 70–80 °C-ot **(ellenőrizendő: gépkönyv)**. A folyamatosan emelkedő hőmérséklet kenési hiányra vagy túlterhelésre utal.
- **Zaj:** a csapágyhiba jellegzetes morajló, kattogó vagy sípoló hangot ad. A hang a gördülőelem sérülésére utalhat.
- **Rezgés:** a csapágyhézag növekedése vagy a gördülőelem károsodása a tengely rezgését növeli. Rezgésmérő műszerrel a csapágy állapota jól nyomon követhető.
- **Hézag:** az üzem során a kopás miatt a csapágyhézag fokozatosan nő. A radiális hézagot hézagmérővel vagy a tengely mozgatásával ellenőrizhetjük.

Figyelem. A csapágy cseréjekor a csapágyat csak a megfelelő szerszámokkal, a belső vagy külső gyűrűre ható egyenletes erővel szabad felszerelni. A golyósorra vagy a görgőkre közvetlenül ütni tilos; ez a csapágy azonnali tönkremenetelét okozhatja.

28.3.5. Szíjhajtás: áttétel, feszítés és beállítás

Definíció. A **szíjhajtás** két vagy több tengely közötti erőátvitelt valósít meg rugalmas szíj és tárcsák segítségével. A szíj a tárcsák hornyában helyezkedik el, és a súrlódás vagy fogazat révén továbbítja a nyomatékot.

Szíjhajtás típusok:

- **Laposszíj:** sík felületű tárcsán fut, nagyobb tengelytávolságra alkalmas.
- **Ékszíj:** ék alakú horonyban fut, a nagyobb ékhatás miatt nagyobb nyomatékot visz át; a leggyakoribb ipari szíjhajtás.
- **Fogasszíj:** fogazott tárcsán fut, csúszásmentes, ezért pontos áttételt biztosít (pl. szervohajtásoknál).

Áttétel számítása. A szíjhajtás áttétele – jó közelítéssel, a szíj csúszását elhanyagolva – a tárcsaátmérők arányával egyenlő:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \approx \frac{d_2}{d_1}$$

ahol: - n_1: a hajtó tárcsa fordulatszáma (1/min), - n_2: a hajtott tárcsa fordulatszáma (1/min), - d_1: a hajtó tárcsa átmérője (mm), - d_2: a hajtott tárcsa átmérője (mm).

Példa (szíjhajtás áttétel). Egy villanymotor fordulatszáma $n_1 = 1450\,1/\text{min}$, a hajtott szivattyú tengelyéé $n_2 = 725\,1/\text{min}$. Mekkora a hajtott tárcsa átmérője, ha a motor tárcsa $d_1 = 120\,\text{mm}$?

Megoldás. Először az áttételt számítjuk:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1450}{725} = 2$$

Az áttétel a tárcsaátmérők aránya is: $i = d_2/d_1$, ezért

$$d_2 = i \cdot d_1 = 2 \cdot 120\,\text{mm} = 240\,\text{mm}.$$

Ellenőrzés. Ha a hajtott tárcsa átmérője 240 mm, akkor a kerületi sebesség mindkét tárcsán azonos (a szíj csúszás nélkül): $v_1 = \pi d_1 n_1 = \pi \cdot 0{,}12\,\text{m} \cdot 1450\,1/\text{min} \approx 547\,\text{m/min}$, és a hajtott oldalon $v_2 = \pi \cdot 0{,}24\,\text{m} \cdot 725\,1/\text{min} \approx 547\,\text{m/min}$; a két érték egyezik, a számítás helyes.

Szíjfeszítés ellenőrzése. Az ékszíj feszítését a gyakorlatban a **lehajlás mérésével** ellenőrizzük. A szíj közepén, a két tárcsa között, meghatározott erővel (pl. 10 N) nyomva a szíj lehajlását mérővonalzóval vagy speciális feszültségmérővel mérjük. Az ideális lehajlás a tengelytávolság függvényében jellemzően méterenként 10–15 mm **(ellenőrizendő: gyártói táblázat)**. A túl feszes szíj túlterheli a csapágyakat, a túl laza szíj pedig csúszik, melegszik és idő előtt kopik. Emellett a tárcsáknak párhuzamosnak kell lenniük; ezt párhuzamossági vonalzóval vagy lézeres tárcsabeállítóval ellenőrizzük.

28.3.6. Fogaskerék-hajtómű

Definíció. A **fogaskerék-hajtómű** két vagy több fogaskerék segítségével csökkenti (vagy növeli) a fordulatszámot, miközben a nyomatékot áttételezi. A hajtómű a hajtáslánc fontos eleme, mert a villamos motorok jellemzően nagy fordulatszámon adják le a névleges nyomatékot, míg a munkagépek (szállítószalag, keverő, szivattyú) gyakran kisebb fordulatszámot igényelnek.

A leggyakoribb fogaskerék-típusok:

- **Homlok fogaskerék:** párhuzamos tengelyek közötti erőátvitel, egyszerű és hatékony.
- **Kúp fogaskerék:** merőleges tengelyeknél.
- **Csiga – csigakerék:** nagy áttétel kis helyen, de rosszabb hatásfokkal.

Áttétel számítása. Fogaskerék-hajtóműnél az áttétel a fogszámok arányával egyenlő:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

ahol z_1 a hajtó kerék fogszáma, z_2 a hajtott kerék fogszáma.

Példa (fogaskerék áttétel). Egy motor fordulatszáma $n_1 = 900\,1/\text{min}$, a hajtó fogaskerék fogszáma $z_1 = 20$, a hajtotté $z_2 = 60$. Mekkora a kimenő fordulatszám és az áttétel? Mekkora a kimenő nyomaték, ha a bemenő nyomaték $M_1 = 10\,\text{N} \cdot \text{m}$, és a hajtómű hatásfokát ideálisnak ($\eta = 1$) tekintjük?

Megoldás. Az áttétel:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{60}{20} = 3.$$

A kimenő fordulatszám:

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{900\,1/\text{min}}{3} = 300\,1/\text{min}.$$

Ideális esetben a bemenő és kimenő teljesítmény egyenlő ($P_1 = P_2$), ezért $M_1 \cdot \omega_1 = M_2 \cdot \omega_2$. Mivel $\omega \sim n$, a nyomaték:

$$M_2 = M_1 \cdot i = 10\,\text{N} \cdot \text{m} \cdot 3 = 30\,\text{N} \cdot \text{m}.$$

Ellenőrzés. A bemenő oldalon $\omega_1 = 2\pi \cdot 900/60 \approx 94{,}2\,\text{rad/s}$, a kimenő oldalon $\omega_2 \approx 31{,}4\,\text{rad/s}$. A bemenő teljesítmény $P_1 = M_1\omega_1 \approx 942\,\text{W}$, a kimenő $P_2 = M_2\omega_2 \approx 942\,\text{W}$; a teljesítménymérleg stimmel.

Fogaskerék beállítás és kenés. A fogaskerekek foglalkozásánál ellenőrizni kell a **foghézagot**: a fogak közötti játékot, amely a kenőanyag film kialakulását és a hőtágulást teszi lehetővé. A túl nagy foghézag zajt és lökést okoz, a túl kicsi pedig beszoruláshoz, melegedéshez vezet. A hajtómű kenésére általában olajat használnak; a szintet olajszint-ellenőrző üvegen vagy nívópálcán ellenőrizzük, a csereperiódus a gyártó előírása szerint történik.

28.3.7. Mechanikai méretfelvétel és ellenőrzés

A hajtástechnikai szerelés során gyakran kell mechanikai méreteket felvenni vagy ellenőrizni. A villanyszerelőnek ismernie kell az alapvető mérőeszközöket:

- **Tolómérő (subler):** külső és belső átmérők, valamint mélységek mérésére, 0,1 mm vagy 0,02 mm pontossággal.
- **Mikrométer:** 0,01 mm pontosságú, tengelycsapok, csapágyfuratok pontos mérésére.
- **Hézagmérő:** rések, foghézagok, tengelykapcsoló-hézagok mérésére.
- **Mérőóra:** 0,01 mm-es osztású; tengelyütés, egytengelyűség és kis elmozdulások mérésére.
- **Párhuzamossági vonalzó és lézeres beállító:** tengelyek és tárcsák párhuzamosságának, egytengelyűségének ellenőrzésére.

Példa méretfelvételre. Egy villanymotor tengelyvégére új tengelykapcsoló-fél kerül. A tengelycsap átmérőjét mikrométerrel mérjük: 38,02 mm. A feladathoz 38 mm-es furatú tengelykapcsolófél szükséges, mert a reteszhorony és a csap illesztése a gyártói táblázat szerint H7 illesztést feltételez **(ellenőrizendő: gyártói adat)**. A reteszhorony szélességét tolómérővel ellenőrizzük, a reteszt pedig próbaillesztéssel nézzük meg, mert a retesznek pontosan illeszkednie kell, különben a tengelykapcsoló a tengelyen elfordulhat.

Szabály. A méretfelvétel előtt a mérendő felületet meg kell tisztítani, a mérőeszközt nullázni kell, és a mérést legalább kétszer meg kell ismételni. Az eredményt mindig a mérési pontatlanság figyelembevételével kell értékelni.

28.3.8. Valós életbeli alkalmazás és hibakeresés

Valós eset (hibakeresés). Egy ipari szivattyúnál a motor cseréje után a berendezés erős rezgéssel járt, és a rugalmas tengelykapcsoló gumibetétje rövid idő alatt elkopott. A szerelő először a motor csapágyaira gyanakodott, de a lekapcsolt motor kézzel történő forgatása sima volt, a csapágyak hűvösek voltak.

Hipotézis. A tengelykapcsoló rossz egytengelyűsége okozza a rezgést és a gumibetét gyors kopását.

Mérés. A szerelő mérőórát rögzített a motor tengelykapcsoló-felére, a mérőcsúcsot a szivattyú oldali félre. A tengely körbeforgatásakor a mérőóra teljes kitérése 0,18 mm volt, azaz a tengelyek eltolódása kb. 0,09 mm, ami meghaladta a gyártó által megengedett 0,05 mm-t (ellenőrizendő: a tűrés eltolódásra vagy TIR-re vonatkozik).

Ok. A motort a cseréje után rosszul állították be: a hátsó motorlábak alól hiányzott az alátétlemez, ezért a motor tengelye alacsonyabban állt a szivattyúénál (párhuzamos eltolódás; a palástméréssel kimutatott 0,09 mm-es eltolódás mellett a homlokmérés kis szöghibát is jelezhet).

Javítás. A motort leállították, feszültségmentesítették, majd a motor lábai alá állítható alátétlemezeket helyeztek. A mérőórás beállítást addig finomították, amíg a radiális eltérés 0,03 mm-re csökkent. Ezután a csavarokat előírt nyomatékkal meghúzták.

Megelőzés. Tervszerű karbantartásnál a tengelykapcsoló egytengelyűségét minden motorcsere után mérőórával ellenőrizni kell, és a beállítási jegyzőkönyvet el kell készíteni.

Továbbvitt eredmény. A tengelykapcsoló beállítása, a csapágyak kiszerelése és a szíjfeszítés szerelési ismerete közvetlenül hasznosul a Gépek megbontása, javítása és üzembe helyezése alfejezetben, amikor a motorokat és hajtóműveket szétbontjuk, a csapágyakat cseréljük, és a hajtást újra szereljük.

28.3.9. Gyakorlati útmutató: motor–szivattyú tengelykapcsoló beállítása

Cél: A motor és a szivattyú tengelyeinek egytengelyűvé tétele, a rezgések és a tengelykapcsoló-kopás megelőzése.

Eszközök és anyagok: mérőóra mágneses állvánnyal, hézagmérő, alátétlemez-készlet, villáskulcsok, nyomatékkulcs, tolómérő, csavarlazító- és tisztítóanyag, rongy.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Minden szerelési lépés előtt a motor feszültségmentes legyen.

Eljárás.

1. **Lekapcsolás:** Kapcsold le a hajtást a főkapcsolóval, és győződj meg róla, hogy a motor nem indulhat el.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás:** Zárd le a kapcsolót, helyezz rá figyelmeztető táblát.
3. **Feszültségmentesség ellenőrzése:** kétpólusú feszültségvizsgálóval (MSZ EN 61243-3; megfelelő CAT-besorolás) a motor kapcsain minden fázis között (L1–L2, L2–L3, L3–L1) és minden fázis és a PE között; a vizsgálót a mérés előtt és után ismert feszültségforráson ellenőrizd. Frekvenciaváltós hajtásnál előbb várd ki a gyártó által megadott kisütési időt (ellenőrizendő: gyártói adat).

4. **Földelés és rövidre zárás:** Ha a technológia megköveteli, földeld és rövidre zárd a motor kapcsait.

5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése:** Ha a közelben feszültség alatti berendezés van, fedd le vagy kerítsd el.

6. **Előkészítés:** Tisztítsd meg a tengelykapcsoló-feleket és a motor lábazatát. Győződj meg arról, hogy a motor talpcsavarjai kézzel állíthatók, de a motor ne tudjon elfordulni.

7. **Mérőóra felszerelése:** Rögzítsd a mérőórát az egyik tengelykapcsoló-félre (pl. a motor oldalira), a mérőcsúcsot érintsd a másik fél kerületéhez radiális méréshez, vagy a homlokfelülethez axiális méréshez. Nullázd a mérőórát.

8. **Mérés:** Forgassd a tengelyt lassan, kézzel. Jegyezd fel a mérőóra kitérését a 0°, 90°, 180° és 270° pozíciókban. A legnagyobb és legkisebb érték különbsége adja a teljes kifutást.

9. **Kiértékelés:** Számítsd ki az eltolódást (a függőleges síkban $(R_{180} - R_0)/2$, a vízszintesben $(R_{90} - R_{270})/2$), és hasonlítsd össze a gyártó által megengedett tűréssel (pl. 0,05 mm; ellenőrizd, hogy a gyártói tűrés eltolódásra vagy TIR-re vonatkozik-e). Ha az eltolódás nagyobb, folytasd a beállítást.

10. **Beállítás:** A függőleges síkú hibát (eltolódást és szöghibát egyaránt) a motorlábak alá helyezett alátétlemezekkel, a vízszintes síkút a motor oldalirányú eltolásával korrigáld; mindkét síkban a homlokmérés (szöghiba) és a palástmérés (eltolódás) alapján. Minden módosítás után ismételd meg a mérést.

11. **Axiális hézag ellenőrzése:** Hézagmérővel ellenőrizd a tengelykapcsoló-felek közötti hézagot; ennek meg kell felelnie a gyártói előírásnak.

12. **Meghúzás:** Ha a mérési eredmény a tűrésen belül van, húzd meg a motor talpcsavarjait nyomatékkulccsal a gyártói előírt nyomatékkal.

13. **Visszaállítás:** távolítsd el a mérőórát és a szerszámokat, szereld vissza a tengelykapcsoló védőburkolatát (forgó alkatrész: becsípődés- és behúzásveszély), szüntesd meg a földelést és rövidre zárást; a saját lakatodat te veszed le, a feszültség alá helyezést a jogosult személy végzi.

14. **Próbajárat:** a technológia szerint (szivattyúnál feltöltött állapotban, szárazfutás nélkül, mert az a tömítést károsítja), rezgés-, zaj- és csapágyhőmérséklet-ellenőrzéssel.

A 7–10. lépés mérését és kiértékelését a „Tengelykapcsolók” szakasz mérőórás ábrája mutatja (négy pozíció, ellenőrző összeg, eltolódás = TIR/2).

Ellenőrzési pontok: az eltolódás (TIR/2) mindkét síkban a gyártói tűrésen belül (pl. ≤ 0,05 mm); a tengelykapcsoló hézag a gyártói tűrésen belül; a talpcsavarok nyomatéka megfelelő; a próbajáraton nincs rendellenes zaj vagy rezgés.

Dokumentálás: rögzítsd a mérési értékeket a karbantartási naplóban, és töltsd ki a beállítási jegyzőkönyvet.

28.3.10. Tipikus hibák

1. **Túlfeszített ékszíj.** A szerelő azért feszíti meg a szíjat, hogy ne csússzon, de a túlzott feszítés túlterheli a motor és a hajtott gép csapágyait, ami csapágy melegedéshez és idő előtti tönkremenetelhez vezet. **Helyes gyakorlat:** a lehajlás mérésével, a gyártói táblázat szerint feszíteni.

2. **Rossz egytengelyűségű tengelykapcsoló.** A motor cseréjekor a tengelykapcsolót nem állítják be, így a radiális vagy szöghiba megnöveli a csapágyterhelést és a rezgést, a rugalmas betét gyorsan kopik. **Helyes gyakorlat:** minden szerelés után mérőórával ellenőrizni, és a motort alátétlemezekkel beállítani.

3. **Csapágy túlzsírozása.** A szerelő a biztonság kedvéért sok zsírt nyom a csapágyházba, ami a keveredési ellenállás miatt a csapágy túlmelegedését okozza. **Helyes gyakorlat:** a gyártói előírt mennyiséget (jellemzően a csapágyház térfogatának 30–50%-a) betartani.

4. **Csapágy melegedésének figyelmen kívül hagyása.** A próbajáraton a csapágy melegszik, de a szerelő „majd bejáratódik” alapon továbbüzemelteti a gépet, ami csapágy leálláshoz, tengelykárosodáshoz vezet. **Helyes gyakorlat:** a melegedés pontos okát azonnal ki kell vizsgálni (kenés, túlterhelés, rossz beállítás).

28.3.11. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A merev tengelykapcsoló kiegyenlíti a kisebb tengelyhibákat. Indokold.

2. **Gyors számolás.** Egy ékszíjas hajtásnál a motor tárcsa átmérője 100 mm, a hajtott tárcsáé 300 mm. Mekkora az áttétel, és hány 1/min a hajtott fordulatszám, ha a motor 1450 1/min fordulatszámon jár?

3. **Rajzolvasás.** Mit jelent a 6205 csapágyjelölés? Mekkora a furat?

4. **Mi a hiba ebben a kapcsolásban?** (Mechanikai értelemben:) A motor és a szivattyú tengelye közötti rugalmas tengelykapcsoló két fele közötti radiális eltérés 0,3 mm. A gyártó megengedett tűrése 0,05 mm. Mi a következmény, és mit kell tenni?

5. **Fogaskerék áttétel.** Hajtó fogaskerék 20 fog, hajtott 80 fog. Mekkora az áttétel, és mennyi a kimenő fordulatszám, ha a bemenő 1200 1/min?

A válaszokat a Megoldások szakasz elején, az „Önellenőrzés – válaszok” alcím alatt találod.

28.3.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorolj fel legalább három tengelykapcsoló típust, és röviden jellemezd őket.

2. feladat (A). Egy csapágy jelölése 6304. Mit jelent a 6-os, a 3-as és a 04? Számítsd ki a furatátmérőt.

3. feladat (B). Ékszíjas hajtásnál a hajtó tárcsa átmérője 140 mm, a hajtotté 350 mm. A motor fordulatszáma 1440 1/min. Számítsd ki az áttételt és a hajtott fordulatszámot. Ellenőrizd az eredményt a kerületi sebesség egyenlőségével.

4. feladat (B). Fogaskerék-hajtómű hajtó kereke 25 fogú, a hajtott 100 fogú. A bemenő fordulatszám 1000 1/min, a bemenő nyomaték 15 $\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$, a hatásfok 90%. Számítsd ki a kimenő fordulatszámot, az ideális nyomatékot, és a tényleges kimenő nyomatékot.

5. feladat (C). Egy motor–szivattyú tengelykapcsoló beállításánál a mérőóra mérési eredményei a következők (radiális kitérés 0°-nál 0,00 mm, 90°-nál +0,06 mm, 180°-nál +0,18 mm, 270°-nál +0,12 mm). A gyártói tűrés 0,05 mm. Milyen irányú beállításra van szükség? Magyarázd el, hogyan korrigálnád a motor helyzetét.

6. feladat (D). Hibakereső feladat: Egy ékszíjas hajtású ventilátor csapágya melegszik, a szíj hajlamos csúszni, és a tárcsa oldala fényesre kopott. Milyen három dolgot vizsgálnál meg először, és milyen méréseket végeznél? Vázold a hibakeresés lépéseit.

28.3.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A merev tengelykapcsoló nem tud kiegyenlíteni semmilyen hibát, mert a két tengelyvéget mereven köti össze. A kiegyenlítésre a rugalmas tengelykapcsoló alkalmas.
2. Az áttétel $i = d_2/d_1 = 300/100 = 3$. A hajtott fordulatszám $n_2 = n_1/i = 1450/3 \approx 483\,1/\text{min}$.
3. 6205: 6 = mélyhornyú golyóscsapágy, 2 = átmérősorozat (könnyű), 05 = furat $5\times5 = 25\,\text{mm}$.
4. A 0,3 mm radiális eltérés hatszorosa a megengedett 0,05 mm-nek. Ez a tengelykapcsoló rugalmas elemének gyors kopásához, rezgéshez, és a csapágyak túlterheléséhez vezet. A motort oldalirányban el kell tolni, és/vagy alátétlemezekkel beállítani, majd mérőórával ellenőrizni.
5. Áttétel $i = 80/20 = 4$, kimenő fordulatszám $n_2 = 1200/4 = 300\,1/\text{min}$.

1. feladat megoldása (A).
Például:
- **Merev tárcsás tengelykapcsoló:** pontos egytengelyűséget igényel, nincs kiegyenlítés.
- **Karmos (rugalmas) tengelykapcsoló:** a két fél közé gumicsillag kerül, kisebb tengelyhibákat kiegyenlít.
- **Hardy-tárcsás tengelykapcsoló:** rugalmas tárcsa köt össze két fél; szintén kiegyenlítő.

2. feladat megoldása (A).
6304: az első számjegy 6 → mélyhornyú golyóscsapágy. A második 3 → átmérősorozat (középnehéz). Az utolsó két számjegy 04 → furat $4 \times 5 = 20\,\text{mm}$.

3. feladat megoldása (B).
Áttétel: $i = \frac{350}{140} = 2{,}5$.
Hajtott fordulatszám: $n_2 = \frac{1440}{2{,}5} = 576\,1/\text{min}$.
Ellenőrzés kerületi sebességgel: $d_1 = 0{,}14\,\text{m}$, $d_2 = 0{,}35\,\text{m}$.
$v_1 = \pi d_1 n_1 = \pi \cdot 0{,}14 \cdot 1440 \approx 633{,}3\,\text{m/min}$.
$v_2 = \pi d_2 n_2 = \pi \cdot 0{,}35 \cdot 576 \approx 633{,}3\,\text{m/min}$.
A sebességek egyeznek, az eredmény helyes.

4. feladat megoldása (B).
Áttétel: $i = z_2/z_1 = 100/25 = 4$.
Kimenő fordulatszám: $n_2 = n_1/i = 1000/4 = 250\,1/\text{min}$.
Ideális nyomaték: $M_{2,\text{id}} = M_1 \cdot i = 15 \cdot 4 = 60\,\text{N}\cdot\text{m}$.
Hatásfokkal: $\eta = 0{,}9$, így $M_{2,\text{tény}} = M_{2,\text{id}} \cdot \eta = 60 \cdot 0{,}9 = 54\,\text{N}\cdot\text{m}$.

5. feladat megoldása (C).
A radiális eltérések 0°-nál 0,00 mm, 90°-nál +0,06 mm, 180°-nál +0,18 mm, 270°-nál +0,12 mm. A teljes kifutás $0{,}18 - 0 = 0{,}18\,\text{mm}$ (a maximális és minimális érték különbsége, TIR). A tengelyek tényleges eltolódása ennek fele. Ha a 0° a felső helyzet: a függőleges eltolódás $(0{,}18 - 0)/2 = 0{,}09\,\text{mm}$, ezt a motorlábak alatti alátétlemezek változtatásával kell korrigálni; a vízszintes eltolódás (a 90°-os és a 270°-os leolvasás különbségének fele) $(0{,}06 - 0{,}12)/2 = -0{,}03\,\text{mm}$; ez tűrésen belül van, oldaltolással finomítható. Az eltolódás irányát (előjelét) a mérőóra felszerelési

oldala határozza meg, ezért a korrekció irányát ebből kell megállapítani. A korrekció után a mérést meg kell ismételni.

6. feladat megoldása (D).
Hibakeresési lépések:
1. **Szíjfeszítés ellenőrzése:** lehajlásmérés a szíj közepén; ha túl laza, a szíj csúszik, melegszik, a tárcsa oldala fényesre kopik. A feszítést a gyártói táblázat szerint kell beállítani.
2. **Tárcsák párhuzamossága:** párhuzamossági vonalzóval vagy lézerrel ellenőrizni, mert a nem párhuzamos tárcsák oldalirányú kopást és melegedést okoznak.
3. **Csapágy állapota:** a hajtott oldali csapágy hőmérsékletét, zaját, rezgését megvizsgálni. Ha a csapágy túlterhelt a túl feszes szíj vagy a rossz beállítás miatt, akkor a hiba okát meg kell szüntetni, nem elég a csapágyat cserélni.

Eljárás összefoglalva: feszítés ellenőrzés → tárcsabeállítás → csapágyellenőrzés → korrekció → próbajárat → ellenőrző mérés.

28.3.14. Rövid összefoglaló

A hajtástechnikai gépelemek a villamos motor és a munkagép közötti mechanikai kapcsolatot biztosítják. A tengelykapcsoló lehet merev vagy rugalmas; a beállítás során az egytengelyűséget mérőórával ellenőrizzük, a megengedett eltérés jellemzően 0,05 mm **(ellenőrizendő)**. A gördülőcsapágyak – golyós, görgős – jelölése szabványos, pl. a 6205 furata 25 mm. Kenésük zsírral vagy olajjal történik, a túlzsírozás éppoly káros, mint a kenéshiány. Az ékszíjhajtás áttétele a tárcsaátmérők arányával számolható: $i = n_1/n_2 \approx d_2/d_1$; a szíj feszítését lehajlásméréssel ellenőrizzük. A fogaskerék-hajtómű áttétele $i = z_2/z_1$, a nyomaték pedig i-szeresére nő ideális esetben. A motor–gép hajtás szerelésekor a tengelykapcsoló beállítás, a csapágyállapot és a szíjfeszítés egyaránt kritikus. **Továbbvitt eredmény.** Ezek az ismeretek elengedhetetlenek a gépek megbontásához és javításához a Gépek megbontása, javítása és üzembe helyezése alfejezetben, ahol a csapágyak kiszerelése, a hajtás szétszerelése és összeszerelése történik.

28.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezetben hivatkozott szabványok, tűrések, kenőanyag-mennyiségek, csapágyjelölések és szíjfeszítési értékek a mindenkori gyártói katalógusok és a hatályos szabványok szerint ellenőrizendők. Nem adtunk meg konkrét szabványszámot, mert az ISO-csapágyjelölés és a gyártói adatok időben változhatnak; a megadott értékek (0,05 mm tűrés, 30–50% zsírkitöltés, 10–15 mm/m lehajlás) tanulási példák, nem tervezési előírások. A gyakorlati útmutatóban szereplő nyomatékok és tűrések a konkrét berendezés gépkönyvéből és a gyártó utasításából veendők.

29 Gépek anyagai és tekercselése

29.1. Vaslemezek, tekercsvezetők és szigetelési osztályok

29.1.1. Bevezetés és munkahelyi motiváció

Egy műhelyben a hibás motort megbontják, és a szerelő a leégett tekercset nézi. A kérdés nemcsak az, hogy mi égett le, hanem az is, hogy **miért** égett le, és milyen anyagból kell az új tekercselést elkészíteni. Ha a szerelő rossz zománchuzalt vagy alacsonyabb hőállósági osztályú szigetelést választ, a javítás után a gép hamarosan újra meghibásodik, és akár tüzet is okozhat. A vaslemezek, tekercsvezetők és szigetelési osztályok ismerete ezért nem laboratóriumi elmélet, hanem a motor-, transzformátor- és kapcsolószekrény-javítás mindennapi feltétele.

A villamos gép anyagai együtt határozzák meg a gép megbízhatóságát, hatásfokát és hőállóságát. A vasmag anyaga a veszteségeket, a tekercsvezető anyaga az áram folyását, a szigetelőanyag pedig a megengedett üzemi hőmérsékletet és élettartamot. Ebben az alfejezetben ezeket a géptechnikai anyagokat ismerjük meg.

29.1.2. Vaslemezek: a mágneses kör anyaga

A transzformátorok, forgó gépek és fojtótekercsek vasmagja nem tömör vasból, hanem vékony, egymástól elszigetelt lemezekből készül. Ennek oka az, hogy a váltakozó mágneses fluxus a vasmagban is feszültséget indukál, és az így kialakuló örvényáramok a tömör vasban nagy melegedést és veszteséget okoznának. A lemezeléssel az örvényáram útját hosszú, nagy ellenállású útra kényszerítjük, így a veszteség drasztikusan csökken.

Definíció. A **vaslemez** (villamoslemez) olyan vékony, speciális ötvözésű acéllemez, amelyet vasmagok készítésére használnak. Anyaga jellemzően szilíciummal ötvözött acél, mert a szilícium növeli a fajlagos ellenállást, és csökkenti a hiszterézisveszteséget. A lemezeket vékony szigetelő réteggel látják el, hogy az egyes lemezek elektromosan ne érintkezzenek egymással.

Összefüggés. A váltakozó áramú vasmagokban fellépő teljes vasveszteség két fő részből áll:

$$P_{\text{vas}} = P_{\text{h}} + P_{\text{o}},$$

ahol:

- P_{h} a **hiszterézisveszteség**, amelyet a mágneses dipólusok átfordítása okoz minden periódusban; arányos a frekvenciával és a fluxussűrűség hatványával.
- P_{o} az **örvényáramú veszteség**, amely a vasmagban indukált köráramokból adódik; arányos a lemezvastagság négyzetével, a frekvencia négyzetével és a fluxussűrűség négyzetével.

A lemezvastagság csökkentése tehát elsősorban az örvényáramú veszteséget csökkenti. Ezért a modern transzformátorlemezek vastagsága jellemzően 0,23–0,35 mm, a forgó gépekben 0,35–0,5 mm **(ellenőrizendő: aktuális gyártói adatlapok).**

Melegen és hidegen hengerelt lemezek

- A **melegen hengerelt lemez** korábban általános volt. Előállítása egyszerűbb, de mágneses tulajdonságai rosszabbak, és a vesztesége nagyobb. Régebbi gépekben, kapcsolószekrényekben találkozhatunk vele. A szakmában gyakran „dinamólemez” néven emlegetik, bár a mai szabványos megnevezés a villamoslemez.
- A **hidegen hengerelt lemez** jobb felületi minőségű és jobb mágneses tulajdonságú. Egy speciális változata a **szemcseorientált** lemez, amelyben a kristályszemcséket a hengerlés és a hőkezelés során úgy rendezik, hogy a mágneses tulajdonság a hengerlés irányában kiemelkedően jó legyen. A transzformátorok oszlopait és jármait ma jellemzően ilyen szemcseorientált hidegen hengerelt lemezből készítik, mert ez csökkenti a vasveszteséget és a gerjesztő áramot.

Lemezszigetelés. A lemezek közötti szigetelő réteg lehet gyári lakk, foszfátozott felület vagy speciális, vékony szervetlen bevonat. A lényeg, hogy a lemezek elektromosan el legyenek szigetelve, de a vasmag mágneses tulajdonságai ne romoljanak. A szigetelést nem szabad megsérteni: ha a lemezek összeérnek, az örvényáramú veszteség megnő, a vasmag jobban melegszik, és a gép hatásfoka romlik.

29.1.3. Tekercsvezetők: zománcozott huzal és szalag

A villamos gépek tekercseit leggyakrabban **zománcozott huzalból** csévélik. A huzal vörösréz vagy alumínium vezetőből és arra felvitt vékony, rugalmas, nagy átütési szilárdságú zománcszigetelésből áll. A zománc vastagsága néhányszor tíz mikrométer, mégis több száz vagy akár több ezer volt feszültséget is elvisel a menetek között. A réz a jó vezetőképessége miatt a legelterjedtebb, az alumínium pedig elsősorban transzformátorokban és nagyobb gépekben használatos, ahol a tömeg és az ár szerepet játszik.

Fontos jellemzők:

- **Zománc hőállósága.** A zománc típusát a szigetelési osztályhoz kell igazítani. Például poliészter alapú zománcok jellemzően 155 °C (F osztály) tartós hőmérsékletre alkalmasak, poliamid-imid zománcok 180–220 °C-ig használhatók, a poliimid zománcok pedig akár 220 °C felett is **(ellenőrizendő: konkrét gyártói hőosztályok).**
- **Keresztmetszet és áramsűrűség.** A vezető keresztmetszetét úgy választjuk, hogy a szükséges áram mellett a melegedés ne lépje túl a szigetelési osztály határát. A gyakorlatban a tekercselésnél megengedett áramsűrűséget használjuk:

$$J = \frac{I}{A},$$

ahol J az áramsűrűség, I az áram, A a vezető keresztmetszete. Léghűtéses kis- és közepes gépeknél a rezes tekercs tipikus megengedett áramsűrűsége 2–4 A/mm², olajhűtéses transzformátoroknál magasabb is lehet **(ellenőrizendő: gyártói tervezési adat).**

- **Szalagtekercs.** Nagyobb keresztmetszetű tekercseknél a kerek huzal helyett **lapos szalagot** használnak. A szalag jobban kitölti a rendelkezésre álló ablakot, csökkenti a szkin-hatást (áramkiszorítást), és alacsonyabb szórt induktivitást eredményezhet. A skin-hatás azt jelenti, hogy váltakozó áram esetén az áram a vezető felületéhez szorul, ezért a nagy keresztmetszetű kerek huzal belseje kihasználatlan marad; a szalag nagy felülete kisebb ellenállást és kevesebb veszteséget ad ugyanakkora keresztmetszethez képest.

A tekercsvezető kiválasztásakor tehát nemcsak a keresztmetszetet, hanem a zománc hőállóságát, a mechanikai szilárdságot és a csévélhetőséget is figyelembe kell venni.

29.1.4. Szigetelési osztályok és megengedett melegedés

A(z) Szigetelőanyagok és műanyagok alfejezetben már bemutattuk a szigetelési hőállósági osztályokat. Most a gépekre alkalmazzuk őket. A szigetelési osztály betűjele azt a **maximális tartós üzemi hőmérsékletet** adja meg, amelyet a szigetelőanyag a várható élettartam alatt elvisel.



29.1. ábra. Szigetelési hőállósági osztályok maximális tartós hőmérséklete - Szemléltető értékek az MSZ EN 60085 szerinti hőállósági osztályokhoz. A 180 °C feletti osztályokat az újabb szabványkiadás N (200 °C), R (220 °C) és 250 jellel adja; a régi „C” jel jelentése „180 °C felett”. Az aktuális szabványkiadást ellenőrizni kell.

Szabvány. A villamos szigetelések hőállósági osztályait az MSZ EN 60085 sorozat tárgyalja **(ellenőrizendő: aktuális kiadás).** A forgó villamos gépek megengedett melegedését és a mérési módszereket a gépszabvány, például az MSZ EN 60034-1 **(ellenőrizendő: pontos szám és kiadás)** tartalmazza. Az osztályok a szigetelőanyag maximális tartós hőmérsékletét rögzítik, például:

- Y: 90 °C (régebben használt, természetes szigetelőanyagok)
- A: 105 °C (természetes szerves anyagok, pamut, selyem, papír)
- E: 120 °C
- B: 130 °C (üvegszálas, epoxi alapú szigetelések)
- F: 155 °C (üvegszálas, epoxi, korszerű zománcok)
- H: 180 °C (szilikon, üvegszál, poliimid)
- N: 200 °C, R: 220 °C, 250: 250 °C (az MSZ EN 60085 szerinti jelölés; a régi „C” jel jelentése: 180 °C felett, tiszta szervetlen anyagok, poliimid, kerámia; ellenőrizendő: aktuális kiadás)

A **megengedett melegedés** az a hőmérséklet-emelkedés, amelyet a szigetelés a környezeti hőmérséklethez képest elérhet. Ha a környezet hőmérséklete $T_{\text{környezet}}$, a szigetelés maximális tartós hőmérséklete $T_{\max}$, akkor az elvi megengedett melegedés:

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\text{környezet}}.$$

A gyakorlatban a megengedett melegedés a mérési módszertől függ (ellenállásmódszer, hőelemes mérés, beágyazott hőmérséklet-érzékelő), és a gépszabvány pontos határértékeket ad. A környezeti hőmérsékletet általában 40 °C-ra veszik, de ez a besorolási feltétel, nem mindig azonos a tényleges üzemi környezettel **(ellenőrizendő).**

A szigetelési osztály tehát **nem a gép megengedett melegedése**, hanem a szigetelőanyag hőállóságának osztálya. Például egy B osztályú szigetelésű motor 130 °C-os tekercshőmérsékletig üzemelhet tartósan, ezért 40 °C-os környezetben az elvi melegedés legfeljebb 90 K lehet, de az MSZ EN 60034-1 szerinti ellenőrzési szabályok szerint a megengedett melegedés ennél kisebb: ellenállásmódszerrel B osztálynál tipikusan 80 K, F osztálynál 105 K, H osztálynál 125 K **(ellenőrizendő: MSZ EN 60034-1, gyártói adatlap)**, mert a mérési pont nem a legmelegebb helyet mutatja. A rendszer: osztályhatár − 40 °C − a legmelegebb pont többlete (kb. 10–15 K): B: 130 − 40 − 10 = 80 K; F: 155 − 40 − 10 = 105 K; H: 180 − 40 − 15 = 125 K.

Osztály	Max. hőmérséklet	Megengedett melegedés (ellenállásmódszer)	Különbség 40 °C-os környezetben
B	130 °C	80 K	130 − (40 + 80) = 10 K
F	155 °C	105 K	155 − (40 + 105) = 10 K
H	180 °C	125 K	180 − (40 + 125) = 15 K

(Szemléltető értékek, **ellenőrizendő:** MSZ EN 60034-1.) A pontos értékeket mindig az aktuális gépszabvány és a gyártói adatlap tartalmazza.

29.1.5. Transzformátorolaj, szigetelőlapok és csévetest

A nagyobb transzformátorokban és egyes kapcsolókészülékekben **transzformátorolajat** használnak. Az olajnak kettős szerepe van: egyrészt szigetelőközeg, másrészt hűtőközeg. A tekercsek által termelt hőt az olaj elszállítja a radiátorokhoz vagy a hűtőrendszerhez. Az olaj fontos paraméterei:

- **Átütési szilárdság**: azt mutatja, mekkora feszültség hatására üt át az olajréteg. A nedvesség és a szennyeződés drasztikusan csökkenti.
- **Viszkozitás**: befolyásolja a hűtési képességet; a túl viszkózus olaj rosszabbul áramlik.
- **Lobbanáspont**: tűzvédelmi szempontból fontos.
- **Víztartalom, savszám**: az öregedés és a nedvességfelvétel jellemzői.

Az olajat zártan kell tárolni, mert a levegőből nedvességet vesz fel. A nedves olaj átütési szilárdsága a töredékére csökkenhet.

Szigetelőlapok. A tekercsek közötti és a tekercs–vasmag közötti szigetelésre lemezes anyagokat használnak: bakelit, üvegtextil, aramid papír (például Nomex), poliészter film (például Mylar), poliimid film (például Kapton). Ezeket a hőállósági osztályhoz kell igazítani; egy F osztályú tekercsben nem használhatunk A osztályú papírt, mert az a megengedett hőmérsékleten öregszik, szakad és elveszíti szigetelőképességét.

Csévetest. A csévetest a tekercs hordozója, amelyre a huzalt rendezetten felcsévélik. Anyaga leggyakrabban hőre keményedő műanyag, például üvegerősítésű poliészter vagy bakelit, illetve

kisméretű tekercseknél hőálló hőre lágyuló műanyag. A csévetest anyagának hőállósága is legalább az adott szigetelési osztályhoz tartozó hőmérsékletet kell hogy elviselje.

29.1.6. Kidolgozott példa

Egy javítóműhelyben beérkezik egy háromfázisú rövidre zárt forgórészű aszinkronmotor. Az adattáblán a szigetelési osztály: **F** (155 °C). A szerelő megméri a tekercs ellenállását 20 °C-os környezetben: $R_1 = 1{,}20\,\Omega$. Ezután névleges terheléssel járatja a motort, és a meleg állapotú ellenállás $R_2 = 1{,}62\,\Omega$. A réz hőmérsékleti tényezője $\alpha = 0{,}00393\ \mathrm{K}^{-1}$. Kérdés: mekkora a meleg tekercs hőmérséklete, és megfelel-e a motor az F osztálynak?

Számítás. A réz ellenállásának hőmérsékletfüggése:

$$R_2 = R_1\left[1 + \alpha\,(T_2 - T_1)\right],$$

ahol $T_1 = 20\ ^\circ\mathrm{C}$. Az egyenletet T_2-re rendezzük:

$$T_2 = T_1 + \frac{\frac{R_2}{R_1} - 1}{\alpha}.$$

Behelyettesítés:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{1{,}62\,\Omega}{1{,}20\,\Omega} = 1{,}35,$$

$$T_2 = 20\ ^\circ\mathrm{C} + \frac{1{,}35 - 1}{0{,}00393\ \mathrm{K}^{-1}} = 20\ ^\circ\mathrm{C} + \frac{0{,}35}{0{,}00393}\ \mathrm{K} \approx 20\ ^\circ\mathrm{C} + 89{,}1\ \mathrm{K} \approx 109{,}1\ ^\circ\mathrm{C}.$$

Ellenőrzés: a melegedés a 20 °C-os környezethez képest $109{,}1 - 20 = 89{,}1$ K. Az F osztályú gépre ellenállásmódszerrel tipikusan 105 K melegedés engedhető meg (ellenőrizendő: MSZ EN 60034-1, gyártói adatlap); $89{,}1\ \mathrm{K} < 105\ \mathrm{K}$, tehát a motor megfelel. A 155 °C-hoz közvetlenül nem hasonlítunk, mert a legmelegebb pont hőmérséklete az átlagnál nagyobb. Ha a környezet ténylegesen 40 °C lett volna, a tekercs hőmérséklete $40 + 89{,}1 = 129{,}1$ °C lenne, amit a $40 + 105 = 145$ °C megengedett értékhez kell hasonlítani (nem a 155 °C-hoz): a melegedés változatlanul 89,1 K, ami a 105 K alatt marad. A motor az F osztályú szigeteléssel megfelelő. ∎

Ez a példa mutatja, hogy a tekercsellenállás-mérés egyszerű eszköz a hőmérséklet becslésére, de az éles ellenőrzéshez az aktuális gépszabvány mérési módszereit kell alkalmazni.

29.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy karbantartó üzemben egy régi, B osztályú szivattyúmotort újratekercseltek. A tekercselő a meglévő készletből E osztályú (120 °C) zománchuzalt használt, mert az olcsóbb volt, és a méret passzolt. A motor az első hetekben üzemelt, majd a tekercs zárlatos lett, és a védelem lekapcsolta. A vizsgálat kimutatta, hogy a motor a terhelés miatt a tekercsben elérte a 125–130 °C-os átlaghőmérsékletet, ami már a B osztály megengedett 120 °C-os átlaghőmérsékletét (40 °C-os környezetben, ellenállásmódszerrel) is meghaladta: a motor túlterhelt volt, és az E osztályú zománc még gyorsabban öregedett. A hibás anyagválasztás miatt a motor újratekercselése és az állásidő többe került, mint a megfelelő huzal lett volna.

Tanulság: a szigetelési osztály a teljes tekercsre vonatkozik; nem elég a csévetestet vagy a szigetelőlapot megnézni, a zománchuzal hőállóságát is legalább az adattáblán szereplő osztályhoz kell igazítani. **Biztonsági korlát.** A hálózati feszültségű gépek tekercselése, megbontása és javítása csak jogosult személynek, feszültségmentesítés után megengedett. A feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát mindig be kell tartani: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

29.1.8. Tipikus hibák

1. **A lemezszigetelés megsértése.** A vasmagot reszelővel vagy csiszolóval alakítják, és a lemezek között fémes összeérések keletkeznek. Az örvényáramú veszteség megnő, a vasmag melegszik, a gép hatásfoka romlik. Helyes gyakorlat: a lemezeket csak a gyártó által megengedett módon szabad alakítani, és a sérüléseket kerülni kell.

2. **Alacsonyabb hőosztályú zománchuzal beépítése.** Ha az eredeti F osztály helyett B vagy E osztályú huzalt használ a szerelő, a motor rövid idő alatt tönkremegy. Helyes gyakorlat: mindig az adattábla szerinti vagy annál magasabb osztályú huzalt válasszunk, és dokumentáljuk a cserét.

3. **A transzformátorolaj nyitott tárolása.** Az olaj a levegőből nedvességet vesz fel, ezért az átütési szilárdsága lecsökken. A nedves olajjal töltött transzformátor szigetelése megbízhatatlan. Helyes gyakorlat: az olajat zárt, száraz edényben tárolni, és beöntés előtt ellenőrizni az átütési feszültséget.

4. **A melegedés és a szigetelési osztály összekeverése.** Sokan azt hiszik, hogy az F osztályú motor 155 °C-os melegedést enged meg. Valójában a 155 °C a megengedett tartós tekercshőmérséklet, nem a hőmérséklet-emelkedés. A megengedett melegedés a környezeti hőmérséklet figyelembevételével, a mérési módszer szerint sokkal kisebb. Helyes gyakorlat: a gépszabvány szerinti melegedéshatárt és mérési előírást használni.

29.1.9. Önellenőrzés

1. Miért lemezelt a transzformátor vasmagja?
2. Mit jelent a hidegen hengerelt, szemcseorientált lemez előnye?
3. Milyen hőmérsékletet jelöl az F szigetelési osztály?
4. Miért használnak szalagtekercset nagyobb keresztmetszeteknél?
5. Melyik zománchuzal-típus alkalmas 180 °C-os tartós hőmérsékletre?
6. Mire kell ügyelni a transzformátorolaj tárolásakor?

29.1.10. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a vaslemezek ötvözésének és lemezszigetelésének szerepét.

2. feladat (A) Egy tekercs vezetőjének keresztmetszete $A = 1{,}5\,\mathrm{mm}^2$, a rajta folyó áram $I = 4{,}5\,\mathrm{A}$. Számítsd ki az áramsűrűséget J-t.

3. feladat (B) Egy motor tekercsének hideg ellenállása 25 °C-on $R_1 = 0{,}60\,\Omega$. Meleg állapotban a mért ellenállás $R_2 = 0{,}83\,\Omega$. A réz hőmérsékleti tényezője $\alpha = 0{,}00393\ \mathrm{K}^{-1}$. Számítsd ki a meleg tekercs hőmérsékletét és a tekercs melegedését a 25 °C-os környezethez képest. H osztályú (180 °C) szigetelés esetén megfelel-e az eredmény?

4. feladat (B) Egy F osztályú (155 °C) motort 40 °C-os környezetben kell üzemeltetni. A gépszabvány szerinti megengedett melegedés ellenállásmódszerrel 105 K **(ellenőrizendő: pontos érték a gyártói adatlapról).** Mekkora lehet a tekercs átlaghőmérséklete a számítás szerint? Mekkora különbség marad a 155 °C-ig, és mire szolgál?

5. feladat (C) Egy transzformátor vasmagjában a hiszterézisveszteség $P_{\mathrm{h}} = 120\,\mathrm{W}$, az örvényáramú veszteség $P_{\mathrm{o}} = 80\,\mathrm{W}$. A terhelés során a vasveszteség állandó. Mekkora a teljes vasveszteség? Ha a lemezvastagságot a felére csökkentenénk, az örvényáramú veszteség a negyedére változik (arányos a vastagság négyzetével). Számítsd ki az új vasveszteséget, és becsüld meg a veszteségcsökkenés százalékát.

6. feladat (D) Egy javítóműhelyben az alábbi zománchuzal-tekercsek állnak rendelkezésre: - 130 °C-os zománc, - 155 °C-os zománc, - 180 °C-os zománc.

A beérkezett motor adattáblája szerint a szigetelési osztály F. Válaszd ki a megfelelő zománchuzalt, és indokold a választást. Milyen szigetelőlapot választanál a tekercs és a vasmag közé, ha a műhelyben A, B, F és H osztályú lapok kaphatók?

29.1.11. Megoldások

29.1.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. A lemezelés az örvényáramú veszteséget csökkenti, mert az örvényáramok útját hosszú, nagy ellenállású útra kényszeríti.
2. A szemcseorientált hidegen hengerelt lemeznek a hengerlés irányában jobb a mágneses tulajdonsága, kisebb a vasvesztesége és kisebb a gerjesztő árama.
3. Az F osztály maximális tartós hőmérséklete 155 °C.
4. A szalag jobban kitölti a tekercselési ablakot, csökkenti a szkin-hatást és kisebb szórt induktivitást adhat.
5. 180 °C-os tartós hőmérsékletre jellemzően poliamid-imid vagy poliimid zománc alkalmas (a konkrét típus gyártói adatlap szerint ellenőrizendő).
6. Zárt, száraz edényben, nedvességtől védve kell tárolni, és beöntés előtt ellenőrizni kell az átütési feszültséget.

29.1.11.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A)

Az ötvözés (jellemzően szilícium) növeli a fajlagos ellenállást, csökkenti a hiszterézisveszteséget. A lemezszigetelés megakadályozza az örvényáramok átfolyását a lemezek között, így csökkenti az örvényáramú veszteséget.

2. feladat (A)

$$J = \frac{I}{A} = \frac{4{,}5\,\mathrm{A}}{1{,}5\,\mathrm{mm}^2} = 3{,}0\,\mathrm{A/mm}^2.$$

Ez a léghűtéses tekercselésre jellemző tartományban van.

3. feladat (B)

A képlet:

$$T_2 = T_1 + \frac{\frac{R_2}{R_1} - 1}{\alpha}.$$

$$T_2 = 25\ ^\circ\mathrm{C} + \frac{\frac{0{,}83}{0{,}60} - 1}{0{,}00393} \approx 25\ ^\circ\mathrm{C} + \frac{1{,}3833 - 1}{0{,}00393}\ \mathrm{K} = 25\ ^\circ\mathrm{C} + \frac{0{,}3833}{0{,}00393}\ \mathrm{K} \approx 25\ ^\circ\mathrm{C} + 97{,}5\ \mathrm{K} \approx 122{,}5\ ^\circ\mathrm{C}.$$

Megjegyzés: az $\alpha = 0{,}00393\ \mathrm{K}^{-1}$ a 20 °C-os referenciára vonatkozik, ezért 25 °C-os hideg hőmérsékletnél a lineáris képlet kis hibát ad. Pontosabban, a Tekercselés, impregnálás, csapágyak és szénkefe alfejezetben használt $(235 + T)$ arányos alakkal $T_2 \approx 124{,}7\ ^\circ\mathrm{C}$; a következtetés nem változik.

A melegedés: $\Delta T = 122{,}5\ ^\circ\mathrm{C} - 25\ ^\circ\mathrm{C} = 97{,}5\ \mathrm{K}$. H osztályú szigetelésnél ellenállásmódszerrel tipikusan 125 K melegedés engedhető meg (ellenőrizendő: MSZ EN 60034-1, gyártói adatlap); $97{,}5\ \mathrm{K} < 125\ \mathrm{K}$, tehát a tekercs megfelel. (A 180 °C-hoz közvetlenül nem hasonlítunk, mert a legmelegebb pont az átlagnál melegebb.)

4. feladat (B)

A maximális tartós hőmérséklet:

$$T_{\max} = T_{\text{környezet}} + \Delta T = 40\ ^\circ\mathrm{C} + 105\ \mathrm{K} = 145\ ^\circ\mathrm{C}.$$

A különbség $155\ ^\circ\mathrm{C} - 145\ ^\circ\mathrm{C} = 10\ \mathrm{K}$. Ez nem üzemi tartalék: ez fedezi, hogy a tekercs legmelegebb pontja az ellenállásmódszerrel mért átlaghőmérsékletnél melegebb. Ha a mért melegedés eléri a 105 K-t, a gép a határon üzemel (ellenőrizendő: MSZ EN 60034-1, gyártói adatlap). Ugyanez az érvelés, mint a 29.1.6 példában és a 3. feladatban.

5. feladat (C)

A teljes vasveszteség most:

$$P_{\text{vas}} = 120\ \mathrm{W} + 80\ \mathrm{W} = 200\ \mathrm{W}.$$

Ha a lemezvastagság felére csökken, az örvényáramú veszteség a negyedére változik:

$$P_{\text{ö,új}} = \frac{80\ \mathrm{W}}{4} = 20\ \mathrm{W}.$$

Az új vasveszteség:

$$P_{\text{vas,új}} = 120\ \mathrm{W} + 20\ \mathrm{W} = 140\ \mathrm{W}.$$

A csökkenés: $\frac{200-140}{200} \cdot 100 = 30\%$. A hiszterézisveszteség változatlan marad, mert az nem függ a lemezvastagságtól.

6. feladat (D)

Az F osztályú motorhoz legalább 155 °C-os zománchuzalt kell választani. Tehát a 155 °C-os zománc megfelel, a 180 °C-os is jó, de drágább. A 130 °C-os (B osztályú) zománc nem alkalmas, mert az F osztály 155 °C-os határa alatt van. A tekercs és a vasmag közé F osztályú szigetelőlapot választunk (a felsoroltak közül F vagy H, attól függően, hogy a hűtés és a hőmérsékleti tartalék mit kíván; az F a minimálisan szükséges). A szigetelőlap hőállóságának legalább az F osztályt el kell érnie, különben az a leggyengébb láncszem lesz.

29.1.12. Rövid összefoglaló

A villamos gépek anyagai határozzák meg a gép működését és élettartamát. A vasmag lemezelt szilíciumacélból készül, mert a lemezelés csökkenti az örvényáramú veszteséget, a szilícium pedig a hiszterézisveszteséget. A lemezeket vékony szigeteléssel látjuk el, amelyet nem szabad megsérteni. A tekercsvezetők zománcozott réz- vagy alumíniumhuzalok, nagyobb keresztmetszetnél szalagok. A zománc hőállósága a szigetelési osztályhoz igazodik; az osztály betűjele a megengedett maximális tartós üzemi hőmérsékletet adja (pl. B = 130 °C, F = 155 °C, H = 180 °C). A megengedett melegedés a környezeti hőmérséklet és a mérési módszer figyelembevételével kisebb a hőosztály-határnál. A transzformátorolaj a szigetelés és a hűtés közege, nedvességtől védve kell tartani. A szigetelőlapok és a csévetest anyagát szintén a hőállósági osztályhoz kell illeszteni. **Továbbvitt eredmény.** A vaslemezek, zománchuzalok, szigetelési osztályok és a melegedés fogalma alapvető a Tekercselés, impregnálás, csapágyak és szénkefe alfejezetben, ahol a tekercselés gyakorlati kivitelezését, az impregnálást és a gép további anyagait tanuljuk.

29.1.13. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet a klasszikus villamosgép-anyagismereten és a gyakorlati szerelői tapasztalaton alapul. A hőállósági osztályok betűjelei és értékei az MSZ EN 60085 sorozat szerintiek, de az aktuális kiadást és a pontos osztályonkénti anyagbesorolást ellenőrizni kell. A forgó gépek megengedett melegedésértékei és mérési módszerei az MSZ EN 60034-1 szabvány szerint változhatnak, ezért a konkrét határértékeket mindig a gyártói adatlap és a hatályos szabvány alapján kell használni. A vaslemez vastagságra, áramsűrűségre és zománchuzal-hőállóságra adott értékek tájékoztató jellegűek, iparági gyakorlatból származnak.

29.2. Tekercselés, impregnálás, csapágyak és szénkefe

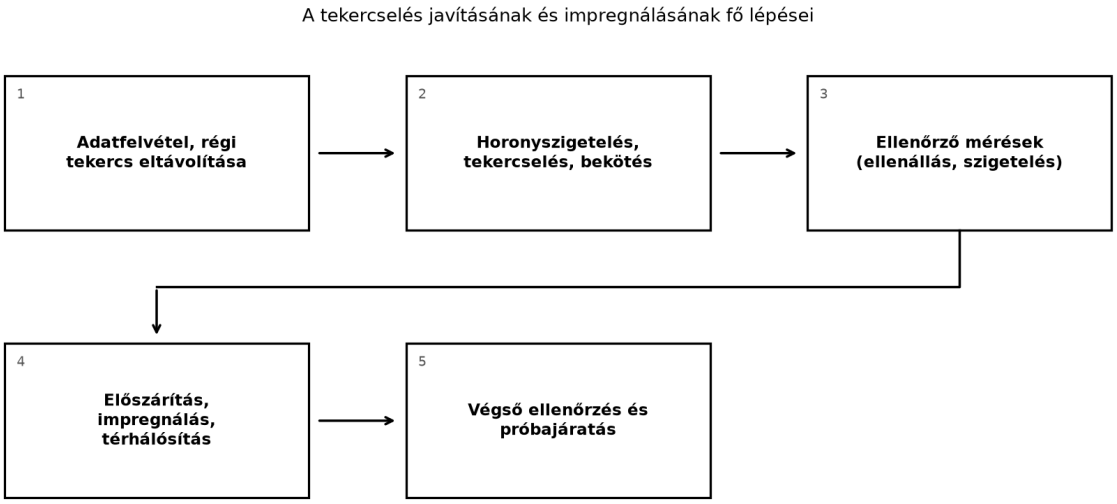
29.2.1. Motiváció

A villamos gép kívülről gyakran csak egy csendes vagy éppen zúgó doboz, belül azonban precíz anyagrendszer dolgozik: tekercselt réz vagy alumínium vezetők, szigetelőanyagok, vaslemezek, csapágyak és – egyes gépeknél – szénkefék. Ha a motort megbontod, nem elég „látni”, hogy van benne valami réz és vas: tudnod kell, milyen egy egészséges tekercsfej, mire való az impregnálás, miért szikrázik a szénkefe, és miből hallod meg a csapágyhibát. Ez az alfejezet ezt a **gépszerkezeti és anyagvizsgálati** tudást adja.

A(z) Vaslemezek, tekercsvezetők és szigetelési osztályok alfejezetben megismerkedtél a vaslemezekkel, tekercsvezetőkkel és szigetelési osztályokkal. Most arra a kérdésre válaszolunk, ami a műhelyben felmerül: mi van az állórész hornyaiban, hogyan készül és miért van impregnálva a tekercselés, mi a kalickás forgórész, mit vizsgáljunk a csapágyon és a szénkefén?

29.2.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy háromfázisú aszinkron motort, amelyet éppen megbontottak. Az állórész belső palástján hornyok futnak. A hornyokban szigetelt tekercsoldalak fekszenek, a horonyon kívül a kétoldali **tekercsfej** domborodik, amelyet üvegszálas kötözőzsineggel és impregnáló lakkal rögzítettek. A forgórész tengelyére préselt vaslemezcsomagban kalickás rudak húzódnak, a tengely két végét gördülőcsapágyak tartják. Ha csúszógyűrűs gépről van szó, a forgórész végén gyűrűkön futó szénkeféket is látsz.



29.2. ábra. A tekercselés javításának és impregnálásának fő lépései - Szemléltető folyamatábra; a konkrét technológiát a gyártói és műhelyi utasítás határozza meg.

Az ábrán a tekercselés javításának és impregnálásának jellemző folyamata látható. A konkrét sorrendet mindig a gép gyártói dokumentációja, a tekercselőműhely technológiája és a szigetelési rendszer minősítése szabja meg.

29.2.3. Definíciók és szabályok

29.2.3.1. Állórész-tekercselés, tekercsfej és bekötés

Definíció. Az **állórész-tekercselés** a forgó villamos gép álló részében elhelyezett, egymástól és a vaslemeztől szigetelt vezetőrendszer, amelyben a forgó mágneses mezőt létrehozó áram folyik.

A háromfázisú tekercselés fázistekercsekből áll, amelyeket a hornyokban úgy osztanak el, hogy a rákapcsolt szimmetrikus feszültségrendszer hatására pólusszámtól függő, forgó mező alakuljon ki. A horonyban lévő tekercsoldalakat **horonyszigetelés** választja el a vaslemeztől; a horony száját záróék vagy szigetelőcsík rögzíti.

Definíció. A **tekercsfej** a tekercs azon része, amely a hornyon kívül köti össze a tekercsoldalakat, és a horonyvégeknél ívesen hajlik.

A tekercsfej nem „felesleges hossz”, hanem a tekercs része. A tekercsfejet kötözőzsinórral, szalaggal és impregnáló lakkal rögzítik, mert az indítási áram nagy erőhatásokat kelt. Ha a tekercsfej nincs elég szilárdan rögzítve, a rezgés dörzsölheti a zománcszigetelést, és menetzárlat alakulhat ki.

Szabály. A motortekercsek bekötése általában a kapocstáblán történik csillag vagy delta kapcsolással, a Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány alfejezetben leírtak szerint. A fázistekercsek jelölése U1–U2, V1–V2, W1–W2, a kapocsdobozban ezeket kell párosítani.

Egy tekercselés belső bekötése lehet tekercscsoportonként soros vagy párhuzamos. A párhuzamos ágak számának növelésével a tekercsáram kisebb elemi vezetőkre osztható, de az ágaknak szimmetrikusnak kell lenniük. Ha egy fázis párhuzamos ágaiban eltérő menetszám vagy hossz van, keringő áram és egyenetlen melegedés jön létre.

29.2.3.2. Impregnálás és szárítás

Definíció. Az **impregnálás** olyan technológiai művelet, amelynek során szigetelő lakkot vagy gyantát juttatnak a tekercselés réseibe, majd azt térhálósítják.

Az impregnálás célja:

- a menetek közötti rések kitöltése és a szigetelés mechanikai rögzítése,
- a nedvesség, por és vegyi anyagok behatolásának csökkentése,
- a hővezetés javítása,
- a rezgés okozta dörzsölődés és menetzárlat kockázatának mérséklése,
- a tekercsfej geometriájának stabilizálása.

Szabály. Impregnálás előtt a tekercselést **elő kell szárítani**, mert a pórusokban lévő nedvesség tönkreteszi a szigetelési ellenállást, és a lakk sem köt be egyenletesen. A szárítás történhet kemencében, meleg levegővel vagy – kisebb tekercseléseknél – ellenőrzött egyenáramú átfolyatással. A hőmérsékletet és az időt a szigetelési rendszer gyártói utasítása adja meg.

A szárítás utáni állapotot a szigetelési ellenállás mérésével ellenőrzik. Ha a szigetelési ellenállás a szükséges érték fölé emelkedett és stabilan ott marad, a tekercselés kellően száraz.

Figyelem. Az impregnáló lakk gyúlékony és egészségre ártalmas lehet. Csak megfelelő szellőzésű műhelyben, előírt védőeszközökkel szabad dolgozni. A kemence hőmérsékletét és szellőzését a lakk gyártói adatlapja szerint kell beállítani.

29.2.3.3. Kalickás forgórész, tengely, csapágy

Definíció. A **kalickás forgórész** olyan forgórész, amelynek hornyaiban (általában szigeteletlen, öntött alumínium vagy beütött réz) rudak futnak, és a rudak végeit rövidrezáró gyűrűk kötik össze; a rudak és gyűrűk együtt zárt, kalickaszerű áramhurkokat alkotnak.

A rudak és rövidrezáró gyűrűk anyaga gyakran **öntött alumínium**, nagyobb gépeknél **rézrúd** is lehet. Az alumíniumöntés jó hő- és villamos vezetést ad, a rudak és a vaslemez között szoros kapcsolat alakul ki. A rudak gyakran ferdén, a tengellyel enyhén elferdítve helyezkednek el, hogy csökkentsék a horonyharmonikusok okozta nyomatéklüktetést és zajt.

Szabály. A kalickás forgórésznek nincs külső villamos csatlakozása, ezért szénkefére sincs szüksége. A csúszógyűrűs aszinkron gépnél a forgórész tekercselése csúszógyűrűkre csatlakozik, és ott szénkefék vezetik be vagy ki az áramot.

A **tengely** általában ötvözött acélból készül, és a vaslemezcsomagot, a csapágyakat, valamint a hajtott gépet kapcsolja össze. A tengely csapágyüléseinek mérettűrése és felületi érdessége szigorú, mert a rossz illesztés csapágykopást és rezgést okoz.

Definíció. A **csapágy** a forgórész tengelyének megtámasztására és a fellépő radiális vagy axiális erők felvételére szolgáló gépelem.

A villamos gépeknél leggyakrabban **gördülőcsapágy** (golyós vagy görgős) található, kis, olcsó motoroknál (szinterelt perselyes kivitel), valamint nagy teljesítményű, nagyfeszültségű gépeknél és generátoroknál (olajkenésű siklócsapágy) **siklócsapágy** is előfordul; ennél az olajszint és az olajhőmérséklet ellenőrzése is a vizsgálat része. A gördülőcsapágyat zsírral vagy olajjal kenik. A csapágy állapota a rezgésből, zajból, hőmérsékletből és a tengelyhézag változásából ítélhető meg.

29.2.3.4. Szénkefe: anyag, kopás, nyomás

Definíció. A **szénkefe** olyan, jellemzően grafit alapú csúszóérintkező, amely a forgó csúszógyűrűről vagy kommutátorról vezeti át az áramot az álló rész felé.

Megjegyzés. A szóban forgó „szénkefe” anyaga gyakran nem tiszta szén, hanem grafit, elektrografit vagy réz-grafit keverék. A réztartalom növeli a vezetőképességet és csökkenti a kefe ellenállását, ezért nagyobb áramú gépeknél használják.

A kefe a **kefetartóban** mozog, rugó vagy állandó nyomású szerkezet nyomja a csúszógyűrűhöz vagy kommutátorhoz. A kefe és a gyűrű között vékony, grafitból és réz-oxidból álló **patinaréteg** alakul ki; ez biztosítja az egyenletes áramátmenetet.

Szabály. A kefe nyomását a gyártó adatlapja szerint kell beállítani. Túl nagy nyomás gyorsítja a mechanikai kopást és túlmelegíti a csúszófelületet, túl kicsi nyomás pattogást, szikrázást és ívképződést okoz.

A kefe kopását a hosszának mérésével követik. A minimális hosszt a kefén, a kefetartón vagy a gépkönyvben jelölik; ha a kefe rövidebb, a rugó már nem tud megfelelően nyomni, ezért ki kell cserélni. A kopott kefe jellemző jele a szikrázás, a gyűrű felületének érdessége, valamint a kefetartóban keletkező por.

29.2.4. Kidolgozott példák

Példa. Egy egyenáramú motor kommutátorán egy szénkefe keresztmetszete $A = 10\,\mathrm{mm} \times 16\,\mathrm{mm} = 160\,\mathrm{mm}^2$. A gyártó a kefe anyagára $J_{\max} = 6\,\mathrm{A/cm}^2 = 0{,}06\,\mathrm{A/mm}^2$ tartós áramsűrűséget ad meg (a szénkefék jellemző értéke néhány $\mathrm{A/cm}^2$, ellenőrizendő: kefegyártói katalógus). Mekkora áramot vehet fel ez a kefe?

Számítás.

Adott: $A = 160\,\mathrm{mm}^2$, $J_{\max} = 0{,}06\,\mathrm{A/mm}^2$ $(= 6\,\mathrm{A/cm}^2)$.
Keresett: $I_{\max}$.

Képlet:

$$I_{\max} = J_{\max} \cdot A.$$

Behelyettesítés:

$$I_{\max} = 0{,}06\,\mathrm{A/mm}^2 \cdot 160\,\mathrm{mm}^2 = 9{,}6\,\mathrm{A}.$$

Ellenőrzés: a mm^2 egység kiesik, a végeredmény amper. Nagyságrend-ellenőrzés: egy kis keresztmetszetű kefe néhány–tíz ampert visz, ezért a nagyobb gépáramhoz a kommutátoron vagy a gyűrűn több párhuzamos kefét helyeznek; az itt kiszámolt érték a kefe anyaga által megengedett maximális áram. ∎

Példa. Egy motor állórész-tekercsének rézellenállása $t_1 = 20\,^\circ\mathrm{C}$ hőmérsékleten $R_1 = 0{,}45\,\Omega$. Üzemmeleg állapotban a tekercs hőmérséklete $t_2 = 75\,^\circ\mathrm{C}$. Becsüld meg a tekercs ellenállását!

Számítás.

Adott: $R_1 = 0{,}45\,\Omega$, $t_1 = 20\,^\circ\mathrm{C}$, $t_2 = 75\,^\circ\mathrm{C}$. A rézre használt hőmérsékleti állandó $235\,^\circ\mathrm{C}$.
Keresett: R_2.

Képlet:

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{235 + t_2}{235 + t_1}.$$

Behelyettesítés:

$$R_2 = 0{,}45\,\Omega \cdot \frac{235 + 75}{235 + 20} = 0{,}45\,\Omega \cdot \frac{310}{255} = 0{,}45\,\Omega \cdot 1{,}2157 \approx 0{,}547\,\Omega.$$

Ellenőrzés: meleg réz ellenállása nagyobb, mint hideg állapotban. A növekedés kb. 21,6%, ami reális. A képlet csak becslés, mert a tekercsben a hőmérséklet nem teljesen egyenletes. ∎

29.2.5. Szabvány

Szabvány. A szigetelési hőosztályokat az MSZ EN 60085, a forgó villamos gépek melegedési határait az MSZ EN 60034-1 adja (ellenőrizendő: aktuális kiadás). A gyakorlatban gyakori az F osztály (155 °C maximális tartós hőmérséklet) és a H osztály (180 °C). A megengedett tekercs-melegpont hőmérsékletet a gyártó adattáblája és a szigetelési rendszer minősítése rögzíti. A kefék anyagára, nyomására és kopási határára nincs minden gépre egységesen alkalmazható szabványos érték; a gyártói adatlap és a gépkönyv az irányadó (ellenőrizendő).

A gépkönyvben és az adattáblán feltüntetett szigetelési osztály azt mondja meg, hogy a tekercselés milyen hőmérsékleten üzemelhet tartósan anélkül, hogy a szigetelőanyag élettartama túlzottan lerövidülne. Ezért a tekercselés javításakor nem elég azonos méretű rézhuzalt visszatekerni; a szigetelőanyagokat is az eredeti osztálynak megfelelően kell kiválasztani.

29.2.6. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy szellőztető ventilátor motorja üzem közben erős rezgéssel, majd fémes csikorgással állt le. A karbantartó először arra gyanakodott, hogy a tekercselésben van zárlat, ezért megmérte a szigetelési ellenállást: az érték megfelelő volt, a tekercsellenállások fázisonként azonosak voltak. A megbontás során kiderült, hogy a hajtás felőli (szíjtárcsa oldali, D-oldali) csapágy forró volt, a csapágyzsír megbarnult és kifolyt, a futópályán és a golyókon kipattogzás (pitting) látszott.

A hiba oka nem villamos, hanem mechanikai volt: a hajtószíj túl feszesre volt állítva, ezért a csapágy állandó túlterhelést kapott. A csapágyat kicserélték, a hajtást a gyártó által megadott szíjfeszítésre állították, majd a motort újra próbajáratták. A tanulság: ha a motor rezeg, melegszik vagy hangos, a hibát nem szabad automatikusan a tekercselésre fogni; a csapágy és a hajtáslánc ugyanolyan fontos.

29.2.7. Gyakorlati útmutató

Cél: egy forgó villamos gép tekercselésének, csapágyainak és szénkeféinek állapotfelmérése a megbontás előtt és után.

Eszközök és anyagok: kisellenállás-mérő (négyvezetékes, Kelvin-csipesszel), szigetelési ellenállásmérő, a feszültségmentesség ellenőrzéséhez megfelelő mérési kategóriájú feszültségvizsgáló, hőmérő vagy hőkamera, tolómérő, csapágyhúzó, nyomatékkulcs, tisztítórongy, megfelelő zsír, esetleg új szénkefe, kefenyomás-ellenőrző.

Biztonsági korlát. A hálózati feszültségű (230/400 V) munkát csak jogosult, arra képesített személy végezheti; tanuló ezt önállóan nem gyakorolhatja. Az alábbi lépések tanműhelyi, oktató által felügyelt gyakorlatra vonatkoznak.

A feszültségmentesítés öt biztonsági szabálya:

1. Lekapcsolás.
2. Visszakapcsolás elleni biztosítás.
3. Feszültségmentesség ellenőrzése.
4. Földelés és rövidre zárás, ha a munkavégzési előírás szükségessé teszi.
5. A szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.

Lépések:

1. Olvasd le a gép adattábláját, és rögzítsd a típust, feszültséget, áramot, fordulatszámot, szigetelési osztályt.
2. Feszültségmentesítsd a berendezést, és ellenőrizd a feszültségmentességet minden fázis és nulla, illetve védővezető között.
3. Megbontás előtt mérd meg a fázistekercsek ellenállását a kapcsokon. Kis ellenállásnál ($< 10\ \Omega$) négyvezetékes mérést használj, mert a kétvezetékes multiméter mérőzsinór- és átmeneti ellenállása (tized ohm nagyságrend) a tized-ohmos tekercseknél meghamisítja az eredményt; jegyezd fel a tekercshőmérsékletet is (a 235-ös képlettel 20 °C-ra átszámolható). Az értékek fázisonként közel azonosak legyenek; a megengedett eltérést a gyártó adja meg, gyakran néhány százalék.
4. Mérd meg a szigetelési ellenállást a tekercselés és a földelt test között. A határérték a gépgyártó adataitól és a forgógépekre vonatkozó vizsgálati ajánlástól függ (pl. MSZ EN 60034-27-4, ellenőrizendő: aktuális szám és kiadás); az MSZ HD 60364 a berendezés szigetelési ellenállására vonatkozik, nem a gép tekercselésére; általában a felújított tekercselésnél szigorúbb értéket várnak el, üzemképes régieknél is legalább $1\ \mathrm{M}\Omega$ körüli értéket szoktak ellenőrizni.
5. Jelöld meg a szétszerelés helyét, különösen a fedelek, csapágyfészkek és csatlakozók pozícióját.
6. Vedd le a fedeleket, és szemrevételezd a tekercsfejet: ne legyen rajta szénnyom, dörzsölési nyom, meglazult kötözés vagy repedezett szigetelés.
7. Ellenőrizd a kalickás forgórész rudait és rövidrezáró gyűrűit. A repedés, megolvadás vagy elszíneződés a forgórész túlterhelésére utal.
8. Vizsgáld meg a csapágyat: forgasd meg kézzel a forgórészt; egyenletes, enyhe ellenállást és halk gördülést érezhetsz. A recsegés, akadozás, radiális hézag vagy erős melegedés csapágyhibára utal.
9. Ha a gép csúszógyűrűs vagy kommutátoros, ellenőrizd a szénkeféket: mérd meg a hosszukat, nézd meg a futófelületet, és hasonlítsd össze a gyártó által megadott minimális mérettel. Ellenőrizd a rugónyomást és a kefetartó szabad mozgását.
10. A hibás alkatrészt cseréld, a csapágyat a gyártó előírásának megfelelő mennyiségű és minőségű zsírral kend. Ne töltsd túl.
11. Szereld vissza a gépet, majd végezz újra ellenőrző méréseket: tekercsellenállás, szigetelési ellenállás, üresjárati próba.
12. Dokumentáld a méréseket, a cserélt alkatrészeket és a próbajáratás eredményét.

Ellenőrzési pontok: a tekercsellenállások fázisonként közel azonosak; a szigetelési ellenállás a megadott határ felett van; a csapágy kézzel forgatva nem recseg; a kefe hossza a minimális jelölés felett van, és a futófelülete fényes, egyenletes.

29.2.8. Tipikus hibák

Hiba. A kefét addig húzzák meg, amíg „már nem szikrázik”.
A túl nagy kefenyomás gyorsítja a mechanikai kopást, melegíti a gyűrűt, és a patinaréteg is károsodhat. A helyes gyakorlat a gyártói nyomásérték beállítása, majd próbajáratás.

Hiba. A csapágyat „jól megzsírozzák”, hogy sokáig bírja.
A túlzott zsírmennyiség növeli a belső ellenállást, hőmérséklet-emelkedést és zsírkifolyást okoz. A csapágyat a gyártó által megadott mennyiséggel kell kenni.

Hiba. A tekercselés visszatekerésekor az impregnálást kihagyják vagy csak felületileg végzik el.
A nem megfelelően impregnált tekercs rezgésre, nedvességre és menetzárlatra lesz érzékeny. Az impregnálás nem kozmetikai lépés, hanem a szigetelési rendszer része.

Hiba. A motor megbontásakor a tekercsfejhez feszítik a csavarhúzót vagy az emelőt.
A zománcszigetelés megsérülhet, és a sérülés csak később, üzemi hőterhelésnél okoz zárlatot. A forgórészt a tengelynél kell emelni, és a tekercsfejhez semmilyen szerszámot nem szabad nyomni.

29.2.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A kalickás forgórészű aszinkron motornak szénkefére van szüksége az üzeméhez.
2. Miért kell az impregnálás előtt előszárítani a tekercselést?
3. Egy szénkefe keresztmetszete $8\,\mathrm{mm} \times 12\,\mathrm{mm}$. Mekkora áramerősséget enged meg $J = 5\,\mathrm{A/cm^2}$ áramsűrűség mellett?
4. Milyen tünet utalhat a csapágy hibájára a motor megbontása előtt?
5. Egy réz tekercs ellenállása $20\,^\circ\mathrm{C}$-on $0{,}80\,\Omega$. Mennyi lesz $80\,^\circ\mathrm{C}$-on?

29.2.10. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel, milyen anyagokból készülhetnek a szénkefék, és egy-egy szóval jellemezd, milyen gépeknél alkalmazzák őket.

2. feladat (A) Magyarázd el, mi a tekercsfej, és miért kell mechanikailag rögzíteni.

3. feladat (B) Egy csúszógyűrűs motor keféjének keresztmetszete $25\,\mathrm{mm} \times 40\,\mathrm{mm}$. A megengedett tartós áramsűrűség $4\,\mathrm{A/cm^2}$. Mekkora áramot viselhet el a kefe? (A gyártói adatot ellenőrizd.)

4. feladat (B) Egy tekercs hideg ellenállása $20\,^\circ\mathrm{C}$-on $0{,}60\,\Omega$. A motor üzemmeleg állapotában $85\,^\circ\mathrm{C}$-ot mérünk. Számold ki a várható meleg ellenállást a rézre használt $235\,^\circ\mathrm{C}$ állandóval. Miért fontos ezt a hibakeresésnél tudni?

5. feladat (C) Egy motor üzem közben halk recsegést ad, a csapágyháza melegszik, a rezgés is nő. A szigetelési ellenállás és a tekercsellenállások megfelelőek. Sorold fel a lehetséges okokat, és javasolj vizsgálati sorrendet.

6. feladat (D) A gyakorlati útmutató alapján írd le, hogyan ellenőriznéd egy csúszógyűrűs motor szénkeféjét és csapágyát a feszültségmentesítés után. Térj ki a dokumentálásra is.

29.2.11. Megoldások

29.2.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A kalickás forgórész rudai és rövidrezáró gyűrűi zárt hurkokat alkotnak, nincs szükség külső csúszógyűrűre és szénkefére. A csúszógyűrűs aszinkron gépnél viszont van kefe.

2. A pórusokban lévő nedvesség tönkreteszi a szigetelési ellenállást, és a lakk sem köt be egyenletesen. A szárítás után a szigetelési ellenállás emelkedik, és a lakk behatolhat a résekbe.

3. $A = 8 \cdot 12 = 96\,\mathrm{mm}^2 = 0{,}96\,\mathrm{cm}^2$, $I = 5\,\mathrm{A/cm}^2 \cdot 0{,}96\,\mathrm{cm}^2 \approx 4{,}8\,\mathrm{A}$.

4. Erős rezgés, fémes vagy recsegő zaj, a csapágyház túlzott melegedése, a tengely radiális hézaga.

5. $R_2 = 0{,}80 \cdot \frac{235+80}{235+20} = 0{,}80 \cdot \frac{315}{255} = 0{,}80 \cdot 1{,}235 \approx 0{,}988\,\Omega$.

29.2.11.2. Feladatok megoldásai

1. feladat
A szénkefék készülhetnek grafitból, elektrografitból vagy réz-grafit keverékből. A grafitos kefék kisebb áramsűrűségre alkalmasak, gyakran kommutátoros egyenáramú gépeknél. A réz-grafit kefék jobban vezetnek, nagyobb áramú gépeknél, csúszógyűrűs motoroknál használatosak.

2. feladat
A tekercsfej a tekercs hornyon kívüli része, amely a hornyok végeinél összeköti a tekercsoldalakat. Mechanikailag rögzíteni kell, mert az indítási és üzemi áram erőhatásai rezgést, hajlítgatást okoznak; ha a tekercsfej szabadon mozog, a zománcszigetelés dörzsölődik és menetzárlat keletkezhet.

3. feladat
Adott: $A = 25 \cdot 40 = 1000\,\mathrm{mm}^2 = 10\,\mathrm{cm}^2$, $J = 4\,\mathrm{A/cm}^2$.
Képlet: $I = J \cdot A$.
Számítás: $I = 4\,\mathrm{A/cm}^2 \cdot 10\,\mathrm{cm}^2 = 40\,\mathrm{A}$.
Ez az áramérték szemlélteti, hogy egy nagy keresztmetszetű kefe is csak a 10 A-es nagyságrendet viszi; a gép nagyobb áramához a gyakorlatban több párhuzamos kefét alkalmaznak, és a tényleges terhelést a gép adattáblája korlátozza. ∎

4. feladat
Képlet: $R_2 = R_1 \cdot \frac{235+t_2}{235+t_1}$.
Számítás: $R_2 = 0{,}60 \cdot \frac{235+85}{235+20} = 0{,}60 \cdot \frac{320}{255} = 0{,}60 \cdot 1{,}2549 \approx 0{,}753\,\Omega$.
A hibakeresésnél ezért fontos: ha a mért ellenállás nem a hőmérsékletnek megfelelő, akkor gyanakodhatunk menetzárlatra, rossz kötésre vagy nagyobb szigetelési hibára.

5. feladat
Lehetséges okok: csapágykopás vagy kenéshiány, túlzott radiális terhelés, helytelen hajtásfeszítés, kiegyensúlyozatlanság, sérült csapágyfészek, esetleg a forgórész súrlódik az állórészen. Vizsgálati sorrend: feszültségmentesítés, kézzel forgatás, csapágyhézag ellenőrzése, kenési állapot, megbontás után a csapágy vizsgálata, hajtáslánc ellenőrzése.

6. feladat
A tanuló megoldása akkor jó, ha tartalmazza: feszültségmentesítést, kézzel forgatást, a kefe hosszának és futófelületének ellenőrzését, a rugónyomás ellenőrzését, a csapágy zaj- és hézagvizsgálatát, a mérési értékek feljegyzését, valamint a cserélt alkatrészek és próbajáratás dokumentálását.

29.2.12. Rövid összefoglaló

Az állórész-tekercselés a horonyokban elhelyezett, szigetelt vezetőrendszer, amely a forgó mágneses mezőt hozza létre. A tekercsfej a hornyon kívüli rész; rögzítése azért kritikus, mert rezgés hatására a zománcszigetelés dörzsölődhet és menetzárlatot okozhat. Az impregnálás előtti szárítás és a lakkal vagy gyantával végzett impregnálás egyszerre szigetel, rögzít, nedvesség ellen véd és javítja a hőelvezetést. A kalickás forgórész rudakból és rövidrezáró gyűrűkből áll, nincs szénkeféje; a csúszógyűrűs gépeknél a gyűrűkön szénkefék vezetik az áramot. A csapágy állapotát rezgésből, zajból, hőmérsékletből és kézzel forgatáskor érzett hézagból lehet megítélni. A szénkefe anyaga, nyomása és kopása egyaránt befolyásolja az áramátmenetet: túl nagy nyomás gyorsítja a kopást, túl kicsi nyomás szikrázást okoz.

Továbbvitt eredmény. A tekercselés, impregnálás, kalickás forgórész, csapágy és szénkefe állapotának ismerete nélkülözhetetlen a Hibakeresés, javítás és karbantartás fejezet, a Diagnosztika: szemrevételezés, mérések, hibajegyzőkönyv és a Transzformátor- és gépmérések alfejezet későbbi részeihez. A könyv záró fejezeteiben ezekre a fogalmakra épülnek a javítási és karbantartási munkafolyamatok.

29.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezet fizikai és technológiai alapjai stabil tananyagokon nyugszanak. A megadott számszerű határértékek – mint a szigetelési ellenállás, az áramsűrűség, a kefenyomás és a szigetelési osztályok hőmérsékletei – tanulási példának tekintendők, és a mindenkori gyártói adatlap, valamint a hatályos szabvány alapján ellenőrizendők. A konkrét szigetelési osztályokra és hőmérséklethatárokra vonatkozóan az MSZ EN 60034 sorozat aktuális kiadása az irányadó.

30 Hibakeresés, javítás és karbantartás

30.1. Diagnosztika: szemrevételezés, mérések, hibajegyzőkönyv

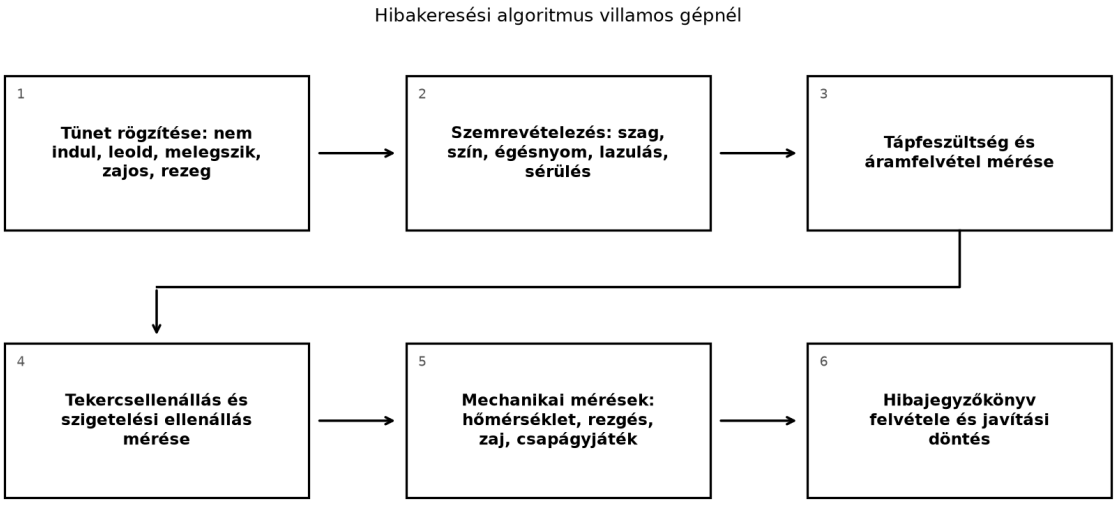
30.1.1. Indíts a munkahelyi helyzetből: miért kell ezt tudnod?

Egy üzem csarnokában a szalagot hajtó aszinkron motor időnként leold, a csapágypajzs pedig feltűnően meleg. A gépkezelő annyit tud mondani: „néha búg, aztán lekapcsol a védelem”. Ilyenkor a szerelő feladata nem az, hogy azonnal kicseréljen egy alkatrészt, hanem az, hogy szisztematikusan, mérésekkel alátámasztva derítse ki a hibát, és ezt hibajegyzőkönyvben dokumentálja. Ha kihagy egy mérési lépést, könnyen téves javítást végez, például új motort szerel be, miközben csak egy rossz kötés vagy egy fáziskiesés okozta a túlterhelést.

A diagnosztika nem tippelgetés: **tünet → hipotézis → mérés → értékelés → döntés** láncolat. Ezt az alfejezetben ezzel a logikával építjük fel. A módszer később a Gépek megbontása, javítása és üzembe helyezése alfejezetben folytatódik, mert csak a diagnózis után lehet felelősen szétszedni és javítani egy gépet.

30.1.2. Szemléletes kép: hibakeresési útvonal

A villamos gép hibakeresése egy szűkülő folyamat. Először a külső és egyszerű okokat zárjuk ki, majd haladunk a belső, költségesebb hibák felé.



30.1. ábra. Hibakeresési algoritmus villamos gépnél - A tünetből kiindulva szisztematikusan szűkítjük a hibalehetőségeket. A nyilak a leggyakoribb, biztonságos útvonalat jelzik.

Az ábra nem egy merev recept, hanem gondolkodási sorrend: ha már az első lépésben egyértelmű égésnyomot látsz, akkor gyorsabban jutsz a hibához, de a jegyzőkönyvhöz akkor is rögzítened kell a mért értékeket.

30.1.3. A hibák típusai és a diagnosztikai szemlélet

Definíció. Villamos gép diagnosztikája az üzem közben vagy kikapcsolt állapotban végzett szemrevételezés, villamos és mechanikai mérések, valamint az üzemi előzmények alapján végzett hibafeltárás, amelynek célja a hibás részegység, a kiváltó ok és a szükséges javítás meghatározása.

A hibákat két nagy csoportba soroljuk:

- **Elektromos hibák:** szigetelési hiba (földzárlat, tekercszárlat), szakadás (tekercsben, kapocsban, csatlakozó vezetékben), túlterhelés (tartósan a névleges áram feletti üzem), fáziskiesés, aszimmetrikus fázisáram, hibás kapcsoló- vagy védelmi készülék.
- **Mechanikai hibák:** csapágykopás, tengelydeformáció, kiegyensúlyozatlanság, tengelykapcsoló- vagy szíjhajtási hiba, laza rögzítés, idegen test a forgórész és az állórész között, hűtőventilátor sérülése.

A két csoport nem válik el élesen: egy csapágyhiba megnövekedett súrlódáson keresztül magasabb áramfelvételhez és melegedéshez vezet, amit a hővédelem végül leold; a látszólag elektromos tünet mögött tehát mechanikai ok is állhat.

Szabály. A hibakeresés mindig a könnyen ellenőrizhető, olcsón javítható és nagy gyakoriságú okokkal kezdődjön: kapocs, csatlakozó, biztosíték, kapcsoló, majd haladjon a tekercsek, csapágyak és a forgórész felé.

30.1.4. Szemrevételezés

A szemrevételezés a leggyorsabb és legolcsóbb vizsgálat, ezért mindig ezzel kezdünk. Kikapcsolt, feszültségmentesített állapotban vizsgáljuk:

- **Szag:** égett szigetelőanyag, olaj, fémforgács és por szaga.
- **Szín:** elszíneződés, kormos, megbarnult tekercs, csatlakozó, sorkapocs.
- **Mechanikai sérülés:** repedt csapágypajzs, törött ventilátorlapát, deformált tengely, repedt kapocsdoboz.
- **Kötések:** meglazult csavar, melegedett kábelvég, elszíneződött érvéghüvely, kihúzódott vezeték.
- **Idegen anyag:** por, olaj, fémforgács, víz, korrózió a kapocsdobozban és a szellőzőnyílásokban.
- **Forgórész ellenőrzése:** kézzel megforgatva érezhető-e súrlódás, szorulás, ütés.

A szemrevételezés eredményét fényképpel és rövid leírással rögzítsd a hibajegyzőkönyvben. A fénykép nem helyettesíti a mérést, de a javítás előtti állapotot bizonyítja.

30.1.5. Villamos mérések

A mérőműszer kiválasztása a mérendő mennyiségtől és a környezettől függ.

Szabály. Villamos gép diagnosztikájához legalább az alábbi műszerekre van szükség:

- **Digitális multiméter (DMM):** feszültség, ellenállás, folytonosság, esetleg kapacitás és frekvencia mérése. CAT III 600 V vagy CAT IV 300 V kategória ajánlott hálózati mérésekhez; a mérési kategória a műszeren és a használati utasításban szerepel.
- **Lakatfogó áramváltó-mérő:** áramfelvétel mérése a vezeték megbontása nélkül; háromfázisú rendszernél mind a három fázist mérni kell.
- **Szigetelésmérő (megger):** a tekercs és a test, valamint a tekercsek közötti szigetelési ellenállás mérése egyenfeszültséggel. Kisfeszültségű gépeknél tipikusan 500 V DC mérőfeszültséget használunk, de a pontos értéket a gyártói adatlap és a vonatkozó szabvány rögzíti **(ellenőrizendő: a gép névleges feszültségéhez előírt mérőfeszültség)**.
- **Tekercsellenállás-mérő** vagy milliohm-mérő a tekercsek ellenállásának pontos mérésére (négyvezetékes, Kelvin-csipeszes mérés). Kétvezetékes multiméter csak durva ellenőrzésre (szakadás, nagyságrend) használható: a zsinór- és átmeneti ellenállás tized-ohm nagyságrendű, ezért néhány ohmos tekercsek néhány százalékos aszimmetriáját nem lehet vele megbízhatóan kimutatni.
- **Feszültség- és áramszonda:** hálózati minőségvizsgálathoz, fázissorrend-ellenőrzéshez, harmonikusméréshez; ez akkor indokolt, ha a tápfeszültség minősége is gyanús.

A mérési kategória fontosságát a Multiméter, lakatfogó és mérési kategóriák alfejezet részletezi; itt elég annyi: hálózati méréshez soha ne használj CAT I besorolású műszert, mert az nem biztonságos a hálózati tranziens túlfeszültségek ellen.

30.1.5.1. Szigetelési ellenállás mérése

Szabály. A szigetelési ellenállást **csak feszültségmentesített** állapotban szabad mérni. A gép kapcsait le kell választani a hálózatról, mert a hálózat felé folyó vezetékek és a beépített védelmi készülékek meghamisítják az eredményt.

A mérés menete:

1. Kapcsold le és biztosítsd a feszültségmentességet az öt biztonsági szabály szerint.
2. Válaszd le a motor tápvezetékeit a kapocsdobozban.
3. Állítsd be a szigetelésmérő mérőfeszültségét (pl. 500 V DC kisfeszültségű motornál).
4. Mérj a következő pontok között: minden tekercs (U, V, W) és a védővezető (PE) között; ha a ház fém, akkor a ház és a tekercsek között. Többsebességű vagy több tekercsű motornál a független tekercsek között is.
5. Olvasd le az értéket a mérés megkezdése után a műszer stabilizálódásáig (gyakorlatban 30–60 s **(ellenőrizendő: a gyártói előírás szerint)**).
6. Mérés után süsd ki a tekercseket: a szigetelésmérő töltést hagy a kapacitásban, ezért a műszer kisütő üzemmódját használd, vagy kis ellenálláson keresztül zárd rövidre a kapcsokat.

Összefüggés. A szigetelési ellenállás értéke erősen hőmérsékletfüggő: meleg gépen kisebb, hideg gépen nagyobb. Ezért a mérési jegyzőkönyvben mindig rögzíteni kell a tekercs hőmérsékletét, és az eredményt a gyártói/szabványos hivatkozási hőmérsékletre kell átszámítani vagy a mérési feltétellel együtt értelmezni.

Tájékoztató jelleggel: kisfeszültségű aszinkron motornál a szigetelési ellenállás néhány MΩ felett elfogadható, 1 MΩ alatt viszont a gépet további vizsgálat nélkül ne indítsd; a pontos határértéket a gép gyártója és az aktuális szabvány adja meg **(ellenőrizendő)**.

Példa. Egy 400 V-os, 5,5 kW-os motornál a kapocsdoboz leválasztása után mért értékek: U–PE: 3,4 MΩ, V–PE: 2,9 MΩ, W–PE: 0,3 MΩ. A W tekercs értéke kiugróan alacsony, földzárlatgyanús. A motor bekötése előtt a megbontás, a nedvességtartalom ellenőrzése és a szigetelés feljavítása (szárítás, impregnálás) szükséges.

30.1.5.2. Tekercsellenállás mérése

A tekercsellenállás-mérés a tekercs szakadásának, rövidzárlatának és az aszimmetrikus tekercselésnek a kimutatására szolgál.

Szabály. Háromfázisú motornál a három fázistekercs ellenállásának közel azonosnak kell lennie (a gyártói tűrés szerint; tanulási ökölszabály: az átlagtól való legnagyobb eltérés 2–3 % felett vizsgálandó, 5 % felett hibás **(ellenőrizendő: gyártói előírás)**). Egy fázis szakadása végtelen nagy ellenállást ad; tekercszárlat (menetzárlat) esetén az adott fázis ellenállása kisebb lehet; a test felé mért szigetelési ellenállás ettől gyakran nem változik, ezért a menetzárlatot az ellenállás-aszimmetria, az áramaszimmetria és szükség esetén lökőfeszültséges (surge) tekercsvizsgálat mutatja ki.

Csillag- vagy delta kapcsolású motornál a kapocsdobozban a tekercsek végét és elejét lehet mérni. A kapocsjelölés: csillagnál U1–U2, V1–V2, W1–W2; deltánál U–V, V–W, W–U hozzáférhető a sorkapcsokon. A pontos méréshez a kapocsdoboz bekötését fel kell ismerni, mert a merev hidak eltávolítása nélkül a belső kapcsolás befolyásolja az eredményt. Ezt a Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány alfejezet tárgyalja.

Számítás. Adott egy csillagkapcsolású, 3 kW-os motor. A kapocsdobozban mérjük: U1–U2: 2,45 Ω, V1–V2: 2,48 Ω, W1–W2: 2,41 Ω.

- Átlag: $R_{\text{átl}} = (2{,}45 + 2{,}48 + 2{,}41)/3 \approx 2{,}447\,\Omega$.
- Az átlagtól való legnagyobb eltérés: $2{,}447 - 2{,}41 = 0{,}037\,\Omega$ (a másik két fázisé kisebb).
- Aszimmetria: $\dfrac{\max|x_i - \bar{x}|}{\bar{x}} \cdot 100\,\% = \dfrac{0{,}037}{2{,}447} \cdot 100 \approx 1{,}5\,\%$. Ez elfogadható tartományban van (gyakorlati ökölszabály: 2–3 % felett vizsgálandó, 5 % felett hibásnak tekintjük; a gyártói adat a mérvadó, ellenőrizendő).

Definíció. Ebben a könyvben az aszimmetria az átlagtól való legnagyobb eltérés és az átlag hányadosa százalékban: $\dfrac{\max|x_i - \bar{x}|}{\bar{x}} \cdot 100\,\%$ (ellenőrizendő: MSZ EN 60034 sorozat vonatkozó része / gyártói előírás). A határértékek (tekercsellenállás néhány %, áram 10 %) erre a definícióra vonatkoznak; a (max − min)/átlag hányados ennek kb. kétszerese, ezért azt nem használjuk.

Ellenőrzés: ugyanezt a motort delta kapcsolásba kötve mérjük U–V: 1,60 Ω, V–W: 1,64 Ω, W–U: 1,61 Ω. Az átlag 1,617 Ω; az átlagtól való legnagyobb eltérés 0,023 Ω, azaz 1,4 %. Deltában két kapocs között egy fázistekercs és a másik kettő soros eredője van párhuzamosan: $R_k = \dfrac{R \cdot 2R}{R + 2R} = \dfrac{2}{3}R_f = \dfrac{2}{3} \cdot 2{,}447\,\Omega \approx 1{,}63\,\Omega$, ami egyezik a mért 1,617 Ω átlaggal. Tehát delta kapcsolásban a kapocsellenállás kisebb, mint a tekercsellenállás, és a számított érték a bekötésnek megfelel.

30.1.5.3. Áramfelvétel mérése

Az áramfelvétel mérése a motor terhelés alatti állapotának leggyorsabb diagnosztikai eszköze.

Szabály. Háromfázisú motornál mind a három fázis áramát meg kell mérni lakatfogóval. A fázisáramok közötti eltérés aszimmetriát jelez; tartósan 10 % feletti fázisáram-eltérés már hibás állapotra utal (pl. fázisfeszültség-aszimmetria vagy tekercsprobléma) **(ellenőrizendő: a gép gyártói adatai és a hálózati engedélyes előírása)**.

Példa. Egy 5,5 kW-os, névleges áram 11,2 A (400 V, $\cos\varphi \approx 0{,}82$, $\eta \approx 0{,}87$ – tipikus katalógusadatok, ellenőrizendő) motort mérünk terhelés alatt. Lakatfogóval mért fázisáramok: $I_{L1} = 12{,}3\,\mathrm{A}$, $I_{L2} = 11{,}8\,\mathrm{A}$, $I_{L3} = 9{,}5\,\mathrm{A}$.

- Átlag: $I_{\text{átl}} = (12{,}3 + 11{,}8 + 9{,}5)/3 = 11{,}2\,\mathrm{A}$.
- Az átlagtól való legnagyobb eltérés: $11{,}2 - 9{,}5 = 1{,}7\,\mathrm{A}$; az átlaghoz képest ez $\dfrac{1{,}7}{11{,}2} \cdot 100 \approx 15{,}2\,\%$ aszimmetria, ami meghaladja a 10 %-os gyakorlati határértéket.
- A motor tápfeszültségének mérése: $U_{L1-L2} = 398\,\mathrm{V}$, $U_{L2-L3} = 405\,\mathrm{V}$, $U_{L3-L1} = 388\,\mathrm{V}$. A feszültség-aszimmetria: átlag 397 V, az átlagtól való legnagyobb eltérés $9\,\mathrm{V} \rightarrow 2{,}3\,\%$, ami szintén jelentős (a feszültségaszimmetria néhány százaléka már érezhetően növeli az áramaszimmetriát). A két mérés együtt arra utal, hogy nemcsak a motor, hanem a táphálózat is aszimmetrikus; a hiba oka lehet a hálózat felőli feszültségaszimmetria, nem feltétlenül motorhiba.

Megjegyzés. Az áramfelvétel méréséhez a mérési pontot a tápvezetéken, nem a védővezetőn vagy a nullavezetőn kell kiválasztani. A lakatfogót mindig a fázisvezető körül zárjuk; ha a három fázis közös csomópontja köré fogunk, az eredő nulla lesz, ami téves következtetésre vezet.

30.1.6. Mechanikai mérések: rezgés, hőmérséklet, zaj

A mechanikai hibák korai felismerésére rezgés-, hőmérséklet- és zajméréseket használunk. Ezek a mérések megelőzhetik a súlyos csapágy- vagy tengelykárosodást, és a karbantartási ütemezést is megalapozzák.

30.1.6.1. Hőmérséklet mérés

Szabály. A motor üzemi hőmérsékletét infravörös hőmérővel vagy hőkamerával, érintés nélkül mérjük. A csapágypajzs, a ház és a kapocsdoboz hőmérsékletét a terhelés és a környezeti hőmérséklet ismeretében értékeljük. A megengedett abszolút hőmérséklet és a hőmérséklet-emelkedés a szigetelési osztálytól függ (pl. F osztályú szigetelésnél a tekercs megengedett hőmérséklet-emelkedése nagyobb, mint B osztálynál); a pontos érték a gép adattábláján és a gyártói dokumentációban szerepel **(ellenőrizendő)**.

A hőmérséklet-emelkedés $\Delta T = T_{\text{mért}} - T_{\text{környezet}}$, ahol $T_{\text{mért}}$ a mért abszolút hőmérséklet, $T_{\text{környezet}}$ a környezeti hőmérséklet. Emelkedésben mérve könnyebb összehasonlítani a különböző környezeti feltételeket.

Példa. Egy motornál a hajtásoldali csapágypajzson (csapágyfészeknél) mért hőmérséklet 78 °C, a műhely hőmérséklete 24 °C. A hőmérséklet-emelkedés $\Delta T = 78 - 24 = 54\,\mathrm{K}$. A gyártó a csapágyhelyre 40 K emelkedést enged meg (ellenőrizendő adat), így a mért érték túlmelegedést jelez; a csapágyat ellenőrizni kell.

30.1.6.2. Rezgésmérés

A rezgés mérésére rezonancia-elvű vagy gyorsulásérzékelős kézi rezgésmérőt használunk. A mért jellemző lehet rezgéssebesség (mm/s, RMS) vagy rezgésgyorsulás (m/s²). A gyakorlatban a **rezgéssebesség** a leggyakoribb, mert a szabványok gyakran erre adnak elfogadási határértéket **(ellenőrizendő: ISO 20816 sorozat, korábban ISO 10816, és a hazai MSZ-átvétel státusza)**.

- A mérőpontot a csapágypajzson, a legnagyobb rezgés irányában választjuk.
- A rezgés értéke függ a motor fordulatszámától és a rögzítés módjától.
- A kiugró érték vagy a spektrumban megjelenő csúcs csapágyhibára, kiegyensúlyozatlanságra, tengelydeformációra vagy laza alapozásra utal.

Példa. Egy 3000 1/min fordulatszámú motornál a csapágypajzson mért rezgéssebesség 4,8 mm/s. A kis motorokra (kb. 15 kW-ig, merev alapozás) a régebbi ISO 10816-1 szerinti szokásos zónahatárok kb. 0,71 / 1,8 / 4,5 mm/s: 1,8 mm/s alatt jó/elfogadható, 1,8–4,5 mm/s között csak korlátozott ideig üzemeltethető, 4,5 mm/s fölött károsodást okozhat **(ellenőrizendő: ISO 20816-1/-3 gépcsoport és alapozás szerinti határok, gyártói előírás)**. A mért 4,8 mm/s tehát már a beavatkozási tartományban van: a csapágyat és a kiegyensúlyozást rövid időn belül meg kell vizsgálni. (A Karbantartási terv és állapotfigyelés alfejezet nagyobb, rugalmas alapozású géppel számol, ezért ott a határok magasabbak.) Ha a rezgés 12 mm/s lenne, már sürgős beavatkozást igényelne.

30.1.6.3. Zajmérés

A zaj szubjektív megítélése mellett decibelben mérhető. A zajt A-súlyozott dB(A) értékben adjuk meg, mérési távolságot rögzítve (pl. 1 m-re a géptől). A zaj növekedése csapágyhibát, laza ventilátort, idegen tárgyat vagy a forgórész és az állórész közötti súrlódást jelezhet. A zajmérés elsősorban környezeti és munkavédelmi szempontból fontos, de a trend figyelése diagnosztikai értékű.

30.1.7. A hibajegyzőkönyv

Definíció. A **hibajegyzőkönyv** olyan, a diagnosztikai vizsgálat során felvett dokumentum, amely rögzíti a gép és a mérési körülmények azonosító adatait, a tünetet, az elvégzett vizsgálatokat, a mért értékeket és azok értékelését, valamint a javításra tett javaslatot.

A hibajegyzőkönyv célja, hogy a javító műhely, a megrendelő és a karbantartási nyilvántartás számára egyértelmű, visszakövethető alapot adjon. Egy jól vezetett jegyzőkönyv megelőzi a félreértéseket, például hogy a javítás során kicserélnek egy csapágyat, de a valódi ok (fáziskiesés) nem derül ki.

Hibajegyzőkönyv ajánlott felépítése:

1. **Azonosítók:** gép típusa, gyártója, gyártási száma, adattábla-adatai (P_n, U_n, I_n, n_n, cosφ, szigetelési osztály, IP-védettség), beépítési hely, üzemóra-számláló állása.
2. **Tünet leírása:** a bejelentő elmondása és a helyszíni tapasztalat (leold, melegszik, zajos, nem indul, rezeg).
3. **Előzmények:** korábbi javítások, karbantartási napló bejegyzései.
4. **Vizsgálati körülmények:** dátum, időjárás/környezeti hőmérséklet, páratartalom, a gép üzemállapota (hideg/meleg, üzem közben vagy kikapcsolva).
5. **Mérőműszerek:** típus, gyári szám, kalibrálási érvényesség, mérési kategória.

6. **Mérési eredmények:** táblázatosan, mértékegységgel, referenciaértékekkel (gyártói vagy szabványos határértékkel) összehasonlítva.
7. **Értékelés:** a mért értékek alapján a valószínű hiba okának megnevezése, a hiba helye.
8. **Javaslat:** javítás, csere, további vizsgálat, ideiglenes üzemeltetési feltétel.
9. **Aláírások:** a vizsgálatot végző és a megrendelő/üzemeltető képviselője.

A hibajegyzőkönyv nem helyettesíti a szabványossági felülvizsgálati jegyzőkönyvet, de annak alapadatait és mérési eredményeit felhasználhatja.

Továbbvitt eredmény. A jól dokumentált hibajegyzőkönyv nélkülözhetetlen a Gépek megbontása, javítása és üzembe helyezése alfejezethez: a javítás során a szerelő ebből tudja, mit kell megbontani, mit kell mérni a javítás után, és milyen értékeket kell elérni.

30.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy 15 kW-os szellőztető ventilátormotor hetente többször leoldott túlterhelés miatt. A helyszíni szemrevételezés semmi rendkívülit nem mutatott; a szigetelési ellenállás 25 MΩ, a tekercsellenállások szimmetrikusak voltak. A lakatfogós árammérés azonban azt mutatta, hogy az egyik fázis árama 28 A, a másik kettő 24 A és 25 A, miközben a motor adattáblája szerint a névleges áram 26 A. A feszültségmérés kiderítette, hogy a betáp három fázisából az egyik vezeték egy sorkapocsnál meglazult, és ott átmeneti ellenállás keletkezett. A melegedő kötés feszültségesése miatt a motorra aszimmetrikus feszültség jutott, ami fázisáram-aszimmetriát és melegedést okozott. A hiba oka tehát nem a motor volt, hanem egy rossz kötés. A hibajegyzőkönyv rögzítette a feszültség- és árammérést, a lazult kapocs fényképét és a javaslatot: a kötés helyreállítása, a sorkapocs cseréje, majd új árammérés. A tanulság: a szemrevételezés önmagában nem elég, és a motorhiba gyanúja előtt a tápfeszültséget is ellenőrizni kell.

30.1.9. Gyakorlati útmutató: aszinkron motor diagnosztikai vizsgálata

Cél: egy gyanúsan üzemelő (melegszik, zajos, leold vagy aszimmetrikus áramot vesz fel) aszinkron motor szisztematikus vizsgálata, a mérési eredmények hibajegyzőkönyvben való rögzítése, és javítási javaslat megfogalmazása.

Eszközök és anyagok:

- Digitális multiméter (CAT III 600 V vagy jobb)
- Lakatfogó árammérő
- Szigetelésmérő (pl. 500 V DC)
- Milliohm-mérő vagy pontos ellenállásmérő
- Érintés nélküli hőmérő vagy hőkamera
- Rezgésmérő műszer
- Csavarhúzó, kulcskészlet a kapocsdobozhoz
- Fényképezőgép vagy telefon
- Hibajegyzőkönyv nyomtatvány vagy elektronikus sablon

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Hálózati feszültségű munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet, a hatályos előírások szerint.

30.1.9.1. Lépések

A blokk – üzem közbeni mérések (zárt kapocsdoboznál vagy a kapcsolószekrényben, csak jogosult, arra képesített személy végezheti; a kapcsokhoz és a feszültség alatti részekhez nem nyúlsz, a műszer mérési kategóriája legalább CAT III 600 V, a mérés előtt a műszert ellenőrizd).

1. **Adattábla- és környezetrögzítés.** Írd fel a motor adattáblájáról a névleges adatokat, a gyártási számot, a bekötési módot (csillag/delta) és a kapocskiosztást. Fényképezd le az adattáblát és a kapocsdobozt. Jegyezd fel a környezeti hőmérsékletet.
2. **Szemrevételezés** (zárt kapocsdobozzal, a forgó részektől biztonságos távolságból). Vizsgáld meg a szellőzőnyílásokat, a csapágypajzsokat, a tengelyt és a ventilátort; figyeld a zajt, a szagot, a látható rezgést. A tapasztalatokat írd a jegyzőkönyvbe.
3. **Üzem közbeni villamos mérések.** Ha a motor biztonságosan üzemel és az üzemeltető engedélyezi, mérd a tápfeszültséget (a három vonali feszültséget a kapcsolószekrényben) és lakatfogóval a három fázisáramot a tápvezetéken; rögzítsd az adatokat, és hasonlítsd össze a névleges értékekkel.
4. **Üzem közbeni mechanikai mérések.** Mérd a csapágyak hőmérsékletét, a rezgéssebességet a fő csapágypajzsokon, és ha lehet, a zajt. A mérési pontokat és az üzemállapotot dokumentáld.

B blokk – leválasztott állapotú mérések.

5. **Az öt biztonsági szabály.** Kapcsold le a motort a tápláló áramkörről. Biztosítsd a visszakapcsolás ellen (pl. lakat a szakaszolón). Ellenőrizd a feszültségmentességet kétpólusú feszültségvizsgálóval minden fázis között, valamint fázis és védővezető között. Földeld és zárd rövidre a leválasztott tápvezetéket, ha a munkavégzési előírás megkívánja. Takard le a szomszédos feszültség alatti részeket. Csak ezután nyisd fel a kapocsdobozt.
6. **Tekercsellenállás mérése.** A kapocsdobozban a bekötés ismeretében mérd meg a tekercsek ellenállását (kis ellenállásnál négyvezetékes méréssel). Csillagnál U1–U2, V1–V2, W1–W2; deltánál a hozzáférhető kapocspárokat. Az értékeket milliohm pontossággal rögzítsd, számold ki az átlagot és az átlagtól való legnagyobb eltérést. Ha a hőmérséklet nagyon eltér a 20 °C-tól, a gyártói adat alapján korrigálhatsz.
7. **Szigetelési ellenállás mérése.** A szigetelésmérés idejére a motor kapcsain lévő földelő-rövidzárót a munkavezető engedélyével el kell távolítani, a motort pedig a tápvezetékekről le kell kötni (a tápoldal marad leválasztva, lezárva és földelve). Állítsd be a szigetelésmérőt a megfelelő feszültségre. Mérj minden tekercs és a test között, majd a tekercsek között (ha külön tekercsek). Minden mérési pont után töltsd ki a jegyzőkönyvet. A mérés után süsd ki a tekercseket.
8. **Visszakötés és visszakapcsolás.** A mérések után kösd vissza a tápvezetékeket a kapocsdobozban a rögzített kapocskiosztás szerint (a fényképpel ellenőrizve), húzd meg a kötéseket, és mérd meg a védővezető (PE) folytonosságát a motorház és a PE-sín között. Ezután zárd le a kapocsdobozt, távolítsd el a szerszámokat és a földelő-rövidzárót, és csak legutoljára oldd fel a visszakapcsolás elleni biztosítást. A visszakapcsolásról a jogosult személy dönt; csak ezután ismételhető az A blokk mérése, ha szükséges.
9. **Értékelés és hibajegyzőkönyv.** A mért értékeket vesd össze a gyártói/szabványos referenciaértékekkel. Írd le a valószínű hibát és a javítási javaslatot. A jegyzőkönyvet írasd alá a megrendelővel vagy az üzemeltető képviselőjével.

Ellenőrzési pontok:

- A feszültségmentesség ellenőrzése megtörtént-e; a mérőműszer CAT besorolása megfelelő-e.
- A szigetelésmérő nem csatlakozik-e a feszültség alatti hálózathoz.
- A tekercsellenállások aszimmetriája 5 % alatt van-e (2–3 % felett vizsgálandó).

- A szigetelési ellenállás értéke a referencia felett van-e.
- Az áramfelvétel és a feszültségaszimmetria összhangban van-e.
- A jegyzőkönyv azonosítói és a mért értékek hiánytalanok-e.

Tipikus hibák a gyakorlatban:

- A szigetelésmérést a motor bekötve hagyott tápvezetékeivel végzik, ami hamis értéket ad.
- Csak egy fázis áramát mérik, ezért a fáziskiesést nem veszik észre.
- A hőmérsékletet kézzel tapintva becslik, és nem rögzítik a környezeti hőmérsékletet.
- A jegyzőkönyvből kihagyják a mérőműszer azonosítóját és a mérés időpontját, így az eredmény nem visszakövethető.

30.1.10. Tipikus hibák

1. **A hibakeresés tippelésre épül.** A szerelő rögtön motort cserél, mert „leold a védelem”, de nem méri a feszültséget és az áramot. Eredmény: új motor kerül be, de a rossz kötés vagy fáziskiesés miatt az új motor is leold. Helyes gyakorlat: előbb a tápoldalt és a külső kötéseket ellenőrizni.
2. **A szigetelési ellenállást és a tekercsellenállást összekeverik.** A multimeterrel mért kisfeszültségű tekercsellenállás nem helyettesíti a szigetelésmérővel mért nagyfeszültségű szigetelési ellenállást. A kettő más hibát mutat: a tekercsellenállás a rézvezető állapotát, a szigetelési ellenállás a szigetelőanyagét. A helyes módszer: mindkettőt mérni, külön műszerrel.
3. **A mérési eredményt nem rögzítik.** A szerelő megméri, de nem írja le, vagy csak „rendben” szót ír a jegyzőkönyvbe. Hónapok múlva nem lehet megmondani, mi volt az érték, és a hiba ismét jelentkezésekor nincs összehasonlítási alap. Helyes gyakorlat: minden mért számot egységgel és a mérési körülménnyel együtt dokumentálni.
4. **Rossz mérési pont kiválasztása árammméréshez.** A lakatfogót a három fázis közös vezetékére vagy a nullavezetőre teszik. A három fázis eredője normál üzemben nulla, így téves következtetésre jutnak. A lakatfogót mindig egy-egy fázisvezetőre kell helyezni.
5. **A mechanikai mérések elhagyása.** Csak a villamos adatokat vizsgálják, pedig a csapágyhiba vagy a kiegyensúlyozatlanság a villamos tünet forrása lehet. A rezgés- és hőmérsékletmérés kiegészíti a diagnózist.

30.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: a szigetelési ellenállást elegendő a motor bekötött állapotában, a hálózatra kapcsolva mérni. Indokold!
2. Egy 400 V-os motornál a tekercsellenállások: 1,8 Ω, 1,82 Ω, 1,79 Ω. Számítsd ki az aszimmetriát!
3. Mi a különbség a hibajegyzőkönyv és a szabványossági felülvizsgálati jegyzőkönyv között?
4. Miért kell a szigetelésmérés után kisütni a tekercseket?
5. Egy háromfázisú motor fázisáramai: 10 A, 10 A, 0 A. Mi a legvalószínűbb hiba? Indokold!
6. Milyen mérőműszert választasz a csapágyhőmérséklet érintés nélküli mérésére? Miért nem elég a kéz?

30.1.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a villamos gép diagnosztikájának öt alapvető lépését a tünet felvételétől a döntésig, és írd le, mi a szerepük a hibakeresésben.

2. feladat (A). Egy csillagkapcsolású aszinkron motor tekercsellenállásai: U1–U2: 0,92 Ω, V1–V2: 1,35 Ω, W1–W2: 0,88 Ω. Számítsd ki az átlagot, a maximális eltérést és az aszimmetriát százalékban. Milyen hibára gyanakszol?

3. feladat (B). Egy 5,5 kW-os, 400 V-os, névleges áram 11,2 A-es motor lakatfogóval mért fázisáramai: $I_{L1} = 13{,}8\,\text{A}$, $I_{L2} = 13{,}1\,\text{A}$, $I_{L3} = 13{,}5\,\text{A}$. A hálózati feszültségek: $U_{L1-L2} = 402\,\text{V}$, $U_{L2-L3} = 399\,\text{V}$, $U_{L3-L1} = 398\,\text{V}$. Számítsd ki a fázisáram-aszimmetriát és a feszültségaszimmetriát. Hogyan értékeled az eredményt?

4. feladat (B). Rajzolj le egy egyszerű hibajegyzőkönyv-táblázatot egy 3 kW-os motorhoz, amelynek a kapocsdobozában égésnyomot találtak. A táblázatban tüntesd fel a szükséges azonosítókat, a vizsgálatok nevét, a mért értékeket (fiktív, de reális adatokkal), a referenciaértékeket és a minősítést.

5. feladat (C). Helyszíni vizsgálat során egy motor időnként leold. A szemrevételezés rendben, a szigetelési ellenállás 40 MΩ, a tekercsellenállások U1–U2: 1,21 Ω, V1–V2: 1,20 Ω, W1–W2: 1,22 Ω. Az áramfelvétel: $I_{L1} = 8{,}9\,\text{A}$, $I_{L2} = 8{,}7\,\text{A}$, $I_{L3} = 5{,}1\,\text{A}$. A tápfeszültségek: $U_{L1-L2} = 400\,\text{V}$, $U_{L2-L3} = 398\,\text{V}$, $U_{L3-L1} = 403\,\text{V}$. Elemezd a mérési adatokat: mi lehet a hiba oka? Milyen további mérést végeznék? Írd le a hibajegyzőkönyv javaslat rovatát.

6. feladat (D). Készíts hibajegyzőkönyv-vázlatot egy olyan aszinkron motorhoz, amelynél a mechanikai mérések a csapágyhiba gyanúját vetik fel (emelkedett rezgés: 7,2 mm/s, csapágyhőmérséklet-emelkedés 58 K). A vázlatban szerepeljenek a csapágyhiba alátámasztásához szükséges azonosítók, a mért értékek, a referenciaértékek, az értékelés és a javítási javaslat. A jegyzőkönyvnek olyannak kell lennie, hogy a javító műhely (a Gépek megbontása, javítása és üzembe helyezése alfejezet szerint) számára egyértelmű legyen a feladat.

30.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A szigetelési ellenállást csak feszültségmentesített, a hálózatról leválasztott állapotban szabad mérni. A hálózatra kapcsolt motoron a tápvezetékek és a beépített készülékek miatt a mérés hamis, és feszültség alatti mérés balesetveszélyes.
2. Átlag: $(1{,}8 + 1{,}82 + 1{,}79)/3 = 1{,}803\,\Omega$. Az átlagtól való legnagyobb eltérés: $1{,}82 - 1{,}803 = 0{,}017\,\Omega$. Aszimmetria: $0{,}017/1{,}803 \cdot 100 \approx 0{,}92\,\%$. Ez általában elfogadható.
3. A hibajegyzőkönyv a konkrét diagnosztikai vizsgálatot dokumentálja: azonosítók, tünet, mérések, értékelés, javítási javaslat. A szabványossági felülvizsgálati jegyzőkönyv a berendezés biztonságosságának igazolására szolgál, jogszabályi és szabványos határértékekkel, minősítéssel. A hibajegyzőkönyv a javítás elvégzéséhez ad alapot; a felülvizsgálati jegyzőkönyv a biztonságosságot igazolja.
4. A szigetelésmérés során a tekercs kapacitása feltöltődik, és a mérés után is veszélyes töltést tárolhat. A kisütés megelőzi az áramütést és a mérőműszer károsodását.
5. A legvalószínűbb hiba: az egyik fázis szakadása (pl. kiolvadt biztosító, laza kötés, megszakító hiba). A motor két fázison jár, ami erős túlterhelést és melegedést okoz, és a motor le fog oldani. Indoklás: a 0 A-es fázison nem folyik áram, a másik kettőn a névlegesnél nagyobb áram.
6. Érintés nélküli infravörös hőmérőt vagy hőkamerát használunk. A kéz nem alkalmas: alacsony hőmérsékleten pontatlan, nem dokumentálható, és feszültség alatti gépnél veszélyes is lehet.

1. feladat (A) megoldása. A hibakeresés öt lépése: (1) Tünet rögzítése: pontos leírás, mikor és hogyan jelentkezik a hiba. (2) Szemrevételezés: látható, szagolható elváltozások keresése.

(3) Villamos mérések: tápfeszültség, áramfelvétel, tekercsellenállás, szigetelés. (4) Mechanikai mérések: hőmérséklet, rezgés, zaj. (5) Hibajegyzőkönyv felvétele és javítási döntés. Mindegyik lépés szűkíti a hiba lehetséges okainak körét, és elkerüljük a tippelést.

2. feladat (A) megoldása. Adott: $R_U = 0{,}92\,\Omega$, $R_V = 1{,}35\,\Omega$, $R_W = 0{,}88\,\Omega$. Átlag: $(0{,}92 + 1{,}35 + 0{,}88)/3 = 1{,}05\,\Omega$. Az átlagtól való legnagyobb eltérés: $1{,}35 - 1{,}05 = 0{,}30\,\Omega$. Aszimmetria: $(0{,}30/1{,}05) \cdot 100 \approx 28{,}6\,\%$. Ez erősen túllépi a tűrést. A V fázis ellenállása nagyobb a többinél, ezért nem menetzárlatra (az kisebb ellenállást adna), hanem rossz kötésre, átmeneti ellenállásra vagy egy párhuzamos tekercság szakadására gyanakszunk; a mérést a kapocs tisztítása és meghúzása után meg kell ismételni.

3. feladat (B) megoldása. Fázisáramok átlaga: $(13{,}8 + 13{,}1 + 13{,}5)/3 = 13{,}467\,\text{A}$. Az átlagtól való legnagyobb eltérés: $13{,}467 - 13{,}1 = 0{,}367\,\text{A}$. Aszimmetria: $(0{,}367/13{,}467) \cdot 100 \approx 2{,}7\,\%$. Feszültségek átlaga: $(402 + 399 + 398)/3 = 399{,}667\,\text{V}$. Az átlagtól való legnagyobb eltérés: $402 - 399{,}667 = 2{,}333\,\text{V}$. Aszimmetria: $(2{,}333/399{,}667) \cdot 100 \approx 0{,}58\,\%$. Értékelés: a feszültségaszimmetria kicsi, az áramaszimmetria a 10 %-os határ alatt marad. Ez tartós túlterhelés, a hőkioldó leoldása várható. Mivel mindhárom fázisáram 17–23 %-kal a névleges felett van, miközben az aszimmetria kicsi, a hiba nem villamos aszimmetria, hanem mechanikai túlterhelés. Ellenőrizni kell a hajtott gépet (szorulás, eltömődés, rossz munkapont), a csapágyakat és a hőkioldó beállítását (11,2 A).

4. feladat (B) megoldása. A táblázat (rövidítve):

Vizsgálat	Mért érték	Referencia	Minősítés
Szemrevételezés	égésnyom a W kapcson	nincs	hibás
Tekercsellenállás U	2,45 Ω	~2,4 Ω	elfogadható
Tekercsellenállás V	2,40 Ω	~2,4 Ω	elfogadható
Tekercsellenállás W	0,95 Ω	~2,4 Ω	hibás
Szigetelési ellenállás W–PE	0,4 MΩ	>1 MΩ	hibás
Szigetelési ellenállás U–PE, V–PE	>50 MΩ	>1 MΩ	jó
Feszültség	400 V	400 V	jó

A jegyzőkönyv azonosítókat, mérőműszert és aláírásokat is tartalmaz. A hiba: W tekercs földzárlata vagy tekercszárlat.

5. feladat (C) megoldása. A tekercsellenállások szimmetrikusak (1,21–1,22 Ω), a szigetelés nagyon jó. A feszültségek közel szimmetrikusak. Az áramfelvétel azonban erősen aszimmetrikus: 8,9 A, 8,7 A, 5,1 A – a harmadik fázis kb. 40 %-kal kisebb. Mivel a feszültség rendben és a tekercsellenállás szimmetrikus, a hiba oka valószínűleg a motor belső bekötésében (pl. laza kapocs, rossz tekercselés), vagy a külső tápvezetékben lévő átmeneti ellenállás, esetleg a kapocsdobozban melegedő kötés. Továbbá mérni kell a fázisfeszültségeket is, a kapocsdoboz sorkapcsain a feszültségesést terhelés alatt, és hőmérséklettel ellenőrizni a kötéseket. A hibajegyzőkönyv javaslat rovata: „A kapocsdobozban a W fázis csatlakozása gyanús, átmeneti ellenállás lehetséges. Javaslom a kapocsdoboz felnyitását, a kötések ellenőrzését és meghúzását, majd új árammérést. Ha az áramaszimmetria továbbra is fennáll, a motor tekercsét szakműhelyben vizsgáltassuk.”

6. feladat (D) megoldása. A hibajegyzőkönyv-vázlat (kivonatos):

- **Gépazonosító:** gyártó, típus, gyártási szám; $P_n = 5{,}5\,\text{kW}$, $U_n = 400\,\text{V}$, $I_n = 11{,}2\,\text{A}$, $n_n = 1440\,1/\text{min}$, F szigetelési osztály, IP55.
- **Tünet:** emelkedett rezgés, csapágyhőmérséklet-emelkedés.
- **Mérések:**

  - Rezgéssebesség csapágypajzson: 7,2 mm/s (referencia: < 1,8 mm/s jó, > 4,5 mm/s beavatkozás; kis gép, ellenőrizendő: ISO 20816).
  - Csapágyhőmérséklet-emelkedés: 58 K (referencia: <40 K).
  - Áramfelvétel: I1=12,3 A, I2=11,8 A, I3=12,0 A (enyhe aszimmetria, terhelés kissé magas).
  - Szigetelési ellenállás: U–PE 28 MΩ, V–PE 32 MΩ, W–PE 30 MΩ (rendben).
  - Tekercsellenállás: szimmetrikus (1,21 Ω, 1,20 Ω, 1,22 Ω).

- **Értékelés:** a magas rezgés és a csapágyhőmérséklet-emelkedés csapágykopásra vagy kenési hibára utal; a villamos paraméterek rendben vannak.
- **Javaslat:** a motor megbontása, a csapágyak ellenőrzése, szükség szerint cseréje, a kenőanyag vizsgálata, a tengely és a kiegyensúlyozás ellenőrzése. A javítás után rezgés- és hőmérsékletmérés újra, a referenciaértékek elérése igazolandó.

Ez a vázlat közvetlenül átadható a javítást végző műhelynek, és a Gépek megbontása, javítása és üzembe helyezése alfejezet szerinti munkafolyamat alapjául szolgál.

30.1.14. Rövid összefoglaló

A villamos gépek diagnosztikája a tünetből kiinduló, mérésekkel alátámasztott hibakeresés. A folyamat lépései: tünet rögzítése, szemrevételezés, villamos mérések (feszültség, áramfelvétel, tekercsellenállás, szigetelési ellenállás), mechanikai mérések (hőmérséklet, rezgés, zaj), majd a hibajegyzőkönyv felvétele. A szemrevételezés a leggyorsabb, de önmagában nem elég. A szigetelési ellenállást csak feszültségmentesített, a hálózatról leválasztott motoron szabad mérni. A tekercsellenállás-mérés a szakadást, tekercszárlatot és az aszimmetriát mutatja; a fázisáramok aszimmetriája a táphálózat vagy a motor hibáját jelezheti. A mechanikai mérések a csapágy- és tengelyhibákat korán felfedik. A hibajegyzőkönyv tartalmazza a gép azonosítóit, a tünetet, az előzményeket, a mérőműszereket, a mért értékeket referenciaértékekkel, az értékelést és a javítási javaslatot. **Továbbvitt eredmény:** a jól dokumentált diagnózis nélkülözhetetlen a Gépek megbontása, javítása és üzembe helyezése alfejezethez, mert a javítás során ebből tudjuk, mit kell megbontani, és milyen ellenőrző méréseket kell elvégezni. A mérőműszer kiválasztásánál a mérendő mennyiség mellett a mérési kategória (CAT) és a méréshatár a döntő.

30.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg a magyarországi és európai villamos gép- és berendezés-diagnosztikai gyakorlatot tükrözi. A hivatkozott szabványok és határértékek a következők szerint ellenőrizendők a kiadás előtt:

- MSZ EN 60034-1 (villamos gépek névleges adatai és üzemmódjai) – aktuális kiadás és a hőmérsékleti osztályok ellenőrzése.
- MSZ EN 60204-1 (gépek villamos berendezései) – a gépek villamos biztonsági követelményei.
- MSZ EN 61557 (védelmi mérőműszerek) – a mérőműszerekre vonatkozó követelmények.
- ISO 20816 sorozat (korábban ISO 10816) és a hazai MSZ-átvétel – rezgésmérési határértékek ellenőrzése (ellenőrizendő: aktuális szám és státusz).
- Szigetelési ellenállás határértékek és a mérőfeszültség pontos értéke: gyártói dokumentáció és az alkalmazandó felülvizsgálati szabvány szerint ellenőrizendő.
- A példákban szereplő névleges motoradatok és referenciaértékek tipikus katalógusértékek, nem konkrét gyártmányokra vonatkozó garantált adatok; a tényleges munkához a motor adattáblája és a gyártói kézikönyv a mérvadó.

30.2. Gépek megbontása, javítása és üzembe helyezése

30.2.1. Miért kell megtanulnom a gép megbontását és javítás utáni üzembe helyezését?

A Diagnosztika: szemrevételezés, mérések, hibajegyzőkönyv alfejezetben megtanultad, hogyan azonosítsd be a hibát. Ebben az alfejezetben a diagnózisból cselekvés lesz: a hibás csapágyat ki kell cserélni, a sérült szigetelést javítani kell, vagy a hibás tekercselést meg kell javíttatni. A villamos gép megbontása és összeszerelése precíz mechanikai munka. Ha rosszul szeded szét vagy rosszul rakod össze a motort, új hibát okozhatsz (például tönkreteszed az új csapágyat, megsérted a tekercs homlokrészét, vagy eltéríted a forgórészt), ami a javítás után újabb, akár súlyosabb üzemzavarhoz vezet. A javítás utáni ellenőrzés és próbaüzem pedig a minőségbiztosítás része: csak akkor adhatsz át egy gépet, ha bizonyítottad, hogy biztonságos és terhelhető.

30.2.2. Szemléletes helyzetkép

Képzeld el, hogy egy 4 kW-os aszinkronmotor csapágya megkopott. Az üzemeltető panaszai: erős morajlás, melegedés, rezgés. A javítás során a motort le kell szerelned, szét kell bontanod, a forgórészt ki kell húznod, a csapágyakat le kell húznod, az újakat fel kell húznod, majd a motort össze kell rakni. Ha mindez megtörtént, a műhelyben megmered a szigetelési ellenállást, elvégzed a próbaüzemet, megméred az üresjárási áramot, és ellenőrzöd a tekercsellenállásokat. Csak ezek után adhatod át a motort az üzemeltetőnek. Ezt a folyamatot tanítjuk most lépésről lépésre.

30.2.3. A megbontás előtti előkészítés és dokumentáció

Szabály. A villamos gép megbontása előtt mindig rögzítsd a kiindulási állapotot. A javítási munkafolyamatnak dokumentálva kell lennie: felvétel a gép adattáblájáról, a hiba tünete, a diagnosztikai mérések eredménye (például szigetelési ellenállás, tekercsellenállások, áramfelvétel). Ez a hibajegyzőkönyv alapja. **(ellenőrizendő: a konkrét üzemeltetési/vevői dokumentációs igény a gyakorlatban eltérhet)**

Megjegyzés. A megbontás előtt vázold fel vagy fényképezd le a kapcsolódoboz bekötését, a gépházon lévő jelöléseket (például a ventilátor orsójának állását, a csapágyzsírok típusát), és azt, hogy a csavarok milyen sorrendben helyezkednek el. Ez a vizuális jegyzőkönyv nagy segítség az összeszerelésnél.

30.2.4. Megbontási sorrend, jelölés és a gépelemek levétele

Definíció. A **megbontás** alatt a gép mechanikus egységeinek szakszerű, lépésről lépésre történő szétválasztását értjük, amely során a alkatrészeket úgy jelöljük, tároljuk és védjük, hogy a visszaszerelés során az eredeti pozíciójukba, eredeti beállításukkal kerüljenek vissza.

30.2.4.1. A megbontás általános lépéssora

Gyakorlati útmutató – aszinkronmotor megbontása

Cél: A motor szétbontása a hiba (például csapágy) eléréséhez.

Eszközök és anyagok: csavarkulcsok, villáskulcsok, dugókulcs-készlet, csapágylehúzó, ékvastagság-mérő (hézagmérő), pillanatnyomaték-kulcs, kalapács és puha feltét (például réz- vagy

műanyagfejű), jelölőfilc vagy acélütő, zsírkréta, fóliatasakok és címkék a csavarok tárolásához, zsírtalanító, tiszta rongy.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A gépnek minden esetben feszültségmentesnek, leválasztottnak, visszakapcsolás ellen biztosítottnak kell lennie, és ezt feszültségmérővel meg kell győződnöd róla.

1. **Biztonsági előkészítés.** Kapcsold le a motort, szakaszd meg a táplálást, biztosítsd visszakapcsolás ellen, ellenőrizd a feszültségmentességet, földelj és zárd rövidre (ahol a környezet lehetővé teszi), és határold el a feszültség alatti részeket. Távolítsd el a kapocsdoboz fedelét, és bontsd a tápkábelt. A kábel ereit jelöld meg (U1, V1, W1, PE), mielőtt a sorkapcsokról leveszed őket.
2. **Jelöld meg a pozíciókat.** Jelöld meg a motor homlokpajzsait (A oldal, B oldal) és a motorházat egymáshoz képest. Jelöld meg a csavarok pozícióját (ha különböző hosszúságúak). Ez biztosítja, hogy az összeszereléskor a pajzsok ugyanabba a szöghelyzetbe kerüljenek vissza.
3. **Vedd le a hajtáselemet.** Ha van rajta szíjtárcsa vagy tengelykapcsoló, azt először le kell venni. A hajtáselem rögzítőcsavarját oldd ki. Ha szükséges, használj csapágylehúzót a tengelyről való lehúzáshoz. Tilos közvetlenül kalapáccsal ütni a szíjtárcsát vagy a tengelyt, mert a forgórész laminált lemezcsomagja megsérülhet.
4. **Szedd le a ventilátort.** A ventilátor burkolatát oldd ki, majd a ventilátor rögzítő elemét (rugós gyűrűt, rögzítő anyacsavart) oldd ki, és a ventilátort óvatosan húzd le a tengelyről.
5. **Oldd a csapágyfedél és a homlokpajzs csavarjait.** A homlokpajzs rögzítőcsavarjait egyenletesen, átlós sorrendben oldd ki; a kilépő zsírt töröld le.
6. **Emeld le a homlokpajzsot.** A homlokpajzsot óvatosan ütögesd meg puha kalapáccsal vagy egy fakalapáccsal körben, hogy egyenletesen váljon el a motorháztól. Ne feszítsd csavarhúzóval a pajzs és a ház közé, mert megsérted az illesztőperemet.
7. **Húzd ki a forgórészt.** Amikor mindkét homlokpajzsot levetted, a forgórészt óvatosan, tengelyirányban húzd ki a motorházból. A forgórész nehéz, kihúzáskor ne billenjen le, mert a lemezcsomag megsértheti az állórész tekercsfejét és horonyszigetelését: támaszd alá, vagy használj toldótengelyt vagy emelőt, és a kihúzást lassan, tengelyirányban végezd. (Állandómágneses gépnél erős mágneses vonzás is fellép; ott a gyártói szerszám kötelező.) A forgórészt tedd tiszta, puha alátétre (például gumipala vagy tiszta fa), hogy a lemezcsomag és a homlokrész ne sérüljön.

30.2.4.2. Csapágyak leszedése és cseréje

Megjegyzés. A csapágycsere a leggyakoribb mechanikai javítás. A rosszul végzett csapágyszerelés az új csapágy rövid élettartamához vezet.

Szabály. A csapágyat mindig a **belső gyűrűn** keresztül szabad lehúzni, ha a tengelyre illesztett. Ha a külső gyűrűnél fogva húzod le, a gördülőelemeken és a pályákon erőt viszel át, ami károsodást okoz. Ha a csapágy a pajzsban van, akkor a pajzsból a külső gyűrűn keresztül szabad kihúzni vagy kinyomni.

Összefüggés. A csapágy felhúzásakor a belső gyűrűt kell nyomni vagy melegítéses módszerrel felhúzni. A csapágy közvetlen kalapácsütése tilos, mert a golyók meglapítják a pályákat, és a csapágy azonnal morajlani fog.

Példa. Egy 6204-es (20 mm furatú) csapágyat kell a tengelyre húzni. A tengely illesztése szorító. Melegítsd fel a csapágyat 80–100 °C-ra, hőkezelő sütőben vagy indukciós csapágyfűtőn, majd a tágult belső gyűrűt gyorsan, szerszám nélkül vagy könnyű nyomással húzd fel a tengelyre. A

hőmérséklet ne haladja meg a gyártó által engedélyezett csúcsértéket, mert az edzett csapágyacél megeresztődik (keménysége és mérettartása csökken), zsírral töltött vagy tömített csapágynál a kenőanyag és a tömítés is károsodik. **(ellenőrizendő: a pontos hőmérsékleti határértéket a csapágy gyártói adatlapja adja meg)**

30.2.4.3. Tekercshiba és javítás

A tekercshiba lehet szigetelési hiba (megrepedezett szigetelés, beázás, melegedés miatti elöregedés) vagy menetzárlatos hiba (a menetek közti szigetelés megszűnt). A tekercselést gyári minőségben visszatekercselni csak megfelelő technológiával, szárítókemencével, impregnáló lakkal és ellenőrző berendezésekkel lehet. A könyv Gépek anyagai és tekercselése része tárgyalja a tekercselést. Itt azt kell megértened, hogy a **tekercselés javítása során a régi sérült szigetelést soha ne toldozd össze hálózati feszültségű gépnél**, mert a lokális melegedés tüzet okozhat. Kisebb, felületi sérülésnél (pl. kopott kötözés, sérült lakkréteg) a tekercsfejet újra lehet kötözni, és a sérült részt az eredeti szigetelési osztálynak megfelelő lakkal át kell impregnálni; ha a menetszigetelés vagy a horonyszigetelés sérült, a gépet újra kell tekercselni.

Megjegyzés. A tekercsszakadás vagy zárlat okát mindig meg kell keresni (pl. tartós túlterhelés, fáziskiesés, nedvesség, rossz hűtés). Ha az okot nem szünteted meg, az új tekercs is ki fog égni.

30.2.4.4. Kefecsere

A csúszógyűrűs aszinkronmotoroknál és az egyenáramú gépeknél a keféket rendszeresen cserélni kell. A kefecsere lépései:

1. Válaszd ki a géphez megfelelő kefetípust (anyag, keménység, méret). A gyártó adatlapja szerint.
2. Vezesd be az új kefét a kefetartóba, és csiszold be a csúszógyűrű vagy kommutátor felületéhez egy finom csiszolószalaggal. A csiszolószalagot a forgó felület és a kefe közé kell tenni, a durva oldalával a kefe felé, és a forgórészt néhány fordulattal kézzel megforgatni. Így a kefe pontosan felfekszik a gyűrűre.
3. A kefenyomásnak a gyártó által megadott tartományban kell lennie. A túl nagy nyomás gyors kopást és melegedést, a túl kicsi nyomás ívképződést, így a csúszógyűrű beégését okozza.
4. Az új kefét fokozatosan kell terhelni, hogy a gyűrű és a kefe „össze járjon”. A bejáratás alatt ellenőrizd a kefék hőmérsékletét.

30.2.5. Összeszerelés és a szigetelés szárítása

Az összeszerelés a megbontás fordított sorrendje, de van néhány kiemelt ellenőrzési pont.

Az összeszerelés lépései:

1. **Tisztítás.** A motor házában, tekercselésben és a szellőzőjáratokban ne maradjon por, fémforgács, hűtőzsinór vagy régi zsír. Száraz sűrített levegő (max. nyomás a gyártó szerint, jellemzően 2–3 bar, **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**), rongy, porszívó használható.
2. **Csapágyak behelyezése.** A csapágyzsírt a csapágyba és a zsírfészekbe kell tölteni. A zsírfészek legfeljebb 30–50 %-ig legyen tele; a túlzsírozás melegedést okoz. A csapágyakat melegítéssel vagy présszel, a belső gyűrűn keresztül kell felhúzni. A csapágyat soha ne üsd.

3. **Forgórész behelyezése.** A forgórészt óvatosan vezesd be a motorba, ügyelve arra, hogy a tekercs homlokrésze ne érjen a pajzsokhoz. A forgórész és az állórész között a légrés egyenletességét hézagmérővel ellenőrizheted.
4. **Pajzsok felhelyezése.** A pajzsokat a jelöléseknek megfelelően kell visszahelyezni. A rögzítőcsavarokat átlós sorrendben, egyenletesen kell meghúzni.
5. **Mechanikai ellenőrzés.** Kézzel forgasd meg a tengelyt. A forgásnak könnyűnek, de nem lötyögősnek kell lennie. Szabad kézzel nem szabad éles akadást, súrlódást, kattogást érezni. Ez a **kézi forgatáspróba** kihagyhatatlan lépés.

Szárítás. Ha a motor kikapcsolt állapotban nedvességet szívott be, a szigetelési ellenállása lecsökken. A szigetelést a kívánt értékre melegítéssel lehet visszahozni. A motort lehet kemencében, meleg levegővel, vagy a tekercselésre kapcsolt egyenfeszültséggel (a névleges áram 10–20 %-ával) szárítani. A szárítás alatt a szigetelési ellenállást folyamatosan ellenőrizni kell. A szárítás akkor eredményes, ha a szigetelési ellenállás nem csökken tovább meleg állapotban sem, és eléri a szabványos minimális értéket. Érintésvédelem szempontjából a hálózatra csak akkor kapcsolható vissza a gép, ha a szigetelési ellenállás a megadott határérték felett van.

30.2.6. Javítás utáni mérés és ellenőrzés

A próbaüzem előtt el kell végezni a kikapcsolt állapotú vizsgálatokat. Ezek sorrendje: (1) védővezető: a PE-ér visszakötése a kapocsdoboz földelőkapcsára, a ház és a PE-sín közötti folytonosság mérése kis ellenállás-mérővel (az MSZ EN 61557-4 szerinti műszerrel; határérték: ellenőrizendő); (2) a kapocsdoboz-bekötés (csillag/delta híd) egyeztetése a megbontás előtt készült fényképpel; (3) tekercsellenállás; (4) szigetelési ellenállás; a próbaüzemben (5) a forgásirány ellenőrzése. A védővezető visszakötése nélkül a gép testzárlat esetén védelem nélkül maradna.

30.2.6.1. Tekercsellenállás mérése

Számítás. A három fázis tekercsellenállásának egyenletesnek kell lennie. Az aszimmetria számítása (az átlagtól való legnagyobb eltéréssel):

$$\text{Aszimmetria} = \frac{\max\left|R_x - R_{\text{átlag}}\right|}{R_{\text{átlag}}} \times 100\,\%$$

Ahol $R_{\text{átlag}} = \frac{R_U+R_V+R_W}{3}$. Ezt a definíciót és határt a Diagnosztika: szemrevételezés, mérések, hibajegyzőkönyv alfejezet szerint használjuk: az átlagtól való legnagyobb eltérés alapján számolt aszimmetria 2–3 % felett vizsgálandó, 5 % felett hibásnak tekintjük; hibás kötést, laza csavart vagy menetzárlatot jelezhet **(ellenőrizendő: gyártói/javítóműhelyi előírás)**.

Példa. Mérünk egy motort: $R_U = 1{,}25\,\Omega$, $R_V = 1{,}28\,\Omega$, $R_W = 1{,}21\,\Omega$. 1. Átlag: $R_{\text{átlag}} = \frac{1{,}25+1{,}28+1{,}21}{3} \approx 1{,}247\,\Omega$. 2. Legnagyobb eltérés az átlagtól: $1{,}247 - 1{,}21 = 0{,}037\,\Omega$. 3. Aszimmetria: $\frac{0{,}037}{1{,}247} \times 100\,\% \approx 2{,}9\,\%$.

Ez az érték a vizsgálandó (2–3 %) sáv szélén van; ha a következő mérés is megerősíti, a kötéseket és a tekercselést ellenőrizni kell.

30.2.6.2. Szigetelési ellenállás mérése

Mérés. A szigetelési mérővel (megger) fázis és föld (PE) között, illetve fázis-fázis között kell mérni. A mérést 500 V egyenfeszültséggel végezzük (kisfeszültségű gépnél). A mérést addig kell végezni, amíg az érték állandósul. A szigetelési ellenállás minimum értéke kisfeszültségű gépeknél a gyakorlatban 1 MΩ (gyakori szabály), de felújított vagy új tekercselésnél ennél jóval nagyobb értéket (jellemzően több tíz–száz MΩ-ot) várunk, és a mért értéket a hőmérséklettel együtt a gyártói vagy javítóműhelyi átvételi előírással vetjük össze **(ellenőrizendő: MSZ EN 60034-27-4, gyártói előírás)**; általános, 100 MΩ-os átadási határ nincs. A szigetelési ellenállás értéke függ a hőmérséklettől; meleg gépen kisebb. A mérési jegyzőkönyvben a mért érték mellett mindig tüntesd fel a gép hőmérsékletét. **(ellenőrizendő: a határérték a szabvány és a vevői előírás szerint)**.

30.2.6.3. Próbaüzem és átadás

Próbaüzem. A kikapcsolt állapotú vizsgálatok után a motort először üresjárásban kell járatni. Az üresjárási próba alatt figyeld a forgásirányt, a zajt, a rezgést és a felvett áramot. Az üresjárási áram a motor méretétől és pólusszámától függ; kis motoroknál a névleges áram jellemzően 30–60 %-a, nagyobbaknál kisebb (ellenőrizendő: gyártói katalógus). A három fázis áramát lakatfogóval mérd; az üresjárási áramoknak szimmetrikusnak kell lenniük. A terhelési próba során a gép áramfelvételét, hőmérsékletét és rezgését folyamatosan ellenőrizni kell. A hőmérséklet-emelkedés nem haladhatja meg a szigetelési osztályra megengedett értéket.

Átadás. A motor átadása csak akkor történhet meg, ha a javítási dokumentáció elkészült. Ez tartalmazza: a hiba leírását, a javítás módját, a felhasznált alkatrészeket (csapágy típusa, zsír típusa), a mérési jegyzőkönyvet és a próbaüzem eredményét. Az átadási jegyzőkönyvet az üzemeltetővel alá kell íratni. Ez a dokumentáció a Karbantartási terv és állapotfigyelés alfejezetben használt karbantartási napló alapja.

30.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy üzem karbantartó műhelyébe behoztak egy 3 kW-os villanymotort, amely a diagnosztika szerint csapágyhibás. A szerelő szabályosan megjelölte az alkatrészeket, elvégezte a megbontást, levette a régi csapágyakat, majd felhúzta az újakat, de nem melegítette fel a csapágyat, hanem kalapáccsal, a külső gyűrűre ütve verte fel a szoros illesztésű tengelyre. Az összeszerelés után a motor már a próbaüzemben morajlott. A mérés azt mutatta, hogy a csapágy futópályája megütődött, az új csapágy tönkrement. **Tanulság:** A csapágyat mindig melegíteni kell, vagy préssel, illetve olyan szerelőhüvellyel felhúzni, amely a belső gyűrű teljes homlokfelületén felfekszik; ütni csak ezen keresztül, egyenletesen szabad, a külső gyűrűre vagy közvetlenül a csapágyra ütni tilos. A csapágyütés a leggyakoribb szerelői hiba, ami még a sikeres „diagnózis” ellenére is a gép gyors visszahibásodását okozza.

30.2.8. Tipikus hibák

1. **A jelölés elhagyása.** A pajzsok és a csavarok jelölés nélküli szétszedése után az összeszerelésnél a pajzsok szorulnak, a gép melegszik, vagy a tengely berágódik.
    - *Helyes gyakorlat:* Mindig jelöld a pajzsok és a ház pozícióját egy közös jelzéssel. A csavarokat külön, feliratozott tasakba tedd.

2. **Erőszakos bontás.** Fém kalapács vagy csavarhúzó használata a pajzsok megfeszítésére. A perem megsérül, a gép a továbbiakban szigetelési- vagy mechanikai problémát okoz.
    - *Helyes gyakorlat:* Puha kalapácsot használj, és a pajzsot a teljes kerületén, finoman ütögesd le.
3. **Csapágyak tönkretétele.** A csapágy kalapáccsal való felhelyezése.
    - *Helyes gyakorlat:* A csapágyat melegítve vagy préssel szereld fel; ha ütni kell, csak olyan szerelőhüvelyen keresztül, amely a belső gyűrű teljes homlokfelületén felfekszik, egyenletesen. Mindig a belső gyűrűn erőátvivő szerszámot használj.
4. **A szigetelési ellenállás mérés elhagyása.** „Úgyis jó”, alapon próbaüzem.
    - *Helyes gyakorlat:* A javítás bármilyen mechanikai munka után a szigetelési ellenállás mérése kötelező. A nedvesség vagy a szerelés közben keletkező forraszcsepp, fémdarab szigetelési hibát okozhat.

30.2.9. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A csapágyat a külső gyűrűjénél fogva kell lehúzni, mert ott a legnagyobb a gyűrű átmérője. (Indokold!)
2. **Igaz vagy hamis?** A próbaüzem előtt elegendő a tekercsellenállás mérése, a szigetelési ellenállás mérését a javítás utáni ellenőrzés nem igényli. (Indokold!)
3. **Gyors számolás.** Egy motor tekercsellenállásai: $R_1 = 1{,}1\,\Omega$, $R_2 = 1{,}2\,\Omega$, $R_3 = 1{,}0\,\Omega$. Számold ki az aszimmetriát. Gyanús-e?
4. **Rajzolvasás.** Miért jelöljük meg a motor homlokpajzsait és a motorházat egymáshoz képest a megbontás előtt?
5. **Gyakorlati kérdés.** Mit ellenőrzöl a csapágy felhúzása után közvetlenül, még a pajzsok felhelyezése előtt?

30.2.10. Feladatok

30.2.10.1. 1. feladat (A)

Sorold fel a megbontás előtti dokumentációs lépéseket legalább három elemmel.

30.2.10.2. 2. feladat (A)

Melyek a kefecsere legfontosabb lépései? Írd le tömören.

30.2.10.3. 3. feladat (B)

Egy aszinkronmotor kikapcsolt állapotú vizsgálatakor a megadott értékeket méred. Állapítsd meg, hogy a motor felszerelhető-e próbaüzemre! - **Adatok:** Szigetelési ellenállás fázis-föld: $0{,}4\,\mathrm{M}\Omega$ 25 °C-on. Tekercsellenállások: $1{,}7\,\Omega$, $1{,}8\,\Omega$, $1{,}6\,\Omega$.

30.2.10.4. 4. feladat (B)

Számítsd ki a fenti motortekercs aszimmetriáját az aszimmetria képletével, és értékeld az eredményt.

30.2.10.5. 5. feladat (C)

Egy motor csapágycseréje után a gép a próbaüzemben egyenletes, a fordulatszámmal változó morajlást ad ki, és a hőmérséklete a csapágynál 10 °C-kal magasabb a szokásosnál. Mi lehet a hiba oka? Hogyan javítanád?

30.2.10.6. 6. feladat (D)

Írd le a javítás utáni átadás folyamatát, beleértve a mérendő paramétereket és a dokumentáció tartalmát, amit az üzemeltetőnek át fogsz adni.

30.2.11. Megoldások

30.2.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A csapágyat a belső gyűrűnél fogva kell lehúzni a tengelyről, hogy a gördülőelemeken ne terhelődjön át erő.
2. **Hamis.** A szigetelési ellenállás mérése a legfontosabb villamos ellenőrzés a próbaüzem előtt.
3. **Megoldás:** Átlag $= (1{,}1 + 1{,}2 + 1{,}0)/3 = 1{,}1\,\Omega$. Az átlagtól való legnagyobb eltérés $= 0{,}1\,\Omega$ (az R_2 és az R_3 is ennyivel tér el). Aszimmetria $= (0{,}1/1{,}1) \times 100\,\% \approx 9{,}1\,\%$. Ez az 5 %-os határ felett van, hibás kötést vagy menetzárlatot jelezhet.
4. A motor pajzsai és a ház között illesztés van. A jelöléssel biztosítjuk, hogy az összeszereléskor azonos pozícióba kerüljenek, különben a tengely szorulhat, a gép melegszik.
5. A felhúzott csapágy a tengelyválláig ütközik (nincs rés), a külső gyűrű kézzel megforgatva könnyen, akadás és zörej nélkül forog, a csapágy nem melegszik túl a felhúzás után, a tömítés vagy zárólemez ép, és a típusa egyezik a dokumentáltal. (A teljes gép kézi forgatáspróbája az összeszerelés utolsó lépése.)

30.2.11.2. Feladatok megoldásai

1. **1. feladat (A) megoldása:** Adattábla felvétele, a kapcsolódoboz bekötésének lejegyzése/fényképezése, a diagnosztikai mérési adatok rögzítése, a mechanikai jelölések (pajzs-ház pozíció, csavarpozíció) elkészítése.
2. **2. feladat (A) megoldása:** A megfelelő kefetípus kiválasztása, a kefe bejáratása a gyűrűhöz csiszolással, a kefenyomás ellenőrzése, a kefe fokozatos terhelése.
3. **3. feladat (B) megoldása:** A szigetelési ellenállás a gyakorlati minimum alatt van, tehát a motor nem szerelhető fel próbaüzemre. A tekercsellenállások aszimmetriája is magas (lásd a 4. feladat megoldását: 5,9 %). A szigetelést szárítani kell, vagy a tekercselés hibáját meg kell javítani.
4. **4. feladat (B) megoldása:** $R_{\text{átlag}} = (1{,}7 + 1{,}8 + 1{,}6)/3 = 1{,}7\,\Omega$. Az átlagtól való legnagyobb eltérés: $1{,}8 - 1{,}7 = 0{,}1\,\Omega$ (és $1{,}7 - 1{,}6 = 0{,}1\,\Omega$). Aszimmetria $= (0{,}1/1{,}7) \times 100\,\% \approx 5{,}9\,\%$. Ez az 5 %-os határ feletti aszimmetria laza csavarkötést, rossz bekötést vagy menetzárlatot jelezhet, a motort további vizsgálat nélkül nem szabad próbaüzemre fogni.
5. **5. feladat (C) megoldása:** A morajlás és a magas hőmérséklet a csapágynál nagy valószínűséggel a csapágy helytelen beszerelésére (pl. kalapács használata, vagy a belső gyűrűn való erőátvitel nélküli felhelyezés) utal. A javítás: a motor ismételt megbontása, a sérült csapágy kivétele, és az új csapágy megfelelő, melegítéses vagy préseléses felszerelése.

A morajlás frekvenciája önmagában nem diagnosztikus; a csapágyhiba-frekvenciák elemzése rezgésspektrum-méréssel lehetséges (lásd Karbantartási terv és állapotfigyelés).

6. **6. feladat (D) megoldása:** Az átadás folyamata a mérésekkel és dokumentációval: (1) Kikapcsolt állapotú ellenőrzés (védővezető-folytonosság, szigetelési ellenállás, tekercsellenállás). (2) Üresjárási próba (áram, zaj, rezgés). (3) Terhelési próba (hőmérséklet, áram). (4) Átadási dokumentáció (hiba leírása, javítás módja, mérési jegyzőkönyvek). (5) Az átadás az üzemeltető aláírásával.

30.2.12. Rövid összefoglaló

A villamos gép javítási folyamata szigorú rendet követ. A megbontás előtt rögzítjük a kiindulási állapotot, jelöljük a pozíciókat. A megbontásnál a csapágylehúzás, a kefecsere és a tekercselés javítása mind speciális szerszámot és technológiát igényel. A csapágyat mindig a belső gyűrűn keresztül húzzuk le, és melegítéssel vagy préssel, a belső gyűrűn felfekvő szerszámmal szereljük fel; közvetlenül ütni tilos. Az összeszerelés után kötelező a kézi forgatáspróba, a védővezető visszakötése és folytonosságának mérése, a tekercsellenállások aszimmetriájának ellenőrzése, és a szigetelési ellenállás mérése. A próbaüzem során ellenőrizzük a forgásirányt, az áramot, a zajt és a hőmérsékletet. A **Továbbvitt eredmény** a javítás és a próbaüzem dokumentációja, amely a Karbantartási terv és állapotfigyelés alfejezetben a karbantartási napló alapját képezi, és a gép teljes életciklusának nyomon követésére szolgál.

30.3. Karbantartási terv és állapotfigyelés

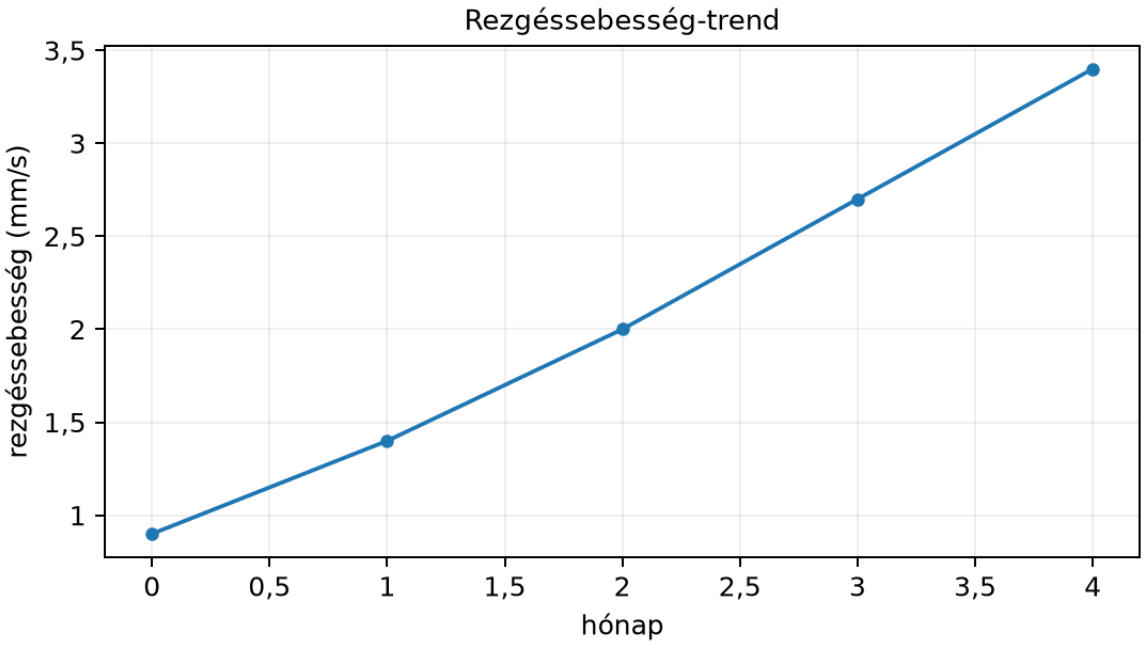
30.3.1. Motiváció: miért kell karbantartási terv?

Egy üzemben a szivattyúmotor évente kétszer váratlanul leáll, mert a csapágy kopása csak akkor derül ki, amikor a gép már „beesik”. Az elosztóban egy sorkapocs meglazul, melegszik, a szigetelés elfeketedik, de senki sem nézte meg, mert „amíg megy, nem nyúlunk hozzá”. A karbantartási terv nélküli üzemeltetés nem takarékos: a váratlan leállás drágább, mint a tervszerű ellenőrzés, és a hibás szerelvény életveszélyes is lehet.

Ebben az alfejezetben megtanulod, hogyan készíts karbantartási tervet egy motorhoz és egy elosztóhoz, hogyan határozd meg az ellenőrzési gyakoriságot, és hogyan értelmezd a rezgés-, hő- és áramfelvétel-méréseket. A cél nem az, hogy felesleges munkát végezz, hanem hogy a meghibásodást időben előre jelezd.

30.3.2. Szemléletes kép: a rezgésmérési trend

A csapágykopás nem egyik napról a másikra alakul ki. A rezgéssebesség mérése megmutatja a folyamatot. Az alábbi ábra egy képzeletbeli motor rezgéssebességének alakulását mutatja 4 hónapon keresztül:



30.2. ábra. Rezgéssebesség-trend - Szemléltető, csapágyhibára utaló adatsor: a havi növekmény 0,5–0,7 mm/s, a növekedés enyhén gyorsul; a lenti példa lineáris közelítéssel (átlagosan 0,625 mm/s havonta) számol. A határértéket a gyártó/szabvány szerint kell megállapítani.

Az ábra azt mutatja, hogy a rezgéssebesség lassan, de folyamatosan nő. Ha csak egyszer mérnél, 3,4 mm/s értéket látsz, ami még nem feltétlenül vészes; de a **trend** az, ami alapján dönteni lehet. A karbantartási terv ilyen idősorokat gyűjt, és akkor avatkozik be, amikor a görbe emelkedni kezd – nem akkor, amikor a gép már leáll.

30.3.3. Karbantartási stratégiák

A karbantartásnak alapvetően három megközelítése van (javító, megelőző, állapotalapú); az állapotalapú finomítása az előrejelző karbantartás. A gyakorlatban ezeket kombináljuk.

Definíció. - **Javító karbantartás**: akkor cselekszünk, amikor a hiba már bekövetkezett. Előnye, hogy nincs időszakos költség; hátránya, hogy a váratlan leállás drága, sőt veszélyes is lehet. - **Megelőző karbantartás**: tervszerűen, előre rögzített időközönként vagy üzemóra alapján elvégzett feladatok (kenés, tisztítás, szigetelésmérés, kötések utánhúzása, csapágycsere). Célja, hogy a **beavatkozás** a meghibásodás **előtt** történjen. - **Állapotalapú karbantartás**: mérésekkel (rezgés, hőmérséklet, áramfelvétel, szigetelési ellenállás) figyeljük a gép állapotát, és akkor avatkozunk be, ha a mért érték romló tendenciát mutat. Ez a korszerű megoldás, de megfelelő mérőműszert és értékelést igényel. - **Előrejelző karbantartás**: az állapotalapú karbantartás finomítása, amikor a trend alapján megbecsüljük a hátralévő élettartamot.

Szabály. A karbantartási terv akkor jó, ha: - a gyártói utasításokból indul ki, - az üzemi környezetet is figyelembe veszi (por, nedvesség, hő, rezgés), - a kritikus gépeket gyakrabban ellenőrzi, mint a kevésbé fontosakat, - minden feladatnak felelőse és határideje van, - minden mérést és beavatkozást dokumentál.

30.3.4. Karbantartási terv elemei és a karbantartási napló

Definíció. A **karbantartási terv** egy táblázat vagy rövid dokumentum, amely felsorolja: - a berendezés azonosítását (pl. M1 szivattyúmotor, EL-01 főelosztó), - a karbantartási feladatokat (szemrevételezés, mérés, kenés, csere, tisztítás), - a feladat gyakoriságát (heti, havi, féléves, éves), - a felelős személyt, - a szükséges eszközöket és anyagokat, - az elfogadási határokat (pl. szigetelési ellenállás $\geq$ 1 MΩ, rezgéssebesség $<$ 4,5 mm/s – ellenőrizendő: a pontos határ a gyártó/szabvány szerint), - a következő esedékességet.

Karbantartási napló. A napló a **végrehajtott** munkák és mért értékek időrendi gyűjteménye. Bejegyzései legalább: - dátum, üzemóra-állás, - elvégzett feladat, - mért értékek (pl. szigetelési ellenállás, rezgéssebesség, hőmérséklet, áramfelvétel), - cserélt alkatrész, anyagfelhasználás, - az eredmény értékelése (elfogadható / figyelmeztető / nem megfelelő), - a következő ellenőrzés időpontja, - a karbantartó neve és aláírása.

Továbbvitt eredmény. A karbantartási napló vezetésének logikája, a mért értékek rögzítése és a trendek értékelése később visszatér a Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése alfejezetben, mert a védelmi mérések is időszakos ciklusokat követnek; a jegyzőkönyv a karbantartási napló elektronikus rokonának tekinthető.

30.3.5. Állapotfigyelés: rezgés, hőmérséklet, áramfelvétel

A korszerű karbantartás alapja a mérés. Három mennyiség gyakori:

30.3.5.1. Rezgésmérés

A csapágy- és kiegyensúlyozatlansági hibák a rezgéssebesség növekedésében jelentkeznek. A mérést rezgésmérő műszerrel, a csapágyházon, több irányban (vízszintes, függőleges, tengelyirány) végezzük. Az értéket mm/s-ban (effektív érték, rms) jegyezzük fel. A határokat a géposztály és az alapozás szerint kell megállapítani; a gyakran használt ISO 10816 (újabb jelölése ISO 20816 sorozat) ajánlásokat ad (ellenőrizendő: aktuális kiadás és hazai átvétel). Például az ISO 10816-3 (ma ISO 20816-3) szerint 15–300 kW-os, rugalmas alapozású gépnél kb. 2,3 / 4,5 / 7,1 mm/s a zónahatár (jó / korlátozottan elfogadható / beavatkozás), kisebb vagy merev alapozású gépnél ennél kisebbek (ellenőrizendő: ISO 20816 vonatkozó része, gyártói adat). A fejezet példái a 4,5–7,1 mm/s figyelmeztető sávot és a 7,1 mm/s beavatkozási határt használják, ami közepes, rugalmas alapozású gépre érvényes; a kis gépekre vonatkozó szigorúbb határokat lásd a Gépek megbontása, javítása és üzembe helyezése alfejezetben, a motor elfogadási mérései között. A mindenkori gyártói adatlap az irányadó.

30.3.5.2. Hőmérséklet- és hőkamerás vizsgálat

A melegedő csatlakozás, sorkapocs, kontaktus vagy motor tekercs a meghibásodás előjele. Hőkamerával feszültség alatt, érintés nélkül meg lehet állapítani a melegedő pontokat. A mért hőmérsékletet mindig a környezeti hőmérséklethez és a hasonló terhelésű, egészséges pontokhoz viszonyítjuk. Egy 10–15 °C hőmérséklet-különbség azonos terhelésű kapocs között már lazuló kötésre utalhat (ellenőrizendő: a gyakorlati határ a gyártói és szabványi előírásoktól függ).

30.3.5.3. Áramfelvétel és aszimmetria

A háromfázisú motor fázisáramait lakatfogóval mérjük. Egészséges gépnél a fázisáramok közel egyenlők. Ha az aszimmetria tartósan meghaladja a 10 %-ot, akkor fáziskimaradás, tekercs- vagy csatlakozóhiba gyanúja merül fel. Az aszimmetria számítása:

$$a_{\text{asz}} = \frac{\max |I_x - I_{\text{átl}}|}{I_{\text{átl}}} \cdot 100\,\%$$

ahol $I_{\text{átl}} = (I_1 + I_2 + I_3)/3$ (az átlagtól való legnagyobb eltérés alapján, ugyanúgy, mint a Diagnosztika: szemrevételezés, mérések, hibajegyzőkönyv alfejezetben; ellenőrizendő: gyártói előírás).

Példa. Adott egy motor három fázisárama: $I_1 = 28\,\text{A}$, $I_2 = 31\,\text{A}$, $I_3 = 33\,\text{A}$. Az átlag:

$$I_{\text{átl}} = \frac{28 + 31 + 33}{3} = \frac{92}{3} = 30{,}67\,\text{A}$$

Az aszimmetria:

$$a_{\text{asz}} = \frac{|28 - 30{,}67|}{30{,}67} \cdot 100\,\% = \frac{2{,}67}{30{,}67} \cdot 100\,\% \approx 8{,}7\,\%$$

Ez még a 10 %-os határ alatt van, de már a közelében: az okot (laza csatlakozás, tekercs, fázisfeszültség-különbség) érdemes keresni, és a mérést rövidebb időközzel megismételni; 10 % felett a motort le kell állítani és ki kell vizsgálni. A pontos határ a gépkönyvben vagy szabványban található; ez a számítási mód tanulási célú.

Példa. Egy motor rezgéssebessége az első méréskor $v_0 = 0{,}9\,\text{mm/s}$, majd 4 hónap múlva $v_4 = 3{,}4\,\text{mm/s}$ lett. A növekedés lineárisnak tekinthető. Mennyi idő múlva éri el a $v_{\text{határ}} = 7{,}1\,\text{mm/s}$ határértéket?

A növekedési ütem:

$$\text{ütem} = \frac{3{,}4 - 0{,}9}{4} = \frac{2{,}5}{4} = 0{,}625\,(\text{mm/s})/\text{hónap}$$

A hátralévő idő:

$$\Delta t = \frac{7{,}1 - 3{,}4}{0{,}625} = \frac{3{,}7}{0{,}625} \approx 5{,}9\,\text{hónap}$$

Tehát a mai trend alapján kb. 6 hónap múlva éri el a határt. A karbantartást nem 6 hónap múlva, hanem előbb, 1–2 hónapon belül kell ütemezni, és közben sűrűbben mérni, mert a kopás nem mindig lineáris.

Példa – hibás mérési értelmezés. Ha valaki csak egyszer mér, és 3,4 mm/s értéket kap, azt mondhatja: „ez még nem vészes, nincs teendő”. Ez hibás, mert a **trend** emelkedő; a 4 hónappal korábbi 0,9 mm/s-hez képest már jelentős a romlás. A karbantartási tervben ezért mindig az alapértékhez és a korábbi mérésekhez kell viszonyítani.

30.3.6. Szabványi háttér

Szabvány. A karbantartási tervet nem egyetlen szabvány írja elő, hanem a berendezések üzemeltetésére és a munkavédelemre vonatkozó előírások, valamint a gyártói dokumentáció együtt. A villamos elosztókra az MSZ HD 60364-6 (időszakos felülvizsgálat) és az MSZ EN 61439 (kapcsolóberendezések gyártói előírásai) ad támpontot; a gépek villamos ellenőrzésére az MSZ EN 60204-1 (gépek villamos berendezései) vonatkozik. A rezgésmérés nemzetközileg elfogadott alapelveit az ISO 10816 sorozat tartalmazza, de a konkrét határokat minden esetben a gépkönyv és az üzemeltetési feltételek szerint kell meghatározni **(ellenőrizendő: aktuális szabványszámok és határértékek)**. A szabványok időben változnak, ezért a méretezésnél és határértéknél mindig a hatályos kiadást kell használni.

30.3.7. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy ipari mosodában a centrifugamotor csapágya évente kétszer tönkrement. A gép leállása 2 órás termeléskiesést okozott; a sürgősségi javítás anyag- és munkadíja kb. 150 000 Ft volt (becsült érték, ellenőrizendő). A karbantartó cég bevezetett egy havi rezgésmérést: a csapágyházon mért rezgéssebesség 0,8 mm/s-ról 3 hónap alatt 4,0 mm/s-ra nőtt. A trend alapján a csapágyat tervezett leállás keretében cserélték. A csere anyagköltsége 40 000 Ft volt, a munka 2 óra (16 000 Ft). A teljes költség 56 000 Ft, és a termelés nem állt le váratlanul. A példa azt mutatja, hogy a mért trend alapján ütemezett, tervszerű csere olcsóbb és biztonságosabb, mint a javító karbantartás.

Hiba. Ha az üzemeltető „spórolásból” elhalasztja a mérést, a csapágy tönkremegy, a forgórész hozzáér az állórészhez, és a motor tekercse is károsodik. A javítás már nem 56 000 Ft, hanem 400 000 Ft, és a gép napokig áll. A karbantartás elmaradása tehát nem spórolás, hanem kockázat.

30.3.8. Gyakorlati útmutató: karbantartási terv készítése és állapotfigyelő mérések

Gyakorlat.

Cél: karbantartási terv összeállítása egy szivattyúmotorra és egy lakáselosztóra, valamint az első állapotfelmérő mérés elvégzése tanműhelyi környezetben.

Eszközök és anyagok: gépkönyv vagy katalógus, karbantartási terv minta, karbantartási napló; lakatfogó multimeter, rezgésmérő (vagy okostelefonos rezgésmérő próbaképpen), hőkamera vagy infravörös hőmérő, szigetelési ellenállás-mérő, kéziszerszámok, nyomatékkulcs a kötésekhez.

Biztonsági korlát. Hálózati feszültségű (230/400 V) munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet. A tanuló ilyen munkát önállóan nem gyakorolhat. Az alábbi útmutató tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Öt biztonsági szabály. 1. Lekapcsolás (a motor és az elosztó leválasztása a hálózatról). 2. Visszakapcsolás elleni biztosítás (lakat, tiltó tábla, kikapcsolt főkapcsoló). 3. Feszültségmentesség ellenőrzése (kétpólusú feszültségvizsgálóval, működőképes műszerrel, minden fázis és a nulla és a védővezető között). 4. Földelés és rövidre zárás (ha a munkavégzési előírás megkívánja, pl. visszatáplálás vagy indukált feszültség veszélye esetén; a kondenzátorok és kábelek tárolt töltését előbb ki kell sütni) **(ellenőrizendő: MSZ EN 50110-1, üzemeltetői előírás)**. 5. Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.

Az öt szabály a leválasztott állapotú méréseknél (4b. lépés) kötelező. A hőkamerás és lakatfogós mérés (4a. lépés) üzem közben történik, ezért azt csak jogosult személy végezheti, zárt burkolatnál,

a kapcsokhoz és a feszültség alatti részekhez nem nyúlva, megfelelő védőfelszereléssel és mérési kategóriájú műszerrel; a műszert használat előtt ellenőrizd.

30.3.8.1. Lépések

1. **Azonosítsd a berendezést.** Írd fel a motor adattábláját (névleges áram, feszültség, fordulatszám, szigetelési osztály) és az elosztó készülékeit. A karbantartási tervben ez az azonosító sor.
2. **Határozd meg a kritikus pontokat.** Motornál: csapágyak, tekercs, kapocsdoboz, ventilátor. Elosztónál: bejövő kapcsok, sorkapcsok, kismegszakítók, FI-relé, gyűjtősínek.
3. **Állítsd össze a feladatlistát és a gyakoriságot.** Például:

    - **Havonta:** szemrevételezés, áramfelvétel, rezgésmérés, hőmérséklet.
    - **Hathavonta:** szigetelési ellenállás mérés, kötések nyomatékellenőrzése, ventilátortisztítás.
    - **Évente:** teljes felülvizsgálat, hibavédelmi mérés (régi: érintésvédelmi mérés), csapágyzsír-utánkenés (a gépkönyv szerint). A gyakoriságot a gyártói adatlap és az üzemeltetési tapasztalat alapján módosítsd.

4. **Végezd el az első állapotfelmérést.**

    - **4a. Üzem közben** (csak jogosult személy, CAT III/IV műszer, a kapcsokhoz nem nyúlva): rezgéssebesség a csapágyházon, a három fázisáram lakatfogóval, a kapcsok hőmérséklete hőkamerával.
    - **4b. Leválasztott állapotban:** a fenti öt biztonsági szabály szerint feszültségmentesíts (lekapcsolás, biztosítás visszakapcsolás ellen, feszültségmentesség ellenőrzése kétpólusú vizsgálóval, szükség esetén földelés és rövidre zárás, szomszédos részek lefedése), és csak ezt követően mérd a szigetelési ellenállást (500 V DC) a tekercs és a PE között; a mérés után süsd ki a tekercset, a földelő-rövidzárót és a biztosítást csak a mérés és a kapocsdoboz lezárása után szüntesd meg. A visszakapcsolásról a jogosult személy dönt. Jegyezd fel az értékeket.

5. **Értékeld a mért adatokat.** Hasonlítsd össze a gyártói vagy üzemeltetői határértékekkel és az előző mérésekkel. Írd be a karbantartási naplóba.
6. **Tervezd meg a következő beavatkozást.** Ha a rezgéstrend emelkedik, sűrítsd a mérést; ha a hőmérséklet-különbség nő, ellenőrizd a kötést.
7. **Dokumentálj.** Töltsd ki a naplót, és a karbantartási tervben frissítsd a következő esedékességet.

Ellenőrzési pontok. - A mért áramok a motor adattábláján megadott névleges áramot nem lépik túl tartósan. - A rezgéssebesség a gépkönyv szerinti határ alatt van, és a trend nem meredeken emelkedő. - A kapcsok hőmérséklete nem tér el 10–15 °C-nál többel a hasonló terhelésű, egészséges pontokétól. - A szigetelési ellenállás a vonatkozó határérték felett van (500 V DC mérőfeszültséggel – 400 V-os berendezésnél; minimum 1 MΩ, egészséges berendezésnél jellemzően sokkal nagyobb; ellenőrizendő: MSZ HD 60364-6 és gyártói adat; mérés előtt az elektronikus eszközöket és a túlfeszültség-levezetőket le kell választani).

Tipikus hibák a gyakorlatban. - A mérést csak akkor végzik, amikor a gép már hibás. - A mért értékeket nem írják be a naplóba, így nincs trend. - A rezgésmérést rossz helyen, rossz irányban végzik, ezért az érték nem összehasonlítható.

30.3.9. Tipikus hibák

Hiba 1. Csak javító karbantartást alkalmaznak, mert „a megelőzés felesleges költség”. A váratlan leállás miatt a termeléskiesés és a sürgősségi javítás rendszerint többe kerül, mint a tervszerű ellenőrzés. Helyes gyakorlat: legalább a kritikus gépekre készíts karbantartási tervet.

Hiba 2. A mért rezgéssebességet vagy hőmérsékletet önmagában értékelik, nem a korábbi mérésekhez képest. Egy 3,4 mm/s rezgéssebesség önmagában nem feltétlenül rossz, de ha a múlt hónapban 1,0 mm/s volt, akkor a trend veszélyes. Mindig az alapértékhez és a trendhez viszonyíts.

Hiba 3. A csapágyat túlzsírozzák, mert „a több kenés jobb”. A túlzott mennyiségű zsír melegedést és tömítéskárosodást okoz, ami éppen a csapágy tönkremenetelét gyorsítja. A gyártói adagolási utasítást kell követni, és az utánkenés mennyiségét a naplóban rögzíteni.

Hiba 4. A kötések utánhúzását „érzésre” végzik, mert nincs nyomatékkulcs. A túlzott nyomaték a kapocs deformálódásához, a túl kicsi a melegedéshez vezet. A gyártói nyomatékértéket kell használni.

30.3.10. Önellenőrzés

1. Mi a különbség a megelőző és az állapotalapú karbantartás között?
2. Igaz vagy hamis? A rezgéssebesség egyetlen mért értéke önmagában elég a csapágy állapotának megítéléséhez. Indokold!
3. Számítsd ki a fázisáram-aszimmetriát: $I_1 = 30\,\text{A}$, $I_2 = 32\,\text{A}$, $I_3 = 34\,\text{A}$.
4. Hőkamerás vizsgálatnál az egyik sorkapocs 45 °C, a környező, azonos terhelésű kapcsok 28 °C. Mit jelent ez, és mi a teendő?
5. Sorold fel a karbantartási napló legalább 5 fontos adatát.
6. Mit tegyél, ha a motor rezgéssebessége 5 hónap alatt 0,9 mm/s-ról 4,1 mm/s-ra emelkedett, és a határérték 7,1 mm/s?

30.3.11. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a javító, a megelőző és az állapotalapú karbantartást. Adj mindegyikre egy konkrét példát!

2. feladat (A). Egy motor fázisáramai: 28 A, 29 A, 27 A. Számítsd ki az aszimmetriát! Értékeld az eredményt!

3. feladat (B). Egy szivattyúmotor rezgéssebessége a 0. hónapban 1,1 mm/s, a 3. hónapban 2,6 mm/s. A megengedett határ 7,1 mm/s. Tegyük fel, hogy a növekedés lineáris. Hány hónap múlva éri el a határt? Mikorra ütemezd a következő mérést?

4. feladat (B). Készíts karbantartási tervet egy 5,5 kW-os, 400 V-os háromfázisú szivattyúmotorhoz és egy lakáselosztóhoz! Sorold fel a feladatokat, a gyakoriságot, a felelőst és a dokumentálási módot!

5. feladat (C). Hőkamerás mérés során az elosztó egyik kismegszakítójának bejövő kapcsa 52 °C, a többi kapocs 30 °C. A terhelés mindhárom fázison egyenletes, kb. 16 A. Milyen lehetséges okokra gondolsz? Milyen kikapcsolt állapotú méréssel erősíted meg a gyanút? Mit javasolsz?

6. feladat (D). Egy motor rezgéssebessége 6,2 mm/s, a fázisáramok 31 A, 32 A, 36 A. A motor névleges árama 32 A. A tekercs szigetelési ellenállása 25 MΩ. Milyen lépéseket teszel a hibakeresés során? Mit kell először ellenőrizned feszültségmentes állapotban?

30.3.12. Megoldások

30.3.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. A megelőző karbantartás előre meghatározott időközönként (vagy üzemóra szerint) végez tervszerű feladatokat; az állapotalapú karbantartás mérésekkel figyeli a berendezés állapotát, és a mért értékek trendje alapján avatkozik be.
2. Hamis. A csapágy állapota a trendből ítélhető meg: az emelkedő rezgéssebesség a kopás előrehaladását jelzi, ezért kell az alapértéket és a korábbi méréseket ismerni.
3. Átlag = (30+32+34)/3 = 32 A; az átlagtól való legnagyobb eltérés 2 A, aszimmetria = 2/32×100% ≈ 6,3%.
4. A 45 °C-os kapocs 17 °C-kal melegebb, mint az azonos terhelésű társai; ez nagy valószínűséggel lazuló, melegedő kötésre utal. Feszültségmentesítés után ellenőrizni kell a kötés nyomatékát, meg kell tisztítani a felületet, szükség esetén cserélni a kapcsot.
5. Dátum, üzemóra-állás, elvégzett feladat, mért értékek, értékelés, következő esedékesség, karbantartó neve.
6. A trend emelkedő: 5 hónap alatt 3,2 mm/s növekedés, ütem = 0,64 mm/s/hó. A határig (7,1–4,1=3,0 mm/s) kb. 4,7 hónap van hátra. Sűrűbb mérést (pl. havonta) kell elrendelni, ellenőrizni kell a kenést, a csapágyat, és tervezni a csapágycserét.

30.3.12.2. Feladatok megoldásai

1. feladat. Javító: akkor javítunk, amikor a hiba bekövetkezett; például kiégett tekercs visszatekercselése. Megelőző: tervszerűen, időközönként végzett feladat; például a motor csapágyának évenkénti utánkenése. Állapotalapú: mérések alapján akkor avatkozunk be, ha az érték romlik; például a rezgéssebesség növekedése miatt csapágycsere.

2. feladat. Átlag = (28+29+27)/3 = 28 A. Az átlagtól való legnagyobb eltérés 1 A, aszimmetria = 1/28×100% ≈ 3,6%. Ez elfogadható; érdemes figyelni a trendet.

3. feladat. Növekedési ütem = (2,6−1,1)/3 = 0,5 mm/s/hó. A határig hátralévő idő = (7,1−2,6)/0,5 = 9 hónap. A következő mérést 2–3 hónapon belülre érdemes ütemezni, mert a lineáris közelítés nem biztos.

4. feladat. Példa terv: - Motor havi: szemrevételezés, rezgés, áram, hőmérséklet – felelős: villanyszerelő; napló. - Motor féléves: szigetelési ellenállás, kapocs ellenőrzés, ventilátor tisztítás – felelős: karbantartó; napló. - Elosztó éves: szemrevételezés, hőkamerás vizsgálat, kötések nyomatékellenőrzése, hibavédelmi mérés (régi: érintésvédelmi mérés) – felelős: villamos biztonsági felülvizsgáló; jegyzőkönyv és napló. A gyakoriság a gyártói utasítás szerint módosítható.

5. feladat. Lehetséges ok: laza csatlakozó csavar, oxidált érintkező, túlterhelt kapocs, rossz kábelvégezés. Feszültségmentes állapotban meg kell mérni a csatlakozó átmeneti ellenállását (pl. milliohm-mérővel), ellenőrizni a szorító nyomatékot, és megvizsgálni a vezeték keresztmetszetét. Javaslat: a kapcsot meg kell tisztítani, utánhúzni előírt nyomatékkal, szükség esetén cserélni a kismegszakítót, és hőkamerás ellenőrzést végezni a javítás után.

6. feladat. Először feszültségmentesíts, és ellenőrizd a kapcsokat, a tekercs ellenállását, a csapágy játékát. A rezgéssebesség 6,2 mm/s a figyelmeztető sávban (4,5–7,1 mm/s) van, a beavatkozási határ közelében, és a döntő a trend. Az átlag 33 A, az áramaszimmetria 3/33×100% ≈ 9,1%, ami a 10 %-os határ közelében van; az L3 árama (36 A) 12,5 %-kal meghaladja a névleges 32 A-t, ami túlterhelés és/vagy aszimmetria jele, a hőkioldó leoldhat. Ellenőrizni kell a fázisfeszültségeket, a csatlakozásokat és a tekercset. A szigetelési ellenállás 25 MΩ elfogadható. A

javaslat: mérés után a csapágyat és a kötéseket kell vizsgálni, és a motort tervezett karbantartásra leállítani.

30.3.13. Rövid összefoglaló

A karbantartási terv a biztonságos és gazdaságos üzemeltetés alapja. Megkülönböztetünk javító, megelőző és állapotalapú karbantartást; a korszerű gyakorlat a mérési eredményeken alapuló, trendkövető módszert részesíti előnyben. A motoroknál a rezgéssebesség, a hőmérséklet és a fázisáram-aszimmetria; az elosztóknál a kapcsok hőmérséklete, a szigetelési ellenállás és a kötések nyomatéka a legfontosabb jellemző. Az aszimmetriát az átlagtól való legnagyobb eltéréssel számítjuk: $a_{\text{asz}} = \max|I_x - I_{\text{átl}}| \,/\, I_{\text{átl}} \cdot 100\,\%$ (ugyanúgy, mint a Diagnosztika: szemrevételezés, mérések, hibajegyzőkönyv alfejezetben). A karbantartási napló rögzíti a mért értékeket, a beavatkozásokat és a következő esedékességet; enélkül nincs trend, és a döntések vakon születnek. A tervszerű ellenőrzés költsége általában lényegesen kisebb, mint a váratlan leállásé. **Továbbvitt eredmény.** A mért értékek rögzítésének és a trendek értékelésének módszere visszatér a Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése alfejezetben, ahol a védelmi mérések is időszakos ciklusokat követnek; a karbantartási terv logikája a vizsgafelkészülés komplex feladataiban is hasznosítható. A határértékeket mindig a hatályos szabvány és a gyártói adatlap szerint kell ellenőrizni.

VII. RÉSZ – Kapcsoló- és vezérlőkészülékek, ipari elosztóberendezések

31 Kapcsolókészülékek

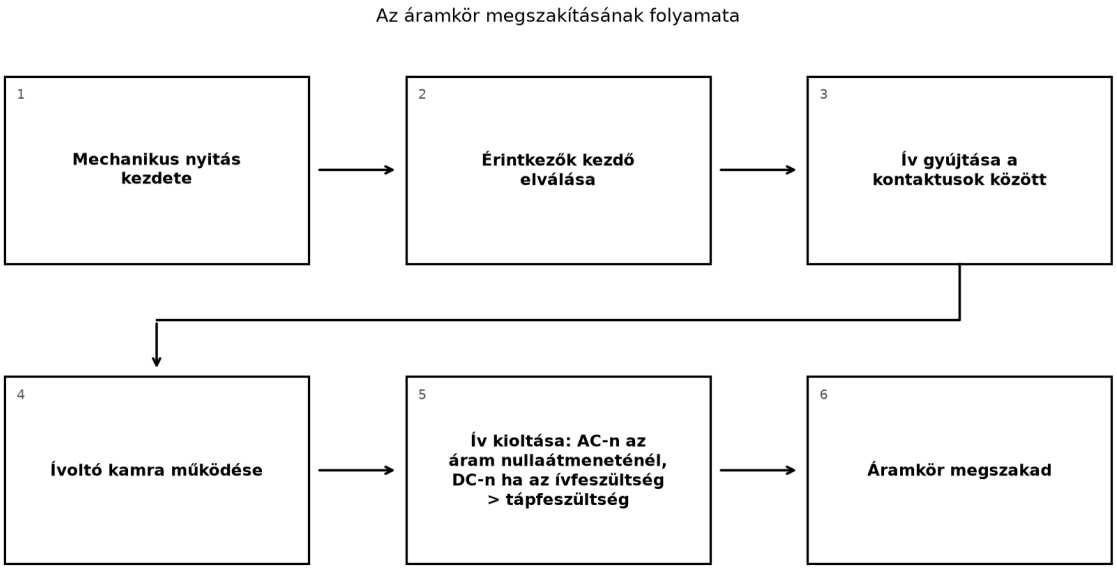
31.1. Kapcsolókészülékek működése, ívoltás és használati kategóriák

31.1.1. Motiváció

Képzelj el egy műhelyt, ahol egy háromfázisú szalagfűrészt egy mágneskapcsoló indít el naponta akár ötvenszer is. A motor beindít, leáll, újra beindít. A kapcsoló belsejében minden egyes kapcsoláskor apró villamos ív gyullad ki az érintkezők között. Ha a kapcsolót nem erre a terhelésre méretezték, az ív egyszer csak annyira fölhevít, hogy az érintkezők összehegednek, és a gép kikapcsolás után is forog. Az ilyen hiba nem csupán kényelmetlen, hanem életveszélyes is lehet: a vezérlés leállít, a motor mégsem áll le, és a szerelő azt hiheti, hogy a gép feszültségmentes. Ebből a fejezetből megérted, miért keletkezik az ív, hogyan oltjuk el, és mit jelentenek a kapcsolókészülékek katalógusában szereplő AC-1, AC-3, AC-4 és DC-13 jelölések.

31.1.2. Szemléletes kép: mi történik, amikor villamos áramkört szakítunk meg?

Az áramkört megszakító kapcsoló nem egyszerűen csak „szétszedi” a vezetéket. Az utolsó pillanatban, amikor az érintkezők elkezdenek elválni, az érintkezők felülete még nagyon közel van egymáshoz. A rájuk kapcsolt feszültség elektromos tere igen nagy helyi térerősséget hoz létre, és a fémfelületek közötti levegő vagy más gáz ionizálódik. Az ionizált gáz elektromosan vezető csatornát alkot, amelyen keresztül továbbra is folyhat az áram: ez a villamos ív. Az alábbi folyamatábra azt mutatja, hogy a kapcsoló nyitása csak akkor fejeződik be, ha az ív elalszik.



31.1. ábra. Az áramkör megszakításának folyamata - A kapcsoló érintkezőinek nyitásakor az áramkör csak akkor szakad meg véglegesen, ha az ív elalszik.

A valóságban ez a folyamat ezredmásodpercek alatt játszódik le. A kapcsolókészülék feladata, hogy az ívet megbízhatóan kioltsa, még akkor is, ha az áramkörben nagy induktivitású fogyasztó, például motor, fojtótekercs vagy mágneskapcsoló tekercs van. Az Elektromágneses indukció, önindukció és az RL-tag alfejezetből már tudod: a tekercsben tárolt mágneses energia kikapcsoláskor nem tűnhet el azonnal, ezért a tekercs feszültséglökést gerjeszt, amely még erősebben táplálja az ívet. Ezért a kapcsolók tervezésekor nem mindegy, milyen terhelést kapcsolunk.

31.1.3. Az érintkezők, a nyitás és a zárás

Definíció. A kapcsolókészülék **érintkezője** (kontaktusa) az a két, egymással szembefordu-ló áramvezető alkatrész, amelyek zárva létrehozzák az áramvezető kapcsolatot, nyitva pedig megszakítják az áramkört.

A kapcsolókat a főáramkörben használt **főérintkezőkre** és a vezérlőáramkörben használt **segédérintkezőkre** osztjuk. A főérintkező anyaga általában ezüsttartalmú ötvözet, mert az ezüst jól vezeti az áramot, ellenáll a kopásnak és a hegedésnek, továbbá oxidrétege is viszonylag jól vezet. A kisebb terhelésű segédérintkezők szintén ezüst- vagy aranyötvözetűek lehetnek.

Záráskor a mozgó érintkező mechanikus erővel a rögzített érintkezőre nyomódik. A teljes fémfelület csak mikroszkopikusan érintkezik egymással, ezért a valóságos érintkezési felület sokkal kisebb, mint a látható felület. Emiatt az áram az érintkezési pontokon nagyon nagy áramsűrűséggel folyik, és a felületen hő keletkezik. Az érintkezőnyomás fontos ahhoz, hogy az átmeneti ellenállás kicsi legyen: ha a rugónyomás gyenge, az érintkező melegszik, oxidálódik, és hamar tönkremegy.

Nyitáskor az érintkezők fokozatosan válnak el, és az utolsó érintkező pontokban az áramsűrűség rendkívül nagyra nő. A fém megolvadhat, gőzölöghet, és a keletkező fémgőzök segítik az ív begyújtását. Az ív egy kis elektromos kisülés, amely az érintkezők között ég, és megolvasztja az érintkezőanyagot. Ezt a jelenséget **érintkezőkopásnak** nevezzük.

31.1.4. A villamos ív keletkezése és oltása

Definíció. A villamos ív olyan önfenntartó gázkisülés, amelyben az ionizált gázcsatornán át folyik az áram, miközben az érintkezők közötti feszültség viszonylag kicsi, az áramsűrűség viszont igen nagy.

Az ív keletkezéséhez két feltétel szükséges: megfelelő feszültség a kontaktusréteg ionizálásához, és elegendő áram a kisülési csatorna fenntartásához. Váltakozó áramú hálózaton az áram minden félperiódusban – 10 ms-onként – áthalad a nullán; ilyenkor az ív természetes módon kialszik. Induktív terhelésnél (motor, tekercs) azonban az áram nullaátmeneténél a tápfeszültség közel a csúcsán van, ezért a rés két oldalán gyorsan nagy visszatérő feszültség jelenik meg. Ha a rés még forró, ionizált, és szilárdsága lassabban nő, mint ez a feszültség, az ív újragyullad.

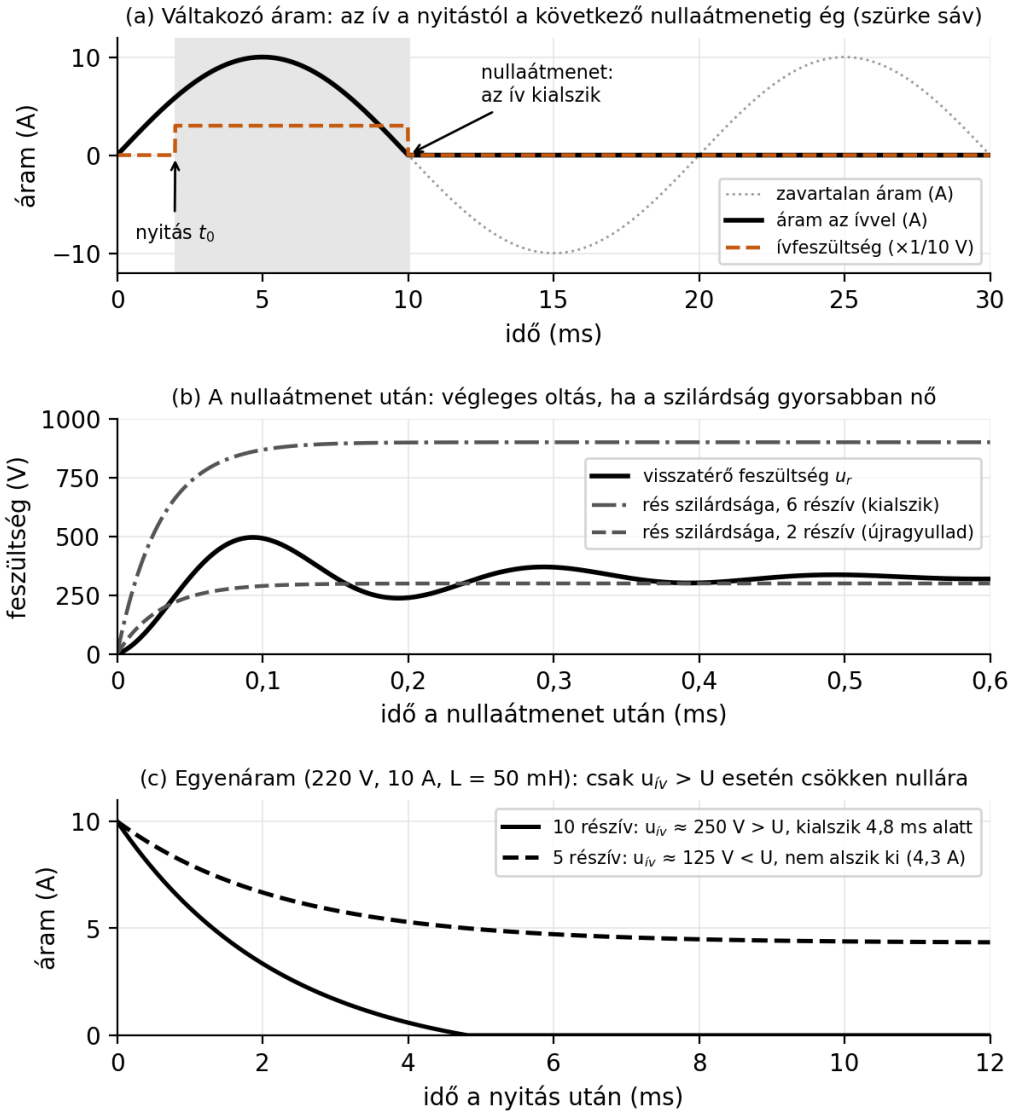
Szabály. Váltakozó áramú körben az ív oltása elsősorban a nullaátmenet kihasználásán alapul: a kapcsolókészüléknek gyorsan le kell hűtenie az ívoszlopot, növelnie kell a rés szigetelési szilárdságát, és meg kell akadályoznia az újragyulladást.

Egyenáramú körben nincs természetes nullaátmenet. Ezért az egyenáram megszakítása lényegesen nehezebb: a kapcsolónak saját magának kell megnövelnie az ívet addig, amíg az ívfeszültség a tápfeszültség fölé nem nő; ekkor az áram nullára csökken, és az ív kialszik. Ebben az ívoltó kamra mágneses kifúvó hatása és a nagy sebességű kontaktnyitás segít.

Ívoltó kamra. A legtöbb ipari kapcsolókészülékben az ívet egy keskeny, hőálló anyagból készült kamrába terelik, ahol az ív hosszát megnyújtják, és az ívoszlopot egymástól elszigetelt lemezekkel

osztják fel. Az így létrejövő **deionkamra** sok kis részívre bontja a nagy ívet, megnöveli a teljes ívfeszültséget, és lehűti a gázt. A működést segítheti mágneses kifúvó tekercs is, amely az árammal arányos mágneses teret kelt, és az ívet a kamrába tereli. A kismegszakítók esetében hasonló elvet alkalmaznak, de ott a feladat gyors zárlatmegszakítás, így a kamra anyaga és geometriája alkalmazkodik a nagy zárlati áramokhoz.

A következő ábra egy szemléltető modellen mutatja a kétféle oltást. (a) Váltakozó áramon (230 V, 10 A csúcs) a 2 ms-nál nyitó érintkezők között az ív a 10 ms-os nullaátmenetig ég, ott kialszik. (b) A nullaátmenet után a visszatérő feszültség (itt kb. 500 V-os csúcsig lengő görbe) és a rés szilárdsága versenyez: hat részívre bontott ívnél a szilárdság (kb. 900 V) gyorsabban nő, az oltás végleges; két részívnél (kb. 300 V) az ív újragyullad. (c) Egyenáramon (220 V, 10 A, 50 mH) tíz részív kb. 250 V ívfeszültséget ad, ez nagyobb a tápfeszültségnél, ezért az áram kb. 4,8 ms alatt nullára csökken; öt részívnél (kb. 125 V) az ív tovább ég. Az értékek szemléltetők, nem gyártói adatok. A HTML-kiadásban a nyitás időpontja, a részívek száma és a DC tápfeszültség csúszkával állítható.



31.2. ábra. Ívoltás váltakozó áramon (nullaátmenet, visszatérő feszültség és a rés szilárdsága) és egyenáramon (ívfeszültség a tápfeszültség fölött) – szemléltető modell

Összefüggés. Az ívben felszabaduló energia hozzávetőleg $W = u_{\text{ív}} \cdot i_{\text{ív}} \cdot \Delta t$, ahol $u_{\text{ív}}$ az ívfeszültség, $i_{\text{ív}}$ az íváram, Δt pedig az ív égési ideje. Ezt az energiát az érintkezők anyagának és az ívoltó kamrának kell elviselnie, és el kell vezetnie.

31.1.5. Használati kategóriák

Definíció. A kapcsolókészülékek **használati kategóriája** (utilization category) a szabvány által meghatározott betűkód, amely megmondja, hogy a készüléket milyen jellegű terhelés (ellenállás, induktív, motorindítás, lámpaterhelés stb.) kapcsolására tervezték, és milyen igénybevételt kell kiállnia.

A kapcsoló- és vezérlőkészülékekre vonatkozó MSZ EN 60947 sorozat az alábbi gyakori kategóriákat ismeri:

- **AC-1** – Nincs vagy alig induktív terhelés; például fűtőellenállás vagy kisebb induktivitású fogyasztó (az izzólámpák nagy bekapcsolási árama miatt azok kapcsolására külön kategória vonatkozik, AC-5b; ellenőrizendő: MSZ EN 60947-4-1). A kapcsoló itt alig kap ívigénybevételt.
- **AC-2** – Csúszógyűrűs aszinkron motorok indítása, leállítása; az ívterhelés közepes.
- **AC-3** – Kalickás (mókusgyűrűs) aszinkron motorok közvetlen indítása, leállítása teljes fordulatszámról. Ez a leggyakoribb motoros kategória a mágneskapcsolóknál. Az indító áram rövid ideig 6–10-szerese a névleges áramnak, de a kapcsoló ezt csak a felgyorsulás ideje alatt viseli, majd a névleges áramot kapcsolja.
- **AC-4** – Kalickás motorok indítása, ellenáramú fékezés és léptető (impulzus-) üzem, például forgó motor ellenirányú átkapcsolása (ellenőrizendő: MSZ EN 60947-4-1). Ez a legnagyobb igénybevétel: az érintkezők nagyon gyakran, nagy áramoknál kapcsolnak, ezért lényegesen kisebb villamos élettartamot ad a gyártó, mint AC-3 esetén.
- **AC-15** – Vezérlőáramköri váltakozó áramú elektromágneses terhelés, például mágneskapcsoló tekercs, relé tekercs.
- **DC-1** – Egyenáramú, enyhén induktív terhelés, például ellenállás.
- **DC-13** – Egyenáramú, erősen induktív vezérlőterhelés, például mágneskapcsoló tekercs, mágnesszelep. Ez a segédérintkezők fontos kategóriája.

A(z) Mágneskapcsolók és relék alfejezetben majd látni fogod, hogy a mágneskapcsoló kiválasztásakor a kategória és az I_e névleges üzemi áram együttese dönti el, hogy a készülék alkalmas-e például egy adott motor indítására. Ha a katalógusban csak annyit látsz, hogy „16 A kontaktor”, az önmagában kevés: az AC-1 16 A egészen más igénybevételt takar, mint az AC-3 16 A.

31.1.6. Névleges adatok: U_e, I_e, I_{th} és élettartam

Definíció.

- **Névleges üzemi feszültség,** U_e – az a feszültség, amelyen a kapcsolókészüléket a hozzá tartozó használati kategóriával együtt üzemeltetni lehet. Például $U_e = 400\,\mathrm{V}$ mellett AC-3 kategóriában.
- **Névleges üzemi áram,** I_e – az az áram, amelyet a készülék az adott U_e és használati kategória mellett tartósan, meghatározott körülmények között képes kapcsolni és vezetni.
- **Termikus határáram,** I_{th} – az a legnagyobb áram, amelyet a készülék zárt érintkezői szabad levegőn, meghatározott időtartamig (szokásosan 8 óra) túlmelegedés nélkül elviselnek, függetlenül a kapcsolási igénybevételtől. Ez az adat a melegedésre és a vezetékezésre vonatkozik.
- **Mechanikai élettartam** – a készülék által kapcsolás nélkül elviselt működtetési ciklusok száma (például több millió kapcsolás).
- **Villamos élettartam** – az a kapcsolási ciklusszám, amelyet a készülék az adott feszültségen, áramon és használati kategóriában a megengedett érintkezőkopással még teljesíteni tud. AC-4 esetén ez a szám töredéke az AC-3-as értéknek.

Példa. Egy mágneskapcsoló adatai: $U_e = 400\,\mathrm{V}$, $I_e = 16\,\mathrm{A}$ (AC-3), $I_{th} = 40\,\mathrm{A}$, mechanikai élettartam 10 000 000 kapcsolás, villamos élettartam AC-3 esetén 1 200 000 kapcsolás, AC-4 esetén 200 000 kapcsolás. A fenti adatok nagyságrendi példák, a pontos értékek a gyártói adatlapon szerepelnek **(ellenőrizendő: konkrét gyártói adat)**. A példa jól mutatja, hogy ugyanaz a készülék AC-4 üzemben csak töredék ideig él, mert sokkal nagyobb ívterhelést kap.

31.1.7. Kidolgozott példák

1. példa – ellenállásfűtés kapcsolása AC-1 kategóriában.
Egy háromfázisú fűtőbetét adatai: $P = 6\,\text{kW}$, $U_v = 400\,\text{V}$, $\cos\varphi = 1$. Mekkora a betét vonali árama? Milyen I_e értékű AC-1 kapcsolót válasszunk, ha a betétet közvetlenül kapcsoljuk?

Adott: $P = 6000\,\text{W}$, $U_v = 400\,\text{V}$, $\cos\varphi = 1$.
Keresett: I_v.
Képlet: háromfázisú teljesítmény $P = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v \cdot \cos\varphi$.
Behelyettesítés:
$$I_v = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_v \cdot \cos\varphi} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1} \approx 8{,}66\,\text{A}.$$
Ellenőrzés: a fűtőbetét teljesítménye ellenállás jellegű, az áram alig tartalmaz bekapcsolási lökést, ezért az AC-1 kategória megfelelő. A katalógusból választott, például $I_e = 16\,\text{A}$ AC-1-es kapcsoló bőven elegendő, és a kisebb igénybevétel miatt a villamos élettartam is nagy.

2. példa – motor indítása AC-3 kategóriában.
Egy kalickás aszinkron motor adatai: $P = 5{,}5\,\text{kW}$, $U_v = 400\,\text{V}$, $\eta = 0{,}86$, $\cos\varphi = 0{,}83$. Számítsd ki a névleges áramot, és ellenőrizd, hogy egy $I_e = 12\,\text{A}$ (AC-3) mágneskapcsoló alkalmas-e a közvetlen indításra.

Adott: $P = 5500\,\text{W}$, $U_v = 400\,\text{V}$, $\eta = 0{,}86$, $\cos\varphi = 0{,}83$.
Keresett: I_v (vonali áram – ezt kapcsolja a kontaktor).
Képlet: $P = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v \cdot \eta \cdot \cos\varphi$.
Behelyettesítés:
$$I_v = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}86 \cdot 0{,}83} \approx 11{,}1\,\text{A}.$$
Ellenőrzés: a motor névleges árama kb. 11 A, tehát a 12 A AC-3-as mágneskapcsoló a minimum, és $I_e \geq I_n$ teljesül, de a bekapcsolási áramlökés (kb. 6–8 I_n) rövid időre kb. 70–90 A-t is elérhet. Az AC-3 kategória pontosan ezt a rövid idejű indítási igénybevételt írja le, ezért a katalógus szerinti I_e érték az irányadó. A kiválasztási szabály: a kontaktort a katalógus AC-3, 400 V oszlopa szerint választjuk (a motor teljesítménye ne haladja meg a készülék AC-3 kW-értékét, és $I_e \geq I_n$). Tartalékot, vagyis egy mérettel nagyobb készüléket gyakori kapcsolásnál, nehéz indításnál és magas környezeti hőmérsékletnél választunk **(ellenőrizendő: gyártói katalógus)**.

31.1.8. Szabvány és jelölések

Szabvány. A kapcsoló- és vezérlőkészülékekre vonatkozó általános követelményeket a Magyarországon is érvényes MSZ EN 60947 sorozat határozza meg. A mágneskapcsolók és motorvédő kapcsolók kategóriáit és típusvizsgálatait az MSZ EN 60947-4-1, a vezérlőkapcsolókat az MSZ EN 60947-5-1 tartalmazza. A használati kategória betűjele (AC-1, AC-2, AC-3, AC-4, AC-15, DC-1, DC-13 stb.) önmagában nem elegendő: mindig az adott kategóriához tartozó U_e és I_e értékkel együtt érvényes. A készüléken lévő adattáblán vagy a katalógusban a gyártó megadja, hogy milyen feszültségen, milyen kategóriában, mekkora áramot lehet kapcsolni. A pontos táblázatokat és az aktuális szabványkiadást mindig ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: MSZ EN 60947-4-1 kiadás, kategóriatáblázatok)**.

Megjegyzés. Régi hazai terveken és katalógusokban eltérő kategóriajelölésekkel is találkozhatsz (ellenőrizendő: a régi MSZ jelölései); ilyenkor a mai MSZ EN 60947-4-1 szerinti kategóriát a gyártói megfeleltetés alapján kell megállapítani.

31.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy asztalosüzem fűrészgépét mágneskapcsolóval indították le és hagyták működni. A szerelő észrevette, hogy a bekapcsolás után a kontaktor főérintkezői erősen „pattognak”, és időnként megolvadt, ezüstös színű cseppek repülnek ki. A gép néha késve állt le, és a mágneskapcsoló zúgott. Kiderült, hogy a kontaktort nem a motor indítására, hanem AC-1-es ellenálláskapcsolóként választották, mert a katalógusban csak az AC-1 oszlop „25 A” értékét nézték. Ugyanennek a kontaktornak az AC-3 szerinti I_e értéke csak kb. 9 A (ellenőrizendő: gyártói adat), miközben a 5,5 kW-os motor névleges árama 11 A volt. Az érintkezők az indítási és leállási ívek miatt hegedni kezdtek, mert a készülék az induktív terhelés ívét az AC-3 szerinti áramra méretezett szinten nem bírta megbízhatóan kioltani.

A javítás során a kontaktort lecserélték egy $I_e = 16\,\text{A}$ (AC-3) típusra, és azóta a gép megbízhatóan üzemel. Az eset tanulsága, hogy a kapcsolókiválasztásnál soha ne csak az áramot nézd, hanem az adott használati kategóriát is.

31.1.10. Tipikus hibák

1. **A kategória figyelmen kívül hagyása.**
   A szerelő azt hiszi, hogy ha a készülék névleges árama nagyobb a motor áramánál, akkor mindegy, milyen terhelést kapcsol. Pedig egy AC-1-esel méretezett kontaktor AC-3-as motort kapcsolva gyorsan tönkremegy az ívterhelés miatt. **Helyes:** mindig az adott terhelésre előírt kategóriát válaszd, és a gyártói táblázatban ellenőrizd a kategóriához tartozó I_e-t.

2. **Egyenáramú tekercs kapcsolása váltakozó áramú segédérintkezővel.**
   Egyes szerelők a mágneskapcsoló tekercsét (egyenáramú, induktív terhelés) olyan segédérintkezővel kapcsolják, amely csak AC-15 vagy AC-1 kategóriában jóváhagyott. A DC-13-as kategóriájú érintkezőt kell választani, mert az egyenáramú induktív terhelés megszakítása sokkal nehezebb. **Helyes:** a segédérintkező katalógusadatai között mindig ellenőrizd a DC-13 értéket, ha tekercset vagy mágnesszelepet kapcsolsz.

3. **A hegedett érintkezők „megreszelése”.**
   Amikor a kontaktor főérintkezője összeheged, néhányan szigetelőfogóval szétfeszítik, majd reszelővel „megjavítják” a felületet. Ez az érintkezőgödrök és a felületi ezüstréteg sérülése miatt további hegedéshez, nagy átmeneti ellenálláshoz és túlmelegedéshez vezet. **Helyes:** a hegedt, erősen kiégett érintkezőket cserélni kell, mert a gyári geometria és anyag nem pótolható házilag.

4. **A kapcsolási gyakoriság alábecsülése.**
   AC-3-as kontaktort gyakori reverzáló vagy ellenáramú fékezésre használnak, mert „úgyis 16 A”. Az AC-4 üzem a készüléket néhány hónap alatt tönkreteszi, hiába az AC-3-as adat. **Helyes:** az AC-4-es kategóriához méretezett kontaktort vagy lágyindítót/frekvenciaváltót kell választani, ha az üzemállapot gyakori, nagy igénybevételű kapcsolást igényel.

31.1.11. Önellenőrzés

1. Mi a villamos ív, és miért keletkezik a kapcsoló érintkezőinek nyitásakor?

2. Miért oltja ki nehezebben az egyenáramú kapcsoló az ívet, mint a váltakozó áramú?

3. Mit jelent az I_{th} termikus határáram, és miben különbözik az I_e névleges üzemi áramtól?

4. Mi a különbség az AC-3 és az AC-4 használati kategória között?

5. Hogyan befolyásolja a használati kategória és a kapcsolási gyakoriság a villamos élettartamot?

6. Melyik kategóriát választanád egyenáramú mágneskapcsoló tekercs segédérintkezős kapcsolásához?

31.1.12. Feladatok

1. feladat (A) – Definiáld röviden az ívet és az ívoltó kamra szerepét.

2. feladat (A) – Egy 230 V-os, 25 A-es AC-1 terhelés ellenállását számítsd ki.

3. feladat (B) – Egy 5,5 kW-os, 400 V-os, $ \eta = 0{,}86 $, $ \cos\varphi = 0{,}83 $ motorhoz mágneskapcsolót választunk. Számítsd ki a motor névleges áramát, és döntsd el, hogy egy $I_e = 16\,\text{A}$ (AC-3) kontaktor megfelel-e.

4. feladat (B) – Párosítsd a kategóriákat a terhelés jellegével: AC-1, AC-3, DC-13, AC-15.
a) kalickás motor közvetlen indítása,
b) fűtőellenállás,
c) mágneskapcsoló tekercs egyenáramról,
d) váltakozó áramú vezérlőtekercs.

5. feladat (C) – Magyarázd el, miért hegedhet össze a kontaktor érintkezője, ha az AC-3 szerinti áramra választott kontaktort gyakori AC-4 üzemre használják! Az ív energiájának és az érintkező anyagának szempontjából érvelj.

6. feladat (D) – Rajzolj le egy egyszerű áramkört, amelyben egy mágneskapcsoló főérintkezője egy 400 V-os háromfázisú motort indít, és jelöld a kontaktor vezérlőtekercsét. Írd le, mit ellenőriznél, mielőtt kiválasztod a kontaktort: milyen feszültséget, áramot, kategóriát, élettartamot?

31.1.13. Megoldások

31.1.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Az ív önfenntartó gázkisülés: nyitáskor az utolsó érintkezési pontok megolvadnak, a fémgőz és a nagy térerősség ionizálja a gázt.
2. Egyenáramon nincs nullaátmenet; az ívfeszültséget a tápfeszültség fölé kell emelni (megnyújtás, részívekre bontás, mágneses kifúvás).
3. Az I_{th} a zárt érintkezők melegedési határárama (kapcsolás nélkül), az I_e az adott U_e feszültségen és kategóriában kapcsolható üzemi áram.
4. AC-3: kalickás motor indítása és leállítása teljes fordulatszámról; AC-4: ellenáramú fékezés, reverzálás, léptetés, ezért sokkal nagyobb az ívterhelés.
5. Minél nagyobb igénybevételű a kategória és minél gyakoribb a kapcsolás, annál kisebb a villamos élettartam (AC-4-ben az AC-3-as érték töredéke) **(ellenőrizendő: gyártói katalógus)**.
6. DC-13 (egyenáramú elektromágnesek kapcsolása) **(ellenőrizendő: MSZ EN 60947-4-1 / -5-1, gyártói katalógus)**.

31.1.13.2. Feladatok megoldásai

1. feladat.
Az ív önfenntartó gázkisülés, amely a kapcsoló érintkezőinek elválásakor keletkezik, mert a kontaktusok közötti gáz ionizálódik, és vezeti az áramot. Az ívoltó kamra feladata az ív megnyújtása, hűtése, részekre bontása, és ezzel az ív eloltása.

2. feladat.
$R = U_e / I_e = 230\,\mathrm{V} / 25\,\mathrm{A} = 9{,}2\,\Omega$.

3. feladat.
$$I_v = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}86 \cdot 0{,}83} \approx 11{,}1\,\mathrm{A}.$$
A 16 A-es AC-3 kontaktor alkalmas, mert $I_e > I_v$, és az AC-3 kategória a kalickás motor indítására tervezett.

4. feladat.
a) AC-3, b) AC-1, c) DC-13, d) AC-15.

5. feladat.
AC-4 üzemben a gyakori, nagy indítóáramú kapcsolások miatt az ív égési ideje és energiája sokkal nagyobb, mint AC-3 esetén. Az érintkezők ezért jobban fölhevülnek, az anyag megolvad, és a lehűlés után összehegedhet. Az AC-3 szerinti áramra választott kontaktor ívoltása és érintkezői nem erre a hőterhelésre méretezettek, így gyorsan tönkremegnek. AC-4 üzemhez a kontaktort az AC-4 szerinti I_e vagy a gyártói élettartam-diagram alapján választjuk – ez rendszerint egy-két mérettel nagyobb készüléket jelent (ellenőrizendő: gyártói adat).

6. feladat.
A rajz leírása: háromfázisú főáramkör 400 V (L1, L2, L3) → mágneskapcsoló főérintkezők (három pólus, jelölése K1; 1/L1–2/T1, 3/L2–4/T2, 5/L3–6/T3) → motor (M1, U1, V1, W1 kapcsok). A vezérlőáramkörben nyomógomb, védőfunkció és K1 tekercs (A1–A2). Ellenőrzés: $U_e = 400\,\mathrm{V}$, I_e legalább a motor névleges áramánál nagyobb AC-3 kategóriában, tekercs feszültsége és a segédérintkezők kategóriája, valamint a gyártó által megadott villamos élettartam az adott kapcsolási gyakoriságra.

31.1.14. Rövid összefoglaló

A kapcsolókészülék nyitásakor a kontaktusok között villamos ív keletkezik, mert a fémből és levegőből ionizált gáz vezeti az áramot. Az ív energiája az ívfeszültség, az íváram és az égési idő szorzata; ez a hő okozza az érintkezők kopását, hegedését. Váltakozó áramon a nullaátmenet segíti az oltást, egyenáramon viszont az ívoltó kamrának kell az ívet megnyújtania, hűtenie és megszakítania. A kapcsolókészülékek használati kategóriái – AC-1, AC-3, AC-4, DC-13 és mások – azt adják meg, milyen terhelést kapcsolhatunk az adott névleges üzemi feszültségen (U_e) és áramon (I_e). Az AC-1 ellenállásjellegű terhelésre, az AC-3 kalickás motor közvetlen indítására, az AC-4 gyakori, nehéz indításra, a DC-13 egyenáramú induktív vezérlőterhelésre vonatkozik. **Továbbvitt eredmény.** A használati kategória és a névleges adatok (U_e, I_e, I_{th}, villamos élettartam) alapján választjuk ki a mágneskapcsolót a Mágneskapcsolók és relék alfejezetben. A kiválasztásnál mindig az MSZ EN 60947 sorozat és a gyártói adatlap az irányadó. A hegedt vagy erősen kiégett érintkezőt nem reszeljük, hanem cseréljük.

31.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet fizikai alapjai stabil elektrotechnikai ismeretek. A használati kategóriák elnevezése és a névleges adatok a klasszikus MSZ EN 60947 sorozatra épülnek, de a pontos kategóriatáblázatokat, a gyártói adatokat és az aktuális szabványkiadást ellenőrizni kell. Nem hivatkoztam konkrét szabványszakasz-számra, táblázatra vagy gyártói értékre; azoknál a helyeken, ahol ilyen szerepel, jelöltem az ellenőrzési igényt.

31.2. Mágneskapcsolók és relék

31.2.1. Miért van szükség mágneskapcsolóra?

Egy ipari csarnokban a szivattyúmotort nem közvetlenül a kézi kapcsolóval akarjuk indítani, hanem egy vezérlőpanelről, akár több helyről, akár PLC-ből. Ha a motort egyszerűen egy kézi motorvédő kapcsolóval kapcsolnánk, akkor a kezelőnek mindig a motornál kellene állnia, és a vezérlési feladatot nem tudnánk automatizálni. A mágneskapcsoló (kontaktor) erre a feladatra való: viszonylag kis teljesítményű vezérlőjel hatására, elektromágneses úton, nagy teljesítményű főáramkört zár vagy bont. Ezt a gondolatot a Kapcsolók és mágneskapcsolók rajzjelei, kapocsjelölések alfejezetben már előkészítettük a kapocsjelekkel, itt most a tényleges készüléket, annak bekötését és a relék családját tanuljuk meg. A mágneskapcsoló kiválasztása és előkészítése napi feladat a villamos berendezés- és készülékszerelőnek, ezért a hangsúly a gyakorlati bekötésen és a hibák elkerülésén van.

31.2.2. Mágneskapcsoló felépítése és működése

Definíció. A **mágneskapcsoló** (elektromágneses kontaktor) olyan kapcsolókészülék, amelyben a kapcsolóérintkezők mozgatását elektromágneses tekercs által létrehozott mágneses erő végzi; a tekercs feszültségmentes állapotában a visszatérítő rugó vagy gravitáció nyitja a főérintkezőket.

A mágneskapcsoló fő részei:

- **Tekercs és vasmag:** a tekercs a megadott vezérlőfeszültségre készül; a vasmag E-alakú lemezeit tekercselt réz vagy alumínium huzal veszi körül. Egyenáramú (DC) tekercsnél szilárd, váltakozó áramú (AC) tekercsnél a zümmögés csökkentésére árnyékoló menetet (rézrúd gyűrűt) is beépítenek a pólusfelületbe.
- **Főérintkezők:** a nagy teljesítményű áramkör kapcsolására három pólus (L1, L2, L3, illetve T1, T2, T3 kimenet). A rajzjelek és kapocsjelek: **1–2**, **3–4**, **5–6** (a bemeneti oldal páratlan, a kimeneti páros szám).
- **Segédérintkezők:** a vezérlőáramkörben használt kis terhelhetőségű érintkezők; **záródó (NO) 13–14**, **bontó (NC) 21–22**. A segédérintkezőket gyakran kiegészítő blokként lehet a mágneskapcsoló oldalára vagy tetejére pattintani, ezért számuk és jellegük utólag is bővíthető.
- **Ívoltó kamra:** a főérintkezők fölé épített, hőálló műanyagból készült kamra, amely az áramkör bontásakor keletkező ívet hűti és kioltja. Az előző alfejezetben (Kapcsolókészülékek működése, ívoltás és használati kategóriák) már láttuk, miért fontos az ívoltás.

Amikor a tekercsre rákapcsoljuk a névleges vezérlőfeszültséget (például $U_c = 230\,\mathrm{V}$ AC, $50\,\mathrm{Hz}$), áram indul, a vasmag mágnessé válik, és a mozgó részt az álló részhez húzza. A mozgó érintkezőhíd hozzászorul az álló érintkezőkhöz, így a főérintkezők zárnak. A segédérintkezők állapota ezzel egyidejűleg megváltozik: a 13–14 zár, a 21–22 bont.

Összefüggés. A mágneskapcsoló vezérlő áramköre és a főáramköre galvanikusan el van választva; a tekercs és az érintkezők között nincs közvetlen fémes kapcsolat. Ezért egy kisfeszültségű, jól szigetelt vezérlőjel (például PLC tranzisztoros kimenete) képes egy nagy motor áramkörét kapcsolni.

31.2.2.1. Tekercsfeszültségek és a vezérlő áramkör

A mágneskapcsoló tekercsét a gyártó meghatározott feszültségre készíti. Gyakori értékek:

- 24 V AC/DC – törpefeszültség, PLC-kimenethez vagy biztonsági vezérléshez; SELV/PELV csak biztonsági transzformátorról vagy ennek megfelelő tápegységről táplálva (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41);
- 230 V AC – a leggyakoribb hazai vezérlőfeszültség, közvetlenül a fázis és nulla közé köthető;
- 400 V AC – ritkábban, de előfordul ipari környezetben, két fázis közé kapcsolva.

Megjegyzés. A tekercsre nem szabad a névlegesnél lényegesen nagyobb feszültséget kapcsolni, de a túl alacsony feszültség is hibás működést okoz: a vasmag nem húz be rendesen, a mágneskapcsoló zümmög, a főérintkezők nem szorulnak össze eléggé, és a túlmelegedés vagy érintkező-összeégés veszélye áll fenn.

31.2.3. Főérintkezők, segédérintkezők és kapocsjelölések

Szabály. A mágneskapcsoló bekötésekor mindig a gyártói adatlap és a készülék kapocstáblája a mérvadó; a kapocsjelöléseket az MSZ EN 60617 és az MSZ EN 60947 szerint kell azonosítani. A gyakorlatban:

- Főérintkezők: **1–2, 3–4, 5–6** (fázisonként egy pólus).
- Záródó segédérintkezők (NO): **13–14**, **23–24**, **33–34**, **43–44** stb.
- Bontó segédérintkezők (NC): **21–22**, **31–32**, **41–42**, **51–52** stb.
- Tekercs: **A1–A2**.

Tipikus hiba. A szerelő a NO és NC érintkezőket felcseréli, mert a rajzon a kapcsolási állapot feszültségmentes, kikapcsolt helyzetre vonatkozik. A bekötés előtt ezért meg kell mérni multiméterrel (folytonosságvizsgálat): NO érintkezőnél a tekercs feszültségmentes állapotában szakadás, NC érintkezőnél zárlat mérhető a kapocspár között.

A következő kapcsolási rajz egy gyakori direkt indítást mutat: a Q1 megszakító védi a főáramkört, a K1 mágneskapcsoló kapcsolja a motort, a vezérlőáramkörben az F2 vezérlőköri biztosító, az S0 STOP (NC), S1 START (NO) nyomógomb, az F1 hőkioldó bontó érintkezője (95–96), a K1 tekercs és a K1 13–14 önfenntartó segédérintkező van.

31.3. ábra. Direkt indítás mágneskapcsolóval és nyomógombos vezérléssel - Főáramkör (bal): L1, L2, L3 külön vezetéken a Q1 háromsarkú kismegszakítón (C20), a K1 főérintkezőin (1-2, 3-4, 5-6) és az F1 hőkioldó főáramköri elemein át az M1 motor U1, V1, W1 kapcsára; a motortest a PE-re csatlakozik. Vezérlőáramkör (jobb, L1–N): F2 vezérlőköri biztosító → F1 95-96 bontó → S0 STOP (NC) → S1 START (NO) ‖ K1 13-14 önfenntartó → K1 tekercs A1-A2 → N. Alapállapot, feszültségmentes rajz.

A rajz bal oldala a főáramkör: a három fázis külön-külön fut a Q1, a K1 főérintkezői és az F1 hőkioldó hőelemein át a motor U1, V1, W1 kapcsáig, a motortest a PE-re csatlakozik. A jobb oldal a vezérlőáramkör (L1–N): F1 95–96 → S0 STOP → S1 START, vele párhuzamosan a K1 13–14 → K1 tekercs. Ügyeljünk arra, hogy a tekercs A1 és A2 kapcsa a rajz szerint a start gomb után, az N vezetőhöz pedig az A2 kapocs csatlakozik. A gyakorlatban az A1-re szoktuk kötni a vezérlő fázist, az A2-re a nullát.

31.2.4. Relék: köztes, időzítő, figyelő és félvezető relé

A mágneskapcsoló mellett a vezérlőáramkörökben gyakran találkozunk kisebb kapcsolási teljesítményű, de speciális feladatú **relékkel**. A relé általános értelemben olyan készülék, amely egy bemeneti fizikai mennyiség (áram, feszültség, hőmérséklet, idő, fény) hatására egy vagy több kimeneti érintkezőt kapcsol. A mágneskapcsoló is egy relé, de a szakmai nyelvben a **relé** kifejezést a kisebb teljesítményű, jellemzően segédérintkezős készülékekre, a **mágneskapcsoló** kifejezést a motorok és nagyobb terhelések kapcsolására szolgáló kontaktorra használjuk.

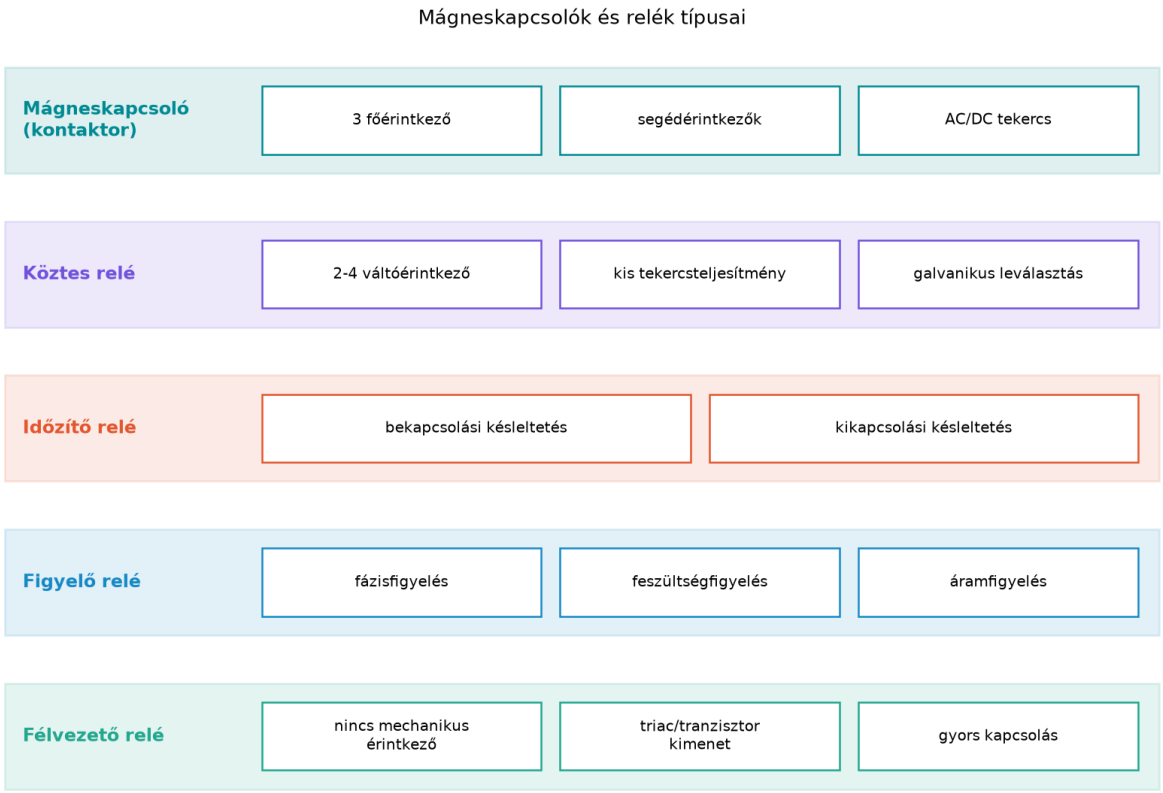
Definíció. A **köztes relé** olyan elektromechanikus relé, amelynek tekercsét egy vezérlőjel (például PLC kimenet, érzékelő kimenet) működteti, és a relé érintkezői nagyobb feszültségű vagy több terhelést kapcsolnak; így elektromos leválasztást és jelismétlő (szeparáló) funkciót valósít meg.

Definíció. Az **időzítő relé** olyan vezérlőkészülék, amely a működtető jel megjelenése után meghatározott késleltetéssel kapcsolja az érintkezőit, vagy a jel megszűnése után még egy ideig fenntartja azokat. A késleltetés lehet bekapcsolási vagy kikapcsolási típusú.

Definíció. A **figyelő relé** (monitoring relé) valamely villamos jellemző – fázissorrend, fáziskimaradás, túlfeszültség, alulfeszültség, aszimmetria, túlterhelés, szigetelési ellenállás – figyelésére szolgál, és a beállított határ túllépésekor bontó vagy záró érintkezőjével vezérlést ad (például leállítja a motort).

Definíció. A **félvezető relé** (solid-state relay, SSR) mozgó alkatrész nélküli relé, amelyben a bemeneti oldalt optocsatolóval választják le a kimeneti félvezető kapcsolótól (triac, tirisztor, MOSFET). Előnye a nagy kapcsolási ciklusszám, a hangtalan működés és a gyors kapcsolás; hátránya, hogy kikapcsolt állapotban is folyik a kimeneten kis szivárgóáram, és a félvezető nem képez légrést, ezért az SSR kikapcsolt állapota nem leválasztás: a terhelés kapcsain feszültség mérhető, feszültségmentesítésre (szakaszolásra) nem használható; a vezetési veszteség miatt a melegedésére (hűtőborda) is figyelni kell.

Az alábbi ábra a relék családját foglalja össze.



31.4. ábra. Mágneskapcsolók és relék típusai - Az elektromechanikus mágneskapcsoló, valamint a köztes, időzítő, figyelő és félvezető relék egyaránt vezérlő vagy kapcsoló szerepűek.

31.2.4.1. Zajok, zümmögés és kikapcsolási túlfeszültség

A váltakozó áramú tekercsű mágneskapcsolók a hálózati frekvencia (50 Hz) kétszeresével, azaz 100 Hz-cel rezegnek; ennek hallható jele a mély zümmögés. Egészséges, helyesen működő készüléknél ez halk; a hangos zümmögés hibára utal.

A túlzott zümmögés okai és kezelése:

- a vasmag felülete szennyezett, rozsdás vagy korrodált → a mágneskör légrése megnő, az erő csökken;
- a vasmagot összetartó rugók, csavarok meglazultak → a vasmag nem záródik tökéletesen;
- az árnyékoló menet (csak AC tekercsnél) sérült → a mágneses tér pulzálása erősebb;
- a tekercsre jutó feszültség túl alacsony → a húzóerő nem elegendő;
- a mozgó érintkezőhíd vagy a mechanikus vezetőszerkezet kopott, akad.

A zümmögő mágneskapcsolót nem szabad figyelmen kívül hagyni, mert a rossz záródás miatt a főérintkezők melegek lesznek, és a készülék rövid időn belül tönkremegy.

A másik fontos üzemzavar a **kikapcsolási túlfeszültség**. A mágneskapcsoló tekercse jelentős induktivitást képvisel. Amikor a vezérlőáramkört bontjuk, az $L\frac{di}{dt}$ értelmében az áram hirtelen megszakadása nagy, a vezérlő feszültség többszörösét is elérő feszültségcsúcsot hozhat létre. Ez a csúcs:

- szikrákat okoz a vezérlő érintkezőn, gyorsítja a kapcsolókopást;

- tönkreteheti a PLC tranzisztoros vagy a félvezetős kimenetét;
- zavarokat kelthet a környező elektronikában.

A védekezés módja:

- **Egyenáramú (DC) tekercsnél:** a tekercssel párhuzamosan fordított polaritású **diódát** kötünk (ún. szabadonfutó dióda).
- **Váltakozó áramú (AC) tekercsnél:** a tekercssel párhuzamosan **RC-tagot** (ellenállás–kondenzátor soros tag) vagy **varisztort** kapcsolunk.
- A félvezető reléknél a gyártó által előírt védőkört kell alkalmazni.

Figyelem. A dióda vagy RC-tag soha nem helyettesíti a mágneskapcsoló alapvető védelmét, hanem kiegészítő, megbízhatóságot növelő elem. Bekötésekor ellenőrizni kell a polaritást (dióda) és a megengedett feszültséget.

31.2.5. Mágneskapcsoló kiválasztása a motorhoz

Szabály. A motorhoz való mágneskapcsoló kiválasztásánál az alábbi lépéseket követjük:

1. A motor adattáblájáról leolvassuk a névleges feszültséget (U_n) és a névleges áramot (I_n) vagy a teljesítményt (P_n).
2. Meghatározzuk a használati kategóriát: háromfázisú aszinkron motorokhoz **AC-3** (indítás és leállítás teljes terhelés mellett), ellenállásterhelésekhez **AC-1**.
3. Ellenőrizzük, hogy a mágneskapcsoló **névleges üzemi árama** legalább akkora, mint a motor I_n árama, és a katalógus szerint az AC-3, 400 V oszlopban a motor teljesítménye is belefér, vagyis a motor teljesítménye nem haladja meg a készülék AC-3 kW-értékét, és $I_e \geq I_n$. Tartalékot (egy mérettel nagyobb készüléket) gyakori kapcsolásnál, nehéz indításnál és magas környezeti hőmérsékletnél választunk **(ellenőrizendő: gyártói katalógus)**.
4. Kiválasztjuk a **tekercsfeszültséget** a rendelkezésre álló vezérlőáramkör szerint (például 230 V AC, 24 V DC).
5. Megvizsgáljuk, hány segédérintkezőre van szükség a vezérlőáramkörben, és szükség esetén segédérintkező-blokkot adunk hozzá.
6. Ellenőrizzük a vezérlő áramkör védelmét: a tekercs rövidzárlat ellen kis olvadóbiztosítóval vagy kismegszakítóval védhető.

Példa 1. Egy háromfázisú, 400 V-os, 7,5 kW-os aszinkron motor névleges árama kb. 15 A, teljesítménytényezője $\cos\varphi = 0{,}82$, hatásfoka $\eta = 0{,}87$. Válasszunk mágneskapcsolót AC-3 kategóriában, ha a rendelkezésre álló vezérlőfeszültség 230 V AC.

Megoldás. A motor áramát a háromfázisú teljesítményképletből is ellenőrizhetjük:

$$P = \sqrt{3}\, U_v\, I_v\, \cos\varphi\, \eta,$$

átrendezve:

$$I_v = \frac{P}{\sqrt{3}\, U_v\, \cos\varphi\, \eta} = \frac{7500\,\mathrm{W}}{\sqrt{3}\cdot 400\,\mathrm{V}\cdot 0{,}82\cdot 0{,}87} \approx 15{,}2\,\mathrm{A}.$$

A katalógusban a 7,5 kW-os AC-3, 400 V érték jellemzően a 17–18 A-es készüléknél szerepel (ellenőrizendő: gyártói katalógus); ez teljesíti az $I_e \geq I_n$ feltételt ($17{,}5\,\mathrm{A} > 15{,}2\,\mathrm{A}$), ezért válasszunk ilyen kontaktort, 230 V AC tekercsfeszültséggel, egy NO segédérintkezővel az önfenntartáshoz. A kiválasztást mindig a gyártói adatlap alapján kell véglegesíteni. **(ellenőrizendő: konkrét gyártói katalógus értékei)**

Példa 2. Határozzuk meg, hogy egy köztes relé, amelynek 230 V AC, 5 A névleges áramú záró érintkezője van, közvetlenül kapcsolhat-e egy 0,75 kW-os, 400 V-os háromfázisú motort.

Megoldás. A motor névleges árama:

$$I_n = \frac{750\,\mathrm{W}}{\sqrt{3}\cdot 400\,\mathrm{V}\cdot 0{,}7\cdot 0{,}8} \approx 1{,}9\,\mathrm{A},$$

ahol $\cos\varphi = 0{,}7$ és $\eta = 0{,}8$ becsült érték. Az indítási áramcsúcs jellemzően 5–8-szorosa a névleges áramnak, azaz legalább $1{,}9 \cdot 5 = 9{,}5\,\mathrm{A}$, ami már meghaladja az 5 A-es érintkező kapcsolási képességét. Ezért a köztes relé közvetlenül **nem** kapcsolhatja a motort; a motor indítására mágneskapcsolót kell használni, a relé legfeljebb a mágneskapcsoló tekercsét kapcsolhatja. ∎

31.2.6. Szabványi háttér

Szabvány. A mágneskapcsolókra és motorindítókra az **MSZ EN 60947-4-1** (kisfeszültségű kapcsoló- és vezérlőkészülékek; elektromechanikus mágneskapcsolók és motorindítók), a kapocsjelölésekre az **MSZ EN 60617** és az **MSZ EN 60947-1** vonatkozik. A relékre az **MSZ EN 61810** sorozat ad követelményeket. Az ívkezelésre és a használati kategóriákra a Kapcsolókészülékek működése, ívoltás és használati kategóriák alfejezetben láttuk a szabványos keretet. A pontos értékek, táblázatok és osztályok a mindenkor hatályos szabványkiadásból, illetve a gyártói adatlapból veendők. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadások, gyártói adatok)**

31.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy üzemben egy szivattyúmotor mágneskapcsolója hangosan zümmögött, és a motor időnként leállt. A karbantartó először a motort gyanúsította, de a mérések szerint a motor üresjáratban megfelelően működött. A hibakeresés során kiderült, hogy a mágneskapcsoló vasmagjának pólusfelületére fémreszelék és por rakódott, az árnyékoló menet pedig kilazult. A szennyeződés növelte a légrést, a zümmögés erősödött, és az érintkezők sem szorultak össze teljesen, ami túlmelegedést okozott. A vasmag megtisztítása, az árnyékoló menet rögzítése és a csatlakozók utánhúzása után a zümmögés megszűnt, a hőkamerás ellenőrzés is normális hőmérsékletet mutatott. Ebből tanuljuk: a zümmögést soha nem szabad „normálisnak” tekinteni.

Biztonsági korlát. A fenti eset hálózati feszültségű készüléknél történt; az ilyen munkát csak jogosult személy végezheti, a feszültségmentesítés öt szabályának betartásával.

31.2.8. Gyakorlati útmutató: mágneskapcsoló bekötésének előkészítése

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Mágneskapcsoló bekötése lépésről lépésre

1. **Feszültségmentesítés:** minden munkakezdés előtt hajtsd végre az öt biztonsági szabályt (lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés-rövidre zárás, letakarás).
2. **Ellenőrizd a dokumentációt:** nézd meg a kapcsolási rajzot, azonosítsd a mágneskapcsoló kapocsjeleit (A1, A2, 1–2, 3–4, 5–6, 13–14, 21–22).
3. **Vizsgáld meg a készüléket:** ellenőrizd a tekercsfeszültséget (például 230 V AC), a főérintkezők számát, a segédérintkezők jellegét; sérült, repedt házú készüléket ne használj.

4. **Készítsd elő a vezetékvégeket:** húzd le a szigetelést, húzz fel érvéghüvelyt vagy kábelsarut, a keresztmetszetet a terheléshez igazítsd; a kötéseket határozottan, de a megadott csavarnyomatékkal húzd meg. **(ellenőrizendő: a gyártó által megadott nyomaték)**
5. **Kösd be a főáramkört:** a betápláló fázisokat a páratlan sorszámú kapcsokra (1, 3, 5), a motort a páros sorszámúakra (2, 4, 6) csatlakoztasd. Ügyelj a fázissorrendre; a motor forgásirányát bekötés után próbaüzemben ellenőrizd.
6. **Kösd be a vezérlőáramkört:** a tekercs A1–A2 kapcsára a rajz szerint csatlakoztass; tartsd be a NO és NC segédérintkezők helyes kiosztását. A vezérlőkört külön, kis terhelhetőségű védőelemmel biztosítsd.
7. **Ellenőrzés bekötés után:** multiméterrel mérd meg a főérintkezők és a segédérintkezők állapotát a tekercs feszültségmentes állapotában (NO szakadás, NC zárlat). Ha minden megfelel, a próbaüzemet csak jogosult személy végezheti.

Ellenőrzési pont. A tekercs bekapcsolásakor a mágneskapcsolónak határozottan be kell húznia; a zümmögés halk, a főérintkezők nem melegszenek túl. A kikapcsoláskor az érintkezőknek azonnal, szikrázás nélkül kell nyitniuk.

31.2.9. Tipikus hibák

1. **Téves tekercsfeszültség.** A szerelő 230 V AC tekercsű mágneskapcsolót köt 24 V DC vezérlésre. A tekercs nem húz be; ha tartósan rákapcsolják, a tekercs tönkremegy. **Helyes gyakorlat:** mindig a vezérlőfeszültségnek megfelelő tekercset választunk.
2. **NO és NC érintkezők felcserélése.** Az önfenntartó ágba bontó érintkezőt kötnek, így a mágneskapcsoló a start gomb elengedésekor azonnal elenged. **Helyes gyakorlat:** a 13–14 záró érintkezőt használjuk az önfenntartáshoz, és bekötés előtt mérünk.
3. **Kikapcsolási túlfeszültség elleni védelem elhagyása.** PLC tranzisztoros kimenettel közvetlenül DC mágneskapcsoló tekercset kapcsolnak dióda nélkül; a kimenet néhány kapcsolás után meghibásodik. **Helyes gyakorlat:** mindig beépítjük a diódát vagy RC-tagot.
4. **Zümmögés figyelmen kívül hagyása.** A zümmögő kontaktor érintkezői a rossz záródás miatt túlmelegszenek, ami tüzet vagy érintkező-összeégést okozhat. **Helyes gyakorlat:** a zümmögés okát azonnal kivizsgáljuk.

31.2.10. Önellenőrzés

1. Milyen kapocsjelölés vonatkozik a mágneskapcsoló tekercsére?
2. Mi a különbség a záródó (NO) és a bontó (NC) segédérintkező között?
3. Milyen védekezési módok vannak a mágneskapcsoló tekercsének kikapcsolási túlfeszültsége ellen AC és DC táplálásnál?
4. Miért nem alkalmas egy 5 A-es köztes relé közvetlen motorindításra?
5. Mit jelez a mágneskapcsoló hangos zümmögése, és mi a teendő?
6. Sorold fel a mágneskapcsoló kiválasztásának fő lépéseit!

31.2.11. Feladatok

1. feladat (A) Rajzold le a mágneskapcsoló jelképét a tekercs, egy NO és egy NC segédérintkező, valamint a három főérintkező feltüntetésével! Használd a szabványos kapocsjeleket.

2. feladat (A) Egy mágneskapcsoló tekercse 230 V AC, 50 Hz. A tekercs ellenállása üzemi hőmérsékleten 400 Ω, induktivitása 8 H. Becsüld meg a tekercs váltakozó áramú ellenállását (impedanciáját) és a felvett látszólagos teljesítményt!

3. feladat (B) Egy 5,5 kW-os, 400 V-os, háromfázisú motor névleges árama 12 A, indítási áramcsúcsa 84 A. Válassz mágneskapcsolót AC-3 kategóriából, ha a vezérlőfeszültség 230 V AC, és legalább két NO segédérintkezőre van szükség. Indokold a választást!

4. feladat (B) Egy DC 24 V-os mágneskapcsoló tekercset PLC tranzisztoros kimenete kapcsol. Rajzold be a kapcsolási rajzra a szükséges kikapcsolási túlfeszültség elleni védelmet, és magyarázd el a működését!

5. feladat (C) Egy időzítő relé bekapcsolási késleltetése 5 s. A relé tekercsét 230 V AC feszültségre kapcsolva mennyi idő után zár a NO érintkezője? Mi történik, ha a tápellátást a 3. másodpercben megszakítjuk?

6. feladat (D – hibakeresés) Egy motor indításakor a mágneskapcsoló behúz, de a start gomb elengedésekor azonnal elenged. A stop gomb, a hőkioldó és a vezérlő feszültség rendben van. Mi a hiba oka, és hogyan javítod?

31.2.12. Megoldások

31.2.12.1. Önellenőrzés – válaszok

1. A tekercs kapocsjelölése **A1**–**A2**.
2. A NO (záródó, 13–14) a tekercs feszültségmentes állapotában szakadás, a NC (bontó, 21–22) zárlat.
3. AC tekercsnél RC-tag vagy varisztor, DC tekercsnél szabadonfutó dióda.
4. Az indítási áramcsúcs többszöröse a névleges áramnak, meghaladja az 5 A-t; a relé érintkezője megsérülne.
5. A zümmögés hibás vasmagzáródást, szennyeződést, laza rögzítést vagy alacsony tekercsfeszültséget jelez; a készüléket haladéktalanul ki kell vizsgálni.
6. Motor adatai, használati kategória, névleges üzemi áram, tekercsfeszültség, segédérintkezők, vezérlőkör védelme.

31.2.12.2. Feladatok megoldásai

1. feladat – megoldás. A kapcsolási rajzon a tekercs A1–A2 jelöléssel, a főérintkezők 1–2, 3–4, 5–6, a NO segédérintkező 13–14, a NC 21–22 jelöléssel szerepel. A rajz az MSZ EN 60617 szerinti jelképeket használja: a tekercs téglalap, az érintkezők kapcsolójelek.

2. feladat – megoldás.
Adott: $R = 400\,\Omega$, $L = 8\,\mathrm{H}$, $f = 50\,\mathrm{Hz}$.
Keresett: Z, S.
Képlet: $X_L = 2\pi f L$, $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$, $S = U^2/Z$.
Behelyettesítés:

$$X_L = 2\pi \cdot 50\,\mathrm{Hz} \cdot 8\,\mathrm{H} \approx 2513\,\Omega,$$

$$Z = \sqrt{400^2 + 2513^2} \approx 2545\,\Omega,$$

$$S = \frac{(230\,\mathrm{V})^2}{2545\,\Omega} \approx 20{,}8\,\mathrm{V\ A}.$$

Ellenőrzés: a tekercs induktív jellegű, a látszólagos (tartási) teljesítmény néhány tíz VA nagyságrendű, ami megfelel a gyakorlati mágneskapcsoló tekercsek tartási teljesítményének; a behúzás pillanatában, nyitott légrésnél a tekercs ennél jóval többet vesz fel, ezért a vezérlőtranszformátort a behúzási teljesítményre is méretezni kell. ∎

3. feladat – megoldás. A motor AC-3 kategóriához tartozik. A névleges áram 12 A, az indítási áram 84 A. A mágneskapcsoló főérintkezőinek AC-3 terhelhetősége a katalógus szerint legalább 12 A legyen; a katalógus AC-3, 400 V oszlopa szerint az 5,5 kW-os motorhoz a 12 A-es AC-3 (5,5 kW) készülék a minimum, mert $I_e = 12\,\mathrm{A} \geq I_n = 12\,\mathrm{A}$ és a teljesítménye is belefér; 16 A-es készüléket akkor választunk, ha tartalékot akarunk (gyakori kapcsolás, nehéz indítás, magas környezeti hőmérséklet). A továbbiakban a minimumot, a 12 A-es AC-3 készüléket vesszük alapul. A vezérlőfeszültség 230 V AC, ezért 230 V AC tekercsű készüléket rendelünk. Két NO segédérintkező szükséges; ha a mágneskapcsolón csak egy NO van, akkor egy segédérintkezőblokkot kell felszerelni. A választás tehát: mágneskapcsoló, 3 pólus, AC-3, $I_e \geq 12\,\mathrm{A}$ (tartalékkal 16 A), 230 V AC tekercs, plusz 1 NO segédérintkező. **(ellenőrizendő: gyártói katalógus szerinti pontos típus)**

4. feladat – megoldás. A kapcsolási rajzon a PLC kimeneti tranzisztora és a mágneskapcsoló tekercse közé egy diódát kötünk párhuzamosan a tekercssel, fordított polaritással (a katód a tápfeszültség pozitív oldalára, az anód a tekercs másik kapcsára). Így a tranzisztor kikapcsolásakor a tekercsben folyó áram a diódán keresztül záródik, és a feszültségcsúcs nem emelkedik a tápfeszültség + diódanyitófeszültség fölé. Ezzel védjük a tranzisztort és csökkentjük a szikrázást. A diódát a tekercs közvetlen közelébe kell szerelni, és ellenőrizni kell a polaritást.

5. feladat – megoldás. Bekapcsolási késleltetésű időzítő relénél a tápfeszültség megjelenése után az érintkezők 5 s elteltével kapcsolnak. Ha a tápellátást a 3. másodpercben megszakítjuk, a késleltetés megszakad, és a NO érintkező nem zár, mert az időzítő nem fejezte be a ciklust. A gyakorlatban az időzítő relé tápfeszültség-megszakítása újraindítja a késleltetést.

6. feladat – megoldás. A hiba oka: az önfenntartó ág hiányzik vagy rossz érintkezővel van bekötve. A start gomb elengedésekor a tekercs áramköre megszakad, ezért a mágneskapcsoló elenged. A helyes bekötés: a start nyomógombbal párhuzamosan be kell kötni a mágneskapcsoló **13–14** záródó segédérintkezőjét úgy, hogy amikor a tekercs behúz, a 13–14 zár, és a start gomb felengedése után is fenntartja a tekercs áramkörét. Először multiméterrel ellenőrizzük, hogy a 13–14 valóban NO, és a vezérlőáramkörben a starttal párhuzamosan van kötve. Ha szükséges, javítjuk a bekötést, majd újra elvégezzük a próbát.

31.2.13. Rövid összefoglaló

A mágneskapcsoló elektromágneses működtetésű kapcsolókészülék, amelynek tekercsére (A1–A2) kis teljesítményű vezérlőjelet kapcsolva nagyobb teljesítményű főáramkört zár vagy bont. A főérintkezők jelölése 1–2, 3–4, 5–6, a záródó segédérintkezőké 13–14, a bontóké 21–22. A tekercs gyakori feszültségei: 24 V AC/DC, 230 V AC, 400 V AC. A kiválasztásnál a motor használati kategóriáját (AC-3) és névleges áramát, a vezérlőfeszültséget és a szükséges segédérintkezők számát kell figyelembe venni. A relék családjába tartozik a köztes, időzítő, figyelő és félvezető relé. A kikapcsolási túlfeszültség ellen DC tekercsnél diódát, AC tekercsnél RC-tagot vagy varisztort kell

beépíteni. A zümmögés mindig hibát jelez. **Továbbvitt eredmény.** A mágneskapcsoló felépítését, kapocsjelöléseit és kiválasztását a Motorvédő kapcsoló, hőkioldó, megszakító és szakaszoló alfejezetben használjuk tovább a teljes motorvédelmi és kapcsolási lánc kialakításához.

31.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

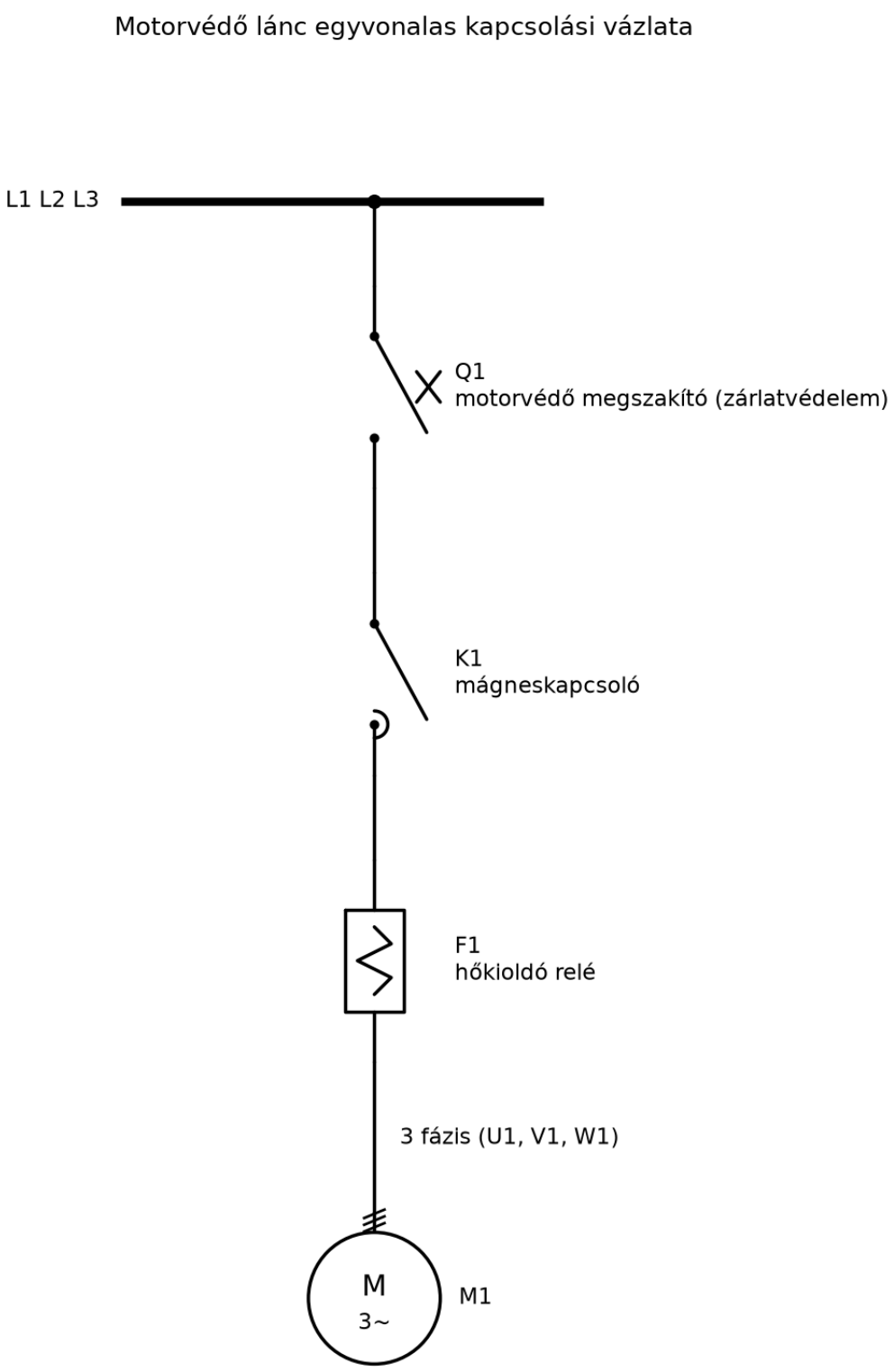
- MSZ EN 60947-4-1 – Elektromechanikus mágneskapcsolók és motorindítók. **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**
- MSZ EN 60947-1 – Kisfeszültségű kapcsoló- és vezérlőkészülékek: általános követelmények. **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**
- MSZ EN 60617 – Villamos rajzjelek. **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**
- MSZ EN 61810 – Elektromechanikus elemi relék. **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**
- Gyártói katalógusok és adatlapok a mágneskapcsoló és relé típusok pontos értékeihez. **(ellenőrizendő: konkrét gyártó dokumentumai)**

31.3. Motorvédő kapcsoló, hőkioldó, megszakító és szakaszoló

31.3.1. Miért van szükség a motorvédelem pontos eszközére?

Egy ipari fűrészgép 11 kW-os aszinkron motorja leáll túlterhelés miatt. Az üzemeltető először azt kéri: „tekerjük feljebb a védelmet, hogy ne álljon le”. A szerelőnek azonban nem a védelem kiiktatása, hanem a helyes beállítás a feladata. Ha a hőkioldót a motor névleges áramánál magasabbra állítja, akkor a tekercs túlmelegedhet, és a szigetelés elöregszik; ha túl alacsonyra, akkor normál üzemben is leold a berendezés. Ebben az alfejezetben azt tanuljuk meg, milyen eszközökkel védhetjük a motort túlterhelés, zárlat, fázisvesztés és túlmelegedés ellen, és hogyan válasszunk közöttük.

Az alábbi egyvonalas vázlat a motorvédő lánc elemeit mutatja: a táphálózatból jövő fázisok után a zárlatvédelmet adó Q1 (biztosító vagy csak mágneses kioldású motorvédő megszakító), a mágneskapcsoló főérintkezője, a túlterhelés ellen védő F1 hőkioldó relé, végül a motor. Ha Q1 hőkioldós motorvédő kapcsoló, külön F1 nem kell: ilyenkor a lánc Q1–K1–M1.



31.5. ábra. Motorvédő lánc egyvonalas kapcsolási vázlata - Q1 motorvédő megszakító (zárlatvédelem), K1 mágneskapcsoló főérintkezője, F1 hőkioldó relé, M1 háromfázisú aszinkron motor. A rajz egyvonalas: a függőleges vonal mindhárom fázist jelképezi (a valóságban mindhárom fázisban azonos az áramút, a motor U1, V1, W1 kapcsáig). Alapállapot.

A rajz szerepe az, hogy rögzítse a sorrendet: a zárlatvédelmi Q1 a fő áramkör elején, a mágneskapcsoló kapcsolja a motort, a hőkioldó relé pedig a mágneskapcsoló vezérlőkörébe van bekötve (a főáramkörben csak az érzékelő bimetálja van sorba kötve). A későbbiekben ezt a láncot egészítjük ki részletes kapcsolási rajzokkal a Direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek alfejezetben.

31.3.2. A hőkioldó relé: a motor hőmásolata

A motor legfontosabb ellensége a túlmelegedés. A tekercshuzal szigetelőlakkja bizonyos hőmérséklet fölött gyorsan öregszik, ezért a hosszú távú túlterhelést el kell kerülni. A hőkioldó relé **bimetál** eleme úgy működik, mint a motor tekercsének hőmásolata: a motor árama a bimetál fűtőszálán folyik keresztül, az melegíti a bimetált, amely elhajlik, és egy érintkezőt nyit.

Definíció. A **bimetál hőkioldó relé** olyan túlterhelésvédő készülék, amelyben a motor árama egy bimetál szalagot melegít; a szalag melegedése, így elhajlása is közelítőleg az áram négyzetével és az idővel nő, és az elhajló szalag egy mechanikusan reteszelt segédérintkezőt nyit, így a mágneskapcsoló tekercsének áramköre megszakad, és a motor lekapcsolódik. A relé a motor hőtehetetlenségét közelíti, ezért a kioldási idő függ a túláram nagyságától: kis túláramnál lassú, nagy túláramnál gyors.

A hőkioldó árambeállítását a motor **névtábláján** szereplő névleges áramra kell tenni. Ha a motor adattáblája például $I_n = 11{,}2\,\mathrm{A}$ értéket mutat, akkor a hőkioldó beállító skáláját 11,2 A-re állítjuk, függetlenül attól, hogy az állítható tartomány milyen (pl. 8–12 A). A beállítás nem a tartalék túlterhelésre való rátartás, hanem a motor úgynevezett **termikus másolata**. A hőkioldó nem áramkorlátozó, hanem időfüggő védelem.

A kioldási osztály azt mondja meg, milyen gyors a bimetál a nagy túláramoknál. A leggyakoribb a **10. osztály**, ami azt jelenti, hogy hideg állapotból $7{,}2 \cdot I_r$ áramnál (I_r a beállított áram) a relé 4–10 s között old (a külön, 10A jelű osztálynál 2–10 s; **ellenőrizendő: MSZ EN 60947-4-1, gyártói adatlap**). Ez azért fontos, mert a közvetlen indítású motor indítóárama jellemzően $6\text{–}8 \cdot I_n$, és az indítás általában néhány másodpercig tart. A 10. osztály beállítása lehetővé teszi, hogy a motor elinduljon, de hosszú, megrekedt forgórészű indításnál még időben leoldjon.

Példa. Egy 7,5 kW-os motor névleges árama 15,4 A. A hőkioldó beállítási tartománya 10–16 A. Hová állítsuk?

Adott: $I_n = 15{,}4\,\mathrm{A}$.
Beállítás: 15,4 A-re. Ha a skála csak fél amperenként osztott, akkor a legközelebbi értéket választjuk; például 15,5 A – de a gyakorlatban a pontos értéket kell törekedni beállítani, és a gyártó adatlapja szerinti tűrésmezőt figyelembe venni.
Ellenőrzés: A motor indítási árama $6 \cdot 15{,}4 = 92{,}4\,\mathrm{A}$. A 10. osztályú hőkioldó $7{,}2 \cdot 15{,}4 = 110{,}9\,\mathrm{A}$ áramnál 4–10 s között old; kisebb áramnál is kiold, csak később. A döntés tehát nem az áramok összevetésén múlik, hanem azon, hogy az indítási idő (közvetlen indításnál jellemzően 1–5 s) rövidebb-e, mint a hőkioldó kioldási ideje az indítási áramnál a gyártói jelleggörbe hideg állapotú, alsó tűréshatára szerint (ellenőrizendő: gyártói görbe). Ha igen, a rövid indítás nem okoz kioldást.

31.3.3. A motorvédő kapcsoló: kombinált védelem

A hőkioldó relé önmagában nem véd a zárlat ellen, mert a bimetál túl lassú. A motor áramkörébe ezért kell egy zárlati védelmi eszköz is. A **motorvédő kapcsoló** (angolul motor protection circuit breaker, MPCB) ezt a két feladatot – túlterhelés- és zárlatvédelmet – egyetlen készülékben egyesíti. A motorvédő kapcsoló a motor névleges áramára állítható hőkioldóval és egy fix vagy állítható mágneses gyorskioldóval rendelkezik. A gyorskioldó a zárlati áramra azonnal lekapcsol.

Definíció. A **motorvédő megszakító** olyan kombinált védelmi készülék, amely a motor túlterhelése ellen bimetálos hőkioldóval, a zárlat ellen mágneses gyorskioldóval véd. Általában három pólusú, kézi kapcsolásra is alkalmas, és gyakran rendelkezik kiegészíthető segédérintkezőkkel, aláfeszültség-kioldóval, fázisvesztés- és aszimmetriavédelemmel.

A motorvédő kapcsoló kiválasztásakor a következő sorrendet kövessük:

1. **Névleges áramtartomány:** a motor névleges árama essen a kapcsoló állítható tartományába. Például ha a motor $I_n = 21\,\mathrm{A}$, válasszunk olyan kapcsolót, amelynek tartománya pl. 16–25 A.

2. **Megszakítóképesség:** a kapcsoló névleges zárlati megszakítóképessége (pl. 10 kA, 25 kA – jellemző értékek) legyen nagyobb, mint a beépítési helyen fellépő várható zárlati áram.

3. **Mágneses kioldó:** ellenőrizni kell, hogy a zárlati áram eléri-e a mágneses kioldó rögzített vagy beállított értékét. A motorvédő kapcsolóknál a gyorskioldó rögzített értéke jellemzően a beállítási tartomány felső értékének többszöröse (pl. 13-szorosa – **ellenőrizendő: gyártói adat**).

4. **Fázisvesztés-védelem:** egyes típusok beépítve tartalmazzák, másoknál kiegészítő egység szükséges.

Szabvány. A motorvédő kapcsolókat tipikusan az MSZ EN 60947 sorozat szerint vizsgálják (a megszakítókra az MSZ EN 60947-2, a motorindítókra a 60947-4 sorozat vonatkozó része – **ellenőrizendő: pontos szabványszám és kiadás**). A kapcsoló gyártói adatlapján szerepel a névleges üzemi feszültség, a beállítási tartomány, a rövidzárlati megszakítóképesség és a koordinációs típus (lásd a Készülékkiválasztás: áram, feszültség, élettartam, koordináció alfejezetet).

31.3.4. A kompakt megszakító és a szakaszoló/terheléskapcsoló szerepe

A motorvédő kapcsoló jól védi az egyes motort, de az ipari elosztóban gyakran nagyobb leágazásokat vagy fővezetékeket is védeni kell. Erre való a **kompakt megszakító** (röviden MCCB, moulded case circuit breaker). A kompakt megszakító nagyobb megszakítóképességgel rendelkezik, mint a kismegszakító, és az árambeállítása vagy a zárlati kioldója sokszor széles tartományban állítható. A motorvédő kapcsoló gyakorlatilag egy kis méretű, speciálisan motorvédelemre hangolt kompakt megszakítónak tekinthető, de a két termékcsalád különbözik a jelleggörbékben és a kiegészítőkben.

Definíció. A **kompakt megszakító** olyan tokos megszakító, amely nagyobb névleges áramú és nagyobb zárlati megszakítóképességű, mint a kismegszakító, és általában állítható hőkioldóval, mágneses kioldóval szerelik. A nagyobb elosztókban, ipari leágazásokban, épületfővezetékekben használják.

A karbantartáshoz és a hálózatról való leválasztáshoz szükség van **szakaszolóra** vagy **terheléskapcsolóra**. A kettő közötti különbség alapvető:

Definíció. A **szakaszoló** (isolator) olyan kapcsolókészülék, amelyet kizárólag feszültségmentes vagy gyakorlatilag árammentes állapotban szabad nyitni és zárni. Feladata a hálózatrész megbízható leválasztása látható érintkezőhézaggal, karbantartás vagy javítás előtt.
Definíció. A **terheléskapcsoló** (switch, load-break switch) olyan kapcsolókészülék, amely képes a névleges üzemi áram megszakítására és bekapcsolására, de zárlati áramot nem szakíthat meg. A terheléskapcsoló tehát üzemi kapcsolásra való, de zárlatvédelemre nem, és nem feltétlenül

alkalmas leválasztásra. Az üzemi kapcsolásra és leválasztásra egyaránt alkalmas készülék a szakaszoló-terheléskapcsoló (switch-disconnector); csak az ilyen jelölésű készülék használható mindkét célra **(ellenőrizendő: MSZ EN 60947-3)**.

A mondatban rejlő biztonsági különbség: a szakaszolót soha ne kapcsoljuk terhelés alatt, mert nincs terhelés-megszakító képessége, és az ív kioltására nem alkalmas (bár egyes szakaszolók kis áramot, pl. üresjárati transzformátor áramát megszakíthatnak – ezt a gyártói adatlap adja meg). A terheléskapcsoló ezzel szemben a motor kézi indítására/leállítására is használható lehet, amennyiben a gyártó arra minősíti.

Gyakorlati összehasonlítás. Egy 22 kW-os motor elosztószekrényében a főkapcsoló lehet terheléskapcsoló, mert az üzemeltető ezzel kapcsolja be és ki a motort a munkavégzés során. Ha a motor karbantartásához ki kell zárni a táplálást, akkor a leválasztást szakaszolóval is elvégezhetjük, de a szakaszolót már feszültségmentes állapotban kapcsoljuk. A gyakorlatban a gyártók sokszor **szakaszoló-terheléskapcsolót** (switch disconnector) kínálnak, amely megfelel a terheléskapcsoló követelményeinek és a szakaszoló leválasztási követelményeinek is – a pontos típus megnevezését mindig a katalógusból kell ellenőrizni.

31.3.5. PTC-védelem, fázisvesztés és aszimmetriavédelem

A bimetál hőkioldó a motor áramából következtet a tekercs melegedésére. Ez a hőmásolat azonban nem érzékeli a motor közvetlen hőmérsékletét, például ha a hűtőventilátor elromlik, vagy ha a porszűrő eldugul. Ezért pontosabb védelemre **PTC-termisztort** építenek a motortekercsbe.

Definíció. A **PTC-termisztor** (positive temperature coefficient) olyan hőmérsékletfüggő ellenállás, amelynek ellenállása egy adott hőmérséklet felett hirtelen, több nagyságrenddel megnő. A motor tekercsébe épített PTC-szenzor egy kiértékelő reléhez csatlakozik; ha a tekercs eléri a megengedett határhőmérsékletet, a relé lekapcsolja a mágneskapcsolót. A PTC-védelem közvetlen hőmérsékletvédelmet nyújt, függetlenül az áram nagyságától.

A PTC-relé használata gyakori nagy értékű vagy nehezen hozzáférhető motoroknál, például mélykút-szivattyúknál, légtechnikai motoroknál. A motorgyártó adatlapja megadja, hány PTC-szenzor van beépítve és milyen kapocspáron.

Fázisvesztés és aszimmetria. Háromfázisú motoroknál az egyik fázis kiesése súlyos melegedést okoz, mert a motor két fázison tovább forog, de a tekercsekben nagyobb áram folyik. A hagyományos bimetálos hőkioldó a fáziskiesést nem mindig érzékeli elég gyorsan, mert a bimetál fűtése a csökkent fázisszámú árammal is elhúzódó. A modern motorvédő kapcsolók beépített **fázisvesztés-érzékelővel** rendelkeznek: ha az egyik fázis árama tartósan nulla, miközben a másik kettő árama folyik, a készülék gyorsan kiold. Hasonlóképpen az **aszimmetriavédelem** a három fázis áramának egyenlőtlenségét figyeli, és túl nagy aszimmetria esetén leold. Ezek a funkciók nem helyettesítik a hőkioldót, hanem kiegészítik azt.

31.3.6. Számítási példák a beállításra és a zárlati védelemre

1. kidolgozott példa – motorvédő kapcsoló kiválasztása és a koordináció ellenőrzése

Adott: Háromfázisú aszinkron motor: $P_n = 11\,\text{kW}$, $U_n = 400\,\text{V}$, $\eta = 0{,}89$, $\cos\varphi = 0{,}82$. A beépítési helyen mért hurokimpedancia a motor kapcsainál $Z_s = 0{,}42\,\Omega$. A vezeték réz, $4\,\text{mm}^2$, terhelhetősége az adott szerelési módban $I_z = 27\,\text{A}$ (**ellenőrizendő: terhelhetőségi adat**).
Keresett: a motor névleges árama, a motorvédő kapcsoló beállítása, a zárlati áram, és annak ellenőrzése, hogy a kapcsoló megszakítóképessége megfelelő-e.

Megoldás:
1. **Névleges áram számítása.** Az összefüggés:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}\, U_n\, \eta\, \cos\varphi}.$$

Behelyettesítve:

$$I_n = \frac{11\,000\,\mathrm{W}}{\sqrt{3}\cdot 400\,\mathrm{V}\cdot 0{,}89\cdot 0{,}82} = \frac{11\,000}{1{,}732\cdot 400\cdot 0{,}89\cdot 0{,}82} \approx 21{,}8\,\mathrm{A}.$$

2. **Motorvédő kapcsoló beállítása.** Válasszunk olyan motorvédő kapcsolót, amelynek állítható tartománya lefedi a 21,8 A-t, például 16–25 A. A hőkioldót 21,8 A-re, a skálán a legközelebbi beállítható értékre (például 22 A) állítjuk; a névleges áram alá nem állítjuk.

3. **Vezetékvédelmi koordináció ellenőrzése.** A túlterhelésvédelmi feltétel:

$$I_b = 21{,}8\,\mathrm{A} \le I_r = 22\,\mathrm{A} \le I_z = 27\,\mathrm{A}.$$

Ez teljesül, tehát a vezetéket a motor túlterhelése ellen védi a kapcsoló.
4. **Zárlati áram számítása.** A fázis és a védővezető közötti hibaáram:

$$I_k = \frac{U_0}{Z_s} = \frac{230\,\mathrm{V}}{0{,}42\,\Omega} \approx 548\,\mathrm{A}.$$

A motorvédő kapcsoló mágneses gyorskioldója – ha annak rögzített értéke például a 16–25 A-es tartomány felső értékének 13-szorosa (**ellenőrizendő: pontos szorzó**) – $13 \cdot 25 = 325\,\mathrm{A}$ felett old, tehát a 548 A legkisebb hibaáram önmagában elegendő a gyors lekapcsoláshoz.
5. **Megszakítóképesség.** A megszakítóképességet nem a Z_s-ből számolt 548 A-hez hasonlítjuk (az a legkisebb, fázis–védővezető hibaáram, a mágneses kioldás ellenőrzésére való), hanem a beépítési helyen várható **legnagyobb** zárlati áramhoz (pl. az elosztósínen mért vagy számolt háromfázisú zárlati áram, $I_{k3,\max}$), amely sok kA is lehet. A katalógusban szereplő rövidzárlati megszakítóképesség gyakran 6 kA, 10 kA vagy 25 kA. Ha például $I_{k3,\max} = 8\,\mathrm{kA}$, a 6 kA-es típus nem, a 10 kA-es megfelel (**ellenőrizendő: hálózati adat, gyártói katalógus**).

2. kidolgozott példa – hőkioldó beállítás ellenőrzése indításnál

Adott: Motor névleges árama $I_n = 7{,}8\,\mathrm{A}$. A hőkioldó tartománya 6–10 A, kioldási osztálya 10. A motor indítási árama $6{,}5 \cdot I_n = 6{,}5 \cdot 7{,}8 = 50{,}7\,\mathrm{A}$, az indítás várható időtartama 8 s.
Keresett: Leold-e a hőkioldó a motor indításakor, ha a beállítás 7,8 A?

Megoldás:
A 10. osztály definíciója szerint a relének hideg állapotból $7{,}2 \cdot I_n = 7{,}2 \cdot 7{,}8 = 56{,}2\,\mathrm{A}$ áramnál kell kioldania legfeljebb 10 s alatt (**ellenőrizendő: pontos érték a gyártói görbéből**). Az indítási áram $50{,}7\,\mathrm{A} < 56{,}2\,\mathrm{A}$, de ez önmagában nem döntő: kisebb áramnál is kioldás történik, csak később. $6{,}5 \cdot I_n$ áramnál a 10. osztályú relé kioldási ideje hideg állapotból durva becsléssel kb. 5–12 s (a $7{,}2 \cdot I_r$-hez tartozó 4–10 s sávból az $I^2t \approx$ állandó közelítéssel; ellenőrizendő: gyártói görbe). A 8 s-os indítás ebbe a sávba esik, ezért a relé indítás közben leoldhat. Ezért 8 s-os indításhoz 20. osztályú hőkioldót ($6\,\mathrm{s} < t \le 20\,\mathrm{s}$ a $7{,}2 \cdot I_r$ áramnál) választunk (ellenőrizendő: gyártói görbe és MSZ EN 60947-4-1). Ha a motor forgórésze megakad, és az indítási áram hosszabb ideig fennmarad, a 20. osztályú relé is kiold, és megvédi a motort.

3. példa – hibás beállítás és következménye

Ugyanaz a motor: $I_n = 7{,}8\,\text{A}$. Ha valaki a hőkioldót 10 A-re állítja, hogy elkerülje a gyakori leoldást, akkor a relé csak 10 A fölött kezd el melegedni a bimetálban, de a motor tekercsének névleges árama továbbra is 7,8 A. Tartós 9 A-es üzemi áram mellett a relé nem old ki, pedig a motor máris túl van terhelve a megengedettnél. A tekercs hőmérséklete emelkedik, a szigetelés élettartama csökken, és végül a motor kiég. Ez a hiba a gyakorlatban gyakran előfordul, ha a beállítást „megemelik” a védelem kikerülésére.

31.3.7. Gyakorlati lépéssor: hőkioldó beállítása és ellenőrzése

Biztonsági korlát. A beállítás hálózati feszültségű elosztóban csak jogosult, arra képesített személy felügyeletével, feszültségmentes állapotban, az öt biztonsági szabály betartásával végezhető. Önállóan ne dolgozz feszültség alatt.

1. **Lekapcsolás:** áramtalanítsd az elosztót a főkapcsolóval vagy a leágazó védelemmel.

2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás:** reteszeld a kapcsolót, tegyél ki tiltó táblát.

3. **Feszültségmentesség ellenőrzése:** kézi feszültségvizsgálóval, utána működőképes mérőműszerrel ellenőrizd a fázisok, a nulla és a védővezető közötti feszültségmentességet.

4. **Földelés és rövidre zárás:** a munkavégzés módjától függően, ha szükséges.

5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése:** szükség esetén takard le a közeli aktív kapcsokat.

Ezután:

1. Olvasd le a motor adattáblájáról a névleges áramot.

2. Válaszd ki a hőkioldó beállítási tartományát úgy, hogy a motor névleges árama beleessen a tartományba, de ne a tartomány szélére essen (így a beállítás és az utólagos finomhangolás lehetséges); a pontos kiválasztást a gyártói táblázat adja.

3. Állítsd a mutatót a névleges áram értékére; ha a skála ezt nem teszi lehetővé, a legközelebbi értéket válaszd, és írd fel a jegyzőkönyvbe.

4. Ellenőrizd a kioldási osztályt a relén vagy a gyártói adatlapon (pl. class 10), és győződj meg róla, hogy alkalmas a motor indítási módszeréhez.

5. Ellenőrizd a segédérintkezők bekötését: a hőkioldó nyitóérintkezője a mágneskapcsoló tekercsének vezérlőkörébe legyen sorozva.

6. Kapcsolj vissza, majd végezz próbaindítást terheléssel, és figyeld meg, hogy a hőkioldó nem old-e le indokolatlanul.

31.3.8. Tipikus hibák

1. **A hőkioldó beállítását a motor indítási áramára emelik.** Ez elveszi a túlterhelés elleni védelmet, mert a bimetál a normál üzemi túláramot nem érzékeli a megfelelő időben. Helyes: a névleges áramra állítani, és szükség esetén más indítási módszert választani (pl.

csillag–delta, lágyindító).

2. **A szakaszolót terhelés alatt nyitják.** A szakaszoló nem terheléskapcsoló; terhelés alatti nyitáskor ív keletkezik, amely károsíthatja az érintkezőket és balesetet okozhat. Helyes: előbb a mágneskapcsolóval vagy terheléskapcsolóval áramtalanítani, azután szakaszolni.

3. **A motorvédő kapcsoló mágneses kioldóját túl magasra állítják vagy kikapcsolják.** Így a zárlati áram nem vált ki gyors lekapcsolást, a vezeték és a motor veszélybe kerül. Helyes: a gyári beállítást vagy a gyártó által megadott értéket használni.

4. **A PTC-szenzor kikötése.** Ha a PTC-relé hibát jelez, de a szerelő a szenzor kikötésével „megkerüli” a védelmet, a motor túlmelegedhet. Helyes: megkeresni a hiba okát, például a szellőzési problémát, és azt javítani.

5. **A motorvédő kapcsoló helyett kismegszakítót használnak.** A kismegszakító B, C vagy D karakterisztikája nem a motor névleges áramára való finom túlterhelésvédelmi beállításra készült, és a beállítható hőkioldó hiányzik belőle. Helyes: motorvédő kapcsoló vagy hőkioldó + megfelelő zárlatvédelem.

31.3.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A hőkioldó relé bimetálja a motor áramával melegszik (a hőhatás az áram négyzetével arányos), és túlterheléskor lekapcsolja a motort.

2. Mire kell állítani a hőkioldót: a motor indítási áramára, a motor névleges áramára vagy a vezeték terhelhetőségére?

3. Mi a különbség a szakaszoló és a terheléskapcsoló között?

4. Miért véd a PTC-szenzor akkor is, ha a motor árama nem haladja meg a névleges értéket?

5. Egy motorvédő kapcsolóval védett áramkörben a mért hurokimpedancia $Z_s = 0{,}35\,\Omega$. Mekkora a minimális zárlati áram a 230 V-os fázisfeszültségnél?

A válaszok a Megoldások részben találhatók.

31.3.10. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel, milyen védelmi funkciókat lát el a motorvédő kapcsoló, és milyeneket a hőkioldó relé önmagában!

2. feladat (A) Egy motor névleges árama 12 A. A hőkioldó tartománya 9–13 A. Milyen értékre állítsd? Indokold!

3. feladat (B) Egy háromfázisú motor adatai: $P_n = 5{,}5\,\text{kW}$, $U_n = 400\,\text{V}$, $\eta = 0{,}87$, $\cos\varphi = 0{,}80$. Számítsd ki a motor névleges áramát, és válassz hőkioldó tartományt!

4. feladat (B) A 3. feladat motorjának ellátásához 2,5 mm² rézvezetéket használnak, amelynek terhelhetősége a szerelési mód szerint $I_z = 20\,\text{A}$ (**ellenőrizendő**). Ellenőrizd a vezetékvédelmi koordinációt, ha a motorvédő kapcsoló beállítása a motor névleges áramának megfelelő!

5. feladat (C) Egy 16–25 A-es tartományú motorvédő kapcsoló mágneses kioldója a tartomány felső értékének 13-szorosa (jellemző érték). A motor névleges árama 21 A, a mért hurokimpedancia a motor kapcsainál $Z_s = 0{,}9\,\Omega$. Számítsd ki a zárlati áramot, és döntsd el, hogy a mágneses kioldó megfelelően leold-e!

6. feladat (D) A gyakorlati lépéssor alapján: írd le, hogyan ellenőriznéd a hőkioldó bekötését a mágneskapcsoló vezérlőkörébe, és milyen mérést végeznél el feszültségmentes állapotban!

Ezek a feladatok megalapozzák a Készülékkiválasztás: áram, feszültség, élettartam, koordináció és a Direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek alfejezetekben használt fogalmakat.

31.3.11. Megoldások

31.3.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A hőkioldó bimetálja a motor áramával melegszik (a hőhatás I^2-tel arányos), és tartós túlterhelésnél az érintkezőjével megszakítja a mágneskapcsoló vezérlőkörét.

2. A hőkioldót a motor **névleges áramára** kell állítani, nem az indítási áramra, mert a túlterhelést a névleges érték fölé növekvő tartós áram okozza. A vezeték méretezését külön, a $I_b \le I_r \le I_z$ összefüggéssel (I_b a motor üzemi árama, I_r a védelem beállított árama) ellenőrizzük.

3. A szakaszoló csak feszültségmentes állapotban kapcsolható, és leválasztásra szolgál; a terheléskapcsoló a névleges üzemi áram megszakítására is képes, és üzemi kapcsolásra alkalmas.

4. A PTC-szenzor a tekercs tényleges hőmérsékletét érzékeli, nem az áramot. Ha a hűtés romlik, a tekercs hőmérséklete megnő anélkül, hogy az áram meghaladná a névleges értéket; a PTC ezt érzékeli és leold.

5. $I_k = 230/0{,}35 \approx 657\,\text{A}$.

31.3.11.2. Feladatok megoldása

1. feladat (A)
A motorvédő kapcsoló túlterhelés- és zárlatvédelmet, valamint gyakran fázisvesztés- és aszimmetriavédelmet is ellát. A hőkioldó relé önmagában csak túlterhelésvédelmet nyújt; zárlat ellen nem véd.

2. feladat (A)
A hőkioldót a névleges áramra kell állítani: 12 A-re. Ez a 9–13 A tartományon belül van, így megfelelő.

3. feladat (B)

$$I_n = \frac{5\,500\,\text{W}}{\sqrt{3}\cdot 400\,\text{V}\cdot 0{,}87\cdot 0{,}80} = \frac{5\,500}{1{,}732\cdot 400\cdot 0{,}87\cdot 0{,}80} \approx 11{,}4\,\text{A}.$$

Válasszunk hőkioldót, amelynek tartománya lefedi ezt az áramot, például 9–13 A-t vagy 10–14 A-t. A lényeg, hogy a beállított érték a motor névleges árama legyen.

4. feladat (B)

$$I_b = 11{,}4\,\text{A}, \quad I_{\text{beállított}} = 11{,}4\,\text{A}, \quad I_z = 20\,\text{A}.$$

A feltétel: $I_b \le I_{\text{beállított}} \le I_z$, azaz $11{,}4 \le 11{,}4 \le 20$, ami teljesül. A 2,5 mm²-es vezetéket a hőkioldó megvédi túlterhelés ellen.

5. feladat (C)

$$I_k = \frac{230\,\text{V}}{0{,}9\,\Omega} \approx 255{,}6\,\text{A}.$$

A mágneses kioldó árama: $13 \cdot 25 = 325\,\text{A}$. Mivel $255{,}6\,\text{A} < 325\,\text{A}$, a zárlati áram nem éri el a gyorskioldó értékét, tehát ebben a példában a motorvédő kapcsoló **nem** oldana le mágnesesen. A hőkioldó csak másodpercek–percek alatt old, így a motorvédő kapcsoló nem old le gyorsan, ezért a hibavédelem önműködő lekapcsolási feltétele (TN, 230 V, legfeljebb 32 A-es végáramkör: 0,4 s; ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41) nem teljesül. Megoldás: a hurokimpedancia csökkentése (nagyobb keresztmetszet, rövidebb vezeték), kisebb mágneses kioldási küszöbű készülék vagy kiegészítő áram-védőkapcsoló (RCD). Lásd: Mérések II.: hurokimpedancia, zárlati áram, FI-vizsgálat.

6. feladat (D)
Feszültségmentes állapotban, az öt szabály betartásával:
- Ellenőrizd, hogy a hőkioldó nyitó (NC) segédérintkezője a mágneskapcsoló tekercsének (A1/A2) vezérlő áramkörében sorosan kapcsolódik.
- Multiméterrel, folytonosságvizsgálóval mérd meg, hogy a hőkioldó nyitóérintkezője zárt állapotú, amíg a hőkioldó nincs kioldva.
- Kézzel kapcsold ki a hőkioldót (próbakioldó), és mérd meg, hogy az érintkező nyit.
- Győződj meg róla, hogy a hőkioldó főáramköri kivezetései a motor és a mágneskapcsoló közötti fázisvezetőkbe vannak kötve.
- Ellenőrizd a beállítási skála értékét a motor adattáblájával.

31.3.12. Rövid összefoglaló

A motorvédő kapcsoló és a hőkioldó relé két alapvető eszköz a motor túláram elleni védelmére. A hőkioldó bimetálos hőmásolat, amelyet a motor névleges áramára kell beállítani; kioldási osztálya a túláram-idő jelleget határozza meg. A motorvédő kapcsoló kombinálja a hőkioldót és a mágneses zárlati gyorskioldót, így egy készülékben védi a motort a túlterhelés és a zárlat ellen. A kompakt megszakító nagyobb áramokra és megszakítóképességre készült; a szakaszoló csak feszültségmentes állapotban kapcsolható, a terheléskapcsoló az üzemi áramot is megszakítja. A PTC-védelem a tekercs tényleges hőmérsékletét figyeli, a fázisvesztés- és aszimmetriavédelem pedig a táplálási hibákból fakadó túlterhelést ismeri fel. A kiválasztásnál mindig az $I_b \le I_r \le I_z$ vezetékvédelmi koordinációt (I_r a védelem beállított árama), a zárlati áram elérését és a megszakítóképességet ellenőrizzük. Ezt az eredményt a Készülékkiválasztás: áram, feszültség, élettartam, koordináció és a Direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek alfejezetekben használjuk fel.

31.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

A szövegben szereplő szabványhivatkozások – MSZ EN 60947-2 (megszakítók), MSZ EN 60947-4 sorozat (motorindítók, motorvédő kapcsolók) – aktuális kiadását és a konkrét alkatrész-kategóriák vizsgálati feltételeit a kiadás előtt ellenőrizni kell. A beállítási tartományok, a mágneses kioldó szorzók, a kioldási osztályok pontos időértékei, a terhelhetőségi adatok és a megszakítóképesség

értékek tanulási célú, jellemző nagyságrendű számok; a tényleges kiválasztásnál mindig a gyártói katalógus és az aktuális szabvány a mérvadó. A példákban használt hurokimpedanciák és zárlati áramok szemléltető számítások, nem mért vagy előírt értékek.

31.4. Készülékkiválasztás: áram, feszültség, élettartam, koordináció

31.4.1. Motiváció

Egy ipari szerelőnek a munkahelyén gyakran kell egy-egy motort vagy fogyasztót új készülékkel ellátni. A legtöbb hiba nem abból adódik, hogy nincs elég nagy kismegszakító vagy mágneskapcsoló, hanem abból, hogy a kiválasztott elemek nem illeszkednek egymáshoz: a hőkioldó máskor old ki, mint ahogy a motor túlterhelése igényelné, a mágneskapcsoló érintkezői a motorindításnál összehegednek, vagy a zárlatvédelmi elem nem tudja megszakítani a várható zárlati áramot. Ebben az alfejezetben azt tanulod meg, hogyan válassz ki egy teljes motorindítót gyártói táblázatból úgy, hogy az áramerősség, a feszültség, az élettartam és a hibavédelem egyaránt rendben legyen.

Továbbvitt eredmény. A készülékkiválasztás itt tanult lépéseit használjuk a Direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek alfejezetben a vezérlési kapcsolás összeállításakor, valamint a Motorvédelmek, lágyindítók és frekvenciaváltók az elosztóban alfejezetben az ipari elosztóelemek méretezésekor.

31.4.2. Szemléletes kép: egy motorindító kiválasztása a gyártói katalógusból

Képzeld el, hogy egy műszaki raktárban állsz, és a polcon különböző mágneskapcsolók, motorvédő kapcsolók és hőkioldók sorakoznak. A motor adattáblájáról leolvastad a 7,5 kW-os, 400 V-os, 14,5 A névleges áramú adatokat. A katalógusban keresed a sorhoz tartozó motorindító kombinációt. A táblázat azt mondja: „7,5 kW, 400 V, 14,5 A → motorvédő kapcsoló 13–18 A, mágneskapcsoló 16 A AC-3” (a motorvédő kapcsoló tartalmazza a túlterhelésvédelmet, külön hőkioldó nem kell). Ha ezt a sort választod, és a szabványos koordinációt ellenőrzöd, a rendszer nemcsak működik, hanem zárlat esetén is megvédi a környezetet és a készüléket.

31.4.3. Névleges adatok és tartalék

Mielőtt bármilyen készüléket kiválasztanál, ismerned kell a fogyasztó és a hálózat jellemzőit:

- **Névleges üzemi feszültség** U_e – az a feszültség, amelyen a készülék tartósan üzemelhet. Ipari hálózatnál 400 V-os, 50 Hz-es háromfázisú rendszerrel dolgozunk.
- **Névleges üzemi áram** I_e – az az áramerősség, amelyet a készülék a megadott használati kategóriában, pl. AC-3 terhelés mellett, tartósan kapcsolni képes.
- **Névleges szigetelési feszültség** U_i – a készülék belső szigetelésének feszültségállóságára jellemző érték, amely legalább akkora legyen, mint a hálózati feszültség.
- **Névleges impulzusfeszültség** U_{imp} – a túlfeszültségi tűrőképesség; a túlfeszültség-védelmi rendszerrel együtt kell összehangolni.
- **Mechanikai élettartam** – a készülék kopás nélkül végzett kapcsolási műveleteinek száma.
- **Villamos élettartam** – azon kapcsolási műveletek száma, amelyeket a készülék névleges terhelőáram és feszültség mellett elvégez.

Definíció. A **készüléktartalék** azt jelenti, hogy a kiválasztott készülék névleges adatai nem pontosan egyenlőek a fogyasztó névleges adataival, hanem kismértékben meghaladják azokat, figyelembe véve a környezeti hőmérsékletet, a szerelési magasságot és a kapcsolási gyakoriságot. $I_e \geq I_n$ mindig szükséges, de a túlzott méretezés felesleges költséget és nagyobb védelmi hézagot okozhat.

Szabály. A motorvédő kapcsoló beállítási tartományának fednie kell a motor névleges áramát, úgy, hogy I_n ne a tartomány szélére essen (így a beállítás és az utólagos finomhangolás lehetséges); a pontos kiválasztást a gyártói táblázat adja. A hőkioldót mindig a motor névleges áramára, nem pedig a megengedett „maximálisra” kell állítani.

31.4.4. A koordináció 1-es és 2-es típusa

A készülékkiválasztás lelke a **motorindító koordináció**, vagyis annak ellenőrzése, hogy a zárlatvédő elem (például motorvédő kapcsoló vagy olvadóbetét), a mágneskapcsoló és a hőkioldó együttműködése zárlat alatt is biztonságos-e.

Definíció. A **motorindító koordináció** a gyártói táblázatban megadott kombináció, amely igazolja, hogy egy meghatározott zárlati áramig a teljes indítóberendezés ki tudja kapcsolni a hibát anélkül, hogy veszélyes állapot alakulna ki. A szabványos osztályozás:

- **1-es típusú koordináció (Type 1):** Zárlat esetén a készülékben károsodás keletkezhet, sőt a mágneskapcsoló érintkezői összehegedhetnek, de a kezelőt vagy a környezetet nem érheti veszély. A berendezés javítása vagy cseréje szükséges, mielőtt újraindítható lenne.
- **2-es típusú koordináció (Type 2):** Zárlat után a motorindító károsodás nélkül, karbantartás nélkül folytathatja az üzemet. Enyhe érintkezőhegedés megengedett, ha az érintkezők szerszám nélkül vagy egyszerű eszközzel könnyen szétválaszthatók.

A gyakorlatban az ipari motorindítókat – különösen folyamatos üzemű, karbantartást nehezen elviselő helyeken – 2-es típusú koordinációval választják. Az 1-es típus olcsóbb lehet, de a zárlat után hosszabb leállással és javítási költséggel kell számolni.

31.4.5. Kidolgozott példa: 7,5 kW-os motor indítójának kiválasztása

Példa. Válasszuk ki egy 400 V-os, 50 Hz-es, 7,5 kW-os, kalickás forgórészű, delta kapcsolású aszinkron motor teljes indítóját, ha a motor névleges árama $I_n = 14{,}5\,\mathrm{A}$, indítási módja közvetlen, a használati kategória AC-3. A várható legnagyobb zárlati áram az indító betáplálási pontján (az elosztósínen) $I_{k,\max} = 6\,\mathrm{kA}$ (ellenőrizendő: hálózati adat vagy számítás; nem a motor kapcsain, a fázis–PE hurokimpedanciából számolt hibaáram, az a legkisebb zárlati áram). A karbantartási igény szerint 2-es típusú koordinációt választunk.

Számítás. Először ellenőrizzük, hogy a motorvédő kapcsoló és a mágneskapcsoló névleges árama legalább eléri a motor áramát:

- Motorvédő kapcsoló beállítási tartománya: 13–18 A, beállítás 14,5 A (ez adja a zárlat- és a túlterhelésvédelmet; külön hőkioldó relé nem kell).
- Mágneskapcsoló AC-3 névleges árama $I_e = 16\,\mathrm{A} \geq 14{,}5\,\mathrm{A}$ (a gyártói táblázat szerint 14,5 A-hez a 16 A-es AC-3 kontaktor megfelel, ha a katalógus AC-3 kW-értéke a 7,5 kW-ot lefedi; a készülék-áram és a kW-érték gyártónként eltérhet, ezért a kiválasztási szabályt lásd a Mágneskapcsolók és relék alfejezetben; ellenőrizendő: gyártói katalógus).

A gyártói táblázat szerint ez a kombináció 2-es típusú koordinációval $I_q = 50\,\text{kA}$ feltételes zárlati áramig érvényes (ellenőrizendő: MSZ EN 60947-4-1, gyártói táblázat). Mivel a várható legnagyobb zárlati áram 6 kA, az indító megfelel.

Ellenőrzés. A motor névleges áramát $I_e \geq I_n$ feltétel alapján mindkét elem teljesíti, a zárlati tűrőképesség pedig nagyobb a várható legnagyobb zárlati áramnál. Ha a várható zárlati áram nagyobb lenne, nagyobb megszakító-képességű motorvédőt vagy olvadóbetétet kellene választani.

31.4.6. Kidolgozott példa: a kiválasztott mágneskapcsoló élettartama

Példa. A kiválasztott 16 A-es mágneskapcsoló gyártói adatai szerint mechanikai élettartama 10 000 000 működés, villamos élettartama AC-3, 400 V, 16 A terhelés mellett 1 200 000 működés (ellenőrizendő: gyártói adatlap). A gyártósor naponta 15 indítást végez, évente 250 munkanapon.

Számítás. A várható éves működésszám:

$$N_{\text{év}} = 15 \cdot 250 = 3750 \text{ működés/év}.$$

A villamos élettartamhoz viszonyított elvi élettartam:

$$t_{\text{villam}} = \frac{1\,200\,000}{3750} = 320 \text{ év}.$$

Értelmezés. A 320 év elvi érték, amelyet laboratóriumi, tiszta, névleges terhelés melletti vizsgálatokra ad meg a gyártó. A valóságban a kapcsolási tranziensek, a por, az emelkedett hőmérséklet és a rezgések ezt az értéket jelentősen csökkentik. Az ipari gyakorlatban 5–10 évenkénti megelőző csere és rendszeres karbantartás ajánlott, függetlenül a gyártói élettartam-értéktől (ellenőrizendő: gyártói karbantartási útmutató). A számítás arra tanít, hogy a kiválasztáskor ne csak a névleges áramot nézd, hanem a karbantartási tervet és a környezeti feltételeket is.

31.4.7. Szabvány: a koordináció és a készülékadatok kerete

Szabvány. A kapcsolókészülékek általános követelményeit az **MSZ EN 60947-1** (kisfeszültségű kapcsoló- és vezérlőkészülékek) határozza meg. A motorindítók, mágneskapcsolók és motorvédő kapcsolók követelményeit, valamint az 1-es és 2-es típusú koordináció vizsgálati feltételeit az **MSZ EN 60947-4-1** rögzíti (ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás). A kismegszakítókra és megszakítókra az **MSZ EN 60947-2** vonatkozik. A koordinációt mindig a gyártó által bevizsgált kombinációk alapján kell igazolni; önkényesen összeválogatott elemekre a szabvány nem ad garanciát.

31.4.8. Gyártói táblázatok olvasása (kiválasztási recept)

Gyakorlati recept. A gyártói táblázatok legtöbbször a motor teljesítménye és feszültsége alapján sorolják be a kiválasztott elemeket. Egy jellemző ipari táblázat felépítése:

Motor (kW, 400 V)	I_n (A)	Motorvédő kapcsoló beállítási tartománya (A)	Mágneskapcsoló AC-3 (A)	Hőkioldó beállítási tartománya (A) (csak motorvédő kapcsoló nélküli kombinációnál)	Max. zárlati áram Type 2 (kA)
3,0	6,5	5,5–8,0	9	5,5–8,0	50
7,5	14,5	13–18	16	12–18	50
15,0	28,5	24–32	32	24–32	50

A fenti táblázat szemléltető, a konkrét értékek mindig a gyártói katalógusban találhatók (ellenőrizendő: gyártói adatlap). Egy motorágban a túlterhelésvédelmet vagy a motorvédő kapcsoló, vagy a hőkioldó adja, sosem mindkettő: a hőkioldó oszlop a motorvédő kapcsoló nélküli kombinációra vonatkozik (zárlatvédő elem + mágneskapcsoló + hőkioldó relé). Minden motorvédő kapcsolónál tartományt adunk meg, nem egyetlen értéket.

Lépéssor:

1. Olvasd le a motor adattáblájáról a névleges feszültséget, teljesítményt és áramot.
2. Határozd meg az üzemmódot (közvetlen indítás, Y-Δ, lágyindítás) és a használati kategóriát (AC-3, AC-4).
3. Keresd ki a katalógusból a motorteljesítmény sorát.
4. Ellenőrizd, hogy a hőkioldó beállítási tartománya fedje a motor névleges áramát.
5. Ellenőrizd, hogy a mágneskapcsoló I_e értéke legalább a motor I_n értéke.
6. Ellenőrizd a zárlatvédő elem (motorvédő kapcsoló vagy olvadóbetét) megszakítóképességét a beépítési helyen várható legnagyobb $I_{k,\max}$ zárlati áramhoz képest.
7. Válaszd a kívánt koordinációs típust, és győződj meg arról, hogy a kiválasztott kombináció a gyártói táblázatban szerepel.

31.4.9. Valós életbeli alkalmazás: a hegedt kontakt

Egy üzemben egy szállítószalag motorjának mágneskapcsolója rendszeresen leállt. A szerelő a motor 15,2 A névleges áramához 16 A névleges áramú kontaktort választott. A készülék azonban már az első hetekben összehegedt, és a hőkioldó is többször oldott ki. A hibakeresés során kiderült, hogy a mágneskapcsolót az AC-1 oszlop 16 A-es értéke alapján választotta; az AC-1 csak ohmos terhelések kapcsolására alkalmas, motorindító szolgálatban az érintkezők erősen igénybevett váltakozó terhelést kapnak. Motorindításhoz az AC-3 oszlop szerinti $I_e \geq 15{,}2\,\text{A}$ kellett volna (ugyanabból a sorozatból ez nagyobb készülék). A hőkioldót a motor névleges áramára (15,2 A) kell állítani, és a kombinációnak a gyártói koordinációs táblázatban kell szerepelnie. A cserét követően a berendezés több éve hiba nélkül működik. A tanulság: a készülékválasztásnál a használati kategória és a koordináció ugyanolyan fontos, mint a névleges áram.

31.4.10. Tipikus hibák

- **A használati kategória figyelmen kívül hagyása.** A mágneskapcsolót csak az I_e áram alapján választják ki, de nem veszik figyelembe, hogy a terhelés AC-3 vagy AC-4 indítós, így az érintkezők hamar tönkremennek.

- **A hőkioldót nem a motor névleges áramára állítják.** Ha a beállítás túl nagy, a motor túlmelegszik; ha túl kicsi, indításkor kellemetlen leoldás következik be.
- **A zárlati védelmet nem a várható zárlati áramhoz méretezik.** A motorvédő kapcsoló vagy olvadóbetét megszakítóképessége kisebb, mint a hálózat I_k értéke, így zárlat esetén robbanásszerűen tönkremegy.
- **A koordinációs típust nem egyeztetik a karbantartási igénnyel.** Ha olcsó 1-es típusú indítót választanak folyamatos üzemű, nehezen hozzáférhető helyre, a zárlat utáni javítás hosszú leállást okoz.
- **Túlzott tartalék méretezése.** A készülékeket a motor áramának többszörösére választják abban a hitben, hogy az biztonságosabb. Ez feleslegesen drága, és a védelmi koordinációt is rontja, mert a hőkioldó nem ad pontos védelmet.

31.4.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis: A 2-es típusú koordinációnál zárlat után a mágneskapcsoló érintkezői soha nem hegedhetnek össze.
2. Sorold fel a készülékválasztás öt legfontosabb adatát.
3. Miért fontos a hőkioldó beállítási tartományának fednie a motor névleges áramát?
4. Egy motor $I_n = 10{,}2\,\text{A}$, a katalógusban a hőkioldó 8–12 A, a mágneskapcsoló 12 A, a motorvédő kapcsoló beállítási tartománya 9–14 A. Megfelel-e a kiválasztás, ha a várható zárlati áram 4 kA? Indokold!
5. Számítsd ki a motor névleges áramát: $P_n = 11\,\text{kW}$, $U = 400\,\text{V}$, $\cos\varphi = 0{,}84$, $\eta = 0{,}88$.
6. Mi a különbség a mechanikai és a villamos élettartam között, és melyiket használjuk a karbantartási tervben?

31.4.12. Feladatok

1. feladat (A) Definiáld röviden a névleges üzemi feszültség, a névleges üzemi áram és a használati kategória fogalmát.

2. feladat (A) Egy katalógus szerint egy AC-3 mágneskapcsoló névleges árama 18 A. Hány wattos maximális motorteljesítményt kapcsolhatunk 400 V-os, $\cos\varphi = 0{,}82$, $\eta = 0{,}87$ feltételezéssel?

3. feladat (B) Egy motor névleges árama 8,8 A, indítási árama $6{,}5 \cdot I_n$. A katalógusban a motorvédő kapcsoló beállítási tartománya 6–10 A, a mágneskapcsoló 9 A (külön hőkioldó nélkül). Az elosztósínen számított legnagyobb várható zárlati áram 3,2 kA. Válaszd ki a beállításokat, és ellenőrizd a koordináció feltételeit, ha a katalógus szerint a kombináció Type 2 max. 15 kA-ig érvényes.

4. feladat (B) Egy gyártósor naponta 12 indítást végez. A mágneskapcsoló gyártói villamos élettartama AC-3, 400 V, $I_e = 25\,\text{A}$ mellett 800 000 működés (ellenőrizendő). Számítsd ki az elvi élettartamot években, ha évente 230 munkanap van.

5. feladat (C) Egy üzemben a 15 kW-os motorhoz 25 A-es AC-3 mágneskapcsolót választottak, de a motor névleges árama 28,5 A. Emellett 24–32 A tartományú motorvédő kapcsolót és külön hőkioldót is választottak. Értékeld a kiválasztást, sorold fel a hibákat, és javasold a helyes kombinációt.

6. feladat (D) Egy motorindító zárlat után leoldott. A mágneskapcsoló érintkezői összehegedtek, a hőkioldó beállítása 14,5 A. A motor névleges árama 14,5 A. A karbantartó elmondja, hogy a kiválasztott kombináció 1-es típusú koordinációjú volt, mert olcsóbb volt. Milyen intézkedést javasolsz, és milyen készülékválasztási hibákat keresnél a gyártói táblázatban?

31.4.13. Megoldások

31.4.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A 2-es típusú koordinációnál enyhe hegedés megengedett, ha az érintkezők könnyen szétválaszthatók, de a készüléknek további javítás nélkül üzemképesnek kell maradnia.
2. A motor névleges feszültsége, árama, teljesítménye, használati kategória és a várható zárlati áram.
3. Mert a hőkioldó pontosan akkor véd, ha a motor áramát közvetlenül érzékeli; ha a tartomány nem fedi le a motor névleges áramát, a kívánt túláramvédelem nem hangolható megfelelően.
4. Igen, ha a zárlati megszakítóképesség legalább 4 kA, és a gyártói táblázat ezt igazolja. A 12 A-es mágneskapcsoló $I_e \geq I_n = 10{,}2\,\mathrm{A}$. A túlterhelésvédelmet vagy a 8–12 A-es hőkioldó (zárlatvédő elemmel együtt), vagy a 9–14 A tartományú motorvédő kapcsoló adja, de nem mindkettő; mindkét tartomány fedi a 10,2 A-t, és az I_n nem esik a szélére.
5. $I_n = \frac{11\,000}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0{,}84\cdot 0{,}88} = \frac{11\,000}{512{,}1} \approx 21{,}5\,\mathrm{A}$.
6. A mechanikai élettartam a kopástól független, üres kapcsolások száma; a villamos élettartam a névleges terhelőáram melletti kapcsolások száma. A karbantartási tervben a villamos élettartamot használjuk, de a környezeti tényezők miatt a gyakorlatban rövidebb ciklusokkal tervezünk.

31.4.13.2. Feladatok megoldásai

1. feladat megoldása

- Névleges üzemi feszültség: a készülék rendeltetésszerű működésre tervezett feszültsége.
- Névleges üzemi áram: a készülék által megadott használati kategóriában tartósan kapcsolható áram.
- Használati kategória: a terhelés típusát jellemző kód (pl. AC-1 ohmos, AC-3 motorindítás), amely meghatározza az érintkezők igénybevételét.

2. feladat megoldása

A motor teljesítménye:

$$P = \sqrt{3}\cdot U \cdot I_e \cdot \cos\varphi \cdot \eta = \sqrt{3}\cdot 400 \cdot 18 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}87$$

$$P = 1{,}732 \cdot 400 \cdot 18 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}87 \approx 8{,}9\,\mathrm{kW}.$$

Tehát legfeljebb 8,9 kW-os motorhoz választható ez a 18 A-es AC-3 mágneskapcsoló a feltételezett hatásfokkal és teljesítménytényezővel.

3. feladat megoldása

A motorvédő kapcsoló 6–10 A tartománya fedi a 8,8 A-t, és az érték nem esik a tartomány szélére; a beállítást 8,8 A-re tesszük, ez adja a túlterhelés- és a zárlatvédelmet, külön hőkioldó nem kell. A mágneskapcsoló 9 A $\geq$ 8,8 A, tehát megfelel. A 3,2 kA várható zárlati áram kisebb, mint a 15 kA Type 2 határ, így a kombináció megfelel. Az indítási áramot a mágneskapcsoló és a zárlatvédelem a katalógus szerint elviseli.

4. feladat megoldása

Az évi működésszám:

$$N_{\text{év}} = 12 \cdot 230 = 2760.$$

Az elvi élettartam:

$$t = \frac{800\,000}{2760} \approx 290 \text{ év}.$$

Az érték a gyártói laborfeltételek melletti elvi számítás; a valóságban karbantartási ciklus rövidebb.

5. feladat megoldása

A mágneskapcsoló 25 A-es, ami kisebb a motor 28,5 A névleges áramánál, ezért $I_e < I_n$, azonnal túlterheli. A 24–32 A tartományú motorvédő kapcsoló lefedi a 28,5 A-t, a mágneskapcsoló nem. Második hiba a kettős túlterhelésvédelem: motorvédő kapcsoló mellett külön hőkioldó nem kell. Helyes választás: motorvédő kapcsoló 24–32 A (beállítás 28,5 A) + legalább 32 A-es AC-3 mágneskapcsoló, külön hőkioldó nélkül, a gyártói táblázat szerinti koordinált kombinációban (ellenőrizendő: gyártói katalógus).

6. feladat megoldása

Először a motorindítót le kell választani: a hegedt mágneskapcsoló nem kapcsol ki, ezért a motorvédő kapcsolóval vagy a szakaszolóval kell megszakítani a táplálást, az öt biztonsági szabály szerint feszültségmentesíteni (lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, a szomszédos részek lefedése), és megkeresni a zárlat okát (szigetelésmérés a motoron és a kábelen, kötések, kapcsok). Az 1-es típusú koordináció zárlat után javítást/cserét igényel, ezért a hegedt érintkezők nem váratlanok, a sérült mágneskapcsolót cserélni kell. Folyamatos üzemhez a gyártói táblázat szerinti 2-es típusú koordinációjú kombinációt kell választani. A hőkioldó beállítása (14,5 A) a motor névleges áramának megfelel, de ez nem igazolja, hogy a zárlat oka megszűnt: a hibaok felderítése nélkül nem szabad visszakapcsolni.

31.4.14. Rövid összefoglaló

A készülékválasztás lényege, hogy a fogyasztó valós igényeiből indul ki, és a gyártói kombinációkat alkalmazza. Minden kapcsolókészüléknél ellenőrizni kell a névleges üzemi feszültséget, az üzemi áramot, a használati kategóriát, a zárlati megszakítóképességet és a várható élettartamot. A motorindítók esetében a hőkioldó beállítási tartományának fednie kell a motor névleges áramát, a mágneskapcsoló I_e értékének legalább I_n-nek kell lennie, és a zárlatvédő elemnek ki kell bírnia a hálózat várható I_k zárlati áramát. A koordináció 1-es típusa zárlat után javítást enged, a 2-es típus pedig karbantartás nélküli újraindítást tesz lehetővé. **Továbbvitt eredmény:** a készülékválasztás itt tanult lépéseit a direktindítás vezérlése és az ipari elosztóberendezések motorvédelme során alkalmazzuk, mindig a gyártói táblázat és a hatályos MSZ EN 60947 sorozat szerint.

31.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

Szabványi hivatkozásokat az MSZ EN 60947 sorozat témájában (60947-1, -2, -4-1) jeleztem; a konkrét kiadás és a szakaszszámok ellenőrzendők. A gyártói táblázatban szereplő típusok és határértékek tanulási példák, az éles kiválasztáshoz a gyártó aktuális katalógusát és a hatályos szabványt kell használni.

32 Motorvezérlések

32.1. Direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek

32.1.1. Motiváció: miért kell önfenntartás egy motorindításhoz?

Egy műhelyben a háromfázisú aszinkron motort nem a főkapcsolóval akarjuk be- és kikapcsolni, hanem egy gombnyomással. Ha a motort közvetlenül egy nyomógombbal kapcsolnánk, akkor a gombot mindaddig nyomva kellene tartani, amíg a motornak forognia kell. Ez elfogadhatatlan: a munkásnak két kézre van szüksége, és a nyomógomb érintkezője sem erre a tartós áramra készült. A megoldás a **mágneskapcsoló** és az **önfenntartás**: a START gomb csak a vezérlőáramkörben ad jelet, a mágneskapcsoló tekercse meghúz, a főérintkezői bekapcsolják a motort, egy segédérintkezője pedig párhuzamosan kapcsolódik a START gombbal, így a gomb elengedése után is fennmarad a vezérlés. A STOP gomb megnyomásakor a tekercs áramköre megszakad, a mágneskapcsoló elenged, a motor leáll.

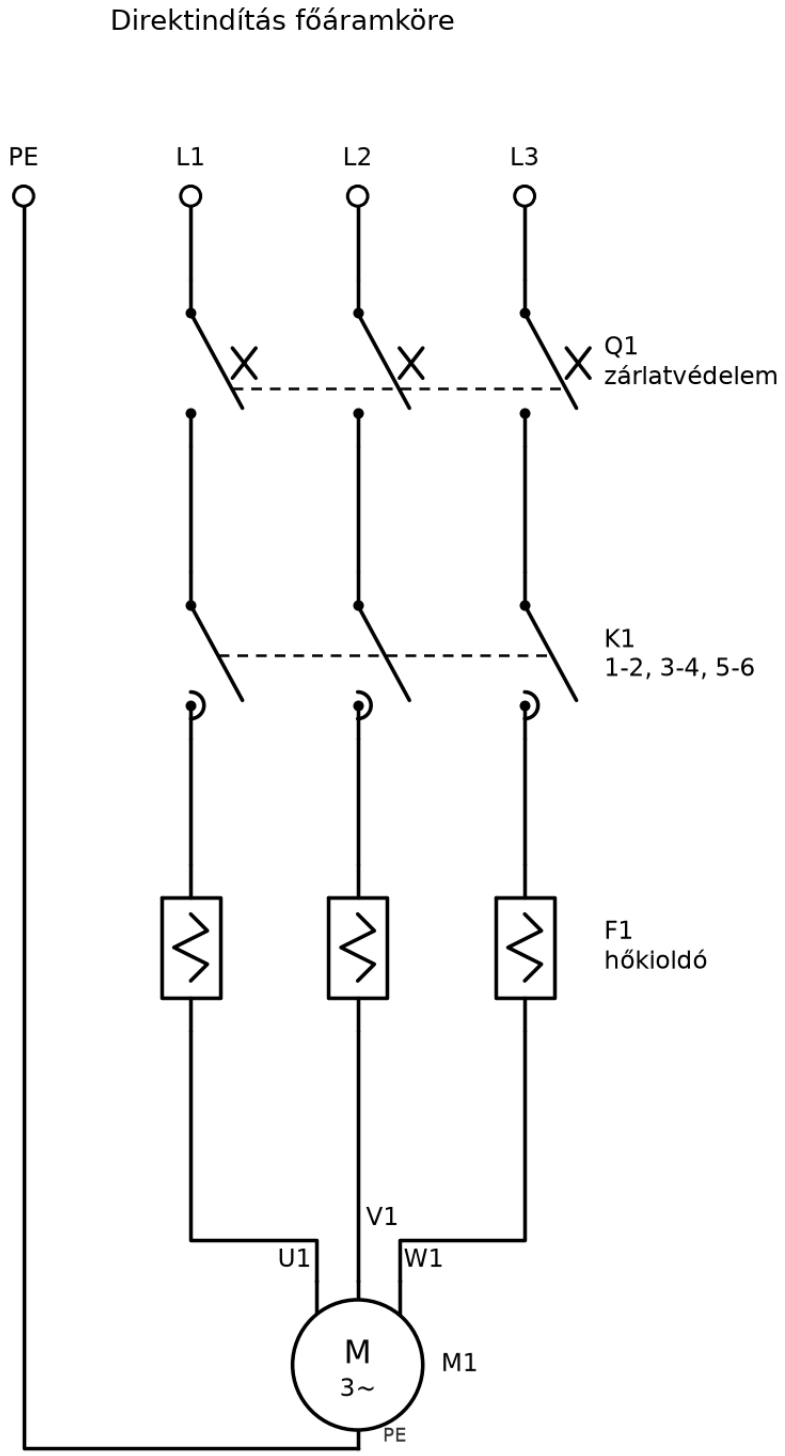
Ez a kapcsolás a **direktindítás** (közvetlen indítás) alapja, és szinte minden motorvezérlés – így a Reverzáló kapcsolás és reteszelés és a Csillag–delta indítás vezérlése – erre épül.

32.1.2. Szemléletes kép: a kapcsolás két része

A direktindítós, egyirányú motorvezérlés két áramkört tartalmaz:

- **Főáramkör:** a hálózatból a motorba vezető háromfázisú út. Ebben van a zárlatvédelem (Q1: mágneses kioldású motorvédő megszakító, olvadóbiztosító vagy kismegszakító), a mágneskapcsoló főérintkezője (K1), a hőkioldó (F1; elmarad, ha Q1 hőkioldós motorvédő kapcsoló) és a motor (M1).
- **Vezérlőáramkör:** a mágneskapcsoló tekercsét vezérlő áramkör, amelyben a STOP nyomógomb (S0, NC), a START nyomógomb (S1, NO), a K1 önfenntartó segédérintkező (13–14) és a K1 tekercs található.

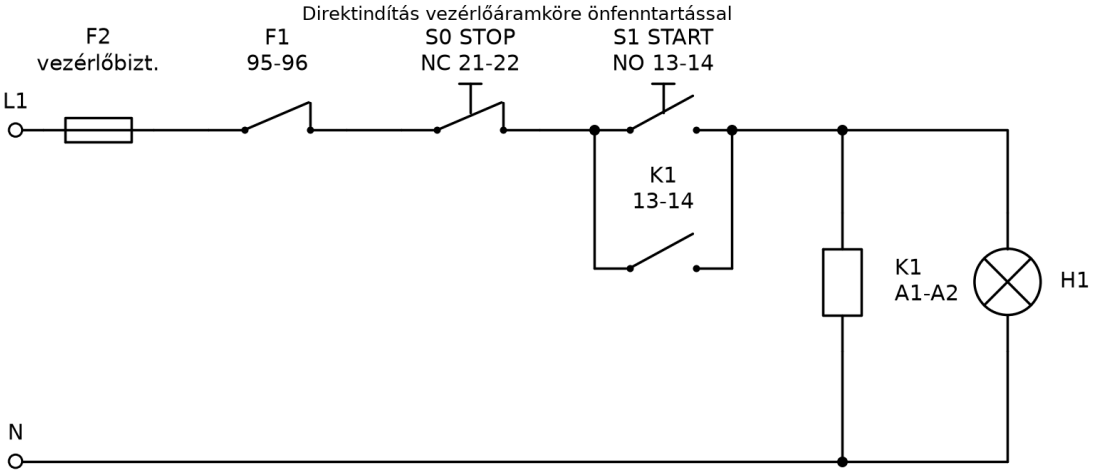
A főáramkör:



32.1. ábra. Direktindítás főáramköre - Háromfázisú aszinkron motor közvetlen indítása: L1, L2, L3 külön vezetéken a Q1 háromsarkú zárlatvédelmi készüléken (csak mágneses kioldású motorvédő megszakító vagy kismegszakító; hőkioldós motorvédő kapcsolónál a külön F1 elmarad), a K1 mágneskapcsoló főérintkezőin (1-2, 3-4, 5-6) és az F1 hőkioldó hőelemein át az M1 motor U1, V1, W1 kapcsára; a motortest a PE-re csatlakozik. A rajz szemléltető, a gyakorlati kivitelezéshez a gyártói adatlapok és a hatályos szabványok a mérvadók.

A rajzon a három fázis (L1, L2, L3) külön vezetéken fut a motorig, a motortest a PE-re csatlakozik. A Q1 zárlatvédelmi készülék (csak mágneses kioldású motorvédő megszakító vagy kismegszakító) megszakítja mindhárom fázist; ha Q1 hőkioldós motorvédő kapcsoló, a külön F1 elmarad. A K1 mágneskapcsoló főérintkezői az indító jelet követően zárnak, a F1 hőkioldó pedig az állandó túlterhelés ellen védi a motort. A hőkioldó a fázisokban folyó áram alapján érzékeli a melegedést, és **95–96** jelű NC segédérintkezőjével megszakítja a vezérlőáramkört. A motor a három fázisra csatlakozik a kapocsdobozban (U1–V1–W1, U2–V2–W2).

A vezérlőáramkör:



32.2. ábra. Direktindítás vezérlőáramköre önfenntartással - L1 → F2 vezérlőköri biztosító → F1 95-96 hőkioldó bontó → S0 STOP (NC) → S1 START (NO), vele párhuzamosan a K1 13-14 önfenntartó NO segédérintkező → K1 tekercs A1-A2 → N. A H1 jelzőlámpa a tekercs A1 kapcsáról (külön ágon) az N-re csatlakozik, tehát a tekercssel párhuzamos. Alapállapot (feszültségmentes) rajz; a bekötéshez a gyártói adatlapok a mérvadók.

A felső vonal az L1 fázis, az alsó az N nulla. A sorrend: az L1-ről először az **F2 vezérlőköri biztosító**, majd az **F1 hőkioldó 95–96 NC** érintkezője következik, utána a **STOP nyomógomb S0** (NC), majd a **START nyomógomb S1** és a vele párhuzamosan kapcsolt **K1 13–14 önfenntartó érintkező**. A két párhuzamos ág közös pontjáról a K1 tekercs (A1–A2) következik, és a kör az N felé záródik. A H1 jelzőlámpa a tekercs A1 kapcsáról külön ágon kap feszültséget (a tekercssel párhuzamos), tehát akkor világít, ha a K1 tekercs feszültséget kap.

32.1.3. Pontos definíciók és szabályok

Definíció. A **direktindítás** (közvetlen indítás) olyan motorindítási mód, amelynél a motor a hálózatra kapcsolva azonnal, teljes feszültséggel indul. A motoroknál ez a legegyszerűbb és leggyakoribb megoldás, ha a hálózat elbírja az indítási áramlökést.

Definíció. Az **önfenntartás** (önfenntartó áramkör) olyan vezérlőáramkör, amelyben a mágneskapcsoló saját NO segédérintkezője (13–14) párhuzamosan van kapcsolva a START nyomógombbal. Amikor a tekercs meghúz, ez az érintkező zár, és a START gomb elengedése után is tartja a tekercs áramkörét.

Definíció. A **mágneskapcsoló** olyan elektromágneses kapcsolókészülék, amely a tekercs gerjesztésekor zárja a főérintkezőit, és az áramkörből elengedve (a tekercs feszültségmentesítésekor) visszatér nyitott állapotba. A főérintkezők a főáramkört, a segédérintkezők a vezérlőáramkört kapcsolják.

Szabály. A direktindítású, egyirányú motorvezérlés főáramkörében a sorrend:

1. Táplálás (L1–L2–L3)
2. Zárlatvédelem (Q1): csak mágneses kioldású motorvédő megszakító, olvadóbiztosító vagy kismegszakító
3. Mágneskapcsoló főérintkezői (K1)
4. Hőkioldó (F1) – elmarad, ha Q1 hőkioldós motorvédő kapcsoló (ekkor a lánc Q1–K1–M1)
5. Motor (M1)

Szabály. A vezérlőáramkörben a sorrend:

1. A hőkioldó NC segédérintkezője (F1 95–96) – a vezérlőköri biztosító (F2) után
2. STOP nyomógomb (NC érintkező, kapocsjelölés x1–x2: a könyv rajzain 21–22, a RAJZJELEK függelékben 11–12 – az első számjegy csak sorszám, a második számjegy (1–2) jelzi a bontó érintkezőt; vagy a gyártó szerinti NC)
3. START nyomógomb (NO érintkező: 13–14)
4. Ezzel párhuzamosan a K1 önfenntartó NO segédérintkező (13–14)
5. A mágneskapcsoló tekercse (A1–A2)

A **STOP gomb** és a **hőkioldó bontója** azért van a párhuzamos (START ‖ K1 13–14) ág előtt, mert így mindkettő minden üzemállapotban bontja a tekercskört: akár a START gombon, akár az önfenntartó érintkezőn át kap feszültséget a tekercs. Megnyomott STOP-nál vagy kioldott hőkioldónál a tekercs elenged, és a motor leáll. Villamosan a két soros bontó egymás közti sorrendje felcserélhető; a könyv rajzain egységesen az F1 95–96 áll elöl.

Szabvány. A gépek villamos berendezéseinek tervezésére és kivitelezésére az **MSZ EN 60204-1** vonatkozik; a kapcsolókészülékekre (mágneskapcsolóra, motorvédőre) az **MSZ EN 60947** sorozat, a vezérlőkészülékekre (nyomógombok, jelzőlámpák) az **MSZ EN 60947-5-1**. A pontos szakasz- és táblázatszámok ellenőrzendők az aktuális kiadásban. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás)**

Szabály. A kezelőszervek színjelölése: az **INDÍTÓ (START) gomb általában zöld vagy fehér**, a **STOP gomb fekete vagy piros**, a **VÉSZLEÁLLÍTÓ gomb piros, sárga alátéten**. A szín mellett a feladat és a felirat is számít; a vészleállítónak egyértelműen el kell térnie a normál kezelőszervektől. **(ellenőrizendő: a gyártói katalógus és a vonatkozó gépbiztonsági szabvány)**

Továbbvitt eredmény. Az önfenntartás elve és a K1 13–14 segédérintkező párhuzamos kapcsolása a START gombbal, valamint a STOP NC érintkező soros elhelyezése az alap, amelyre a Reverzáló kapcsolás és reteszelés, a Csillag–delta indítás vezérlése és a Kétsebességű, sorrendi és késleltetett vezérlések alfejezetek épülnek.

32.1.4. Kidolgozott példák

Példa 1 – Motor névleges áramának kiszámítása és a főáramköri védelem kiválasztása.

Egy műhelyben egy **5,5 kW** névleges teljesítményű, **400 V** háromfázisú aszinkron motort kell direktindítással működtetni. Az adattábla szerint a hatásfok $\eta = 0{,}85$, a teljesítménytényező

$\cos\varphi = 0{,}82$. Határozzuk meg a motor névleges áramát, és válasszunk hőkioldót, mágneskapcsolót és a kör zárlatvédelmét.

Adott: - $P_{\text{tengely}} = 5{,}5\,\text{kW} = 5500\,\text{W}$ - $U_v = 400\,\text{V}$ - $\eta = 0{,}85$ - $\cos\varphi = 0{,}82$

Keresett: a motor névleges vonali árama I_n.

Képlet: a háromfázisú hatásos villamos teljesítmény:

$$P_{\text{vill}} = \frac{P_{\text{tengely}}}{\eta}$$

$$P_{\text{vill}} = \sqrt{3}\,U_v\,I_n\,\cos\varphi$$

Ebből a névleges áram:

$$I_n = \frac{P_{\text{tengely}}}{\eta\,\sqrt{3}\,U_v\,\cos\varphi}$$

Behelyettesítés:

$$I_n = \frac{5500\,\text{W}}{0{,}85 \cdot \sqrt{3} \cdot 400\,\text{V} \cdot 0{,}82}$$

$$I_n = \frac{5500}{0{,}85 \cdot 1{,}732 \cdot 400 \cdot 0{,}82} \approx 11{,}4\,\text{A}$$

Ellenőrzés: A motor teljesítménytényezője és hatásfoka miatt a felvett villamos teljesítmény nagyobb a tengelyteljesítménynél, ezért az áram 10 A felett várható. A kapott 11,4 A reális.

Eredmény: A hőkioldó (F1) beállítási tartománya legalább **10 A és 16 A között** legyen, és a motor adattáblája szerinti névleges áramra kell állítani. Ha a motor üzeme folyamatos, akkor a beállított érték a névleges áram közelébe kerül. A mágneskapcsolót **AC-3 használati kategóriában** legalább **12 A vagy 16 A** névleges árammal válasszuk, mert a 11,4 A-t a kisebb készülék nem kapcsolja tartósan. Q1: motorvédő kapcsoló (ajánlott, lásd a Motorvédő kapcsoló, hőkioldó, megszakító és szakaszoló alfejezetet), vagy C/D jellegű, például 16 A-es kismegszakító és hőkioldó. Az indítási áramlökés a névleges áram 6–8-szorosa is lehet, ezért a kismegszakító mágneses kioldása nem szólalhat meg indításkor; a D jelleg mágneses kioldási árama azonban $10\text{–}20 \cdot I_n$, ezért a hibavédelmi feltétel ($Z_s \cdot I_a \le U_0$) csak kis hurokimpedanciánál teljesül: D16-nál $I_a = 320\,\text{A}$, $Z_s \le 230/320 \approx 0{,}72\,\Omega$; C16-nál $I_a = 160\,\text{A}$, $Z_s \le 1{,}44\,\Omega$. A D jelleg tehát nem „biztonságosabb”, csak nagyobb indítóáramhoz való (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41, gyártói adat). **(ellenőrizendő: gyártói adatlapok, MSZ EN 60947-4-1, MSZ EN 60898-1)**

Példa 2 – A jelút követése az önfenntartó áramkörben.

A vezérlőáramkört elemezzük lépésről lépésre a fenti rajz alapján.

A kiindulási állapotban a K1 tekercs feszültségmentes, a főérintkezői nyitottak, a motor áll. A H1 lámpa nem világít.

1. **START gomb (S1) megnyomása:** a gomb NO érintkezője zár. Az áramkör az L1-től az F2 biztosítón, az F1 95–96 és az S0 NC érintkezőn át, majd a zárt S1-en keresztül a K1 tekercshez, onnan az N felé záródik. A tekercs meghúz.

2. **Az önfenntartás kialakulása:** a meghúzott mágneskapcsoló egyúttal zárja a **K1 13–14** segédérintkezőt is. Ez az érintkező párhuzamosan van az S1 gombbal, tehát a tekercs áramköre most már két úton is zárhat: a gombon át vagy a K1 13–14-en át.
3. **START gomb elengedése:** az S1 újra nyit, de a K1 13–14 érintkező már zárva tartja a tekercs áramkörét. A motor tovább jár, a H1 lámpa világít.
4. **STOP gomb (S0) megnyomása:** az S0 NC érintkezője nyit, megszakad a tekercs áramköre, a mágneskapcsoló elenged. A K1 főérintkezők nyitnak, a motor leáll, a K1 13–14 is nyit, és az áramkör visszaáll kiindulási állapotba.
5. **Hőkioldó kioldása:** túlterheléskor az F1 NC 95–96 érintkezője szintén megszakítja a tekercs áramkörét, a motor leáll. A visszaállítás kézi nyugtázással, a hőkioldó reset gombjával történik.

Ez a lépéssorozat a **rajz–valóság–mérés** hármasban ellenőrizhető: a rajzon látjuk a zárt/nyitott érintkezőket, a valós kapcsolásban a mágneskapcsoló kattanását halljuk, multiméterrel pedig a tekercs A1–A2 kapcsain mérhetjük a vezérlőfeszültséget.

32.1.5. Szabvány és biztonsági követelmények

Szabvány. A gépek villamos berendezéseinek – ide értve a motorvezérléseket – tervezésére, kivitelezésére és dokumentálására az **MSZ EN 60204-1** szabvány vonatkozik. A mágneskapcsolók és motorvédő kapcsolók kiválasztására az **MSZ EN 60947-4-1**, a nyomógombok és jelzőlámpák kiválasztására az **MSZ EN 60947-5-1** szolgál. A kapocsjelölések, a színek és a rajzjelek tekintetében az **MSZ EN 60617**-et használjuk. A hálózati feszültségű munkavégzésre a vonatkozó villamos biztonsági szabvány, így az **MSZ HD 60364-4-41** áramütés elleni védelmi fejezete is irányadó. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadások)**

Szabály. A vezérlőáramkör feszültségét mindig a mágneskapcsoló tekercsének adattáblája határozza meg. Gyakori a **230 V AC** vezérlés, de törpefeszültségű (24 V DC vagy 24 V AC) rendszerek is elterjedtek biztonsági okokból. A tanműhelyi gyakorlatok során **csak törpefeszültségű vezérlést** szabad építeni, kivéve, ha jogosult oktató felügyeletével, a vonatkozó szabályok szerint hálózati feszültségű munkát végzünk. **(ellenőrizendő: a gyártói adatlap, a tanműhelyi szabályzat)**

Szabály. A vészleállító beépítésekor azt a vezérlőáramkörben sorosan, a tekercs előtt kell elhelyezni; ez a K1 tekercsét ejti, ezért hegedt főérintkező ellen nem véd, ahhoz független második lekapcsolóelem (második kontaktor, kioldótekercses motorvédő vagy főkapcsoló) is kell (ellenőrizendő: MSZ EN 60204-1, MSZ EN ISO 13850). A vészleállító ne legyen megkerülhető, és reteszelő típusú legyen: megnyomás után kézzel kell visszaállítani.

Biztonsági korlát. A feladat hálózati feszültségen csak jogosult, arra képesített személy által végezhető el, a hatályos előírások szerint. A tanuló ilyen munkát önállóan nem gyakorolhat; jelen leírás tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik. Hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

32.1.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy fémmegmunkáló műhelyben egy régebbi fúrógép motorja időnként nem állt le a STOP gomb megnyomására. A szerelő előbb a nyomógombot cserélte, de a hiba megmaradt. Ezután a mágneskapcsolót vizsgálta meg. Kiderült, hogy a K1 főérintkezői az ívhatás miatt **összehegedtek**: a tekercs elengedése után is zárva maradtak. A motor így tovább forgott; sem a STOP, sem a csak a K1 tekercsének áramkörét bontó vészleállító nem segített, végül a főkapcsolóval kellett leválasztani.

A tanulság: a tekercskörbe kötött vészleállító ugyanúgy a K1 tekercsét ejti, mint a STOP, ezért hegedt főérintkező ellen nem véd; a hegedés elleni vészleállítás csak akkor hatásos, ha független második lekapcsolóelemre (második kontaktor, kioldótekercses motorvédő vagy főkapcsoló) is hat – ezt a gép kockázatértékelése és az MSZ EN 60204-1 határozza meg (ellenőrizendő). A mágneskapcsolót rendszeresen ellenőrizni kell. A hőkioldó ebben az esetben nem feltétlenül véd a beragadt főérintkező ellen, ezért a karbantartási tervben a mágneskapcsoló állapotát és a főérintkezők kopását is szerepeltetni kell. A hibás mágneskapcsolót azonnal cserélni kell, nem „megjavítani”, mert a beragadt érintkező balesetveszélyes. **(ellenőrizendő: a karbantartási követelmények a helyi üzemeltetési szabályzatban)**

32.1.7. Gyakorlati útmutató: direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek bekötése tanműhelyi környezetben

Cél: A tanuló önállóan építse meg egy egyirányú, direktindításos motorvezérlés fő- és vezérlőáramkörét törpefeszültségű modellező panelen, ellenőrizze a működést, és dokumentálja a kapcsolást.

Eszközök és anyagok: - Tanulópanel, törpefeszültségű tápegység (pl. 24 V DC vagy 24 V AC) - Mágneskapcsoló (a tekercsfeszültség a tápegységhez illeszkedő) - Motorvédő kapcsoló vagy kismegszakító (a törpefeszültségű modellhez) - Hőkioldó (a modellben használható, vagy a 95–96 NC szimulálható) - Nyomógombok: S1 (NO, zöld), S0 (NC, piros) - Jelzőlámpa H1 - Vezetékek, szerelőszerszámok, multiméter - Kapcsolási rajz (a fenti két diagram)

Biztonsági korlát. A feladat csak törpefeszültségű környezetben végezhető. Hálózati feszültségű (230/400 V) munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet, a hatályos előírások szerint. A tanuló ilyen munkát önállóan nem gyakorolhat.

Az öt biztonsági szabály (törpefeszültségű munkánál is kötelező):

1. **Lekapcsolás:** a tápegységet és a hálózati oldalt feszültségmentesítsd.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás:** a kapcsolót rögzítsd, helyezz el figyelmeztető táblát.
3. **Feszültségmentesség ellenőrzése:** multiméterrel, két ponton is ellenőrizd, hogy nincs feszültség.
4. **Földelés és rövidre zárás** (hálózati munkánál): a munkaterületet a szabvány szerint földelni kell; törpefeszültségű modellen a gyakorlat szerint elegendő a feszültségmentességet igazolni, de az eljárást ismerni kell.
5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése:** ha a panelen másik áramkör feszültség alatt van, azt takard le.

Lépések:

1. **Készítsd elő a rajzot.** Nyomtasd ki vagy rajzold le a fő- és vezérlőáramkör tervét, azonosítsd a kapcsokat: Q1 (3 pólus), K1 főérintkezők, F1 hőkioldó, M1 motor, S1, S0, K1 tekercs, H1.
2. **Kösd be a főáramkört.** A tápegység csatlakozóitól indulj: a törpefeszültségű modellben az L1–L2–L3 szerepét egy 3 × 24 V AC biztonsági transzformátor kimenete tölti be, a motort pedig három, csillagba kötött 24 V-os jelzőlámpa (vagy a transzformátorról táplált kis modellmotor) helyettesíti. Kösd a Q1, majd a K1 főérintkezők, az F1 hőkioldó és a motor kapcsait sorba. Ügyelj arra, hogy minden kapocs megfelelően meg legyen húzva. **(ellenőrzés:** multiméterrel, feszültségmentes állapotban, folytonosságvizsgálattal: a Q1 bemenet és a motor kivezetése között nyitott kapcsolónál nincs folytonosság, a K1 bemenet és a motor kivezetése között a K1 főérintkező kézzel való benyomásakor folytonosságnak kell lennie.)

3. **Kösd be a vezérlőáramkört.** A rajz szerint az L1 (tápegység pozitív vagy fázis) oldalról az F2 vezérlőköri biztosító után kösd sorba a hőkioldó 95–96 NC érintkezőjét és a STOP S0 NC érintkezőt, majd a START S1 NO érintkezőt. A K1 13–14 segédérintkezőt párhuzamosan kösd az S1-hez. A közös csomópontból vezesd a vezetéket a K1 tekercs A1 kapcsára. A tekercs A2 kapcsa az N (tápegység negatív vagy nulla) oldalra kerül. A H1 jelzőlámpát a tekercs bemenetétől a nulla oldalra kösd párhuzamosan.
4. **Ellenőrzés feszültségmentes állapotban.** Multiméterrel ellenőrizd a kapcsolások folytonosságát:

   - S0 nyomva tartva, S1 nyitva: nincs folytonosság a tekercs A1 és a tápegység L1 között.
   - S0 elengedve, S1 benyomva: folytonosság van.
   - A K1 13–14 érintkező kézzel zárva (vagy a mágneskapcsoló meghúzva), S0 elengedve, S1 elengedve: folytonosság van.
   - A hőkioldó 95–96 érintkezője alaphelyzetben zárt legyen.

5. **Bekapcsolás.** A tápegységet kapcsold be, ellenőrizd a vezérlőfeszültséget multiméterrel. Nyomd meg az S1 START gombot: a K1 mágneskapcsolónak meg kell húznia, a H1 lámpának világítania kell, a motornak forognia kell. Engedd el az S1-et: a mágneskapcsolónak meghúzva kell maradnia.
6. **Leállítás.** Nyomd meg az S0 STOP gombot: a mágneskapcsolónak el kell engednie, a motornak le kell állnia, a H1 lámpának ki kell aludnia.
7. **Hiba szimulálása (oktatói felügyelettel).** Szakítsd meg a K1 13–14 érintkező bekötését, és próbáld újra indítani. Azt tapasztalod, hogy a motor csak a START gomb nyomva tartása közben jár. Ez a hiba jól mutatja, miért elengedhetetlen az önfenntartó érintkező.
8. **Dokumentálás.** Vezess jegyzőkönyvet: rajzold le a kapcsolást, tüntesd fel a kapocsjelöléseket, a használt feszültségszintet, a mágneskapcsoló típusát, a hőkioldó beállítási tartományát, és a funkcionális ellenőrzés eredményét.

Tipikus hibák a bekötés során:

- A STOP és START gomb érintkezői felcserélve; így az áramkör nem indul, vagy folyamatosan bekapcsolt állapotban van.
- A K1 13–14 önfenntartó érintkező párhuzamosan van ugyan, de az S0 után nem a helyes csomópontba kötik, így az önfenntartás nem működik.
- A hőkioldó 95–96 NC érintkezőjét kihagyják, ezért a túlterhelés nem állítja le a motort.
- A vezérlőáramkört a főáramkörrel összekeverik; ez rövidzárat vagy veszélyes feszültséget okozhat.

32.1.8. Tipikus hibák

Hiba 1: Az önfenntartó érintkező hiányzik vagy rosszul van bekötve.

A motor csak addig jár, amíg a START gombot nyomva tartják. Ez akkor fordul elő, ha a K1 13–14 segédérintkezőt nem kötik párhuzamosan az S1 gombbal, vagy véletlenül NC érintkezőt használnak. A helyes megoldás: a 13–14 **NO** érintkezőt kell bekötni, és párhuzamosan az S1 gombbal, a STOP érintkező után.

Hiba 2: A STOP és START gomb érintkezői felcserélve.

Ha az S0 STOP-ot NO érintkezővel, az S1 START-ot pedig NC érintkezővel kötik be, a vezérlőáramkör alaphelyzetben zárva lehet, és a motor azonnal elindul; a STOP gomb pedig nem állítja le. A megoldás: a STOP gomb NC (21–22), a START gomb NO (13–14) érintkezőjét kell használni, és ezt bekötés előtt multiméterrel ellenőrizni.

Hiba 3: A hőkioldó 95–96 segédérintkezőjét elhagyják a vezérlésből.

Ilyenkor a hőkioldó kiold ugyan a főáramkörben, de a motor tovább jár, mert a tekercs áramköre nem szakad meg. Ez veszélyes, mert a túlterhelt motort nem védi semmi. A helyes gyakorlat: a hőkioldó **NC 95–96** érintkezőjét sorosan be kell kötni a tekercskörbe.

Hiba 4: A vészleállító kiiktatása vagy megkerülése.

Előfordul, hogy a szerelő a vészleállítót kihagyja a körből, vagy a STOP gombbal együtt párhuzamosan köti, hogy „ne akadályozza a munkát”. Ez **tilos** és életveszélyes. A vészleállítót mindig sorosan kell beépíteni, és soha nem szabad áthidalni.

32.1.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e: az önfenntartó érintkezőnek NC típusúnak kell lennie, hogy a motor folyamatosan járjon? Indokold!

2. Mi a szerepe a K1 13–14 segédérintkezőnek, és miért párhuzamos a START gombbal?

3. Egy motor névleges árama 11,4 A. Milyen hőkioldó-beállítási tartományt választanál, és milyen mágneskapcsoló-névleges áramot? Miért?

4. A rajz szerint a STOP gomb megnyomásakor a motor leáll, de a H1 lámpa tovább világít. Mi lehet a hiba?

5. Mi a különbség a 95–96 és a 13–14 kapcsok között? Melyik hová van kötve?

6. Miért kell a hőkioldó NC érintkezőjét sorosan a tekercs körébe kötni? Mi történik, ha kihagyjuk?

Válaszok az Önellenőrzés – válaszok alcímben találhatók.

32.1.10. Feladatok

1. feladat (A). Rajzold le a direktindítás vezérlőáramkört az alábbi elemekkel: S0 (NC), S1 (NO), K1 tekercs, K1 13–14 (NO), F1 95–96 (NC). Jelöld a kapocsnév jelöléseket. Magyarázd el a sorrendet.

2. feladat (A). Milyen gyakorlati különbség van az NO és az NC érintkező között? Írd le, melyik gombhoz melyiket választod, és miért.

3. feladat (B). Egy háromfázisú aszinkron motor adatai: $P = 3{,}0\,\text{kW}$, $U_v = 400\,\text{V}$, $\eta = 0{,}82$, $\cos\varphi = 0{,}78$. Számítsd ki a motor névleges áramát, és válassz hőkioldót, mágneskapcsolót és kismegszakítót az indítási áramlökés figyelembevételével.

4. feladat (B). A vezérlőáramkör rajzát követve sorold fel, mi történik pontosan, amikor a START gombot megnyomjuk, majd elengedjük, végül a STOP gombot megnyomjuk. Azonosítsd az összes érintkező állapotát.

5. feladat (C). Egy szerelő azt tapasztalja, hogy a motor csak a START gomb nyomva tartása közben működik, amint elengedi, a motor leáll. Milyen lehetséges okokra gyanakszol? Ismertesd a hibakeresési lépéseket multiméterrel és rajzkövetéssel, majd javasold a javítást.

6. feladat (D). Tanműhelyi panelen építsd meg a direktindításos vezérlést önfenntartással. Végezd el a feszültségmentes ellenőrzéseket, majd indítás és leállítás után szimulálj „hőkioldó kioldást” az F1 95–96 érintkező nyitásával. Dokumentáld a mért feszültségeket, a kapocsjelöléseket és a funkcionális teszt eredményét.

32.1.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Az önfenntartó érintkezőnek **NO** (nyitott) típusúnak kell lennie. Amikor a tekercs meghúz, ez az érintkező zár, és tartja a kört. Ha NC lenne, alaphelyzetben zárt lenne, és a motor azonnal elindulna, vagy az áramkör nem működne megfelelően.

2. A K1 13–14 önfenntartó NO segédérintkezője azért kerül párhuzamosan a START gombbal, mert amikor a mágneskapcsoló meghúz, ez az érintkező zár, és a START gomb elengedése után is fenntartja a tekercs áramkörét.

3. A hőkioldó beállítási tartománya például **10 A–16 A**, és a motor névleges áramára kell állítani. A mágneskapcsoló névleges áramát legalább **12 A vagy 16 A** AC-3 használati kategóriában kell választani, mert a motor árama 11,4 A. Q1 lehetőleg motorvédő kapcsoló; kismegszakítónál a D jelleg csak az indítási áramlökés miatt indokolt, és kis hurokimpedanciát kíván (D16: $Z_s \leq 0{,}72\,\Omega$; ellenőrizendő).

4. A H1 lámpa a tekercs bemenetétől kap feszültséget. Ha a STOP gomb megnyomásakor a motor leáll, de a lámpa tovább ég, akkor a H1 nincs párhuzamosan a tekercs áramkörével, hanem közvetlenül a tápfeszültségre van kötve. A hibát a bekötés ellenőrzésével kell felderíteni.

5. A **95–96** a hőkioldó **NC** segédérintkezője, amelyet a tekercs körébe sorosan kell kötni. A **13–14** a mágneskapcsoló **NO** segédérintkezője, amelyet a START gombbal párhuzamosan kötünk. A kettő nem cserélhető fel.

6. A hőkioldó NC érintkezője azért soros a tekercs körben, mert túlterheléskor az érintkező nyit, megszakad a tekercs áramköre, és a motor leáll. Ha kihagyjuk, a hőkioldó kiold ugyan, de a vezérlés tovább feszültség alatt tartja a mágneskapcsolót, ezért a motor tovább jár, ami túlmelegedéshez és balesethez vezet.

1. feladat – Megoldás.

A vezérlőáramkört az alábbi módon kell megrajzolni (a fenti diagramnak megfelelően). A kapcsolási rajz:

- A felső vonal a tápfeszültség (L1).
- A vonal első eleme az F2 vezérlőköri biztosító, utána a hőkioldó F1 NC 95–96 érintkezője.
- Ezután az S0 STOP nyomógomb NC (21–22) érintkezője.
- Az S0 kimenetéről a közös csomópont: innen az S1 START NO (13–14) és a K1 13–14 önfenntartó NO érintkező párhuzamosan.
- A két párhuzamos ág kimenete közös, innen a K1 tekercs A1 kapcsa, majd A2 a nulla (N) sínre.
- A H1 jelzőlámpa a tekercs bemenetétől a nulla oldalra csatlakozik.

A sorrend lényege: a STOP és a hőkioldó bontója a párhuzamos ág előtt van, így mindkettő minden üzemállapotban bontja a tekercskört (akár a START gombon, akár az önfenntartó érintkezőn át kap feszültséget a tekercs).

2. feladat – Megoldás.

Az **NO** (normally open) érintkező alaphelyzetben nyitott, csak akkor zár, ha a készüléket működtetjük. A **START** gombot NO érintkezővel választjuk, mert csak akkor ad jelet, amikor megnyomjuk. Az **NC** (normally closed) érintkező alaphelyzetben zárt, és működtetéskor nyit. A **STOP** gombot NC érintkezővel választjuk, mert alaphelyzetben engedi a vezérlőáramkört működni, és megnyomásakor megszakítja a kört.

3. feladat – Megoldás.

Adott: $P = 3{,}0\,\text{kW}$, $U_v = 400\,\text{V}$, $\eta = 0{,}82$, $\cos\varphi = 0{,}78$.

A motor felvett villamos teljesítménye:

$$P_{\text{vill}} = \frac{3000\,\text{W}}{0{,}82} \approx 3658{,}5\,\text{W}$$

A névleges áram:

$$I_n = \frac{P_{\text{vill}}}{\sqrt{3}\,U_v\,\cos\varphi} = \frac{3658{,}5}{1{,}732 \cdot 400 \cdot 0{,}78} \approx 6{,}77\,\text{A}$$

Hőkioldó: 6–10 A beállítási tartomány, a motortábla szerinti értékre állítva. **Mágneskapcsoló:** legalább 9 A vagy 12 A AC-3. **Q1:** motorvédő kapcsoló vagy legalább 10 A névleges áramú kismegszakító (D jellegnél a hibavédelmi feltételt is ellenőrizni kell), a vezeték terhelhetőségét is figyelembe véve. **(ellenőrizendő: gyártói adatlapok, szabványok)**

4. feladat – Megoldás.

A lépések:

1. Kiindulás: S0 zárt (NC), S1 nyitott (NO), K1 13–14 nyitott, F1 95–96 zárt, K1 tekercs feszültségmentes, motor áll.
2. S1 megnyomásakor: S1 zár, a tekercs feszültséget kap, K1 meghúz; a K1 főérintkezők zárnak, a motor indul; a K1 13–14 zár.
3. S1 elengedésekor: S1 nyit, de a K1 13–14 tovább zárva tartja a tekercs áramkörét; a motor jár.
4. S0 megnyomásakor: S0 nyit, a tekercs áramköre megszakad; K1 elenged; a főérintkezők és a K1 13–14 nyitnak; a motor leáll; a H1 lámpa kialszik. A rendszer visszaáll kiindulási állapotba.

5. feladat – Megoldás.

Tünet: a motor csak a START gomb nyomva tartásakor jár, elengedéskor leáll. Ez az önfenntartó áramkör hiányára utal. Lehetséges okok:

- A K1 13–14 segédérintkező nincs bekötve.
- A bekötött érintkező NC típusú, nem NO.
- A K1 13–14 érintkezőt rossz csomópontba kötötték, például a STOP gomb elé, így az önfenntartás nem tartja a tekercset.
- A K1 13–14 érintkező hibás, nem zár a mágneskapcsoló meghúzásakor.

Hibakeresési lépések:

1. Feszültségmentesíts (öt szabály!).
2. Multiméterrel, folytonosságvizsgálattal ellenőrizd a K1 13–14 érintkezőt: a mágneskapcsolót kézzel meghúzva folytonosságnak kell lennie.
3. Ellenőrizd a bekötést a rajz alapján: a 13–14 párhuzamosan legyen az S1 gombbal, a STOP érintkező után.
4. Ellenőrizd, hogy a K1 13–14 valóban NO érintkező-e.
5. Ha szükséges, cseréld a hibás érintkezőt vagy a mágneskapcsolót, majd végezz funkcionális tesztet.

6. feladat – Megoldás.

A gyakorlati útmutatóban leírtak szerint építsd meg az áramkört. A feszültségmentes ellenőrzés során mérd a kapcsolási pontokat:

- S0 NC érintkező: alaphelyzetben 0 ohm, benyomva szakadás.
- S1 NO érintkező: alaphelyzetben szakadás, benyomva 0 ohm.
- K1 13–14: kézzel meghúzva 0 ohm, elengedve szakadás.
- F1 95–96: alaphelyzetben 0 ohm, a hőkioldó kioldásakor szakadás.

Bekapcsolás után mérj feszültséget a K1 tekercs A1–A2 között a helyes értékre. A funkcionális teszt során indítás, önfenntartás, leállítás és hőkioldó-szimuláció mind sikeres legyen. A jegyzőkönyvben tüntesd fel a rajzot, a mért értékeket és a használt készülékek típusát.

32.1.12. Rövid összefoglaló

A direktindításos motorvezérlés a legegyszerűbb motorindítási mód: a motort a hálózatra kapcsolva teljes feszültséggel indítjuk. A főáramkörben a sorrend: zárlatvédelem (Q1: motorvédő megszakító, olvadóbiztosító vagy kismegszakító), mágneskapcsoló főérintkezői (K1), hőkioldó (F1; hőkioldós motorvédő kapcsolónál elmarad, mert az már túlterhelésvédelmet is ad), motor (M1). A vezérlőáramkörben a vezérlőköri biztosító (F2) után a hőkioldó 95–96 NC érintkezője és a STOP NC gomb (S0) következik, utána a START NO gomb (S1) és a vele párhuzamosan kötött K1 13–14 NO önfenntartó érintkező, majd a K1 tekercs (A1–A2), vele párhuzamosan a H1 jelzőlámpa. Amikor a START gombot megnyomjuk, a tekercs meghúz, a főérintkezők bekapcsolják a motort, a 13–14 érintkező pedig tartja a vezérlést a gomb elengedése után. A STOP gomb vagy a hőkioldó NC érintkező nyitásakor a tekercs áramköre megszakad, a motor leáll. **Továbbvitt eredmény:** ezt az önfenntartó logikát és a kapocsjelöléseket (13–14, 95–96, A1–A2, 21–22) használjuk a Reverzáló kapcsolás és reteszelés és a Csillag–delta indítás vezérlése alfejezetekben.

32.1.13. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ EN 60204-1: Gépek villamos berendezései – ellenőrizendő az aktuális kiadás.
- MSZ EN 60947-4-1: Mágneskapcsolók és motorvédő kapcsolók – ellenőrizendő az aktuális kiadás.
- MSZ EN 60947-5-1: Vezérlőkészülékek (nyomógombok, jelzőlámpák) – ellenőrizendő az aktuális kiadás.
- MSZ HD 60364-4-41: Áramütés elleni védelem – ellenőrizendő az aktuális kiadás.
- MSZ EN 60617: Villamos rajzjelek – ellenőrizendő az aktuális kiadás.
- A konkrét szakasz- és táblázatszámok, valamint a motorvédő és kapcsolókészülék-kiválasztási adatok ellenőrzendők; a példák tanulási célúak, nem tervezési előírások.

32.2. Reverzáló kapcsolás és reteszelés

32.2.1. Motiváció: miért van szükség forgásirányváltásra?

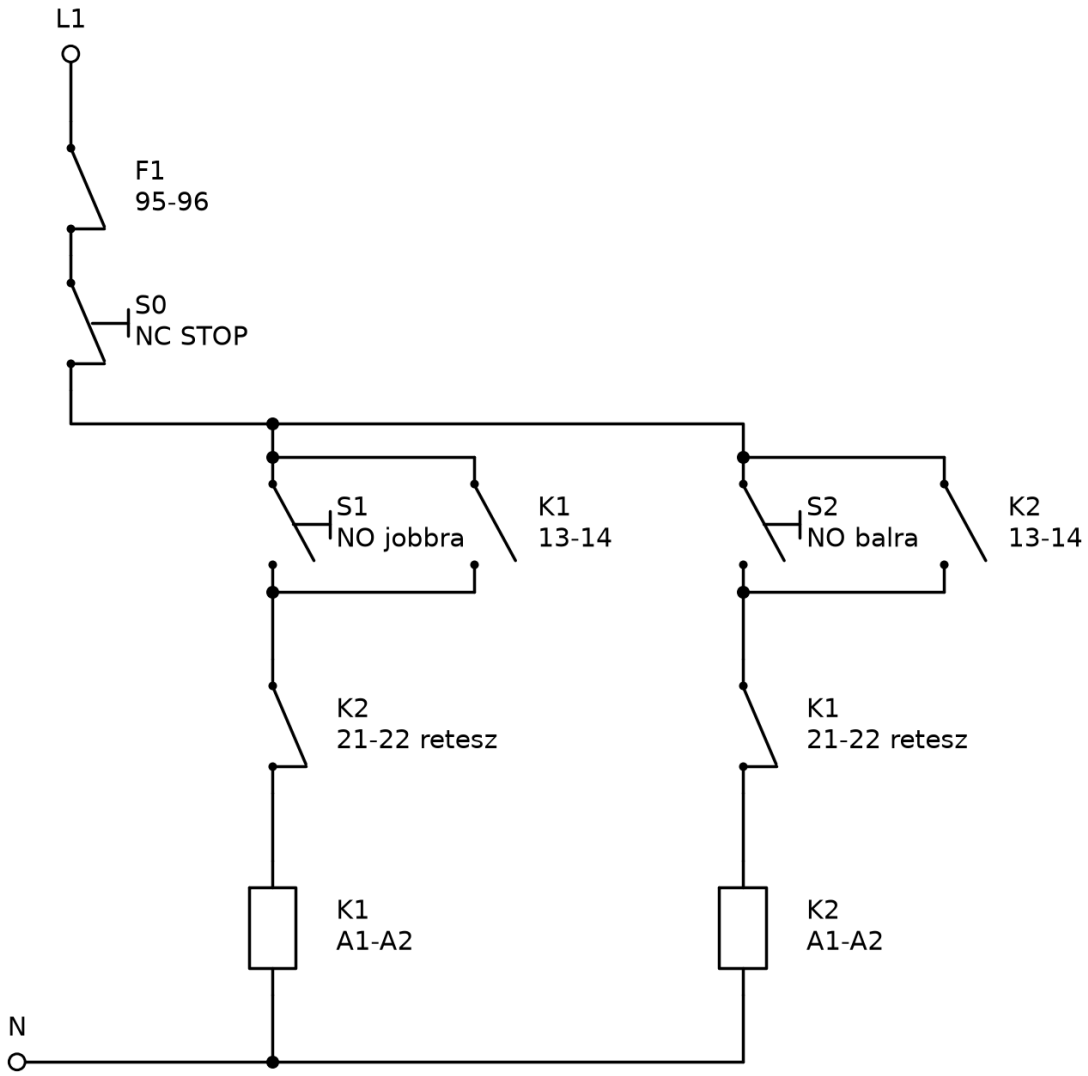
Egy szállítószalag rossz irányba indulva az árut a gépbe löki, egy daru emelőmotorja lefelé enged, amikor felfelé kellene mennie, egy tolókapu csukódás helyett nyitna. Ezekben az esetekben a motor forgásirányváltására van szükség. Háromfázisú aszinkronmotornál a forgásirányt a

fázissorrend határozza meg, ezért a cserét legegyszerűbben két mágneskapcsolóval valósíthatjuk meg: az egyik az egyik, a másik a másik forgásirányt kapcsolja.

A fázissorrend felcseréléséhez elég két fázist megcserélni. A reverzáló kapcsolásnál tehát két mágneskapcsoló főérintkezőit úgy kötjük, hogy az egyiknél például L1→U1, L2→V1, L3→W1, a másiknál pedig L1→W1, L2→V1, L3→U1. Ekkor a második irányban az L1 és L3 sorrendje megfordul, és a motor forgó mágneses tere ellenkező irányba forog. A veszély abban rejlik, hogy ha a két mágneskapcsoló **egyszerre** kapna feszültséget, a hálózat két fázisát a két kapcsoló főérintkezőin keresztül közvetlenül összeköthetjük. Ez rövidzárlatot okoz: heves ív, készülék-tönkremenetel, tűz és súlyos baleset veszélye. A reverzáló kapcsolás ezért soha nem hagyhatja ki a **reteszelést**.

32.2.2. Szemléletes kép: a vezérlési rajz és a főáramkör

A következő kapcsolási rajz a vezérlési áramkört mutatja. A főáramkörben két mágneskapcsoló főérintkezői dolgoznak, a vezérlésben pedig a tekercseik, az önfenntartó segédérintkezőik, a reteszelő érintkezőik és a nyomógombok.



32.3. ábra. Reverzáló kapcsolás vezérlése villamos reteszeléssel - L1 → F1 95-96 (hőkioldó bontó) → S0 STOP (NC) → közös pont; „jobbra” (K1) ág: S1 (NO) ‖ K1 13-14 → K2 21-22 reteszelő bontó → K1 tekercs → N; „balra” (K2) ág: S2 (NO) ‖ K2 13-14 → K1 21-22 reteszelő bontó → K2 tekercs → N. A főáramkör a táblázat szerint; a K1–K2 között mechanikus retesz is van. A 230 V-os vezérlés csak tanulási példa: mindig az adott kapcsolás előírt vezérlőfeszültségét vagy a gyártói adatot kell használni.

A diagram olvasása. A vezérlési áramkör az L1 fázisból indul, és először a hőkioldó F1 95–96 bontóérintkezőjén halad át (túlterheléskor mindkét irányt leállítja). Az S0 STOP nyomógomb alaphelyzetben zárt (NC), ezért a feszültség eljut a két irányág közös pontjára. A „jobbra” gomb (S1) megnyomásakor a K1 tekercs áramot kap, mert a K2 reteszelő érintkezője (21–22) zárt. Amikor K1 behúz, a saját önfenntartó érintkezője (13–14) párhuzamosan zárja az S1 nyomógombot, így a gomb elengedése után is maradhat a behúzott állapot. A „balra” ágban ugyanez történik a K2 tekercsével és az S2 nyomógombbal. A kétágú reteszelés lényege: K1

reteszelő érintkezője sorba van kötve a K2 tekercsével, és K2 reteszelő érintkezője sorba van kötve a K1 tekercsével. Így ha K1 behúz, a K2 felé menő reteszelő érintkező bont, és K2 nem tud behúzni. Ha pedig K2 húz be, a K1 felé menő reteszelő érintkező bont.

A főáramkör kapcsolási rajza:

32.4. ábra. Reverzáló kapcsolás főáramköre: K2 az L1 és L3 fázist cseréli - Q1 háromsarkú zárlatvédelem után az L1, L2, L3 a K1 (jobbra/előre) és a K2 (balra/hátra) mágneskapcsoló főérintkezőire ágazik. K1 kimenete egyenesen megy: L1→U1, L2→V1, L3→W1; K2 kimenetén az első és a harmadik fázis keresztezve jut tovább: L1→W1, L2→V1, L3→U1 (a kapocstáblázat szerint). A közös F1 hőkioldó a motor előtt van, a motor névleges áramára állítva; a motortest a PE-re csatlakozik. K1 és K2 egyidejű behúzása fázis–fázis zárlat, ezért villamos (21-22) és mechanikus retesz is kell (a K1–K2 közötti szaggatott vonal). A vezeték-keresztezések pont nélkül nem csatlakoznak. A K1 és a K2 közötti, háromszöggel jelölt szaggatott vonal a mechanikus reteszelés (IEC 60617): a két mágneskapcsoló nem húzhat be egyszerre; a pólusaikat összekötő szaggatott vonal pedig az együtt mozgó főérintkezőket jelöli.

A rajzon két mágneskapcsoló főérintkezői párhuzamosan táplálják a motort: a K1 kimenete egyenesen megy az U1, V1, W1 kapcsokra, a K2 kimenetén viszont az első és a harmadik fázis

keresztezve jut tovább (L1→W1, L3→U1), a középső (L2→V1) változatlan. A közös F1 hőkioldó mindkét forgásirányban védi a motort; a K1 és K2 közötti szaggatott vonal a mechanikus reteszt jelöli. Ha a két mágneskapcsoló egyszerre zárna, az L1 és az L3 fázis a két kontaktor főérintkezőin át közvetlenül összekapcsolódna.

A fázisfelcserélést a következő kapocstáblázat foglalja össze:

Mágneskapcsoló	L1	L2	L3
K1 (előre)	U1	V1	W1
K2 (hátra)	W1	V1	U1

A K2-nél az L1 és az L3 fázist cseréljük fel, így a motor forgó mágneses tere az ellenkező irányba forog. A V1 ugyanaz marad, mert elegendő két fázist megcserélni.

32.2.3. Definíciók és elvek

Definíció. Reverzáló kapcsolás. Olyan motorvezérlés, amely lehetővé teszi a háromfázisú aszinkronmotor forgásirányváltását két mágneskapcsolóval, a fázissorrend felcserélésével.

Definíció. Reteszelés (interlocking). Olyan villamos, mechanikus vagy logikai megoldás, amely megakadályozza, hogy két, egymást kizáró mágneskapcsoló (vagy funkció) egyidejűleg behúzott állapotba kerüljön. A reteszelés a biztonságos reverzáló kapcsolás elengedhetetlen eleme.

Szabály. Villamos reteszelés. Mindkét mágneskapcsolóról egy-egy bontó (NC) segédérintkezőt kell a másik irány tekercsének áramkörébe sorba kötni. A K1 bontó érintkezője a K2 tekercs elé, a K2 bontó érintkezője a K1 tekercs elé kerül. Ezt a két érintkezőt **reteszelő segédérintkezőnek** nevezzük.

Definíció. Mechanikus retesz. A két mágneskapcsoló közé szerelt mechanikus kiegészítő, amely fizikailag megakadályozza, hogy mindkettő behúzott állapotban maradjon. Ha az egyik behúz, a másik főérintkezőit mechanikus ütköző tartja nyitva. A mechanikus retesz a villamos reteszeléssel együtt alkalmazva ad teljes védelmet, mert egy segédérintkező meghibásodása vagy a tekercs ragadása esetén is véd.

Definíció. Nyomógomb-reteszelés. A vezérlésben az irányváltó nyomógombokat úgy is megszakíthatjuk, hogy az egyik irány nyomógombja az ellenkező irány áramkörében egy NC érintkezőt bontson. Ez a nyomógombban kialakított kettős érintkezővel valósítható meg. A villamos reteszelés kötelező; a mechanikus retesz a segédérintkező-hiba és a hegedés elleni független tartalék, reverzáló mágneskapcsoló-kombinációknál a gyártók rendszerint előírják (ellenőrizendő: gyártói adatlap, MSZ EN 60204-1). A nyomógomb-reteszelés további, kiegészítő védelem.

Szabály. Késleltetés irányváltásnál. Ha a reverzálás automatikus üzemben történik, a két irány közé időbeli késleltetést kell iktatni, hogy a kikapcsolt mágneskapcsoló íve biztosan kialudjon. Kézi nyomógombos működtetésnél az emberi reakcióidő és a mechanikus átállás általában elegendő, automatikus vezérlésnél azonban időrelét kell beépíteni. A szükséges késleltetést a gyártói adatlap és a mágneskapcsoló ívoltási tulajdonságai alapján kell megválasztani; tipikus érték néhány tizedmásodperc **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.

32.2.4. Kidolgozott példa: mágneskapcsoló kiválasztása és a zárlati veszély

1. példa. Egy 5,5 kW-os, 400 V-os, 1400 1/min-es aszinkronmotort kell reverzáló kapcsolásban üzemeltetni. A motor adattábláján a névleges áram 11 A. Válasszunk mágneskapcsolót, és ellenőrizzük a bekötést.

Számítás. A motor névleges feszültsége $U_v = 400\,\mathrm{V}$, névleges árama $I_n = 11\,\mathrm{A}$. Mágneskapcsolót AC-3 terhelésre választunk. A kapcsolónak nagyobbnak kell lennie a motor névleges áramánál, tipikusan $I_e \geq I_n$. Ha a gyártó kínálatában van 12 A-es AC-3 készülék, ez megfelelő. A beállított motorvédő kapcsoló vagy hőkioldó névleges áramát $I_n = 11\,\mathrm{A}$ köré állítjuk.

A K1 főáramköri bekötése: L1→U1, L2→V1, L3→W1. A K2 bekötése: L1→W1, L2→V1, L3→U1. A tekercsek 230 V-os vezérlésűek, így a vezérlés L1 és N között működik. A reteszeléshez mindkét mágneskapcsolóra szükség van egy-egy bontó segédérintkezőre, például 21–22 jelölésűre.

2. példa: mi történik reteszelés nélkül? (Ha az irányváltás forgás közben történik, ellenáramú fékezéssel, AC-4 szerinti, rendszerint nagyobb kontaktor szükséges, lásd a Kapcsolókészülékek működése, ívoltás és használati kategóriák alfejezetet.) Tegyük fel, hogy a villamos reteszelést és a mechanikus reteszt is elhagyják, és a K1 és K2 tekercs egyszerre kap feszültséget. Az L1 és L3 fázis a két mágneskapcsoló főérintkezőjén át rövidre zár.

Legyen egy fázisvezető impedanciája a zárlat helyéig $Z_f = 0{,}05\,\Omega$; a fázis–fázis hurokban két ilyen van sorban (tanulási példa; valós hálózatnál méréssel kell meghatározni). A várható zárlati áram:

$$I_k \approx \frac{U_v}{2\,Z_f} = \frac{400\,\mathrm{V}}{2 \times 0{,}05\,\Omega} = 4\,000\,\mathrm{A} = 4\,\mathrm{kA}.$$

Ez az áram bőven meghaladja a mágneskapcsoló kikapcsolási képességét. A motorvédő kapcsoló (vagy D16 kismegszakító) mágneses kioldója leold, de a mágneskapcsoló főérintkezője közben összehegedhet, és a zárlat ívkárosodást okoz. **Tilos** ezért a reteszelés elhagyása.

32.2.5. Szabvány és gyakorlati elvárások

Szabvány. A kisfeszültségű kapcsoló- és vezérlőkészülékekre vonatkozó MSZ EN 60947 sorozat, azon belül a mágneskapcsolókra vonatkozó részek határozzák meg a kapcsolókészülékek használati kategóriáit, érintkezőjelöléseit és a koordinációra vonatkozó követelményeket **(ellenőrizendő: aktuális kiadás és pontos előírások)**. A gépek villamos berendezéseire az MSZ EN 60204-1 vonatkozik. E szabványok szerint a reverzáló kapcsolást úgy kell kialakítani, hogy a két irány egyidejű bekapcsolása lehetetlen legyen. A gyakorlatban ez villamos reteszeléssel és – ahol a kockázat indokolja – mechanikus retesszel együtt valósul meg.

Továbbvitt eredmény. A reteszelés elvét – bontó segédérintkezővel sorba kötött ellenirányú tekercs – a(z) Csillag–delta indítás vezérlése alfejezetben is használjuk, mert ott a csillag- és a delta-mágneskapcsoló szintén kizárja egymást.

32.2.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy műhelyben portáldaru emelőmotorját reverzáló kapcsolással vezérelték. A villamos reteszelést beépítették, de a mechanikus reteszt spórolásból elhagyták. Egy hideg reggelen a K1 segédérintkezője a rázkódástól megszorult, így a K1 tekercs feszültsége mellett a K2 tekercs is feszültséget kapott. A villamos reteszelés meghibásodott, és mindkét mágneskapcsoló behúzott. A hálózat két fázisát összekötő áram rövidzárlatot okozott: a szekrényben megolvadt a vezeték szigetelése, a kapcsoló érintkezői hegesedtek, és a karbantartónak több napig tartott a javítás. A mechanikus retesz ezt megakadályozta volna. A tanulság: reverzáló kapcsolásnál a villamos retesz önmagában nem elegendő biztosíték, a mechanikus retesz fontos kiegészítő védelem.

32.2.7. Gyakorlati útmutató: reverzáló kapcsolás építése tanműhelyben

Cél. A tanuló építse meg a reverzáló kapcsolást törpefeszültségű vezérléssel, és ellenőrizze a reteszelés működését.

Eszközök és anyagok. Két mágneskapcsoló (pl. 24 V DC vagy 24 V AC tekercs), motor vagy jelzőlámpa a főáramkör szimulálására, vezérlőfeszültség forrása, nyomógombok (S0 NC, S1 NO, S2 NO), vezetékek, szerelőszerszámok, multiméter.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Hálózati feszültségű (230/400 V) munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet, a hatályos előírások szerint.

1. Kapcsold le a tápfeszültséget.
2. Biztosítsd visszakapcsolás ellen (lakat, figyelmeztető tábla).
3. Ellenőrizd a feszültségmentességet kétpólusú feszültségvizsgálóval (nem fázisceruzával), minden vezető között és a védővezetővel szemben.
4. Földelés és rövidre zárás: hálózati munkánál a szabályok szerint kötelező; törpefeszültségű tanpanelen az erre vonatkozó eljárást az oktatóval ismerd meg és kövesd.
5. Fedd le vagy válaszd el a szomszédos feszültség alatt maradó részeket.
6. A vezérlési rajz szerint kösd be a nyomógombokat, a mágneskapcsoló tekercseket és a reteszelő segédérintkezőket.
7. Ellenőrizd a kapcsolást: a K1 tekercsével sorba kell kötni a K2 NC segédérintkezőt, és a K2 tekercsével sorba a K1 NC segédérintkezőt.
8. Kapcsold vissza a vezérlőfeszültséget, és próbáld ki mindkét irányt.
9. Próbáld ki a reteszelést: nyomd meg az S1 gombot, majd azonnal az S2 gombot. A K1 és K2 soha nem lehet egyszerre behúzott állapotban.
10. Mérj multiméterrel a K1 és K2 tekercs kapcsain: ha a K1 behúz, a K2 tekercsén nem szabad megjelennie a vezérlőfeszültségnek, és fordítva.
11. Ellenőrizd a mechanikus retesz működését: kézzel próbáld mindkét mágneskapcsolót egyszerre behúzni; a mechanikus retesznek ezt fizikailag meg kell akadályoznia.

Dokumentálás. Jegyezd fel a bekötési rajzot, a felhasznált készülékek típusát és a próbák eredményét. Hibás működés esetén a mérési eredményeket rögzítsd.

32.2.8. Tipikus hibák

Hiba 1: a reteszelés hiánya. A két mágneskapcsoló egyszerre behúz, és a hálózat két fázisát rövidre zárja. Ez a legsúlyosabb szerelési hiba. **Helyes gyakorlat:** a villamos reteszelést mindig bekötni, és a mechanikus reteszt is felszerelni.

Hiba 2: rossz fázisfelcserélés. A szerelő a három fázist ciklikusan tolja el (L1→V1, L2→W1, L3→U1). A fázissorrend ekkor nem változik, a forgómező nem fordul meg. **Helyes gyakorlat:** pontosan két fázist cserélni, például az L1 és L3 fázist.

Hiba 3: a reteszelő érintkezőket rosszul kötik be. A reteszelő érintkezőket az ellenkező irány tekercséhez kell sorba kötni, nem a saját tekercshez. Ha a K1 bontó érintkezőjét a saját tekercséhez köti, a reteszelés nem jön létre, és a két irány egyszerre behúzhat.

Hiba 4: a mechanikus retesz nincs beszerelve vagy rosszul van rögzítve. A mechanikus retesz elhagyása vagy laza rögzítése esetén a villamos reteszelés meghibásodása esetén nincs tartalék védelem. **Helyes gyakorlat:** a gyártói előírás szerint felszerelni, és működését próbával ellenőrizni.

32.2.9. Önellenőrzés

1. Mi a reverzáló kapcsolás lényege?
2. Miért veszélyes, ha a két mágneskapcsoló egyszerre behúz?
3. Hogyan valósítható meg a villamos reteszelés?
4. Mire való a mechanikus retesz?
5. A következő kapcsolásban hol van hiba? „A K1 tekercsével sorba kötöttük a K1 bontó segédérintkezőjét, a K2 tekercsével sorba a K2 bontó segédérintkezőjét.”
6. Egy reverzáló kapcsolásban a motor csak az egyik irányba forog. A másik irány gombjának megnyomásakor a K2 mágneskapcsoló behúz, mégis nincs forgás. Mi a legvalószínűbb hiba?

32.2.10. Feladatok

1. feladat (A). Mutasd be a reverzáló kapcsolás főáramköri bekötését: mit kell a K2 mágneskapcsolónál tenni ahhoz, hogy a forgásirány megforduljon?

2. feladat (A). Sorold fel a reteszelés három fajtáját, és röviden jellemezd mindegyiket.

3. feladat (B). Rajzold le szövegesen vagy kapcsolási rajzban a vezérlési áramkört: S0 NC STOP, S1 NO jobbra, S2 NO balra, K1 és K2 tekercs, K1 és K2 önfenntartó NO érintkezők, K1 és K2 reteszelő NC érintkezők. Jelöld a kapcsokat.

4. feladat (B). Egy 7,5 kW-os, 400 V-os motor névleges árama 14 A. Add meg, milyen AC-3 mágneskapcsolót választanál, és írd le a villamos reteszelés bekötését.

5. feladat (C). Tegyük fel, hogy egy reverzáló kapcsolásban a reteszelés meghibásodik, és a K1 és K2 egyszerre behúz. Egy fázisvezető impedanciája a zárlat helyéig $Z_f = 0{,}04\,\Omega$ (a hurokban két ilyen van sorban). Számítsd ki a várható zárlati áramot. A kört védő motorvédő kapcsoló (vagy D16 kismegszakító) mágneses kioldója leold-e? Milyen káros következményekkel járhat a zárlat?

6. feladat (D). Egy reverzáló kapcsolásban a motor a „jobbra” irányban működik, a „balra” irányban azonban nem indul. A K2 mágneskapcsoló tekercse a gomb megnyomásakor feszültséget kap, de a főérintkezői nem húznak be. Milyen méréssel különítenéd el, hogy a tekercs szakadt, a segédérintkező hibás, vagy a mechanikus retesz akadályozza a behúzást? Írd le a mérési sorrendet és a várható értékeket.

32.2.11. Megoldások

32.2.11.1. Önellenőrzés – válaszok

1. A reverzáló kapcsolás két mágneskapcsolóval felcseréli két fázis sorrendjét, így a motor forgó mágneses tere ellenkező irányba forog.
2. A két mágneskapcsoló egyszerre behúzva két fázist közvetlenül összeköt, ami rövidzárlatot okoz.
3. A villamos reteszelés úgy valósul meg, hogy a K1 bontó segédérintkezőjét a K2 tekercs áramkörébe, a K2 bontó segédérintkezőjét a K1 tekercs áramkörébe kötjük sorba.
4. A mechanikus retesz fizikailag akadályozza meg, hogy mindkét mágneskapcsoló egyszerre behúzott állapotban legyen, így tartalék védelmet ad a villamos reteszelés mellé.
5. A hiba: a reteszelő bontó érintkezőket a saját tekercsükhöz kötötték. Ebben az esetben a K1 bontó érintkezője a K1 tekercset szakítaná, a K2 bontó érintkezője a K2 tekercset. A reteszelés nem jön létre, mert nem akadályozza meg a másik tekercs behúzását.
6. A legvalószínűbb hiba: a K2 egyik főérintkezője nem zár, vagy a K2 kimenetén egy fázis nincs bekötve; ilyenkor fázishiány miatt a motor zúg, de nem indul. (A rossz fázisfelcserélés csak a forgásirányt fordítaná meg, állást nem okoz.) Ellenőrizni kell a főérintkezők átmeneti ellenállását és a kapcsolódást feszültségmentesítés után.

32.2.11.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A)
A K2 mágneskapcsolónál az L1 és L3 fázist fel kell cserélni a motor kapcsaihoz képest. Ha K1-nél L1→U1, L2→V1, L3→W1, akkor K2-nél L1→W1, L2→V1, L3→U1. Ez a két fázis sorrendjét felcseréli, és a forgó mező megfordul.

2. feladat (A)
A reteszelés fajtái: - **Villamos reteszelés:** a mágneskapcsolók bontó segédérintkezőivel. - **Mechanikus retesz:** a kapcsolók közé szerelt fizikai ütköző. - **Nyomógomb-reteszelés:** a nyomógombok kettős érintkezői, amelyek az ellenkező irány áramkörét bontják.

3. feladat (B)
A vezérlési rajz megegyezik a szövegben bemutatott diagrammal. A kapocsjelölések: K1 önfenntartó NO 13–14, K2 önfenntartó NO 13–14, K1 reteszelő NC 21–22 a K2 tekercs elé, K2 reteszelő NC 21–22 a K1 tekercs elé, A1–A2 a tekercs, S0 NC STOP az elején.

4. feladat (B)
AC-3 mágneskapcsolót a motor névleges áramánál nagyobbra kell választani, például 16 A-es típust. A villamos reteszelés bekötése: a K1 21–22 bontó segédérintkezőt a K2 tekercs A1 kapcsa elé, a K2 21–22 bontó segédérintkezőt a K1 tekercs A1 kapcsa elé kell kötni; a tekercsek A2 kapcsa közvetlenül az N vezetőre csatlakozik (az MSZ EN 60204-1 szerinti elv: a kapcsolóelemek a tekercs fázisoldalán vannak; ellenőrizendő).

5. feladat (C)
A várható zárlati áram:

$$I_k = \frac{U_v}{2\,Z_f} = \frac{400\,\mathrm{V}}{2 \times 0{,}04\,\Omega} = \frac{400}{0{,}08} = 5\,000\,\mathrm{A} = 5\,\mathrm{kA}.$$

A motorvédő kapcsoló (vagy D16 kismegszakító, mágneses kioldás $10\text{–}20 \cdot I_n = 160\text{–}320$ A) kiold, mert a zárlati áram jóval nagyobb ennél. B jellegű kismegszakító motorkörben nem

alkalmas, mert az indítási áramlöket miatt leoldhat. A zárlat során a mágneskapcsoló főérintkezői összehegedhetnek, a vezetékek szigetelése megsérülhet, és tűz keletkezhet.

6. feladat (D)
A tünet: a K2 tekercse feszültséget kap, de a főérintkezők nem húznak be (a K1 nincs behúzva). Mérési sorrend: 1. **Feszültségmérés a K2 tekercsén (A1–A2), a gomb megnyomásakor.** Ha a kapocsfeszültség névleges, a vezérlőkör rendben van, a hiba a K2 tekercsében vagy mechanikájában keresendő; ha jóval kisebb, a hiba a tekercs előtti körben van (reteszelő érintkező, kötés). 2. **Feszültségmentesítés (öt szabály), majd ellenállásmérés a K2 tekercsen (A1–A2).** Néhány száz Ω – néhány kΩ az elvárt érték (típusfüggő, **ellenőrizendő: gyártói adatlap**); végtelen érték szakadt tekercset jelent. 3. **Kézi behúzáspróba feszültségmentesen.** Próbáld kézzel behúzni a K2 hídját: ha mechanikusan akad, a mechanikus retesz (vagy beragadt K1 híd) gátolja a behúzást; ha könnyen mozog, de feszültség alatt nem húz be, a mágnes vagy a tekercs hibás. 4. **Segédérintkező ellenőrzése.** Feszültségmentesen, folytonosságméréssel nézd meg a K1 bontó segédérintkezőjét (21–22): zárt állapotban 0 Ω körüli értéket kell mutatnia; szakadás esetén a reteszelő érintkező gátolja a K2 tekercsének táplálását.

32.2.12. Rövid összefoglaló

A reverzáló kapcsolás háromfázisú aszinkronmotor forgásirányváltását valósítja meg két mágneskapcsolóval. A forgásirány megfordításához a K2 mágneskapcsolónál két fázist, például L1-et és L3-at fel kell cserélni: L1→W1, L2→V1, L3→U1. A legnagyobb veszély a két mágneskapcsoló egyidejű behúzása, ami fázis–fázis zárlatot okoz. Ezt **reteszeléssel** kell megakadályozni. A villamos reteszelés lényege, hogy a K1 bontó segédérintkezője sorba van kötve a K2 tekercsével, és a K2 bontó segédérintkezője sorba a K1 tekercsével. A mechanikus retesz fizikai ütközővel zárja ki az egyidejű behúzást, a nyomógomb-reteszelés pedig az ellenirányú nyomógombokkal ad további védelmet. Automatikus reverzálásnál időbeli késleltetést kell beépíteni az ív kialvása érdekében. A reteszelés elvét a csillag–delta indítás vezérlésénél is alkalmazzuk, ahol a csillag- és delta-mágneskapcsoló szintén egymást kizáró kapcsoló. Az áramkör szerelése és ellenőrzése során mindig tartsuk be a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát, és hálózati feszültségű munkát csak jogosult személy végezhet.

32.3. Csillag–delta indítás vezérlése

32.3.1. Indítási áramlökés csökkentése és az Y-Δ szerepe

Az Indítás: közvetlen, csillag–delta, lágyindító, csúszógyűrűs alfejezetből tudjuk, hogy a kalickás forgórészű aszinkron motor közvetlen indításakor a vonali áram a névleges áram 5–8-szorosa is lehet. Egy 11 kW-os motor névleges árama deltában kb. 21 A, így a közvetlen indítási áramcsúcs 100 A fölé nőhet. Ha a hálózati csatlakozás nem elég erős, a feszültség letörik, a világítás villog, a szomszédos fogyasztók hibát jelezhetnek, és a hálózati engedélyes korlátozhatja az engedélyezett indítási áramot. Az Y-Δ indítás a leggyakoribb, viszonylag olcsó megoldás arra, hogy a hálózati indítási áram a közvetlen delta indítás egyharmadára csökkenjen.

Szemléletes kép. Képzeljünk el egy 11 kW-os szivattyúmotort, amelyet ipari elosztóból táplálnak. A kapcsolószekrényben három mágneskapcsoló sorakozik: K1, K2, K3. Indításkor a motor tekercseit csillagba kapcsolják, majd amikor a fordulatszám már közel van az üzemihez, átkapcsolják deltába. A hálózati áramlökés kisebb, de az indítónyomaték is kisebb, ezért ezt a módszert elsősorban olyan gépeknél alkalmazzák, amelyek kis nyomatékigénnyel indulnak: szivattyúk, ventilátorok, egyes fűrészgépek, kompresszoros rendszerek tehermentes indításánál.

Definíció. Az Y-Δ indítás olyan háromfázisú motorindítási eljárás, amelynél a motor tekercseit indításkor csillagba, majd az indítási folyamat végén deltába kapcsolják. Ha a motor névleges feszültsége deltában 400 V, akkor egy tekercsre csillagban csak 230 V jut. A vonali indítási áram és az indítónyomaték egyaránt a közvetlen delta indítás értékének egyharmada.

Továbbvitt eredmény. Az itt tanult kontaktorsorrendet, időrelés váltást és kölcsönös reteszelést használjuk a Kétsebességű, sorrendi és késleltetett vezérlések alfejezetben, valamint a Vezérlések építése: direkt, reverzáló, Y-Δ gyakorlati útmutatóban.

32.3.2. Főáramkör három mágneskapcsolóval

A motor kapocstábláján hat kivezetés van: U1, V1, W1 (tekercskezdetek) és U2, V2, W2 (tekercsvégek). A gyári áthidalók helyett hat erősáramú vezeték jön a kapcsolószekrényből. A főáramkör három mágneskapcsolót használ:

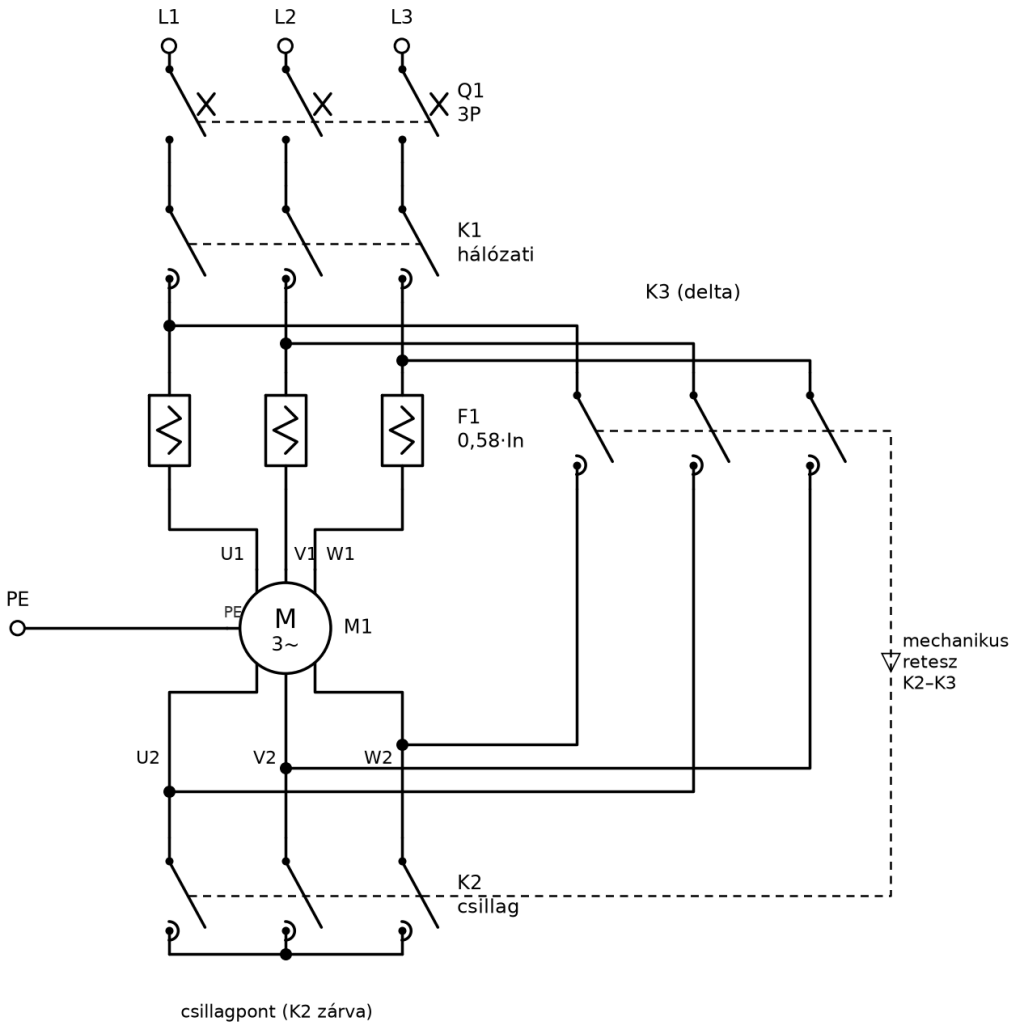
- **K1 – hálózati mágneskapcsoló** („line”): a hálózati fázisokat kapcsolja az U1, V1, W1 kapcsokra.
- **K2 – csillag mágneskapcsoló** („star”): az U2, V2, W2 kapcsokat egy közös csillagpontba köti.
- **K3 – delta mágneskapcsoló**: a tekercsvégeket a megfelelő fázisokra köti a delta mintázat szerint.

A delta bekötésnél a fázissorrendet meg kell őrizni. A szokásos kapcsolás:

$$U1 - W2, \quad V1 - U2, \quad W1 - V2.$$

Ha a delta hozzárendelést eltévesztik, valamelyik tekercs feszültség nélkül maradhat (a motor aszimmetrikusan, zúgva jár és melegszik), vagy az átkapcsolási áramlökés megnő; a forgásirányt a K1 bekötése határozza meg. A csillagpontot **tilos** a nullavezetőre kötni, mert az nem a hálózati nulla, hanem a motor mesterséges csillagpontja.

A főáramkör kapcsolási rajza:



32.5. ábra. Y-Δ indító főáramköre: K1 hálózati, K2 csillag, K3 delta - K1 a hálózatot a tekercskezdetekre (U1, V1, W1) kapcsolja; az F1 hőkioldó a K1 után, a tekercskezdetekhez menő vezetékekben van, ezért a tekercsáramot méri: beállítása $\mathrm{In}/\sqrt{3} \approx 0{,}58 \cdot \mathrm{In}$. K2 a tekercsvégeket (U2, V2, W2) csillagpontba köti; K3 a tekercsvégeket a K1 kimenetéről (az F1 előtt) a szomszédos fázisokra kapcsolja: U1–W2, V1–U2, W1–V2. K2 és K3 egyidejű behúzása zárlat: villamos és mechanikus reteszelés kell (a K2–K3 közötti szaggatott vonal). A motortesten PE. A vezeték-keresztezések pont nélkül nem csatlakoznak. A K2 és a K3 közötti, háromszöggel jelölt szaggatott vonal a mechanikus reteszelés (IEC 60617): a két mágneskapcsoló nem húzhat be egyszerre.

A rajzon hat vezeték megy a motorhoz: a K1 és az F1 hőkioldó után a tekercskezdetekre (U1, V1, W1), a tekercsvégekről (U2, V2, W2) pedig a K2 csillagpontjára és a K3 delta-érintkezőire. A K3 a K1 kimenetéről, az F1 előtt kapja a fázisokat, ezért az F1 deltában is csak a tekercsáramot méri, így beállítása $I_n/\sqrt{3} \approx 0{,}58\, I_n$. A K2–K3 közötti szaggatott vonal a mechanikus reteszt jelöli.

Mágneskapcsoló	Feladat	Kapcsolat
K1	hálózat a tekercskezdetekre	L1–U1, L2–V1, L3–W1
K2	tekercsvégek csillagpontba	U2–V2–W2 összekötés
K3	tekercsvégek delta mintázatban	U1–W2, V1–U2, W1–V2

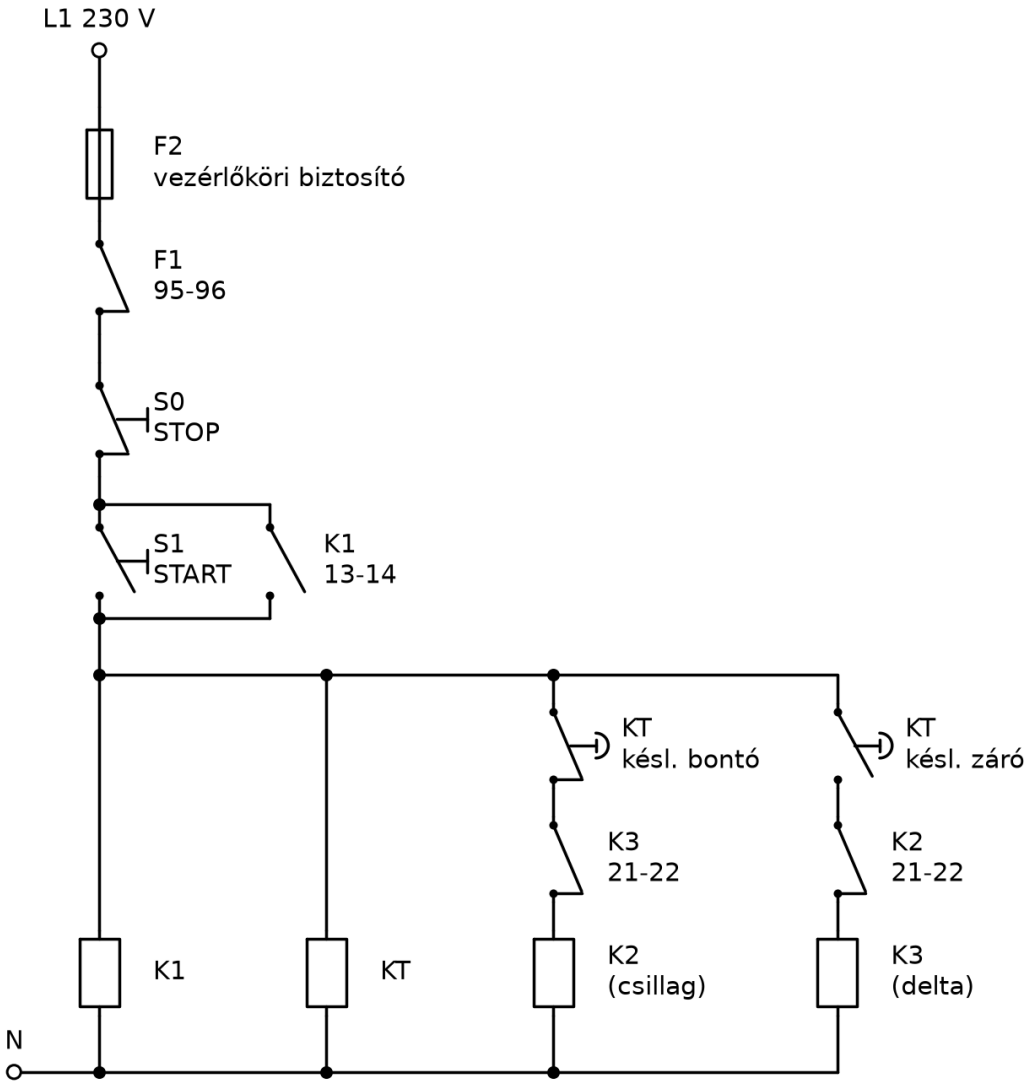
Szabály. A K2 és K3 mágneskapcsoló egyidejű behúzása tilos, mert a fázisok közötti közvetlen rövidzárlatot okoz. Ezt nevezik **átkapcsolási zárlatnak**. A K1 mindig előfeltétel: ha K1 nincs behúzva, a motor nem kaphat feszültséget.

32.3.3. Vezérlés időrelével és reteszeléssel

A vezérlésnek a következő sorrendet kell megvalósítania:

1. Indító nyomógomb megnyomásakor K1 behúz, és önfenntartásba kerül.
2. K1-gyel együtt az időrelé (KT) feszültséget kap, és elindul az időzítés.
3. K2 behúz, amíg az időrelé késleltetett bontó érintkezője zárt; a motor csillagban gyorsul.
4. Az idő leteltével a KT bontó nyit, K2 ejt; a KT záró zár, K3 húz.
5. A motor deltában fut tovább.

A vezérlési rajz egy gyakori, egyszerűsített kivitelt mutat:



32.6. ábra. Y-Δ indítás vezérlése időrelével - L1 → F2 vezérlőköri biztosító → F1 95-96 hőkioldó bontó → S0 STOP (NC) → S1 START (NO) ‖ K1 13-14 → közös pont; innen párhuzamosan: K1 tekercs (hálózati), KT időrelé tekercs, K2 ág (KT késleltetett bontó → K3 21-22 → K2, csillag) és K3 ág (KT késleltetett záró → K2 21-22 → K3, delta). A K2 és K3 kölcsönösen reteszelt. Alapállapot; a KT érintkezők az időzítés lejárta után váltanak (kapocsszámuk gyártófüggő, ellenőrizendő).

A rajz szöveges leírása: a vezérlés felül az L1-ről indul, alul az N sínre zár. Sorban az F2 vezérlőköri biztosító, az F1 hőkioldó 95–96 érintkezője, az S0 leállító és az S1 indító nyomógomb következik; az ezután lévő közös pontból négy párhuzamos ág indul (K1 tekercs, KT időrelé, K2 ág, K3 ág). Az S1-gyel párhuzamosan a K1 13–14 záró segédérintkezője biztosítja az önfenntartást. A K1 tekercs és a KT időrelé tekercs egyaránt a hőkioldó mögött kap feszültséget. A KT késleltetett bontó érintkezője és a K3 21–22 bontó segédérintkezője a K2 tekercs ágában, a KT késleltetett záró érintkezője és a K2 21–22 bontó a K3 tekercs ágában van. A K2 és K3 ág kölcsönös villamos reteszelést ad.

A gyakorlatban gyakran beiktatnak egy rövid, 50–100 ms-os késleltetést a K2 ejtése és a K3 behúzása közé, hogy az érintkezők íve biztonságosan kialudjon. Ezt **átkapcsolási hézagnak** nevezzük. A pontos értéket a mágneskapcsoló és az időrelé gyártói adatai alapján kell ellenőrizni.

Reteszelés. A K2 és K3 közé mechanikus reteszelést is szerelnek, mert a villamos reteszelés nem véd például egy letapadt érintkező ellen. A mechanikus reteszelés fizikailag megakadályozza, hogy a két mágneskapcsoló egyszerre behúzzon. Ezt a Reverzáló kapcsolás és reteszelés alfejezetben tanult reteszelési elvből érdemes átemelni.

32.3.4. Motor kapocsbekötése 6 vezetékkel

A motor kapocstábláján a kapcsok: U1, V1, W1, U2, V2, W2. A K1-től érkező három fázis az U1, V1, W1 kapcsokra kerül. A tekercsvégekhez (U2, V2, W2) csatlakozik a K2 és a K3.

A csillagkapcsolás: K2 három pólusa az U2, V2, W2 kapcsokat összeköti. A delta kapcsolás: K3 három pólusa az U1–W2, V1–U2, W1–V2 hozzárendelést valósítja meg.

Figyelem. A tekercskezdetek és végek felcserélése vagy a delta hozzárendelés hibája zárlatot vagy feszültség nélkül maradó tekercset, aszimmetrikus járást okozhat; a forgásirányt a K1 bekötése határozza meg. A bekötés előtt mindig ellenőrizd a motorgyártó kapocstábláját; régi motorokon a jelölés eltérhet, ezért folytonosságméréssel is azonosítani kell a tekercspárokat.

32.3.5. Időrelé szerepe és az átkapcsolási idő beállítása

Az időrelé az indítási időt méri. A beállításnál a cél, hogy a motor csillagban elérje a fordulatszámának nagyjából 80–90%-át, mielőtt deltára vált.

- Ha túl rövid az idő, az átkapcsolás gyakorlatilag közvetlen indításként hat, és a nagy áramlökés megmarad.
- Ha túl hosszú az idő, a motor csillagban már nem tud tovább gyorsulni, csak melegszik, és a hőkioldó feleslegesen lekapcsolhat.

Gyakorlati beállítási eljárás. Indítsd el a motort csillagban, és lakatfogóval figyeld a vonali áramot. Az indítás kezdeti árama csökken, ahogy a fordulatszám nő. Amikor az áram már nem csökken érdemben, akkor érdemes átkapcsolni. Állítsd az időrelét ennek az időnek körülbelül 1,0–1,2-szeresére (ne rövidebbre, mert a korai átkapcsolás nagy áramlökést ad), és ellenőrizd az átkapcsolási áramlökést. Tipikus indítási idő 3–15 s, de nagy tehetetlenségű gépeknél hosszabb is lehet **(ellenőrizendő: a gép gyártói adatai)**.

32.3.6. Kidolgozott példák

Példa (A). Egy 11 kW-os, 400 V-os, 50 Hz-es aszinkron motor névleges árama deltában 21 A, a közvetlen indítási áramtöbbszöröse 6,0, az indítónyomaték-többszöröse 2,2. Számítsd ki a vonali indítási áramot és az indítónyomatékot csillagkapcsolásban!

Számítás.

Adott: $I_n = 21\,\mathrm{A}$, $I_{\mathrm{ind,d}} = 6{,}0 \cdot I_n$, $M_{\mathrm{ind,d}} = 2{,}2 \cdot M_n$.

Keresett: $I_{\mathrm{ind,Y}}$ és $M_{\mathrm{ind,Y}}$.

Delta indítási áram:

$$I_{\text{ind,d}} = 6{,}0 \cdot 21\,\text{A} = 126\,\text{A}.$$

Y-indítási vonali áram:

$$I_{\text{ind,Y}} = \frac{I_{\text{ind,d}}}{3} = \frac{126\,\text{A}}{3} = 42\,\text{A}.$$

Y-indítási nyomaték:

$$M_{\text{ind,Y}} = \frac{M_{\text{ind,d}}}{3} = \frac{2{,}2}{3} M_n = 0{,}73\,M_n.$$

Ellenőrzés: egy tekercs impedanciája Z. Csillagban a tekercsfeszültség $U_v/\sqrt{3} = 400\,\text{V}/\sqrt{3} \approx 230\,\text{V}$, így $I_{v,Y} = I_{f,Y} = \dfrac{U_v/\sqrt{3}}{Z}$; deltában $I_{f,\Delta} = \dfrac{U_v}{Z}$ és $I_{v,\Delta} = \sqrt{3}\,\dfrac{U_v}{Z}$. Így $\dfrac{I_{v,Y}}{I_{v,\Delta}} = \dfrac{1}{3}$; a nyomaték a tekercsfeszültség négyzetével arányos: $(1/\sqrt{3})^2 = 1/3$. Az eredmény a szokásos egyharmados csökkenéssel összhangban van. ∎

Ha a gép terhelésnyomatéka indításkor nagyobb, mint $0{,}73\,M_n$, a motor nem tud felgyorsulni csillagban, és az átkapcsolás előtt megreked.

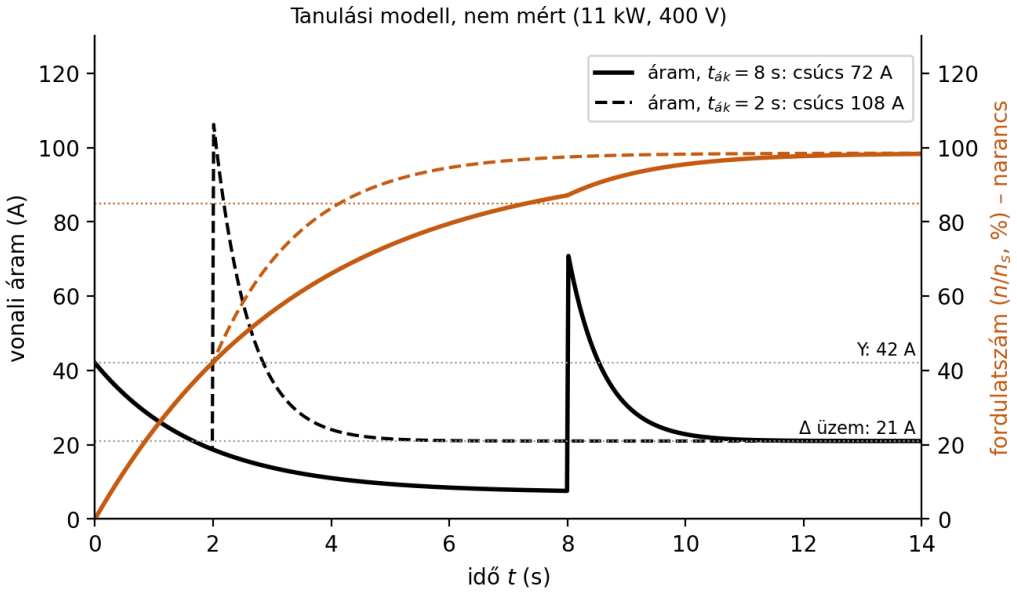
Példa (B). Ugyanez a motor egy ventilátort hajt, amelynek nyomatékigénye indításkor $0{,}4\,M_n$, a csillagban mért gyorsulási idő 8 s. Hogyan állítanád be az időrelét?

Számítás.

Adott: $M_{\text{terh}} = 0{,}4\,M_n$, $t_{\text{gyors,Y}} = 8\,\text{s}$.

Mivel a csillagban rendelkezésre álló indítónyomaték $0{,}73\,M_n$ nagyobb a terhelés $0{,}4\,M_n$ értékénél, a motor képes felgyorsulni. Az időrelét 8 s környékére állítjuk, majd méréssel ellenőrizzük, hogy az átkapcsolás pillanatában a motor fordulatszáma 85% fölött legyen. Ha az átkapcsolási áramlökés és a rezgés elfogadható, a beállítás jó. A beállítás után az időrelét úgy rögzítsük, hogy véletlenül se állítódjon el.

32.3.7. Interaktív ábra: átkapcsolási idő és áram



32.7. ábra. Y-Δ indítási idő és áram szimulátor

Az interaktív ábrán csúszkával állítható az átkapcsolási idő 2–15 s között. A grafikon három görbét mutat: a csillagindítás vonali áramát, a deltaüzem áramát és a motor fordulatszámát. Ha az átkapcsolási idő túl rövid (2 s), a fordulatszám alacsony, és az átkapcsolási áramlökés nagy; ha jól beállított (pl. 8 s), a fordulatszám már 85% fölött van, és az áramlökés kicsi marad. Statikus tartalék ábra leírása: vízszintes tengelyen az idő (s), balra az áram (A), jobbra a fordulatszám (%). A motor 11 kW-os példaadatait használja: csillagban az indítási áram 42 A-ról csökken, a deltaüzem árama 21 A, az átkapcsolási csúcs 70–80 A a helyes időzítésnél.

32.3.8. Szabványi háttér

Szabvány. Az Y-Δ indítóval egybeépített kapcsolókészülékekre, az érintkezők használati kategóriájára és a motorvédelmi koordinációra az MSZ EN 60947 sorozat vonatkozik. Ha a hőkioldó a K1 után, a tekercskezdetekhez (U1, V1, W1) menő vezetékekben van (szokásos elrendezés), a tekercsáramot méri: beállítása $I_r = I_n/\sqrt{3} \approx 0{,}58\, I_n$ (a 11 kW-os példában $21\,\text{A}/1{,}732 \approx 12{,}1\,\text{A}$). Ha a hálózati betáplálásban van, a motor névleges áramára állítjuk (csillagállásban kevésbé véd; ellenőrizendő: gyártói kapcsolási rajz). Az áramváltós megoldásoknál figyelembe kell venni, hogy a csillag- és deltaüzemben az áramváltó elhelyezése eltérő. A konkrét szabványkiadást és a gyártói alkalmazási adatokat a tervezés előtt ellenőrizni kell.

32.3.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy ipari mosodában a centrifugamotor Y-Δ indítóval indult. A szerelő azt tapasztalta, hogy a motor csillagban elindul, de nem vált deltába; a fordulatszáma alacsony maradt, és a hőkioldó időnként lekapcsolta. A helyszíni mérés során kiderült, hogy az időrelé tekercse rossz sorkapocshoz volt kötve, ezért az időrelé nem kapott feszültséget. A vezérlőkör feszültségmérése (jogosult személy, megfelelő mérési kategóriájú műszerrel) kimutatta, hogy a KT időrelé tekercsén nincs feszültség, a főáramkör és a K3 mágneskapcsoló rendben volt. A mágneskapcsolót feszültség alatt kézzel benyomni tilos: a behúzott K2 mellett a K3 benyomása fázisok közötti zárlatot okoz.

A vezérlés javítása után a motor megfelelően átkapcsolt. A tanulság: a hibakeresésnél először mindig a vezérlési feszültségeket kell mérni, nem pedig azonnal a mágneskapcsolókat cserélni.

32.3.10. Gyakorlati útmutató

Cél. Építsd be és próbáld ki az Y-Δ indító vezérlést tanműhelyi kapcsolótáblán, és állítsd be az átkapcsolási időt.

Eszközök és anyagok. Három mágneskapcsoló (K1, K2, K3), mechanikus reteszelés a K2–K3 párhoz, időrelé (pl. 0,1–10 s vagy 0,1–30 s), leállító és indító nyomógomb, hőkioldó vagy motorvédő kapcsoló, jelzőlámpák, szerelővezetékek, érvéghüvelyek, szerszámok, multiméter (CAT III vagy a mérési környezetnek megfelelő), lakatfogó, forgásirány-mérő.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi, törpefeszültségű környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

A munkavégzés előtt alkalmazd az **öt biztonsági szabályt**:

1. Lekapcsolás.
2. Visszakapcsolás elleni biztosítás.
3. Feszültségmentesség ellenőrzése.
4. Földelés és rövidre zárás.
5. Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.

Lépések.

1. Ellenőrizd a kapcsolási rajzot, és hasonlítsa össze a motor kapocstáblájával.
2. Szereld be a mágneskapcsolókat a szerelőlemezre, és rögzítsd a mechanikus reteszelést a K2–K3 párra.
3. Kösd be a főáramkört: K1 a hálózati fázisokat az U1, V1, W1 kapcsokra, K2 a tekercsvégeket csillagpontba, K3 a tekercsvégeket a delta mintázatba.
4. Kösd be a vezérlést a diagram szerint, ügyelve a kölcsönös reteszelő segédérintkezőkre.
5. Állítsd be a hőkioldót: ha a K1 után, a tekercskezdeteknél van, $I_r = I_n/\sqrt{3} \approx 0{,}58\,I_n$ értékre, ha a hálózati betáplálásban, a motor névleges áramára (ellenőrizendő: gyártói kapcsolási rajz); az időrelét pedig kezdésként 5–8 s-ra.
6. Feszültségmentes állapotban multiméterrel ellenőrizd a tekercsáramkörök folytonosságát, a reteszelő érintkezők helyes bekötését és a delta hozzárendelést.
7. Csak az oktató engedélyével, a tanműhelyi modellen kapcsolj feszültséget, indítsd el a vezérlést, és figyeld a kontaktorsorrendet: K1 + K2 behúz, majd a KT idő lejárta után K2 ejt, K3 behúz.
8. Lakatfogóval mérd az indítási és az átkapcsolási áramot, ha a tanműhelyi körülmények engedik.
9. Állítsd az időrelét a mért áramgörbe alapján, majd dokumentálja a kapcsolási rajzot, a beállításokat és a mérési eredményeket.

Ellenőrzési pontok. Feszültségmentes állapotban a K2 és K3 érintkezők között ne legyen zárlat; a reteszelés kézi működtetésnél ne engedje mindkettő behúzását; az átkapcsolási idő a motor gyorsulásának megfelelő legyen; a forgásirány a helyes legyen.

Tipikus hibák a szerelésnél. Rossz delta hozzárendelés, reteszelés elhagyása, túl rövidre állított időrelé, a hőkioldó 95–96 érintkezőjének kihagyása.

Dokumentálás. Készíts kapcsolási rajzot, fényképezd le a szerelést, jegyezd fel az időrelé beállítását és a mérési értékeket.

32.3.11. Hibakeresés: a motor nem vált deltába

Tünet. A motor csillagban elindul, a fordulatszám emelkedik, de az időrelé idő lejárta után sem vált deltába: a K2 behúzva marad, a K3 nem húz be.

Hipotézisek.

1. Az időrelé (KT) nem kap feszültséget.
2. A KT késleltetett záró érintkezője kiégett, vagy nem zár.
3. A K2 bontó segédérintkezője (21–22) nem zár vissza, amikor K2 ejt, így a K3 áramkör szakadt.
4. A K3 tekercs szakadt, vagy a mechanikus reteszelés beragadt.
5. A K3 tekercs közös nullavezetője rossz sorkapocson van.

Mérési lépések. Feszültségmentesítés után multiméterrel mérd a KT tekercs ellenállását és a vezérlési pontok folytonosságát. Feszültség alatt, jogosult személy által mérve ellenőrizd a KT tekercs kapcsain a feszültséget, majd az időzítés lejárta után a KT záró érintkező kimenetét a K3 tekercs felé.

Ok. A gyakorlatban gyakran a KT késleltetett érintkezője hibásodik meg, vagy a K2 21–22 segédérintkező nem zár vissza, mert a K2 mágneskapcsoló mechanikusan lassan ejt.

Javítás. Cseréld a hibás időrelét vagy segédérintkezőt, ellenőrizd a mágneskapcsoló mechanikáját, és próbáld ki újra a teljes sorrendet.

Megelőzés. Rendszeres érintkező-ellenőrzés, tartalék időrelé és segédérintkező készlet, a mágneskapcsolók portalanítása.

32.3.12. Tipikus hibák

1. **K2 és K3 egyidejű behúzása.** Ez az átkapcsolási zárlat: a csillagpont és a delta bekötés egyszerre fennáll, ami a fázisok közötti rövidzárlatot okoz. Megelőzése villamos és mechanikus reteszeléssel történik.
2. **Helytelen delta bekötés.** Ha a tekercsvéget nem a delta táblázat szerinti fázisra kötik (pl. U2-t L1-re), az U tekercs rövidre zárt végekkel feszültség nélkül marad, a motor aszimmetrikus áramot vesz fel, zúg és melegszik; a tekercskezdet és -vég felcserélése deltában nagy köráramot is okozhat. A bekötést mindig a kapocstáblával összevetve kell ellenőrizni.
3. **Az időrelé túl rövidre állítása.** Ha az átkapcsolás 2 s után megtörténik, a motor még nem gyorsult fel, ezért az áramkorlátozás hatástalan marad: a hálózatot nagy áramlökés éri.
4. **A reteszelés elhagyása.** Ha a vezérlésben nincs K2–K3 bontó érintkező, a letapadt K2 érintkező esetén a K3 is behúzhat, és zárlat keletkezik.

32.3.13. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy az Y-Δ indításnál a csillagkapcsolásban a hálózati indítási áram a delta indítási áram egyharmada? Indokold!
2. Mi a szerepe a KT időrelének?
3. Miért kell a K2 és K3 közé reteszelést kötni?
4. Hová kötik a motor U2, V2, W2 kapcsait a K2 mágneskapcsoló?
5. Mi történik, ha a csillagpontot a nullavezetőre kötik?
6. Miért kell hat vezetéket kivezetni a motorból az Y-Δ indításhoz?

32.3.14. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a három mágneskapcsoló szerepét az Y-Δ indításnál, és add meg a helyes delta hozzárendelést!

2. feladat (A). Egy 7,5 kW-os motor névleges árama 15 A, indítási áramtöbbszöröse 6,5. Számítsd ki a csillagindítás vonali áramát!

3. feladat (B). Ugyanennek a motornak az indítónyomaték-többszöröse 2,4. Fejtsd ki, hogy alkalmas-e egy olyan terhelés indítására, amelynek nyomatékigénye indításkor $1{,}1\,M_n$, ha Y-Δ indítást akarunk használni!

4. feladat (B). Rajzold le a vezérlési rajzot az Y-Δ indításhoz, és jelöld be a K2–K3 reteszelést!

5. feladat (C). Egy Y-Δ indítóval szerelt motor nem vált deltába. A mérések szerint a KT tekercsen van feszültség, a KT záró érintkezője zár, de a K3 tekercsen nincs feszültség. Milyen lehetséges okot keresel? Javasolj mérési lépést!

6. feladat (D). Tanműhelyi kapcsolótáblán állítsd be az Y-Δ indítás időreléjét. A lakatfogóval mért csillagindítási áram 6 s után már nem csökken. Milyen időrelé-beállítást választasz, és hogyan ellenőriznéd a helyes átkapcsolást?

32.3.15. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok.

1. Igaz. Csillagban a tekercsfeszültség a delta érték $1/\sqrt{3}$-ad része, ezért a vonali áram egyharmada a delta indítási áramnak.
2. Az időrelé méri az indítási időt, és a beállított idő lejárta után elvégzi a csillagról deltára váltást.
3. Mert a K2 és K3 egyidejű behúzása rövidzárlatot okoz, a reteszelés ezt akadályozza meg.
4. A K2 közös csillagpontba köti az U2, V2, W2 kapcsokat.
5. A motor csillagpontja nem a hálózat nullája; a nulla rákötése aszimmetrikus áramokat és hibás működést okozhat, tilos.
6. Mert a motor kapcsainak mindkét végét ki kell vezetni ahhoz, hogy a K2 csillagba, a K3 deltába köthesse a tekercseket.

1. feladat (A) megoldása. K1: hálózati fázisok az U1, V1, W1 kapcsokra. K2: tekercsvégek csillagpontba. K3: tekercsvégek delta mintázatba. Helyes delta hozzárendelés: U1–W2, V1–U2, W1–V2.

2. feladat (A) megoldása. A delta indítási áram: $I_{\text{ind,d}} = 6{,}5 \cdot 15\,\text{A} = 97{,}5\,\text{A}$. A csillagindítási vonali áram ennek egyharmada: $I_{\text{ind,Y}} = 97{,}5/3 = 32{,}5\,\text{A}$.

3. feladat (B) megoldása. A Y-Δ indításnál a csillagban rendelkezésre álló indítónyomaték: $M_{\text{ind,Y}} = \frac{2{,}4}{3} M_n = 0{,}8\,M_n$. A terhelés nyomatékigénye $1{,}1\,M_n$, ami nagyobb, mint $0{,}8\,M_n$. Ezért a motor nem tud felgyorsulni csillagban, megreked, és az átkapcsolás után is alacsony fordulatszámú maradhat, miközben a túlmelegedés veszélye fennáll. Zárt terhelésnél más indítási módot (pl. lágyindító, csúszógyűrűs motor) kell választani.

4. feladat (B) megoldása. A rajz a fenti circuit diagramon látható. A K2 tekercs ágában a KT késleltetett bontó és a K3 21–22 bontó, a K3 tekercs ágában a KT késleltetett záró és a K2 21–22 bontó helyezkedik el. A reteszelés akadályozza meg az egyidejű behúzást.

5. feladat (C) megoldása. Ha a KT záró érintkezője zár, de a K3 tekercsen nincs feszültség, akkor a hiba valószínűleg a K2 21–22 bontó segédérintkezőben van: az érintkező nem zár vissza,

vagy a jelfogó vezeték szakadt a K3 tekercsig. Mérési lépés: feszültségmentesítés után mérd a K2 21–22 érintkező folytonosságát, majd a K3 tekercs bekötését a sorkapcsokon.

6. feladat (D) megoldása. Ha a csillagindítási áram 6 s után már nem csökken, akkor a motor elérte a csillagban elérhető fordulatszámát. Az időrelét 6 s környékére, például 6–7 s-ra állítjuk. Az átkapcsolás után lakatfogóval megmérjük a deltaüzem áramát, és ellenőrizzük, hogy az átkapcsolási áramlökés nem túl nagy, valamint hogy a motor forgásiránya helyes.

32.3.16. Rövid összefoglaló

Az Y-Δ indítás arra szolgál, hogy az aszinkron motor hálózati indítási áramát a közvetlen delta indítás egyharmadára csökkentse. Ehhez a motor tekercseit indításkor csillagba, majd az indítási folyamat végén deltába kapcsolják. A főáramkör három mágneskapcsolót használ: K1 a hálózatot a tekercskezdetekre kapcsolja, K2 a tekercsvégeket csillagpontba köti, K3 a tekercsvégeket delta mintázatba kapcsolja. A K2 és K3 egyidejű behúzása tilos, mert fáziszárlatot okoz, ezért villamos és mechanikus reteszelést kell alkalmazni. A vezérlésben az időrelé (KT) késleltetett érintkezői vezérlik a váltást: indításkor K1 + K2 húz, az idő lejárta után K2 ejt, K3 húz. Az átkapcsolási időt úgy kell beállítani, hogy a motor csillagban elérje a fordulatszámának 80–90%-át. Az Y-Δ indításnál az indítónyomaték is a delta érték egyharmada, ezért csak kis nyomatékigényű, például szivattyú- vagy ventilátorhajtásokhoz alkalmas. Az itt tanult kontaktorsorrendet, reteszelést és időrelés váltást a későbbi vezérléseknél is használjuk.

32.3.17. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ EN 60947 sorozat (motorindító kapcsolókészülékek, használati kategóriák, koordináció): a konkrét szabványkiadást és az Y-Δ indítóra vonatkozó típusvizsgálati követelményeket ellenőrizni kell.
- A mágneskapcsolók és időrelék gyártói adatlapjai: az átkapcsolási hézag, az érintkezők élettartama és a mechanikus reteszelés kialakítása a gyártó dokumentációjából származik.
- A hálózati engedélyes csatlakozási feltételei: a megengedett indítási áram és feszültségletörés határértékei az elosztói előírásoktól függenek.
- A motor gyártói adatlapja: a kapocstábla, a névleges feszültség és a megengedett indítási idő a motor dokumentációjából ellenőrizendő.

32.4. Kétsebességű, sorrendi és késleltetett vezérlések

32.4.1. Motiváció

Képzeld el, hogy egy frisslevegő-ventilátor nappal teljes fordulatszámon, éjszaka viszont csak fele fordulatszámon dolgozna, mert a zaj és az energiafogyasztás is kisebb kell legyen. Ugyanez igaz lehet egy szállítószalagra is: ha két motor egymás után dolgozik, nem indulhat el az etető szalag akkor, amikor a fogadó szalag még nem fut. Ha pedig leáll a sor, előbb az etető szalagnak kell leállnia, a fogadó szalagnak pedig még ki kell ürítenie a rajta lévő anyagot, hogy az ne torlódjon fel a szalagátadásnál. Az ilyen feladatokat hagyományos kontaktoros vezérléssel, reteszelő érintkezőkkel és időrelékkel lehet áttekinthetően, megbízhatóan megoldani. Ebben az alfejezetben a kétsebességű Dahlander-motor vezérlését, a sorrendi indítást és a késleltetett leállítást tanuljuk meg.

32.4.2. Kétsebességű motorok és a Dahlander-kapcsolás

Az aszinkron motor fordulatszámát a(z) Fordulatszám-változtatás, Dahlander, frekvenciaváltó és fékezés alfejezetben már bemutatott összefüggés szerint elsősorban a póluspár-szám határozza meg:

$$n = (1 - s)\frac{60f}{p},$$

ahol f a hálózati frekvencia, p a póluspár-szám, s a szlip. Ha a motor póluspár-száma megduplázódik, az üresjárási fordulatszáma közel a felére csökken. A Dahlander-motor olyan háromfázisú aszinkron motor, amelynek tekercselését kapcsolókkal át lehet kapcsolni, így két, jellemzően $1:2$ arányú fordulatszámot ad. A gyakorlatban elterjedt például a 2/4 pólusú motor ($p = 1$ / $p = 2$ póluspár), amely 50 Hz hálózaton körülbelül 3000 min^{-1} és 1500 min^{-1} üresjárási fordulatszámot tud (a 4/8 pólusú motor 1500 min^{-1} és 750 min^{-1}).

A Dahlander-motor kapocstábláján hat csatlakozó kapocs van, jellemzően U_1, V_1, W_1 és U_2, V_2, W_2 jelöléssel. A két fordulathoz tartozó bekötési változatot mindig a motor kapocstáblája vagy adattáblája adja meg. A vezérlés, amit most tervezünk, két kontaktorcsoporttal dolgozik:

- **Lassú fokozat:** a K_1 kontaktor húz be, amely a hálózatot a lassú fokozatnak megfelelő kapcsokra köti.
- **Gyors fokozat:** a K_2 és K_3 kontaktorok egyszerre húznak be. A K_2 a gyors fokozat táplálását kapcsolja, a K_3 pedig a motor csillagpontját zárja a Dahlander-tekercselés gyors kapcsolásához.

Az alábbi rajz a főáramkört mutatja háromvonalas jelöléssel (fokozatonként külön hőkioldóval, F1 és F2):

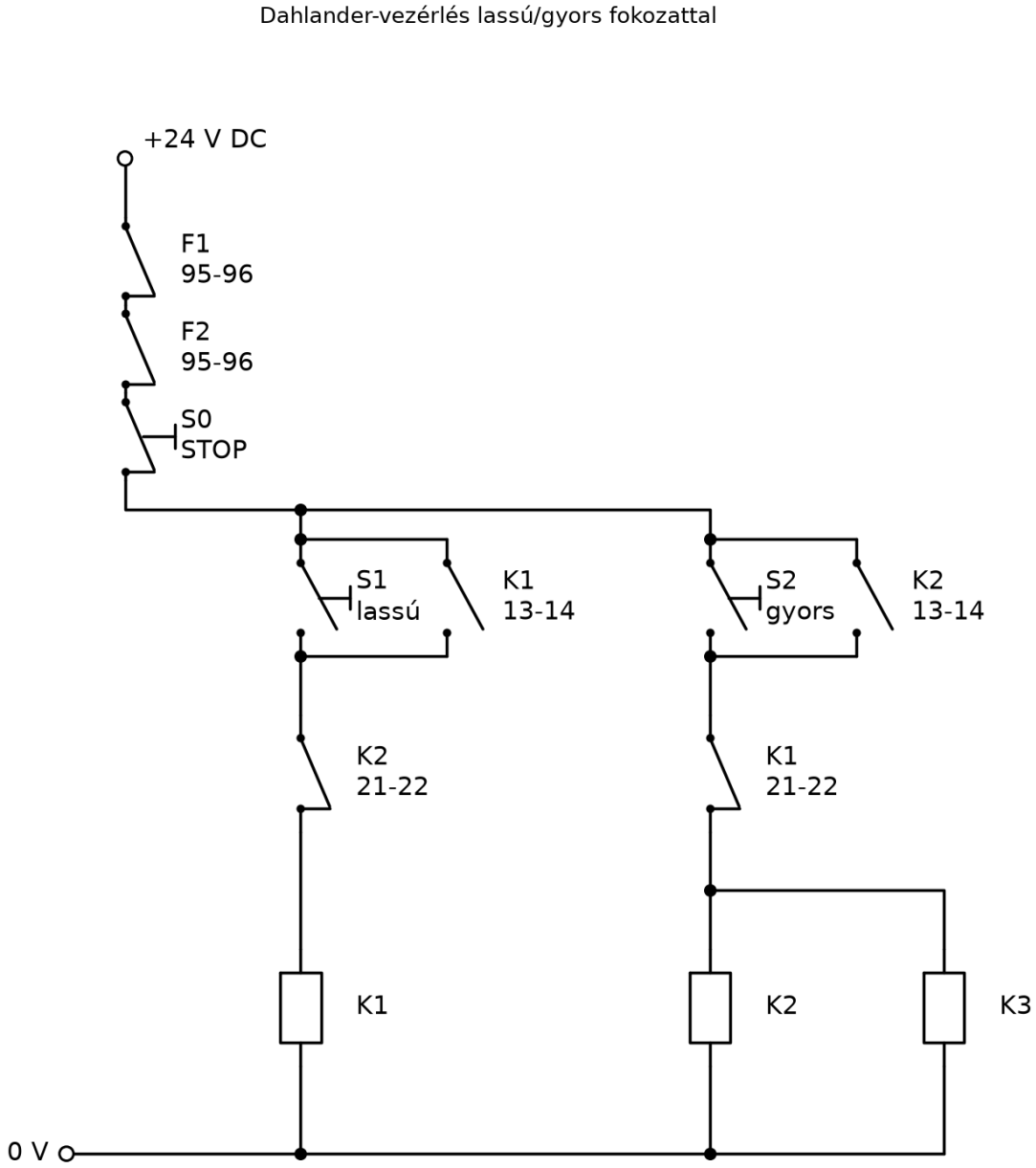
32.8. ábra. Kétsebességű Dahlander-motor főáramköre (háromvonalas, elvi) - Lassú fokozat (Δ): K1 köti az L1, L2, L3 fázist az U1, V1, W1 kapocsra, U2, V2, W2 szabad. Gyors fokozat (YY): K2 köti a hálózatot az U2, V2, W2 kapocsra, K3 az U1, V1, W1 kapcsot csillagponttá zárja. Fokozatonként külön hőkioldó (F1, F2); PE a motortestre. A K1 és a K2(+K3) villamosan és mechanikusan reteszelt. A gyors fokozat fázissorrendjét (azonos forgásirány) a motor kapocstáblája adja meg (ellenőrizendő).

A főáramkörben a K_1 és a K_2 főérintkezői egymástól független utat adnak a motornak. A K_3 érintkező a U_1, V_1, W_1 csoportot zárja össze a csillagponttal. A lassú fokozaton csak K_1 húz, a gyorson K_2 és K_3 egyszerre. Fontos látni, hogy K_1 és K_2 egyidejű behúzása tilos, mert a motor két eltérő kapcsolási állapotát kötné egymásra, ami fáziszárlatot, a motor tekercselésének károsodását vagy a védelem leoldását okozhatja.

32.4.3. A Dahlander-vezérlés kapcsolási rajza és működése

A vezérlés tipikus feszültsége tanműhelyben 24 V DC; ipari berendezésben lehet 230 V AC. A könyvben a biztonságos, tanulható 24 V DC változatot használjuk. A vezérlőáramkörben a két fokozat hőkioldójának (F_1, F_2) 95–96 bontóérintkezője és az S_0 leállító nyomógomb sorosan a

közös tápfeszültségben van, így bármelyik megszakításával minden kontaktor leejt. Az S_1 a lassú, az S_2 a gyors indítást szolgálja.



32.9. ábra. Dahlander-vezérlés lassú/gyors fokozattal - 24 V DC vezérlés. Közös ág: F1 95-96 → F2 95-96 (fokozatonkénti hőkioldók bontói) → S0 stop (NC). Lassú ág: S1 ‖ K1 13-14 → K2 21-22 reteszelő bontó → K1. Gyors ág: S2 ‖ K2 13-14 → K1 21-22 reteszelő bontó → K2, vele párhuzamosan a K3 tekercs (a csillagpont csak a gyors fokozaton zár). Fokozatváltás S0-val, leállított állapotból.

Működés. Ha az S_1 lassú indítógombot megnyomjuk, a K_1 tekercs áramot kap, a K_1 záró segédérintkezője párhuzamosan önfenntartást ad, és a K_1 főérintkezői behúznak. A K_1 bontó segédérintkezője a gyors ágba van kötve, ezért az S_2 lenyomása ilyenkor nem tud K_2-t behúzni. Ha a gyors fokozatot akarjuk, előbb S_0-val le kell állítani a rendszert, majd S_2-t kell megnyomni.

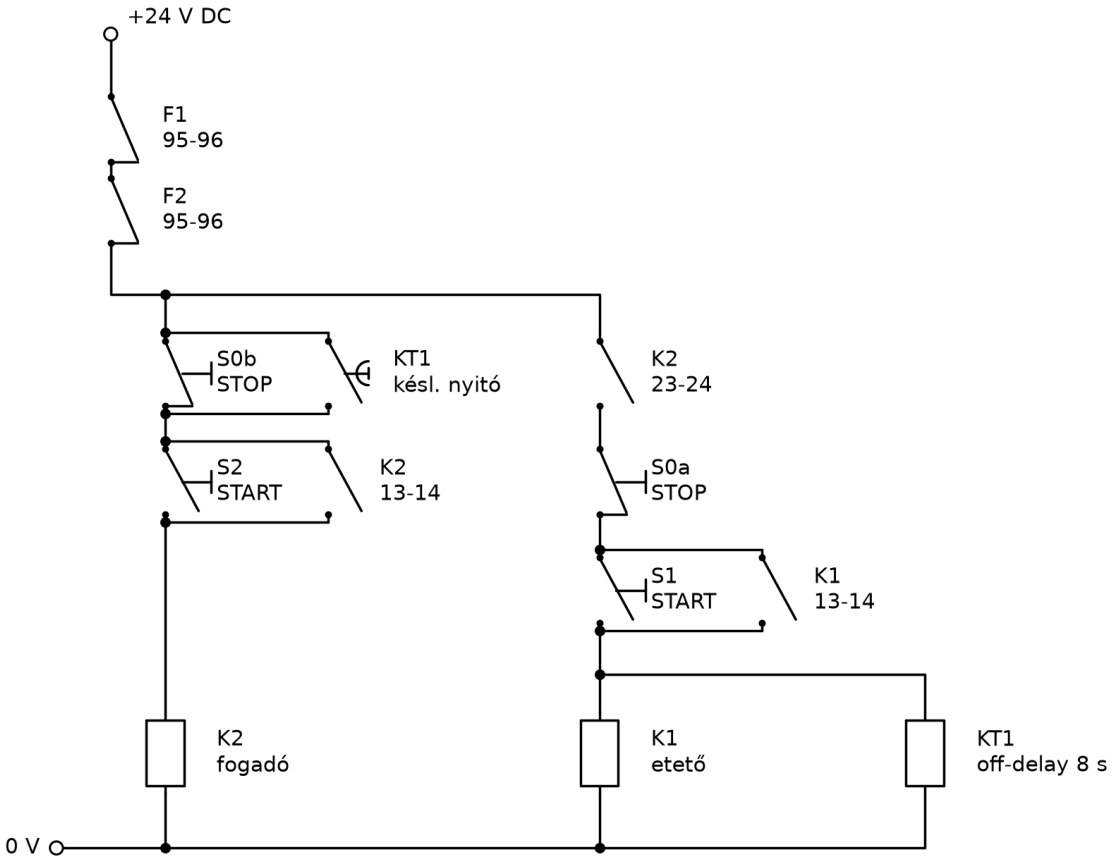
Ekkor K_2 és K_3 behúz, a K_2 önfenntartó záró érintkezője fenntartja, a K_2 bontó reteszelő érintkezője pedig elzárja a K_1 ágát. Az átkapcsolás így mindig feszültségmentes állapotból történik, és a reteszelés megakadályozza az egyidejű behúzást.

A gyakorlatban a gyors indítás előtt gyakran bekapcsolás-késleltetést alkalmaznak, hogy a motor először lassú fokozaton felfusson, majd csak utána váltson gyorsra. Ezt egy időrelé is megoldhatja, ha a gyors ág vezérlését késleltetett záró érintkezővel engedélyezzük.

32.4.4. Sorrendi indítás szállítószalagon

Szállítószalagoknál a motorok együttműködése nemcsak kényelmi kérdés, hanem gyártási és baleseti feltétel is. Tegyük fel, hogy M_1 az etetőszalag, M_2 pedig a fogadószalag motorja. Ha M_2 nem jár, az M_1-ről érkező anyag felgyűlik, leesik, vagy a fogadó gép eltömődik. Ezért a beindítás sorrendje kötött: előbb a fogadó M_2, és csak utána az etető M_1 (az anyagárammal szemben indítunk). A leállítás sorrendje viszont az anyagárammal egyirányú: előbb álljon le az etető M_1, és csak utána a fogadó M_2, amely késleltetve, a kiürülésig fut tovább.

A szabályt kontaktoros reteszeléssel valósítjuk meg. A K_1 kontaktor az etető M_1 motort, a K_2 kontaktor a fogadó M_2 motort kapcsolja. A K_1 vezérlőágában sorosan van egy K_2 záró segédérintkező, így K_1 csak akkor kaphat feszültséget, ha K_2 már behúzott. A leállításkor a stop az etetőt (K_1) azonnal ejti, a fogadót (K_2) pedig egy kikapcsolás-késleltetett időrelé a beállított ideig akkor is fenntartja, ha az S_0-t közben megnyomják; a kiürítési idő után a K_2-t az S_0 (nyomva tartva vagy újra megnyomva) állítja le.

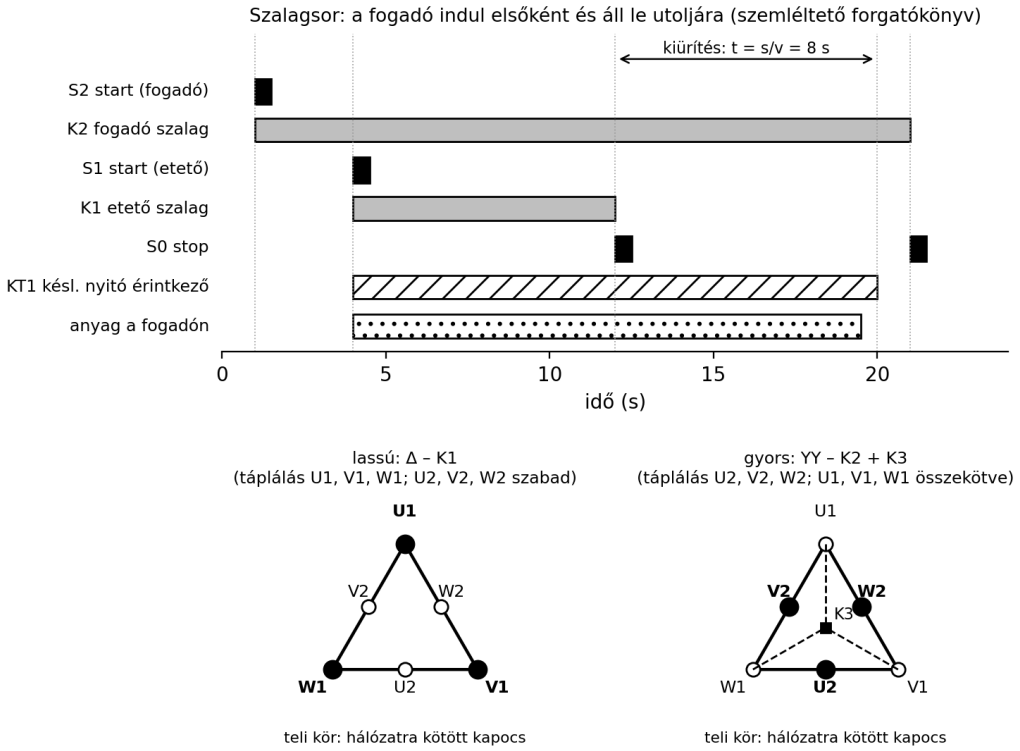


32.10. ábra. Sorrendi indítás szállítószalagon időrelével - K2 a fogadószalag (indul elsőként), K1 az etetőszalag. K2 ága: S0b stop (NC, áthidalva a KT1 késleltetve nyitó záróval) → S2 start ‖ K2 13-14 → K2. K1 ága: K2 23-24 (K1 csak futó K2 mellett húzhat be, K2 leállása K1-et is ejti) → S0a stop → S1 start ‖ K1 13-14 → K1; a KT1 kikapcsolás-késleltetett időrelé tekercse a K1-gyel párhuzamos. Az S0 egy nyomógomb két bontóval: megnyomására K1 azonnal leáll, K2-t a KT1 a kiürítési ideig (8 s) még fenntartja; S0 csak ezután (nyomva tartva vagy újra megnyomva) állítja le K2-t. F1, F2 95-96: a két motor hőkioldója.

A rajz az anyagáramnak megfelelő sorrendet valósítja meg: a fogadószalag (K_2, S_2) indul elsőként, az etető (K_1) ágában sorosan a K_2 23–24 záró segédérintkezője van, így K_1 csak futó K_2 mellett húzhat be (és K_2 kiesésekor K_1 is leáll). A KT_1 kikapcsolás-késleltetett időrelé tekercse a K_1-gyel párhuzamos; késleltetve nyitó záróérintkezője a K_2 ágában az S_0 stop gomb S_{0b} bontóját hidalja át. Az S_0 megnyomásakor az etető (K_1) azonnal leáll, a fogadót (K_2) viszont a KT_1 még a kiürítési ideig fenntartja; csak ezután állítja le az S_0 (nyomva tartva vagy újra megnyomva).

A következő időDiagram ezt a működést mutatja egy szemléltető forgatókönyvön: $t = 1$ s-nál S_2 indítja a fogadót, $t = 4$ s-nál S_1 az etetőt; $t = 12$ s-nál S_0 megnyomására az etető azonnal leáll, a fogadó a KT_1 miatt még 8 s-ig ($t = s/v = 8\,\mathrm{m}/1\,\mathrm{m/s}$) fut és kiürül, majd $t = 21$ s-nál az ismételt S_0 leállítja. Az ábra alsó része a Dahlander-motor kapocstábláját mutatja: lassú fokozaton (K_1) a táplálás az U_1, V_1, W_1 kapcsokon van (delta), gyors fokozaton ($K_2 + K_3$) az U_2, V_2, W_2 kapcsokon, az U_1, V_1, W_1 összekötve (kettős csillag). A HTML-kiadásban

a forgatókönyv lépésenként lejátszható, kipróbálható a hibás sorrend (etető előbb), és a Dahlander-bekötés lassú/gyors állásba kapcsolható.



32.11. ábra. Szalagsor sorrendi vezérlésének idődiagramja (fogadó elsőként indul, utoljára áll le, 8 s kiürítés) és a Dahlander-motor Δ/YY bekötése

32.4.5. Időrelék: bekapcsolás- és kikapcsolás-késleltetés

Definíció. A bekapcsolás-késleltetett időrelé (on-delay) tekercsének feszültség alá helyezése után a kimeneti érintkezők csak a beállított t idő letelte után váltanak. Kikapcsoláskor az érintkezők azonnal visszaállnak.

Definíció. A kikapcsolás-késleltetett időrelé (off-delay) tekercsének feszültségmentesítése után az érintkezők még a beállított t ideig megtartják az állapotukat, majd visszaállnak.

Az időrelék bekötésekor meg kell különböztetni a tápfeszültség-kapcsokat (például A_1 és A_2) és a kimeneti érintkezőket (15/16, 18, 25/26, 28 stb. – a pontos számozást a gyártói adatlap adja). A vezérlési rajzon az időrelé tekercsét a szokásos tekercsjel (KT, A1–A2), a késleltetett érintkezőt a késleltetett záró vagy bontó rajzjel mutatja; az ív iránya jelzi, hogy behúzáskor vagy elengedéskor késleltet (lásd a Rajzjelek függeléket).

A bekapcsolás-késleltetés tipikus alkalmazása például a csillag–delta indítás időzítése, a Dahlander gyors fokozatra kapcsolás késleltetése vagy a szellőzőmotorok indítása. A kikapcsolás-késleltetés pedig a szalagsor leállításakor a kiürítési idő biztosítására, szerszámgépek kenőszivattyújának utófutására vagy biztonsági hűtőventilátor leállítására szolgál.

32.4.6. Védelmek és reteszek összekapcsolása

A kontaktoros motorvezérlésekben a védelmek és a reteszek egy áramköri láncot alkotnak. **Szabály.** A motorvédő hőkioldó (95–96 NC érintkező) mindig a vezérlőáramkör közös tápágába,

a leállító nyomógombok és a kontaktor tekercsek elé kerüljön, hogy kioldáskor minden vezérlés feszültségmentes legyen. Az S_0 STOP nyomógomb ugyanígy minden kontaktort ejt. A vészleállító ettől külön készülék (lásd a Direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek alfejezetet).

A reteszelés elektromos és mechanikus lehet. **Definíció.** Az elektromos reteszelés két kontaktor bontó segédérintkezőjének keresztbekötése: az egyik kontaktor bontó érintkezője a másik tekercsének ágában van. A mechanikus reteszelés fizikai szerkezet, amely megakadályozza, hogy két kontaktor egyszerre mechanikusan behúzott állapotba kerüljön. A gyakorlatban a két megoldást gyakran együtt alkalmazzák, mert ha az egyik meghibásodik, a másik még megakadályozza az egyidejű behúzást (egymás tartalékai).

Továbbvitt eredmény. Az itt megismert reteszelési, sorrendi és időrelés logikát fogjuk használni a Vezérlések hibakeresése alfejezetben, ahol a tipikus hibák okait kell méréssel megtalálni.

32.4.7. Kidolgozott példák

32.4.7.1. 1. példa: Dahlander-motor kontaktorainak kiválasztása

Adott: kétsebességű motor, $P_g = 2{,}2\,\mathrm{kW}$ a gyors fokozaton, $P_l = 1{,}1\,\mathrm{kW}$ a lassú fokozaton (tengelyteljesítmény), $U = 400\,\mathrm{V}$, $\cos\varphi = 0{,}82$, $\eta_g = 0{,}80$, $\eta_l = 0{,}78$ (tanulási adatok). A vezérlés $24\,\mathrm{V}$ DC, a kontaktorok tekercsei $24\,\mathrm{V}$ DC.

Keresett: a főáramköri kontaktorok minimális névleges árama.

Számítás: a háromfázisú áramfelvétel (P a tengelyteljesítmény):

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\,U\,\eta\,\cos\varphi}.$$

A gyors fokozaton:

$$I_g = \frac{2200}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0{,}80\cdot 0{,}82} \approx \frac{2200}{454{,}5} \approx 4{,}84\,\mathrm{A}.$$

A lassú fokozaton:

$$I_l = \frac{1100}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0{,}78\cdot 0{,}82} \approx \frac{1100}{443{,}1} \approx 2{,}48\,\mathrm{A}.$$

Eredmény: mindhárom kontaktor legalább $5\,\mathrm{A}$ névleges áramú legyen, célszerűen villamosmotorok kapcsolására alkalmas *AC*-3 kategóriai használattal. Mindkét fokozat betáplálásába külön hőkioldót építünk: F_1 (lassú) beállítása $2{,}5\,\mathrm{A}$, F_2 (gyors) beállítása $4{,}8\,\mathrm{A}$ (az adattábla szerinti értékre); mindkettő 95–96 érintkezője sorosan a közös vezérlőágban van. **Ellenőrzés:** a két fokozat áramai és kapcsai eltérnek, ezért egyetlen, a gyors fokozatra állított hőkioldó a lassú fokozaton a motort védelem nélkül hagyná. Ha a motor hővédelme kritikus, kiegészítő termisztoros védelem szükséges.

32.4.7.2. 2. példa: Sorrendi indítás időrelével

Adott: szállítószalag két motorral. $M_1 = 3\,\mathrm{kW}$, $M_2 = 5{,}5\,\mathrm{kW}$, $U = 400\,\mathrm{V}$, $\cos\varphi = 0{,}82$. A szalag hossza 8 m, sebessége 1 m/s. A leállításkor a szalagnak ki kell ürülnie, azaz az etető (K_1) leállítása után a fogadó (K_2) még 8 másodpercig fut.

Keresett: a motorok áramai és a leállítás-késleltetés időzítése.

Számítás ($\eta_1 = 0{,}82$, $\eta_2 = 0{,}86$, tanulási adatok): $I_1 = \frac{3000}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0{,}82\cdot 0{,}82} \approx 6{,}44\,\mathrm{A}$, illetve $I_2 = \frac{5500}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0{,}86\cdot 0{,}82} \approx 11{,}3\,\mathrm{A}$. Az etető ($K_1$) leállása után a fogadót (K_2) $t = s/v = 8\,\mathrm{m}/1\,\mathrm{m/s} = 8\,\mathrm{s}$ ideig kell tartani. **Ellenőrzés:** az időrelét kikapcsolás-késleltetett típussal kell választani, és a beállítást a tényleges szalaghossz és sebesség alapján kell finomítani.

32.4.8. Szabvány

Szabvány. A gépek villamos berendezéseire vonatkozó MSZ EN 60204-1 jellegű előírások megkövetelik, hogy a váratlan indítás ne okozzon veszélyt, a reteszelések és a vészleállítási körök működését egyértelműen lehessen ellenőrizni, és a motorvezérlést a gyártó által megadott üzemi és hibaállapotokra méretezzék **(ellenőrizendő: a pontos szabványkiadás és a magyarországi jogszabályok hivatkozása)**. A kontaktorok kiválasztásakor az MSZ EN 60947 sorozat vonatkozó részei, a használati kategóriák (AC-3) és a gyártói kapcsolási gyakorisági adatok a mérvadók **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**.

32.4.9. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy üzemben kétsebességű elszívóventilátort szereltek. A szerelő a gyors fokozat K_2 kontaktorát bekötötte, de a K_1 bontó reteszelő érintkezőjét kihagyta a gyors ág (K_2 és K_3 tekercs) elől. Az átkapcsolás során a kezelő a lassúról gyorsra váltott; mivel a retesz nem működött, rövid időre K_1 mellett K_2 és K_3 is behúzott: a K_3 a K_1 által táplált U_1, V_1, W_1 kapcsokat csillagponttá zárta, ami háromfázisú zárlat. A hálózati kismegszakító leoldott, a motor kapocstáblája és a kontaktor érintkezői is jelentősen megsérültek. A tanulság: a reteszelő érintkezők nem díszek, hanem a vezérlés biztonságának alapelemei. Beüzemelés előtt mindig próbát kell tenni: K_1 behúzott állapotában S_2 lenyomása nem húzhatja be K_2-t.

32.4.10. Gyakorlati útmutató

Biztonsági korlát. A gyakorlat tanműhelyi, 24 V DC törpefeszültségű környezetre vonatkozik. Hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Minden hálózati feszültségű munkát csak jogosult személy végezhet, a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályával.

32.4.10.1. Cél

Építsd meg a Dahlander-vezérlést 24 V DC törpefeszültségen, és ellenőrizd a reteszelt működést.

32.4.10.2. Eszközök és anyagok

- K_1, K_2, K_3 kontaktor 24 V DC tekercsel, legalább egy-egy záró és bontó segédérintkezővel,
- S_0 NC, S_1 NO, S_2 NO nyomógomb,
- 24 V DC tápegység,
- jelzőlámpák a kontaktorok állapotához,
- szerelőpanel, vezetékek, érvéghüvelyek.

32.4.10.3. Lépések

1. Alkalmazd az öt biztonsági szabályt: lekapcsolás; visszakapcsolás elleni biztosítás (lakat, tábla); a feszültségmentesség ellenőrzése kétpólusú feszültségvizsgálóval (nem fázisceruzával); földelés és rövidre zárás (hálózati munkánál; törpefeszültségű tanpanelen az oktató által előírt eljárás szerint); a szomszédos feszültség alatt maradó részek lefedése.
2. Kösd be a vezérlő tápágat: $L+ \to F_1$ (95–96) $\to F_2$ (95–96) $\to S_0 \to$ közös pont.
3. Kösd be a lassú ágat: S_1 párhuzamos K_1 záró segédérintkezőjével, sorban K_2 bontó érintkező, majd K_1 tekercs.
4. Kösd be a gyors ágat: S_2 párhuzamos K_2 záró segédérintkezőjével, sorban K_1 bontó érintkező, majd K_2 és K_3 tekercs párhuzamosan.
5. Kapcsold be a 24 V DC tápfeszültséget.
6. Próba: S_1 lenyomásakor K_1 behúz, és az elengedés után is tart. S_2 lenyomása ilyenkor nem húzhatja be K_2-t.
7. Nyomd meg S_0-t, majd S_2-t: K_2 és K_3 behúz, S_1 ekkor nem húzhatja be K_1-t.

32.4.10.4. Ellenőrzési pontok

- A kontaktorok segédérintkezői a jó típusúak (NO önfenntartáshoz, NC reteszhez).
- A hőkioldó 95–96 érintkezője jól szerepel; megnyomva leejti mind a három kontaktort.
- A reteszpróba mindkét irányban működik.

32.4.10.5. Dokumentálás

Készíts kapcsolási rajzot a gyakorlat után, és írd fel a kontaktorok kapocsszámozását. A mérési jegyzőkönyvben rögzítsd a tápfeszültséget és a működési próbák eredményét.

32.4.11. Tipikus hibák

1. **Kihagyott reteszelő érintkező.** Ha a K_1 és K_2 bontó érintkezői hiányoznak, a két fokozat egyszerre húzhat be, ami rövidzárlatot okozhat. Helyes: mindkét irányú NC retesz legyen bekötve.
2. K_3 **nem húz be a** K_2**-vel.** Ha a K_3 tekercset nem párhuzamosítják a K_2 tekercsel, a csillagpont nem zár, és a gyors fokozat nem indul megfelelően. Helyes: K_2 és K_3 együttműködését a vezérlési rajz szerint ellenőrizni kell.
3. **Sorrendi vezérlésben a** K_2 **segédérintkezője a rossz ágban van.** Ha a K_2 záró érintkezőt nem a K_1 ágába kötik, K_1 (az etető) akkor is behúzhat, amikor a fogadó M_2 áll, és az anyag torlódik. Helyes: a K_2 segédzáró érintkező sorosan a K_1 tekercs ágába kerüljön.

4. **Időrelé típusának tévesztése.** On-delay helyett off-delay bekötése, vagy fordítva, a szalag rossz ürítéséhez vezet. Helyes: a kiválasztást a működési sorrendhez kell igazítani, és a gyakorlatban tesztelni.
5. **Egyetlen hőkioldó a két fokozatra.** A lassú fokozat így védelem nélkül marad (vagy a gyors fokozaton old feleslegesen). Helyes: fokozatonként külön hőkioldó, mindkettő a saját fokozat adattábla szerinti áramára állítva, a 95–96 érintkezők sorosan a közös vezérlőágban.

32.4.12. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A Dahlander-motor két sebességfokozatát két független tekercselés adja.
2. Mi a szerepe a K_3 kontaktorainak a Dahlander-kapcsolásban?
3. Egy 2/4 pólusú Dahlander-motor 50 Hz hálózaton a lassú fokozaton üresjárásban hozzávetőleg 1500 min^{-1}, vagy 3000 min^{-1} fordulatszámú?
4. Mi a feltétele annak, hogy K_1 (az etető kontaktora) behúzhasson egy sorrendi indításnál?
5. Mi a különbség az on-delay és az off-delay időrelé között?
6. Mi a hiba azon a kapcsoláson, ahol a K_2 záró segédérintkezője nincs beépítve a K_1 ágába?

32.4.13. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a Dahlander-motor hálózati kapcsainak jelölését, és magyarázd el, miért kell hat kapocs a motoron.

2. feladat (A). Egy Dahlander-motor póluspár-száma $p = 2$ a lassú fokozaton. Mennyi az üresjárási fordulatszáma 50 Hz-en, ha a szlip elhanyagolható?

3. feladat (B). Egy szállítósor etetőmotorja $M_1 = 4\,\text{kW}$ ($\eta = 0{,}84$), fogadó motorja $M_2 = 7{,}5\,\text{kW}$ ($\eta = 0{,}87$), $U = 400\,\text{V}$, $\cos\varphi = 0{,}85$ (a teljesítmények tengelyteljesítmények). Számítsd ki mindkét motor névleges áramát.

4. feladat (B). Rajzold le a sorrendi indítás vezérlési rajzát, amelyben az etető K_1 csak a fogadó K_2 behúzása után húzhat be, és leállításkor M_1 azonnal áll, M_2 pedig 10 másodpercig tovább fut. Írd le a rajzot szövegesen is.

5. feladat (C). A Dahlander-vezérlésben K_1 és K_2 elektromos reteszelését rosszul kötötték be: mindkét kontaktor NO érintkezőjét használták retesznek. Mi fog történni, ha a kezelő átvált a gyors fokozatra a lassúból? Magyarázd el a hibát, és add meg a helyes bekötést.

6. feladat (D). Egy tanműhelyi mérés során a Dahlander-vezérlésben K_1 behúz, de S_2 lenyomásakor K_2 nem húz be, pedig a tápfeszültség rendben van. Sorold fel a lehetséges okokat, és add meg, milyen méréssel ellenőriznéd a K_1 reteszelő érintkezőjét.

32.4.14. Megoldások

32.4.14.1. Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A Dahlander-motor egyetlen, átkapcsolható tekercseléssel ad két pólusszámot.
2. A K_3 kontaktor a gyors fokozaton a motor csillagpontját zárja, így a Dahlander-tekercselés gyors kapcsolását hozza létre.
3. A 2/4 pólusú motor lassú fokozata a 4 pólusú ($p = 2$ póluspár): $n_s = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500\ \text{min}^{-1}$; a gyors fokozat a 2 pólusú ($p = 1$): 3000 min^{-1}.
4. K_2 záró segédérintkezőjének zárva kell lennie, azaz a fogadó kontaktornak (K_2) már behúzott állapotban kell lennie.

5. Az on-delay tekercsfeszültség alá helyezés után késleltet; az off-delay tekercsfeszültség megszűnése után késleltet.
6. K_1 (az etető) akár a fogadó K_2 behúzása nélkül is behúzhat, ezért a sorrend megsérül, és anyagfeltorlódás vagy baleset következhet be.

32.4.14.2. Feladatok megoldása

1. feladat. A kapcsok tipikusan U_1, V_1, W_1 és U_2, V_2, W_2. A hat kapocs a három fázistekercs két féltekercsét jelenti, amelyet a kívánt pólusszámnak megfelelően lehet kapcsolni. A pontos bekötést a motor kapocstáblája adja.

2. feladat. $p = 2$, ezért a négy pólusú motor üresjárási fordulatszáma:

$$n_s = \frac{60\,f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500\ \text{min}^{-1}.$$

A Dahlander-motor gyors fokozata ehhez képest $p = 1$ póluspárral 3000 min^{-1} lenne $1 : 2$ arány esetén; a példában a 2/4 pólusú motor lassú fokozata 1500, gyors fokozata 3000 min^{-1}.

3. feladat. $I_1 = \frac{4000}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0{,}84\cdot 0{,}85} \approx \frac{4000}{494{,}7} \approx 8{,}09\,\text{A}$. Hasonlóan $I_2 = \frac{7500}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0{,}87\cdot 0{,}85} \approx \frac{7500}{512{,}3} \approx 14{,}6\,\text{A}$. Ellenőrzés: a nagyobb motornak nagyobb árama, a számítás mértékegysége A.

4. feladat. A rajz leírása: a hálózat L_1, L_2, L_3 fázisaihoz csatlakozik a K_1 főérintkezője, majd az etető M_1 motor; a K_2 főérintkezője a fogadó M_2 motort táplálja. A vezérlésen a fogadó ág: S_2 NO és K_2 NO önfenntartás párhuzamosan, sorosan S_0 NC-vel és a hőkioldók NC érintkezőivel, a K_2 tekercsen. Az etető ág: S_1 NO és K_1 NO önfenntartás, sorosan a K_2 záró segédérintkezővel, így K_1 csak futó K_2 mellett húzhat be. A leállításkor az etető K_1 azonnal leesik, a KT_1 kikapcsolás-késleltetett időrelé pedig a K_2 ágát 10 másodpercig még fenntartja: a késleltetve nyitó záróérintkező az S_{0b} bontót hidalja át, a K_2 önfenntartással tovább jár, és csak az újabb S_0-nyomás állítja le a fogadót. Ha automatikus leállítás a cél, azt külön kell megoldani (pl. az etető kontaktor bontójával indított bekapcsolás-késleltetett időrelével), és külön rajzolni.

5. feladat. Ha reteszneknek *NO* érintkezőket használnak, azok alapállapotban nyitva vannak, tehát a reteszelés nem blokkol. Amikor a kezelő átvált gyors fokozatra, K_2 behúz, de K_1 önfenntartása is megmaradhat, így K_1 és K_2 egyszerre lesz behúzott állapotban. Ez fáziszárlatot okoz, a védelem leold, és a motor/érintkezők károsodhatnak. Helyes: K_1 bontó (NC) érintkezőt teszünk a K_2 ágába, és K_2 bontó (NC) érintkezőt a K_1 ágába. A bontó érintkezők akkor nyitnak, amikor a kontaktor behúz, így a másik ág feszültségmentes lesz.

6. feladat. Lehetséges okok: a K_2 tekercs szakadt, a K_1 bontó reteszelő érintkezője nem megfelelő (pl. záró érintkezőt szereltek be, vagy a bontó érintkező meghibásodott), az S_2 nyomógomb nem zár, a K_2 önfenntartó ága rossz, a közös tápágban lévő hőkioldó érintkezője kioldott. A K_1 reteszelő érintkezőjét feszültségmentes állapotban multiméterrel ellenállásméréssel ellenőrizzük: a K_1 behúzott állapotban a bontó érintkezőnek szakadást, alapállapotban pedig közel $0\,\Omega$-t kell mutatnia. Ha a mért érték nem egyezik, az érintkező rossz típusú vagy hibás.

32.4.15. Rövid összefoglaló

A kétsebességű Dahlander-motor egyetlen átkapcsolható tekercseléssel két pólusszámot, így két fordulatszámot ad. A vezérlésben K_1 a lassú fokozatot, K_2 és K_3 együtt a gyors fokozatot kapcsolja; K_1 és K_2 egyidejű behúzását elektromos és lehetőleg mechanikus reteszelés akadályozza meg. A sorrendi indításnál a K_2 segédzáró érintkezője a K_1 ágába kerül, így az etető motor

csak a fogadó motor után indulhat; a leállításnál az etető azonnal leáll, a kikapcsolás-késleltetett időrelé pedig a szalag kiürítéséig fenntartja a fogadó K_2-t. Az időrelék on-delay vagy off-delay típusa a működési sorrendhez igazodik. A motorvédő hőkioldó 95–96 érintkezője mindig a közös vezérlőtápban van, hogy kioldáskor minden kontaktort leejtsen. **Továbbvitt eredmény.** A reteszelések, sorrendi és időrelés logikák ismerete elengedhetetlen a Vezérlések hibakeresése alfejezetben, ahol a mérési és hibaelemzési módszereket építjük rá erre a kapcsolási alapra.

32.4.16. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ EN 60204-1 gépi villamos berendezések követelményei **(ellenőrizendő: pontos kiadás és magyarországi jogszabályi hivatkozások)**.
- MSZ EN 60947 sorozat a kapcsolókészülékekre, kontaktorok használati kategóriáira **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**.
- A kontaktorok és időrelék konkrét kapocsszámai (pl. 15/16, 25/26) gyártói adatlaponként eltérhetnek **(ellenőrizendő: a felhasznált gyártó adatlapja)**.

32.5. Vezérlések hibakeresése

32.5.1. Miért kell a vezérlés hibáit módszeresen keresni?

Az üzemi gyakorlatban a legtöbb hibakeresési feladat nem az erősáramú motor, hanem a vezérlőáramkör felé mutat. A motorterhelés, a kapcsolókészülékek és a kábelezés viszonylag ritkán hibásodik meg önmagától; a vezérlőáramkör viszont sok kisméretű mechanikus és villamos érintkezőt, csatlakozást, biztosítékot és tekercset tartalmaz. Ha a szerelő nem módszeresen keresi a hibát, akkor könnyen “alkatrészcserélő” lesz, aki próbálgatással dolgozik, időt és pénzt pazarol, ráadásul feszültség alatti szereléssel veszélyeztetheti magát. Ezért ennek az alfejezetnek a célja, hogy a Direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek és a Kétsebességű, sorrendi és késleltetett vezérlések alfejezetben megismert kapcsolásokon keresztül módszeres, méréssel igazolt hibakeresési rutint alakítson ki.

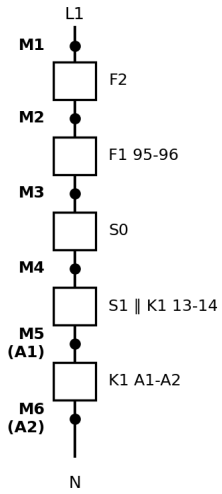
32.5.2. Szemléletes kép: a vizsgált vezérlés

A hibakeresés módszerét egy legegyszerűbb direkt indítású, önfenntartással rendelkező motorvezérlésen mutatjuk be. Ez a kapcsolás a Direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek alfejezetből ismert, így a rajzjelek és a működés nem új. A kapcsolási rajzon a tipikus mérési pontokat M1–M6 jelöli; a mérés mindig a vezérlő N vezetőjéhez, mint referenciaponthoz képest értendő.

32.12. ábra. Direktindítású motor vezérlőáramköre mérési pontok jelölésével - L1 → F2 vezérlőbiztosíték → F1 hőkioldó 95-96 (bontó) → S0 STOP (NC) → S1 START (NO) ‖ K1 13-14 → K1 tekercs A1-A2 → N. Minden kapcsolóelem a tekercs fázisoldalán van, az A2 közvetlenül az N-re csatlakozik (MSZ EN 60204-1 szerinti elv, mint a 32.2 reverzáló rajzán). Mérőpontok: M1 az F2 előtt, M2 az F2 után, M3 az F1 után, M4 az S0 után, M5 a tekercs A1, M6 az A2 kapcsán; a mérés az N sorkapocshoz képest.

A mérőpontok a következők: **M1** az F2 biztosíték előtt, **M2** az F2 után, **M3** az F1 hőkioldó 95–96 bontóérintkezője után, **M4** az S0 nyomógomb után, **M5** a K1 tekercs A1 kapcsán, **M6** a tekercs A2 kapcsán. A hibakeresés során ezeken a pontokon mérünk feszültséget az N sorkapocshoz képest, vagy ellenállást kikapcsolt állapotban. A rajz a Reverzáló kapcsolás és reteszelés elvét követi: minden kapcsolóelem (F2, F1 95–96, S0, S1 ‖ K1 13–14) a tekercs fázisoldalán van, a tekercs A2 kapcsa közvetlenül az N-re csatlakozik (a Direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek rajzán az F1 közvetlenül a tekercs előtt van, de szintén a fázisoldalon). Így egy, az A1 oldalon fellépő testzárlat sem tudja áthidalni a bontóérintkezőket, és minden mérőpont információt ad: ép áramkörben az M6 (A2) 0 V, de ha az A2–N vezeték szakadt, az M6 is 230 V-ot mutat.

A következő ábra a lánc hat mérőpontját és a jellegzetes hibák várt feszültségmintázatát mutatja (START lenyomva / elengedve, az N-hez képest). Például kiolvadt F2-nél M1 = 230 V, M2–M6 = 0 V; kioldott F1-nél M1 = M2 = 230 V, M3–M6 = 0 V; szakadt tekercsnél A1 (M5) = 230 V, A2 (M6) = 0 V, és a K1 nem húz be; szakadt A2–N vezetéknél M5 = M6 = 230 V; hibás 13–14 érintkezőnél a K1 a START lenyomásakor behúz, elengedéskor elejt. A HTML-kiadásban hibát lehet beépíteni (választva vagy véletlenszerűen), a mérőpontokra kattintva a virtuális műszer kijelzi a feszültséget, a „Megoldás” gomb pedig a teljes táblázatot mutatja.



Várt feszültség az N-hez képest (V): START lenyomva / elengedve

hiba	M1	M2	M3	M4	M5	M6	K1
nincs hiba	230/230	230/230	230/230	230/230	230/230	0/0	be/be
F2 kiolvadt	230/230	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	–/–
F1 kioldott (95-96 nyitva)	230/230	230/230	0/0	0/0	0/0	0/0	–/–
S0 szakadt	230/230	230/230	230/230	0/0	0/0	0/0	–/–
S1 nem zár	230/230	230/230	230/230	230/230	0/0	0/0	–/–
K1 tekercs szakadt	230/230	230/230	230/230	230/230	230/0	0/0	–/–
A2–N vezeték szakadt	230/230	230/230	230/230	230/230	230/0	230/0	–/–
K1 13-14 nem zár	230/230	230/230	230/230	230/230	230/0	0/0	be/–

Szemléltető modell: a lebegő pont ~0 V-ot mutat (valóságban fantomfeszültség lehet).
Szabály: A1 = 230 V, A2 = 0 V, K1 nem húz → tekercsszakadás; A1 = A2 = 230 V → A2–N szakadás.

32.13. ábra. Hibakeresés a direktindítás vezérlőkörében: az M1–M6 mérőpontok és a hibák várt feszültségmintázata (szemléltető modell)

32.5.3. Tünet–ok–mérés módszer

Definíció. A vezérlési hibakeresés olyan, egymásra épülő lépéssor, amelyben a tünet pontos megfigyeléséből lehetséges okok halmazát képezzük, majd mérésekkel addig szűkítjük a kört, amíg a tényleges hibás elemet vagy csatlakozást be nem azonosítjuk.

A módszer lényege: **soha ne találgassunk, hanem minden állítást méréssel igazoljunk.** A hibakeresésnek van egy szabályos ritmusa, amely nagyon hasonlít az orvosok diagnosztikai folyamatához. Az eljárás lépései:

1. **Tünet megfigyelése.** Pontosan rögzíteni kell, mi történik vagy mi nem történik: a motor nem indul el, a mágneskapcsoló nem húz be, a hőkioldó visszajelzése világít, a jelzőlámpa halványan ég, szag vagy zaj tapasztalható.

2. **Lehetséges okok felsorolása.** Ehhez ismerni kell a kapcsolási rajzot és a készülékek működését. Például ha a K1 tekercs nem húz be, akkor a hiba lehet a vezérlőbiztosíték, az S0 vagy S1 érintkező, a K1 segédérintkező, a tekercs, a hőkioldó érintkező vagy a huzalozás.
3. **Mérési terv készítése.** Kiválasztjuk a mérőpontokat, a műszerállást és a várható mérési értékeket. Jó terv esetén egyetlen mérési sorozat legalább egy lehetséges okot ki tud zárni.
4. **Mérés és kiértékelés.** A tényleges mért értékeket összevetjük a kapcsolási rajz szerint várható értékekkel.
5. **Javítás és utóellenőrzés.** A hibás elemet kijavítjuk vagy cseréljük, majd visszakapcsolás után ellenőrizzük a teljes vezérlést.

Törvény. A tünet soha nem azonos a hibával; a tünet a hiba következménye. A hibakereső akkor dolgozik jól, ha a tünet ismeretében a **legvalószínűbb, könnyen mérhető, közös okokat** vizsgálja először.

32.5.4. Feszültségmérés a vezérlőáramkörben

A vezérlőáramkör hibakeresésének leggyorsabb, mégis nagyon informatív eszköze a váltakozó feszültség mérése. A multimétert feszültségmérés állásba kapcsoljuk; a mérést mindig két pont között végezzük, a fekete mérőzsinór a referencia N vezetőre kerül, a piros mérőzsinórral pedig a vizsgált mérőpontot érintjük meg. A mért érték a vizsgált pont és az N közötti potenciálkülönbség.

Szabály. Ha a mért feszültség a névleges 230 V körüli érték, akkor az adott pontig az áramkör zárva van. Ha a mért érték 0 V vagy nagyon alacsony, akkor a vizsgált pont előtt szakadás, érintkezőhiba vagy kiolvadt biztosíték van.

Példa: M1 ponton 230 V, de M2 ponton 0 V mérhető. Ebből az következik, hogy a hálózat rendben van, de az F2 biztosíték kiolvadt, vagy a biztosíték foglalatában lévő érintkező szakadt. Fontos, hogy ilyenkor még **ne cseréljük ki** a biztosítékot, mert a mögöttes rövidzár miatt az új biztosíték is kiéghet; előbb kikapcsolt állapotban meg kell mérni a mögöttes ág ellenállását.

Másik példa: M4 ponton 230 V, M5 (A1) ponton 0 V, mert az S1 START nyomógomb alaphelyzetben nyitott, és a K1 segédérintkező is nyitott. A 0 V az M5 ponton normális, ha az S1 nincs megnyomva. Ha viszont a START gombot benyomják, és az M5 ponton továbbra is 0 V marad, akkor a hiba a S1 vagy a K1 13/14 segédérintkező környezetében keresendő.

Megjegyzés. Feszültségmérésnél mindig ellenőrizzük a műszer méréshatárát és kategóriáját (CAT), és csak olyan mérőzsinórt használjunk, amelynek szigetelése ép, a mérőcsúcs nem lóg ki. A vezérlőáramkör jellemzően hálózati feszültségű, ezért a mérés feszültség alatti része csak jogosult személynek vagy tanműhelyi gyakorlaton, szigorú felügyelet mellett megengedett.

32.5.5. Kidolgozott példák feszültségmérésre

1. példa – Kiolvadt vezérlőbiztosíték. A motor nem indul; a mágneskapcsoló egyáltalán nem húz be. A kapcsolási rajz szerint sorban mérünk: M1 ponton 228 V, M2 ponton 0 V. Mivel az M2 pont már az F2 biztosíték után van, a hiba az F2-re vagy a hozzá tartozó foglalatra mutat. Kikapcsolás és öt biztonsági szabály után az F2-t kivesszük; a foglalatban égésnyomot látunk, a biztosíték betétje kiolvadt. A mögöttes ág mérésénél a K1 tekercs ellenállása a névleges érték körül van, tehát nincs rövidzár. A kiváltó ok valószínűleg a lazult csatlakozás okozta túlmelegedés volt. Javítás: a foglalat cseréje, a kötés utánhúzása, új biztosíték behelyezése.

2. példa – Szakadt indítógomb. A motor nem indul, de a vezérlő feszültség az M2 ponton rendben van (230 V). Az M3 és az M4 ponton is 230 V mérhető, tehát az F1 95–96 és az S0

STOP érintkező zárva van. A START nyomógomb benyomásakor az M5 (A1) ponton 0 V marad. A K1 13/14 önfenntartó érintkező ilyenkor még nem játszik szerepet, mert a K1 nincs behúzva, tehát nyitott; a tekercset most csak az S1 tudná feszültség alá helyezni. Az S1 érintkezője tehát nem zár (szakadt, elkopott vagy oxidált érintkező, laza kötés). A mérés szerint az S1 bemenete (M4) feszültségen van, kimenete (M5) benyomva sem kap feszültséget, ez pontosan az indítógomb hibájára utal. Javítás: az S1 nyomógomb cseréje.

32.5.6. Tipikus hibák a vezérlőáramkörben

A gyakorlatban a következő hibák fordulnak elő leggyakrabban, ezért ezeket érdemes tudatosan ellenőrizni:

1. **Csatlakozási hiba.** A laza kötés a vezetéksaru alatt melegszik, szigetelés barnul, és idővel szakad vagy ívet húz. Tünete lehet időszakos üzemkiesés, halvány jelzőlámpa, égett szag. Feszültségmérésnél a kötés előtt még rendben van, utána már hiányzik a feszültség. Javítás: a kötés megtisztítása, utánhúzása, ha kell, az érvéghüvely cseréje.
2. **Vezérlőbiztosíték kiolvadása.** A biztosíték nem mentesít a mögöttes hiba felderítése alól. A kiolvadás oka lehet rövidzár, túlterhelés vagy a biztosíték öregedése. Mérésnél a biztosíték előtt van feszültség, utána nincs. Javítás: a mögöttes ág ellenállásának mérése, a hiba elhárítása, majd ellenőrzött értékű biztosíték behelyezése.
3. **Érintkezőhiba (kopott, oxidált vagy beégett kontaktus).** A nyomógombok, segédérintkezők, relékontaktusok mechanikusan kopnak. Az érintkező ellenállása megnő, feszültségesést okoz. Tünet lehet, hogy a tekercs nem húz be teljesen, vagy zizeg. Javítás: kontaktus tisztítása vagy az egység cseréje.
4. **Tekercs szakadása.** A mágneskapcsoló tekercse kikapcsolt állapotban ellenállásméréssel ellenőrizhető. Ha a multiméter végtelen ellenállást mutat, a tekercs szakadt. Feszültség alatt (N-hez mérve) az A1 ponton 230 V, az A2 ponton 0 V, és a kontaktor nem húz be: a tekercsen a teljes feszültség esik, mégsem működik, ez tekercsszakadásra (vagy mechanikus beragadásra) utal; ha A1 és A2 is 230 V, a tekercs ép, a szakadás utána, az A2–N kötésben van. A szakadás ellenállásméréssel, kikapcsolt állapotban bizonyítható. Javítás: a tekercs vagy a teljes mágneskapcsoló cseréje.
5. **Mechanikus beragadás.** A hőkioldó visszajelzése, a kioldott retesz vagy a nyomógomb beragadása miatt a vezérlés nem indul. Ilyenkor először a mechanikus állapotot ellenőrizzük, nem az áramkört.

Gyakorlat. A fenti hibák közül mindig azt keressük, amelyik a legjobban illik a tünethez, és a legkönnyebben mérhető. Például ha a mágneskapcsoló egyáltalán nem zúg, akkor inkább a soros ág feszültségét mérjük, mint a tekercs ellenállását.

32.5.7. Hibakereső ellenőrzőlista

Recept. Az alábbi ellenőrzőlista a hibakeresés minimális, de teljes sorrendjét adja. A lépéseket mindig a feszültségmentesítés öt biztonsági szabálya után végezzük, hacsak a mérés jellege nem követeli meg a feszültség alatti vizsgálatot.

1. **Biztonságos munkahely kialakítása.** Kapcsold le a berendezést, biztosítsd visszakapcsolás ellen, ellenőrizd a feszültségmentességet, földelj és rövidre zárj, ha indokolt, és fedd le a szomszédos feszültség alatti részeket.

2. **Szemrevételezés.** Keress égésnyomot, lazult kötést, mechanikai sérülést, kiolvadt biztosítékot, kioldott hőkioldót.
3. **Rajz és valóság összevetése.** Győződj meg arról, hogy a tényleges huzalozás megegyezik a kapcsolási rajzzal; keress eltérést, leszakadt vezetéket, rossz sorkapocsba kötött eret.
4. **Feszültségmérési sorozat.** Feszültség alatti mérés esetén a mérési pontokat a tápfeszültségtől a tekercsig, sorban mérd; mindig az N-hez képest.
5. **Kikapcsolt állapotú ellenállásmérés.** Ha a feszültségmérés szakadásra utal, kapcsold ki, és mérd meg az adott ág ellenállását (biztosíték, tekercs, érintkező, változtatható ellenállás).
6. **Hiba behatárolása és javítása.** Ne cserélj egyszerre több alkatrészt; egyetlen okot azonosíts, javítsd vagy cseréld.
7. **Visszakapcsolás előtti ellenőrzés.** Feszültségmentesen ellenőrizd a javított ág folytonosságát és azt, hogy nincs zárlat (A1–A2 ellenállás, ág–N ellenállás); távolítsd el a szerszámokat és a földelő-rövidzárót, oldd fel a visszakapcsolás elleni biztosítást, majd a jogosult személy engedélyével kapcsolj vissza, és ellenőrizd a működést minden üzemmódban.
8. **Dokumentálás.** Jegyezd fel a tünetet, a mért értékeket, a hibát és a javítást; ez az üzemeltetési naplóban is értékes.

32.5.8. Gyakorlati útmutató

Cél. Tanműhelyi, direkt indítású motorvezérlésen (oktató felügyelete mellett) hibakeresési gyakorlat elvégzése: a szándékosan beépített hibát mérésekkel be kell határolni és meg kell nevezni.

Eszközök és anyagok. Multiméter (feszültség- és ellenállásmérés), szigetelt kéziszerszámok, kapcsolási rajz, a vizsgált vezérlés (pl. direkt indítás önfenntartással, S0, S1, K1, F1, F2).

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Az öt biztonsági szabály: 1. Lekapcsolás. 2. Visszakapcsolás elleni biztosítás (kizárás, lakat, tábla). 3. Feszültségmentesség ellenőrzése két, egymástól független műszerrel vagy műszeres ellenőrzéssel. 4. Földelés és rövidre zárás, ha indokolt. 5. A szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.

Lépések:

1. Ellenőrizd, hogy a vezérlés feszültségmentes legyen, és végezd el az öt biztonsági szabályt.
2. Szemrevételezéssel keress nyilvánvaló hibát: kiolvadt biztosíték, kihúzott vezeték, kioldott hőkioldó, beégett érintkező.
3. Kikapcsolt állapotban mérd meg a K1 tekercs A1–A2 ellenállását; az érték a típustól függ, de nem lehet 0 Ω és nem lehet végtelen (ellenőrizendő: gyártói adat).
4. Mérd meg a hőkioldó 95–96 érintkezőjét, ha a hőkioldó visszaállított állapotban van; ellenállása közel 0 Ω kell legyen.
5. Mérd meg az S0 STOP nyomógomb kiinduló NC érintkezőjét; zárnia kell, benyomva nyitnia.
6. Mérd meg az S1 START nyomógomb NO érintkezőjét; nyitottnak kell lennie, benyomva zárnia.
7. Ha a feszültségmentes mérés nem talált hibát, akkor oktató engedélyével végezz feszültség alatti feszültségmérést. Mérj sorban az M1…M6 pontokon az N referenciaponthoz képest (az M5–M6-ot a START benyomása mellett).
8. Azonosítsd a hibás elemet, és dokumentáld a mért értékeket.

Ellenőrzés. A gyakorlat akkor sikeres, ha a tanuló meg tudja nevezni a hibát, meg tudja mutatni a mérési pontokat, és a mért értékekkel meg tudja indokolni a hibás elem kiválasztását.

32.5.9. Kidolgozott hibakeresési eset

Tünet. A motor nem indul, és a K1 mágneskapcsoló sem húz be. A kezelő a START gombot nyomva tartja, de semmi nem történik; a K1 nem zúg, a kapcsolás néma.

Hipotézisek. A lehetséges okok: F2 vezérlőbiztosíték ki, S0 bontó érintkezője szakadt, S1 záró érintkezője hibás, K1 13–14 önfenntartó érintkezője szakadt, K1 tekercs szakadt, F1 hőkioldó 95–96 érintkezője nyitott, vagy a kötéseknél szakadás van.

Mérések. Először feszültségméréssel szűkítünk. A mérőzsinór fekete csatlakozója az N sorkapcsra kerül. A piros mérőzsinórral sorban mérünk:

- M1 (F2 előtt): 228 V, tehát a hálózati tápfeszültség rendben van.
- M2 (F2 után): 228 V, tehát a vezérlőbiztosíték és a foglalat ép.
- M3 (F1 után): 228 V, tehát a hőkioldó 95–96 érintkezője zárva van (nincs kioldva).
- M4 (S0 után): 228 V, tehát a STOP nyomógomb érintkezője zárva van.
- M5 (K1 A1, START benyomva): 228 V, tehát az indítóág feszültséget kap. Ez azt jelenti, hogy a tekercsre jut a feszültség, de a mágneskapcsoló mégsem húz be.

Ezután a tekercs A2 pontján is mérünk: M6 (K1 A2) 0 V. A rajz szerint az A2 kapocs közvetlenül az N-re csatlakozik, ezért ép N-kötésnél az A2 0 V-on van; szakadt tekercsnél az A2 az N-en marad (0 V), és a teljes 228 V a szakadt tekercsen esik. Következtetés: a tekercsen 228 V esik, mégsem húz be, tehát tekercsszakadás gyanúja áll fenn (vagy a mágneskapcsoló mechanikusan beragadt). Ha viszont M5 és M6 is 228 V lenne, a tekercs ép, és a szakadás utána, az A2–N vezetékben vagy az N sorkapocsnál van. A következtetést kikapcsolás után az ellenállásmérés erősíti meg.

Kikapcsolt mérés. A berendezést lekapcsoljuk, elvégezzük az öt biztonsági szabályt. A K1 tekercs A1–A2 ellenállását mérjük; a multiméter „OL” (végtelen) értéket mutat. **Ok.** A K1 tekercs szakadt. **Javítás.** A tekercset vagy a mágneskapcsolót cseréljük. **Visszaellenőrzés.** Új tekercs beépítése után visszakapcsolva a K1 behúz, a motor elindul. **Megelőzés.** A tekercs túlfeszültség-csúcsai ellen célszerű a gyártó által ajánlott RC-védőtagot vagy varisztort alkalmazni, ha a kapcsolásban ez hiányzik.

32.5.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy élelmiszeripari csomagológép karbantartója azt tapasztalta, hogy a gép hajtómotorja időnként leáll, majd magától újra elindul. A tünet véletlenszerű volt, ezért a hiba keresése napokig tartott. A módszeres vizsgálat során először a vezérlő feszültséget mérték loggoló multiméterrel; kiderült, hogy a K1 mágneskapcsoló tekercsének feszültsége rövid időre leesik, amikor a gép rezgése a legnagyobb. A szemrevételezés végül egy rosszul meghúzott sorkapocs-csatlakozást talált a vezérlőáramkörben, amely a rezgés hatására megszakadt. A kötés utánhúzása és a sorkapocs rögzítése megszüntette a rendszertelen üzemkiesést. A tanulság: a szakaszos hiba is módszeresen megtalálható, ha a tünetet pontosan rögzítjük, és a mérési pontokat a rezgésnek, hőmérsékletnek vagy más környezeti hatásnak kitett helyeken is ellenőrizzük.

32.5.11. Tipikus hibák a hibakeresésben

Hiba 1: Alkatrészpróbálgatás mérés nélkül. A szerelő először kicseréli a biztosítékot, majd a nyomógombot, majd a tekercset. Ez lassú, drága, és elfedheti a valódi okot. Helyes: előbb méréssel azonosítsd a hibás elemet.

Hiba 2: Feszültség alatti mérés rossz műszerrel. A fázisceruza vagy a régi, alacsony kategóriájú multiméter nem alkalmas a vezérlőáramkör megbízható mérésére. Megfelelő CAT besorolású, ép mérőzsinórral rendelkező műszert használj.

Hiba 3: A kiolvadt biztosítékot azonnal cseréli. Ha az F2 biztosíték kiolvadt, a mögöttes rövidzár vagy a laza kötés miatt az új biztosíték is kiolvadhat, sőt tüzet is okozhat. Helyes: kikapcsolt állapotban mérjük a mögöttes ág ellenállását, és csak azután helyezzünk be új biztosítékot.

Hiba 4: A hőkioldó kioldását figyelmen kívül hagyja. A hőkioldó jelzése nem egyszerűen egy "visszaállítandó gomb", hanem túlterhelésre vagy aszimmetriára utaló jel. Ha a hőkioldó rendszeresen kiold, a motoráramot is mérni kell, nemcsak a kioldót visszaállítani.

32.5.12. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a tünet és a hiba ugyanaz? Indokold.
2. Milyen két mérőpont közötti feszültségmérés igazolja, hogy az F2 biztosíték kiolvadt?
3. A K1 tekercs A1 pontján 230 V, az A2 pontján 0 V-ot mérünk N-hez képest, és a K1 nem húz be. Mit jelent ez? És mit jelent, ha mindkét ponton 230 V van?
4. Mi a teendő, ha a vezérlőbiztosíték kiolvadt?
5. Milyen sorrendben vizsgálnád a következő hibát: a motor nem indul, de a K1 mágneskapcsoló behúz?

32.5.13. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a tünet–ok–mérés módszer legalább négy lépését.

2. feladat (A). A direkt indítású vezérlésen (lásd a diagramot) a motor nem indul. A mérések: M1=230 V, M2=230 V, M3=230 V, M4=0 V. Melyik elem hibásodhat meg? Indokold. Mire következtetnél, ha már az M3-on 0 V lenne?

3. feladat (B). A következő mérési sorozatot vetted fel: M1=0 V, M2=0 V, M3=0 V, M4=0 V. Mi a hiba? Mi a legvalószínűbb ok?

4. feladat (B). Kikapcsolt állapotban méred a K1 tekercs ellenállását: 0,7 Ω-ot kapsz. A tekercs névleges feszültsége 230 V, a gyártó szerint a névleges áramfelvétel 0,3 A. Helyes-e az ellenállásmérés? Mi lehet a baj, és hogyan ellenőriznéd?

5. feladat (C). A motor nem indul, és a K1 nem húz be. A feszültségmérés: M1=230 V, M2=230 V, M3=230 V, M4=230 V, M5 (A1)=230 V, M6 (A2)=0 V a START gomb benyomásakor. Kikapcsolás után a K1 tekercs ellenállása végtelen. Melyik elem hibás, és mi bizonyítja a feszültségmérésből, majd az ellenállásmérésből? Ismertesd a javítás lépéseit.

6. feladat (D). Gyakorlati hibakeresési feladat: egy tanműhelyi direkt indítású vezérlésen a motor nem indul, de a K1 behúz. Milyen két irányt vizsgálnál (erősáramú és vezérlési), és milyen mérésekkel? Mondd el a vizsgálati lépéseket.

32.5.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A tünet a hiba következménye, a hiba az azt okozó fizikai eltérés (pl. laza kötés, szakadt tekercs).
2. M1 és M2 között: ha M1-en van 230 V, M2-n 0 V, az F2 biztosíték szakadt.
3. A1 = 230 V, A2 = 0 V és a kontaktor nem húz: a tekercsen esik a teljes feszültség, de nem működik, ezért tekercsszakadás (vagy mechanikus beragadás) gyanúja áll fenn; ellenállásmérés (kikapcsolt állapotban) igazolja. Ha A1 és A2 is 230 V, a tekercs ép, a szakadás a tekercs után, az A2–N vezetékben vagy az N sorkapocsnál van (a kioldott F1 nem ad ilyen mintázatot, mert a tekercs fázisoldalán van: ekkor már az M3-tól minden pont 0 V).
4. Nem szabad azonnal cserélni; kikapcsolt állapotban meg kell mérni a mögöttes ág ellenállását, és meg kell keresni a rövidzár vagy túlterhelés okát.
5. Ha a K1 behúz, de a motor nem indul, akkor az erősáramú főáramkört kell vizsgálni: a K1 főérintkezőit, a motor kábelezését, a motor kapcsait és az F1 főáramköri hőelemeit (szakadás).

1. feladat (A). A módszer lépései: tünet pontos megfigyelése; lehetséges okok felsorolása; mérési terv készítése; mérés és kiértékelés; javítás és utóellenőrzés. (Bármely négy elfogadható.)

2. feladat (A). M4 az S0 STOP után van, és a mérés 0 V. Ez azt jelenti, hogy az S0 bemenete (M3) még feszültségen van, de kimenete (M4) nincs, tehát az S0 bontó érintkezője szakadt (vagy beragadt benyomott állapotban), vagy a hozzá tartozó csatlakozás hibás. Ha már az M3-on 0 V lenne (M2 = 230 V mellett), akkor az F1 95–96 érintkezője nyitott: a hőkioldó kioldott (ellenőrizd a kioldásjelzőt, és keresd a túlterhelés okát), vagy a 95–96 érintkező, illetve a bekötése hibás.

3. feladat (B). Már M1-en sincs feszültség, ami arra utal, hogy a vezérlő tápfeszültség hiányzik, vagy a mérőműszer nincs jól csatlakoztatva. Legvalószínűbb ok: a vezérlőtáp megszakadt, a főkapcsoló le van kapcsolva, vagy a vezérlő transzformátor nem ad feszültséget. Ellenőrizni kell a vezérlőtápforrás oldalát és a mérési referenciapontot.

4. feladat (B). A mért 0,7 Ω ellenállás nagyon alacsony a 230 V-os, 0,3 A-es tekercshez, mert a $230/0{,}3 \approx 767\,\Omega$ a tekercs impedanciája (tartási állapotban); az egyenáramú ellenállás ennél jóval kisebb, jellemzően néhány tíz–néhány száz Ω (ellenőrizendő: gyártói adat). A 0,7 Ω még ehhez képest is két nagyságrenddel kevés: menetzárlat vagy párhuzamos ág mérése valószínű. A mérés hibás lehet, mert a tekercset feszültség alatt vagy párhuzamos ágban mérted, vagy a tekercs rövidzárlatos. Ellenőrizd, hogy a mérés kikapcsolt állapotban, a tekercs kivezetéseiről, a párhuzamos elemek kizárásával történt.

5. feladat (C). A hiba a K1 tekercs szakadása. A feszültségmérés is erre utal: M1…M4 = 230 V, tehát az F2, az F1 95–96 és az S0 rendben van; A1 (M5) = 230 V, A2 (M6) = 0 V, tehát a teljes feszültség a tekercsen esik, mégsem húz be; az ellenállásmérés (végtelen) igazolja. A javítás: feszültségmentesítés, az öt biztonsági szabály, a tekercs ellenállásának mérése (végtelen), a tekercs vagy a mágneskapcsoló cseréje, majd visszakapcsolás és működési próba.

6. feladat (D). Mivel a K1 behúz, a vezérlőáramkör jó. Először az erősáramú főáramkört vizsgáljuk: a K1 főérintkezők zárnak-e, a motor kábelezése ép-e, a motor kapcsain van-e feszültség. Feszültség alatt megmérjük a K1 főérintkezők be- és kimenete közötti feszültségesést (ideális esetben közel 0 V). Kikapcsolt állapotban mért érintkező-ellenállás és motor tekercsellenállás is segít. Ha a főáramkör a K1-ig rendben van, a hőkioldó főáramköri hőelemeinek folytonosságát (szakadt hőelem) és a motort vizsgáljuk; leoldott hőkioldó nem lehet az ok, mert akkor a K1 nem

húzna be (az F1 95–96 bontó nyitva lenne). A méréseket feszültség alatt csak jogosult személy, a vizsgálatokat feszültségmentesítés után (öt lépés) végezzük.

32.5.15. Rövid összefoglaló

A vezérlési hibakeresés alapelve, hogy a tünetet nem szabad a hibával azonosítani; a tünetből kiindulva, a kapcsolási rajz ismeretében lehetséges okokat sorolunk fel, majd mérésekkel szűkítjük azok körét. A vezérlőáramkör leggyorsabb vizsgálati eszköze a feszültségmérés: a mérőpontokon az N-hez képest mért feszültség jelenléte vagy hiánya megmutatja, hogy a vizsgált pont előtt van-e szakadás vagy érintkezőhiba. A gyakori hibák: laza csatlakozás, kiolvadt biztosíték, érintkezőhiba, tekercs szakadás és mechanikus beragadás. **Továbbvitt eredmény.** A tünet–ok–mérés módszer, a mérési pontok kiválasztása és a szisztematikus javítási sorrend nélkülözhetetlen a PLC-alapok és ipari vezérlés alfejezetben tárgyalt modernebb vezérlések hibakeresésénél is, ahol a feladat ugyanúgy a tünet megfigyeléséből, a program és a fizikai jelek ellenőrzéséből, majd a hiba méréssel történő behatárolásából áll.

32.5.16. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg a magyarországi és európai gyakorlatot követi; a kapcsolókészülékekre és vezérlésekre vonatkozóan az MSZ EN 60947 sorozat és a gépi villamos berendezések MSZ EN 60204-1 szabványa irányadó (ellenőrizendő: pontos szabványkiadás és aktuális hibavédelmi előírások). A mérési kategóriákra vonatkozó határértékek a mérőműszer gyártói adatlapjából származnak; a vezérlőbiztosíték névleges értékét a kapcsolási tervekben megadott értékhez kell igazítani. A konkrét alkatrészek, érintkezők és tekercsek ellenállása a gyártói adatoktól függ, ezért az itt megadott értékek tanulási példák, nem kivitelezési előírások. Az aktuális munkavédelmi és szabványossági követelményeket a hatályos jogszabályok határozzák meg.

32.6. PLC-alapok és ipari vezérlés

32.6.1. Motiváció: miért kell PLC a motorvezérléshez?

A hagyományos relés motorvezérlés – direktindítás, önfenntartás, reverzálás, csillag–delta – jól működik, amíg a vezérlési logika rögzített. Amint a megrendelő azt kéri, hogy a szivattyú csak akkor induljon, ha a tartály szintje alacsony, a nyomás megfelelő, a vészleállító nincs benyomva, és egy kézi kapcsoló is engedélyez, a relés huzalozás gyorsan áttekinthetetlenné válik. Minden új feltétel új relét, új segédérintkezőt és új vezetéket jelent. A módosítás pedig a kapcsolószekrény átszerelésével jár.

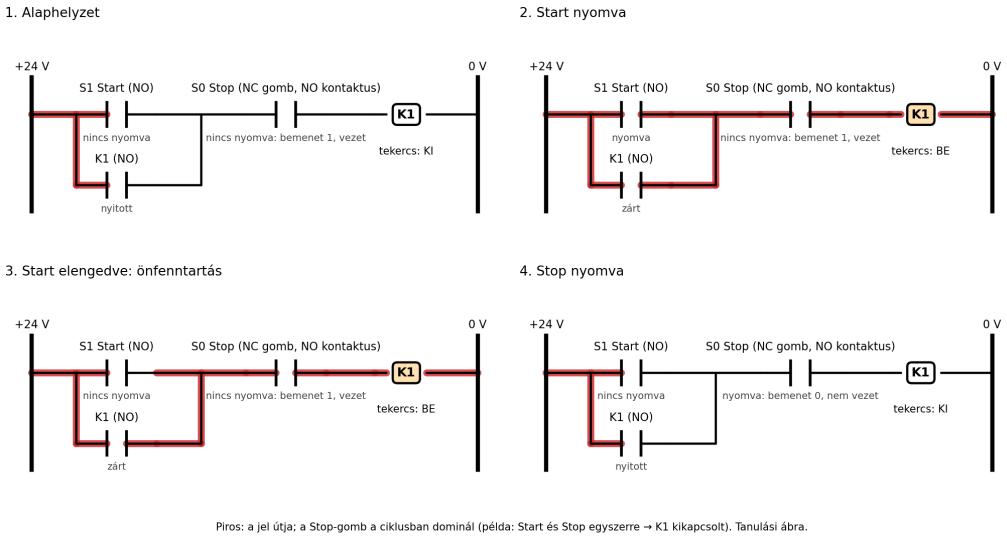
A programozható logikai vezérlő (PLC) ezt a problémát oldja meg: a logikát nem vezetékek, hanem program tárolja. Ugyanaz a hardver más programmal más feladatot lát el, a módosítás pedig gyakran csak a program átírása. A PLC ezért ma már a motorvezérlések és az ipari elosztóberendezések alapvető eleme.

Továbbvitt eredmény. A PLC-s vezérlés itt megismert felépítése, a be- és kimenetek kezelése, valamint a vészleállító független bekötésének elve közvetlenül szükséges a frekvenciaváltók és lágyindítók vezérlésének megértéséhez a Motorvédelmek, lágyindítók és frekvenciaváltók az elosztóban alfejezetben.

32.6.2. Szemléletes kép: ugyanaz a direktindítás relével és PLC-vel

Vegyünk egy egyszerű direktindítást önfenntartással. A hagyományos kapcsolásban a Start nyomógomb (NO) és a Stop nyomógomb (NC) sorban van a K1 mágneskapcsoló tekercsével, és a K1 segédérintkező (NO) párhuzamosan a Start gombbal biztosítja az önfenntartást. Ez a kapcsolás a Direktindítás, önfenntartás és kezelőszervek alfejezetből már ismert.

Ugyanezt PLC-vel úgy valósítjuk meg, hogy a Start és Stop gombokat a PLC bemeneteire kötjük, a K1 tekercset pedig a PLC egyik kimenetére. A programban egy „öntartó” logikai ágat hozunk létre: ha a Start bemenet aktív, vagy a K1 kimenet már aktív, és a Stop nincs benyomva, akkor a K1 kimenet aktív marad. A kapcsolás logikája ugyanaz, csak a kapcsolást nem vezetékek, hanem a program utasításai valósítják meg.



32.14. ábra. Direktindítás létradiagramja PLC-vel: önfenntartás

A létradiagram bal oldali függőleges vonala a bal oldali (jelvezető) sín, a jobb oldali a visszatérő sín. A felső ágban a Start gomb (S1) NO kontaktusa, a Stop gomb (S0, hardveresen NC jeladó, ezért a programban NO kontaktussal vizsgálva) és a K1 kimenet (tekercs) van sorosan. Itt a K1 a mágneskapcsolót vezérlő PLC-kimenet neve; az alfejezet későbbi kidolgozott példájában (direktindítás PLC-vel) ugyanez a kimenet a DO0 címet kapja. Az alsó ágban a K1 kimenet saját NO kontaktusa (tartóérintkező) párhuzamosan kapcsolódik a Start gombbal: ha a K1 kimenet bekapcsolt, a Start elengedése után is tartja magát. A HTML-kiadás interaktív változatában a gombok lenyomhatók, és lépésenként követhető, melyik ágon halad a jel.

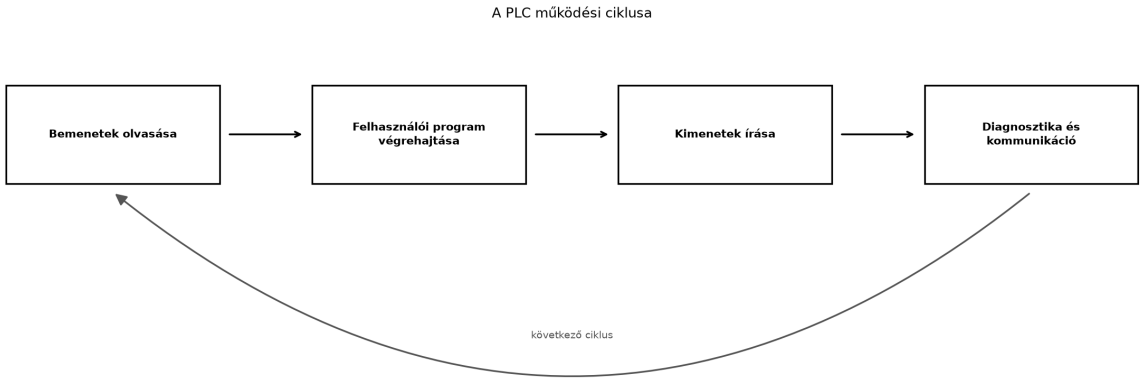
32.6.3. A PLC felépítése és működési ciklusa

Definíció. A programozható logikai vezérlő (PLC, Programmable Logic Controller) olyan ipari számítógép, amely bemenetein érzékeli a folyamat állapotát (nyomógombok, érzékelők), a tárolt program szerint logikai döntéseket hoz, és kimenetein vezérli a beavatkozókat (mágneskapcsolók, szelepek, jelzőlámpák).

A PLC fő részei: - **Központi egység (CPU):** a programot tárolja és végrehajtja. - **Bemeneti egység (input, I):** a külső jeleket fogadja, galvanikusan leválasztja és a CPU számára értelmezhető jelszintre alakítja. - **Kimeneti egység (output, O):** a CPU döntéseit a külső áramkörök felé kapcsolja (relé, tranzisztor vagy triak kimenet). - **Tápegység:** a belső elektronika számára

stabil feszültséget állít elő. - **Kommunikációs interfész:** programozáshoz, felügyelethez, más készülékekkel való adatcseréhez.

A PLC nem folyamatosan, hanem ciklikusan dolgozik. A ciklus lépései:



32.15. ábra. A PLC működési ciklusa - A PLC ciklikusan ismétli ezeket a lépéseket, jellemzően néhány milliszekundum alatt.

1. **Bemenetek olvasása:** a PLC beolvassa az összes bemenet állapotát (0 vagy 1) egy belső memóriaterületre.
2. **Program végrehajtása:** a CPU a tárolt programot lépésről lépésre végrehajtja a beolvasott bemeneti képek alapján.
3. **Kimenetek írása:** a program által kiszámított kimeneti értékek kiíródnak a fizikai kimenetekre.
4. **Diagnosztika és kommunikáció:** a PLC ellenőrzi saját állapotát, kezeli a kommunikációs kéréseket.

Szabály. A ciklusidő jellemzően 1–20 ms, de ez a program hosszától és a készülék típusától függ. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a PLC „észreveszi” a bemeneti változást, végrehajtja a logikát, és a kimeneten legrosszabb esetben kb. két ciklusidő (és a be-/kimeneti modul késleltetése) után jelenik meg a változás. A motorvezérléseknél ez a késés általában elhanyagolható, de nagyon gyors folyamatoknál (pl. pozícióvezérlés) már számít.

32.6.4. Bemenetek és kimenetek: digitális és analóg I/O, 24 V DC

Digitális bemenet (DI): csak két állapotot érzékel: aktív (logikai 1) vagy inaktív (logikai 0). A bemenet tipikusan 24 V DC feszültségszintet vár, és a bemeneti áram néhány mA. Például egy egyszerűsített modellben (a valódi digitális bemenet nem egyszerű ellenállás, a 4,7 kΩ modellérték; ellenőrizendő: gyártói adatlap), ha a bemeneti ellenállás 4,7 kΩ, akkor a bemeneti áram:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24\,\mathrm{V}}{4{,}7\,\mathrm{k\Omega}} = 5{,}1\,\mathrm{mA}.$$

A digitális bemenetre nyomógombot, végálláskapcsolót, reléérintkezőt, közelítésérzékelőt köthetünk.

Digitális kimenet (DO): két állapota van: be (vezet) vagy ki (szakad). A kimenet lehet: - **relés kimenet:** galvanikusan leválasztott, egyaránt kapcsolhat egyen- és váltakozó feszültséget,

de lassabb (jellemzően 10 ms) és korlátozott az élettartama; - **tranzisztoros kimenet:** csak egyenfeszültséget kapcsol, gyors (jellemzően < 1 ms), nincs mechanikus kopás; - **triakos kimenet:** váltakozó feszültséget kapcsol, gyors, de terhelésfüggő.

A motorvezérlésekben a PLC kimenet jellemzően egy segédrelét vagy közvetlenül a mágneskapcsoló 24 V DC tekercsét vezérli. A relés kimenet névleges árama tipikusan 2 A, ezért közvetlenül nagyobb terhelést (pl. 230 V-os mágneskapcsoló tekercs) általában csak akkor kapcsolhat, ha az áram a határon belül van – ellenkező esetben segédrelét kell közbeiktatni. A pontos terhelhetőséget mindig a gyártói adatlap adja meg **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.

Analóg bemenet (AI): folytonos jelet fogad, például 0–10 V feszültséget, 0(4)–20 mA áramjelet, vagy ellenállás-hőmérő (Pt100) jelét. A PLC ezt a jelet digitális számmá alakítja (például 0–10 V $\rightarrow$ 0–27648). Analóg bemenetre hőmérséklet-, nyomás-, szint- vagy áramlásérzékelőt kötünk. A motorvezérléseknél analóg bemenet használható például frekvenciaváltó alapjelének vagy hőmérséklet-felügyeletnek.

Analóg kimenet (AO): folytonos jelet ad ki, például 0–10 V vagy 4–20 mA. Ezzel lehet egy frekvenciaváltó fordulatszám-alapjelét vezérelni.

Szabály. A leggyakoribb ipari jelszint a 24 V DC, ezért a PLC bemenetei és a vezérlési körök is ezen a feszültségen működnek. A 24 V DC törpefeszültség az áramütés szempontjából kisebb kockázatú, mint a 230 V AC, de zárlatra és vezetékezési hibákra itt is gondolni kell, és a tápellátást túláramvédelemmel kell ellátni.

Figyelem. Az analóg bemenet típusát a hardverkonfigurációban be kell állítani (feszültség vagy áram mód). Ha 4–20 mA-es érzékelőt kötünk 0–10 V-os bemenetre, a jel értelmezhetetlen lesz, és a bemenet károsodhat.

32.6.5. Létradiagram: érintkező, tekercs, önfenntartás

A PLC programozásának egyik legelterjedtebb grafikus nyelve a létradiagram (ladder diagram, LD). A létradiagram a relés kapcsolási rajz logikáját követi: bal oldalon a „feszültség alatti” sín, jobb oldalon a „nulla” sín, közöttük vízszintes lépcsőfokok sorakoznak.

Definíció. A létradiagram elemei: - **Érintkező (kontaktus):** egy bemenet vagy segédváltozó állapotát vizsgálja. A NO (záró) érintkező akkor vezet, ha a hozzárendelt változó logikai 1; a NC (bontó) érintkező akkor vezet, ha a változó logikai 0. **Figyelem.** A hardveresen bontó (NC) Stop-gomb nyugalomban 1-et ad a bemenetre, ezért a programban záró (NO) kontaktussal vizsgáljuk; így huzalszakadáskor is leáll a motor. - **Tekercs (coil):** egy kimenetet vagy segédváltozót állít be. Ha a tekercshez vezető ág vezet (a bal síntől a jobb sínig), a tekercs logikai 1 lesz, ellenkező esetben 0. - **Önfenntartás:** a tekercshez rendelt segédérintkezőt párhuzamosan kapcsoljuk a Start feltétellel, így a bekapcsolás után a tekercs tartja magát.

A direktindítás PLC-s létradiagramja az alábbi sorokat tartalmazza:

1. sor (öntartó indítás): - Start gomb (S1) NO érintkező - Vele párhuzamosan K1 segédérintkező (NO) – ez a tartóáramkör - Sorosan a Stop gomb (S0) kontaktusa: a gomb hardveresen NC, nyugalomban 1-et ad a bemenetre, ezért a programban **NO** (záró) kontaktussal vizsgáljuk; így huzalszakadáskor is leáll a motor - Sorosan a vészleállító (S2) kontaktusa, ugyanígy NO kontaktus (opcionálisan itt is feltüntethető, de a vészleállító hardveresen is bontja a kimenetet) - A sor végén K1 tekercs

2. sor (vészleállító felügyelet): - A vészleállító állapotát egy bemenet figyeli, és a programban tiltja a K1 bekapcsolását, ha a vészleállító aktív.

A létradiagramot úgy kell olvasni, mint egy relés kapcsolást: a bal oldali sínen „van feszültség”, a jobb oldali sín a „nulla”. Ha az adott lépcsőfokon az érintkezőkön keresztül vezető út jön létre, a tekercs bekapcsol. A PLC ténylegesen nem köti össze fizikailag a síneket, hanem a logikai változók értékét számolja ki.

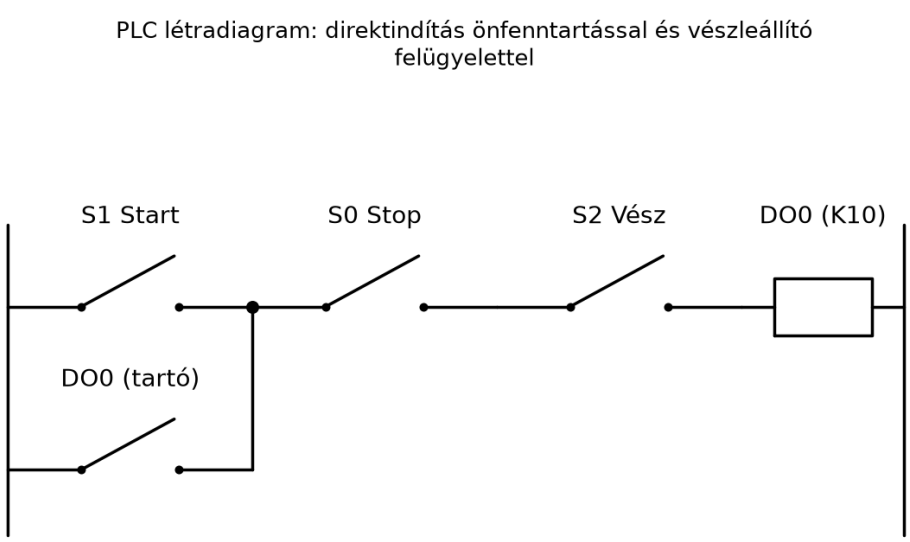
Szabály. A létradiagramban egy tekercs általában csak egyszer szerepelhet, de a hozzá tartozó érintkezők (segédérintkezők) korlátlanul használhatók. A hagyományos relés kapcsolásban minden segédérintkező fizikai érintkező, a PLC-nél viszont csak egy memóriabit.

32.6.6. Kidolgozott példa: direktindítás PLC-vel, létradiagram és bekötés

Példa. Egy háromfázisú szivattyúmotort kell PLC-vel vezérelni. A vezérlési feltételek: - Start gomb (S1, NO) és Stop gomb (S0, NC) a PLC bemeneteire csatlakozik. - Vészleállító (S2, két bontóérintkezős): az 1. NC érintkező sorosan a K1 mágneskapcsoló tekercsének 230 V AC körében van (a segédrelé NO érintkezőjével sorban), így a PLC-től függetlenül bontja a kört; a 2. NC érintkező a PLC bemenetére csatlakozik (felügyelet). A kockázatértékeléstől függően biztonsági relé alkalmazandó (ellenőrizendő: MSZ EN 60204-1, MSZ EN ISO 13850). - A PLC DO0 kimenete a K10 jelű 24 V DC segédrelét vezérli, amely a K1 mágneskapcsolót kapcsolja. - Az önfenntartást a program valósítja meg.

Bekötési terv (szöveges leírás): - 24 V DC tápegység: +24 V a PLC tápfeszültségére (L+), 0 V a PLC M jelű kapcsára. - S1 Start gomb egyik kapcsa a PLC DI0 bemenetre, másik kapcsa a +24 V-ra. - S0 Stop gomb egyik kapcsa a DI1 bemenetre, másik kapcsa a +24 V-ra. - S2 vészleállító 2. NC érintkezőjének egyik kapcsa a DI2 bemenetre, másik kapcsa a +24 V-ra (felügyelet). - A PLC DO0 kimenete egy K10 segédrelé tekercsét vezérli; a segédrelé egyik kapcsa a PLC DO0-ra, másik kapcsa a 0 V-ra. - A K10 segédrelé NO érintkezője a K1 mágneskapcsoló tekercsének 230 V AC körét kapcsolja, sorban az S2 vészleállító 1. NC érintkezőjével.

A létradiagram:



32.16. ábra. PLC létradiagram: direktindítás önfenntartással és vészleállító felügyelettel - A létradiagram a PLC program logikáját mutatja. S1 Start NO, S0 Stop és S2 vészleállító fizikailag NC gomb (nyugalomban 1-et ad a bemenetre), ezért a programban záró (NO) kontaktussal vizsgáljuk. A DO0 kimenet a K10 segédrelé tekercsét vezérli (a K1 mágneskapcsolót a K10 NO érintkezője kapcsolja); a DO0 NO az önfenntartó (tartó) érintkező. A vészleállító a programban is tiltja a DO0-t.

A létradiagram itt a Start gomb és az önfenntartó DO0 érintkező párhuzamos kapcsolását, majd a Stop és vészleállító soros kapcsolatát mutatja. Ha a Start gombot megnyomják, a DO0 kimenet (K10 segédrelé) bekapcsol (logikai 1), és a DO0 tartóérintkező lezár. Amíg a Stop és a vészleállító nincs benyomva, a DO0 bekapcsolva marad.

Számítási ellenőrzés. A PLC bemeneti áramát a bemeneti ellenállásból számíthatjuk. Ha a bemeneti ellenállás 4,7 kΩ és a tápfeszültség 24 V:

$$I_{be} = \frac{24\,\mathrm{V}}{4{,}7\,\mathrm{k\Omega}} = 5{,}1\,\mathrm{mA}.$$

Ez az érték a PLC bemeneti adatlapján szereplő tipikus tartományba esik (általában 3–10 mA), így a nyomógomb érintkezője megfelelő. A relés kimenet terhelhetőségét is ellenőrizni kell: ha a segédrelé tekercsének árama 30 mA, a PLC kimenet névleges 2 A terhelhetősége bőven elegendő, de a gyártói adatlapot mindig meg kell nézni **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.

32.6.7. Biztonság: vészleállító a PLC-től függetlenül

A legfontosabb biztonsági szabály a PLC-s vezérléseknél: a vészleállító áramkör nem épülhet kizárólag a PLC-re.

Szabály. A vészleállító (és más biztonsági funkció) áramkört úgy kell kialakítani, hogy a vészleállító érintkezője közvetlenül, a PLC-től függetlenül megszakítsa a mágneskapcsoló tekercsének

vagy a biztonsági relének az áramkörét. A PLC csak felügyelheti a vészleállító állapotát, de a PLC programhibája, lefagyása vagy tápfeszültség-kiesése nem akadályozhatja meg a leállást.

Tipikus helyes megoldás: - A vészleállító NC érintkezője sorosan van a K1 mágneskapcsoló tekercs áramkörében, így benyomásakor azonnal megszakad a tekercs áramköre. - A vészleállító állapota egy PLC bemenetre is rá van kötve, így a program értesül a vészleállításról, és letiltja a kimeneteket, jelzi a hibát, és csak a vészleállító visszaállítása után engedélyezi az újraindítást. - A visszaállítás után a motor nem indulhat automatikusan: a programban egy élen történő indítást kell feltételezni (a Start gomb újra megnyomása szükséges).

Tilos. A vészleállítót csak egy PLC bemenetre kötni, és a mágneskapcsolót kizárólag a PLC kimenetén keresztül vezérelni. Ha a PLC lefagy vagy a program hibás, a vészleállító hatástalan marad. Ugyanez vonatkozik a biztonsági ajtókapcsolókra, vészleállító kötelekre és más biztonsági funkciókra.

32.6.8. Gyakorlati útmutató: PLC bekötése és egyszerű program feltöltése

Cél. Egy PLC digitális bemeneteinek és kimenetének bekötése, valamint egy egyszerű önfenntartó motorindítás létradiagramjának elkészítése.

Eszközök és anyagok: - PLC (24 V DC tápfeszültségű, legalább 4 digitális bemenet és 1 relés kimenet) - 24 V DC tápegység - Start nyomógomb (NO), Stop nyomógomb (NC), vészleállító (NC) - Segédrelé 24 V DC tekercssel és NO érintkezővel - Mágneskapcsoló (a motor vezérléséhez, a tanműhelyben lehet szimulált terhelés) - Huzalok, érvéghüvelyek, sorkapcsok - Multiméter, programozó eszköz (PC vagy programozópanel) - A PLC programozószoftvere

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A kapcsolószekrényben 230/400 V is jelen lehet, ezért a munkát csak feszültségmentesítés után kezdd el.

Az öt biztonsági szabály: 1. **Lekapcsolás:** a kapcsolószekrény főkapcsolóját kapcsold ki. 2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás:** lakatold le a főkapcsolót, vagy távolítsd el a biztosítékokat. 3. **Feszültségmentesség ellenőrzése:** ellenőrizd a 24 V DC és a 230/400 V AC áramköröket is. 4. **Földelés és rövidre zárás:** a hálózati feszültségű oldalon csak akkor, ha az előírás megköveteli; a tanműhelyi gyakorlatnál általában elegendő a feszültségmentesítés és a visszakapcsolás elleni biztosítás. 5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése:** ha a szekrényben más áramkör feszültség alatt marad, takard le.

Lépések:

1. **Készítsd elő a PLC-t:** rögzítsd a szerelőlemezre, és ellenőrizd a tápellátás bekötési pontjait (L+, M, PE).
2. **Kösd be a tápegységet:** a 24 V DC tápegység kimenetét kösd a PLC L+ és M kapcsaira, valamint a bemeneti közös pontra.
3. **Kösd be a bemeneteket:** a Start gombot a DI0, a Stop gombot a DI1, a vészleállító 2. NC érintkezőjét a DI2 bemenetre kösd. Mindegyik érintkező másik kapcsa a +24 V-ra csatlakozzon.
4. **Kösd be a kimenetet:** a PLC DO0 kimenetét kösd a segédrelé tekercsének egyik kapcsára, a másik kapcsot a 0 V-ra. A segédrelé NO érintkezője és sorosan a vészleállító 1. NC érintkezője kerül a mágneskapcsoló tekercs áramkörébe.
5. **Ellenőrizd a bekötést:** feszültségmentes állapotban a nyomógomb-érintkezők folytonosságát a PLC-ről lekötve mérd (nyitva szakadás, zárva kb. 0 Ω); bekapcsolt tápnál a bemenetet a bemeneti LED-del és a DI–M feszültség mérésével ellenőrizd (aktív: kb. 24 V).

6. **Töltsd fel a programot:** készítsd el a létradiagramot a programozószoftverben, fordítsd le, és töltsd fel a PLC-re.
7. **Teszteld a működést:** a vészleállító legyen alaphelyzetben, a Stop gomb legyen zárva. Nyomd meg a Start gombot: a K10 segédrelé behúz, a K1 mágneskapcsoló meghúz. Engedd el a Start gombot: a K10 önfenntartásból behúzva marad. Nyomd meg a Stop gombot: a K10 elenged, vele a K1 is. Nyomd meg a vészleállítót: a mágneskapcsoló azonnal elenged, függetlenül a PLC állapotától.
8. **Dokumentáld:** rögzítsd a bekötési rajzot, a programot és a teszt eredményeit.

32.6.9. Tipikus hibák

1. **A vészleállító csak a PLC bemenetére van kötve.** Ha a PLC lefagy, a vészleállító nem állítja le a motort. **Helyes gyakorlat:** a vészleállító NC érintkezője közvetlenül a mágneskapcsoló tekercsének áramkörét szakítja meg, a PLC bemenet csak a felügyeletet látja el.

2. **A PLC kimenetét közvetlenül 230 V-os mágneskapcsoló tekercsére kötik, anélkül hogy ellenőriznék a kimenet terhelhetőségét.** A relés kimenet névleges árama korlátozott, és a bekapcsolási áramlökés is nagyobb lehet. **Helyes gyakorlat:** mindig ellenőrizd a gyártói adatlapot, és ha szükséges, iktass be segédrelét.

3. **Az analóg bemenet típusát rosszul állítják be.** Ha 4–20 mA-es érzékelőt kötnek 0–10 V-os bemenetre, a mért érték hibás lesz. **Helyes gyakorlat:** a hardverkonfigurációban állítsd be a bemenet típusát, és a bekötést ennek megfelelően végezd.

4. **A 0 V vezetékeket láncolva (sorba fűzve) kötik.** Ha sok fogyasztó 0 V-ja egymásról továbbkötve jut vissza, a közös szakaszokon eső feszültség és a zavarok hibás bemeneti jeleket okozhatnak. **Helyes gyakorlat:** a 0 V-okat egy 0 V-sínről vagy sorkapocsról, csillagpontosan kösd.

5. **Az önfenntartást elfelejtik a programba írni.** A motor csak addig jár, amíg a Start gombot nyomva tartják. **Helyes gyakorlat:** a K1 segédérintkezőt (vagy egy memóriabitet) párhuzamosan kell kapcsolni a Start gombbal a létradiagramban.

32.6.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A PLC program ciklikusan fut, és a bemeneteket a ciklus elején olvassa be. Indokold!
2. Hány mA áram folyik egy 4,7 kΩ-os PLC bemeneten 24 V DC tápfeszültségnél?
3. Mi a különbség a relés és a tranzisztoros PLC kimenet között?
4. Miért nem szabad a vészleállítót csak a PLC bemenetére kötni?
5. Rajzold le a létradiagramot egy olyan vezérléshez, ahol a motor csak akkor indulhat, ha egy hővédő (termosztát) NC érintkezője zárt, és a Start gomb megnyomása után önfenntartással működik.
6. Mi a teendő, ha a PLC bemenet nem érzékeli a nyomógomb zárását?

32.6.11. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a PLC fő részeit, és magyarázd el egy-egy mondatban a szerepüket!

2. feladat (A) Egy PLC bemeneti ellenállása 6,8 kΩ, a bemeneti feszültség 24 V DC. Számítsd ki a bemeneti áramot! Mekkora teljesítményt vesz fel a bemenet?

3. feladat (B) Készíts létradiagramot egy kútszivattyú vezérléséhez: a szivattyú akkor indul, ha a Start gombot megnyomják, és a tartály szintje alacsony (S4 szintérzékelő NO érintkező zár). A szivattyú önfenntartással működik, és leáll, ha a Stop gombot megnyomják, vagy a tartály megtelik (S5 szintérzékelő NC érintkező nyit). A vészleállító (S6 NC) szintén leállítja.

4. feladat (B) Rajzold le egy PLC bekötési vázlatát: Start gomb a DI0, Stop gomb a DI1, vészleállító a DI2 bemenetre; a DO0 kimenet egy 24 V DC segédrelét vezérel. Jelöld a tápegység csatlakozásait is.

5. feladat (C) Egy PLC-s motorvezérlésben a vészleállító benyomásakor a motor nem áll le. Sorold fel a lehetséges okokat, és add meg a hiba behatárolásának lépéseit!

6. feladat (D) A tanműhelyben a PLC programja fut, a Start gomb megnyomásakor a DO0 kimeneten nem jelenik meg feszültség. A PLC bemenetén a DI0 jel megjelenik (a bemeneti LED világít). Ismertesd a hibakeresés lépéseit, és jelöld meg, melyik hibát hogyan lehet kizárni!

32.6.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. **Igaz.** A PLC ciklikusan dolgozik: bemenetek olvasása → program végrehajtása → kimenetek írása → diagnosztika. A bemeneteket a ciklus elején beolvassa, így a program a ciklus közbeni változásokat csak a következő ciklusban érzékeli.
2. Az áram: $I = \frac{24\,\mathrm{V}}{4{,}7\,\mathrm{k\Omega}} = 5{,}1\,\mathrm{mA}$.
3. A relés kimenet galvanikusan leválasztott, egyen- és váltakozó feszültséget is kapcsolhat, de lassabb és kopik. A tranzisztoros kimenet csak egyenfeszültséget kapcsol, gyors, nincs mechanikus kopás.
4. Mert ha a PLC lefagy, programhiba lép fel vagy a tápellátás kiesik, a vészleállító nem tudná leállítani a motort. A vészleállítónak közvetlenül kell megszakítania a mágneskapcsoló áramkörét.
5. A létradiagram: Start gomb (NO) párhuzamosan a K1 önfenntartó érintkezővel (NO), sorosan a termosztát és a Stop gomb kontaktusa (hardveresen NC jeladók, a programban NO kontaktussal vizsgálva), sorosan a K1 tekercs.
6. Ellenőrizni kell a bekötést (a gomb a +24 V-ról a bemenetre van-e kötve), a tápfeszültséget, a bemeneti LED állapotát, a programban a bemenet címét, és a bemeneti feszültséget multiméterrel.

Feladatok megoldásai:

1. feladat (A) A PLC fő részei: CPU (program tárolása és végrehajtása), bemeneti egység (külső jelek fogadása és leválasztása), kimeneti egység (beavatkozók vezérlése), tápegység (belső feszültségek előállítása), kommunikációs interfész (programozás, felügyelet, adatcsere).

2. feladat (A)
Adott: $R = 6{,}8\,\mathrm{k\Omega}$, $U = 24\,\mathrm{V}$. Keresett: I, P.
$I = \frac{U}{R} = \frac{24}{6800} \approx 3{,}53\,\mathrm{mA}$.
$P = \dfrac{U^2}{R} = \dfrac{(24\,\mathrm{V})^2}{6800\,\Omega} \approx 84{,}7\,\mathrm{mW} \approx 85\,\mathrm{mW}$.
Ellenőrzés: a bemeneti áram tipikusan 3–10 mA, így az érték reális.

3. feladat (B) A létradiagram (szöveges leírás):
- 1. sor: [Start gomb (NO) → S4 alacsony szint (NO)] párhuzamosan K1 önfenntartó érintkezővel (NO) → S5 tele szint → S6 vészleállító → Stop gomb → K1 tekercs (az S5, S6 és a Stop fizikailag NC jeladó, a programban NO kontaktussal vizsgáljuk).

A sorrend lényeges: az S4 csak az indítást engedélyezi (a Start-tal sorosan, az indítóágban); a tartóág a tele szintig fenntartja a szivattyút, így az szintemelkedéskor sem áll le idő előtt (kétpontos szabályozás: alsó szinten indul, felsőn áll le).

4. feladat (B) A bekötési vázlat (szöveges leírás):
- 24 V DC tápegység + kimenete a PLC L+ és a nyomógombok közös pontjára.
- 0 V a PLC M-re.
- Start gomb másik kapcsa DI0, Stop gomb másik kapcsa DI1, vészleállító 2. NC érintkezőjének másik kapcsa DI2 (az 1. NC érintkező a mágneskapcsoló tekercsének 230 V-os körében van).
- DO0 a segédrelé tekercs egyik kapcsára, a másik kapocs a 0 V-ra.
- A segédrelé NO érintkezője és sorosan a vészleállító 1. NC érintkezője a mágneskapcsoló tekercs áramkörébe.

5. feladat (C) Lehetséges okok:
- A vészleállító csak a PLC bemenetére van kötve, és a PLC program a kimenetet nem tiltja le (vagy a PLC lefagyott).
- A vészleállító érintkezője rosszul van bekötve (pl. NO helyett NC, vagy a hardveres áramkörben nincs benne).
- A mágneskapcsoló tekercs áramköre nem a vészleállítón át megy, hanem közvetlenül a tápfeszültségre van kötve.
- A PLC kimenete nem kapcsol le (pl. ragasztott reléérintkező a PLC kimenetén).

Behatárolás: feszültségmentes állapotban ellenőrizni a bekötést, a vészleállító érintkezőjének működését multiméterrel, és a PLC programban a bemenet állapotát.

6. feladat (D) Hibakeresés lépései:
- Ellenőrizd, hogy a PLC RUN üzemmódban van-e.
- Nézd meg a DO0 kimeneti LED állapotát a PLC-n. Ha világít, a hiba a kimeneti áramkörben van (pl. a segédrelé nem húz be, vagy a kimenet terhelése meghaladja a határt).
- Ha a DO0 LED nem világít, ellenőrizd a programot: a létradiagramban a DI0 érintkező helyesen van-e, a Stop és a vészleállító kontaktusok a hardveres NC gomboknak megfelelően NO kontaktusként szerepelnek-e, és az önfenntartás megvan-e.
- Ellenőrizd a 24 V DC tápfeszültséget a kimeneti közös ponton.
- Multiméterrel mérj feszültséget a DO0 és a 0 V között, amikor a Start gomb aktív. Ha nincs feszültség, a program logikája hibás, vagy a kimenet nem lett hozzárendelve.

32.6.13. Rövid összefoglaló

A PLC programozható logikai vezérlő, amely ipari számítógépként működik: bemenetein (DI) érzékeli a nyomógombok, érzékelők állapotát, a tárolt program szerint logikai döntéseket hoz, és kimenetein (DO) vezérli a mágneskapcsolókat, szelepeket, jelzőlámpákat. A PLC ciklikusan dolgozik: bemenetek olvasása → program végrehajtása → kimenetek írása → diagnosztika. A digitális be- és kimenetek 0/1 állapotot kezelnek, jellemzően 24 V DC jelszinten; az analóg bemenetek folytonos jeleket (0–10 V, 4–20 mA) fogadnak. A létradiagram (LD) a relés kapcsolási rajz logikáját követi: érintkezők (NO, NC) és tekercsek alkotják a lépcsőfokokat. Az önfenntartást egy tekercshez rendelt segédérintkező párhuzamos kapcsolásával valósítjuk meg a Start gombbal. A legfontosabb biztonsági szabály, hogy a vészleállító áramkört a PLC-től függetlenül, közvetlenül a mágneskapcsoló tekercsét megszakító módon kell kialakítani; a PLC csak felügyelheti az állapotát. A PLC-s vezérlés fogalmai, a be- és kimenetek kezelése, valamint a vészleállító függetlenségének elve alapozza meg a frekvenciaváltók és lágyindítók vezérlését a Motorvédelmek, lágyindítók és frekvenciaváltók az elosztóban alfejezetben.

33 Ipari elosztóhálózatok

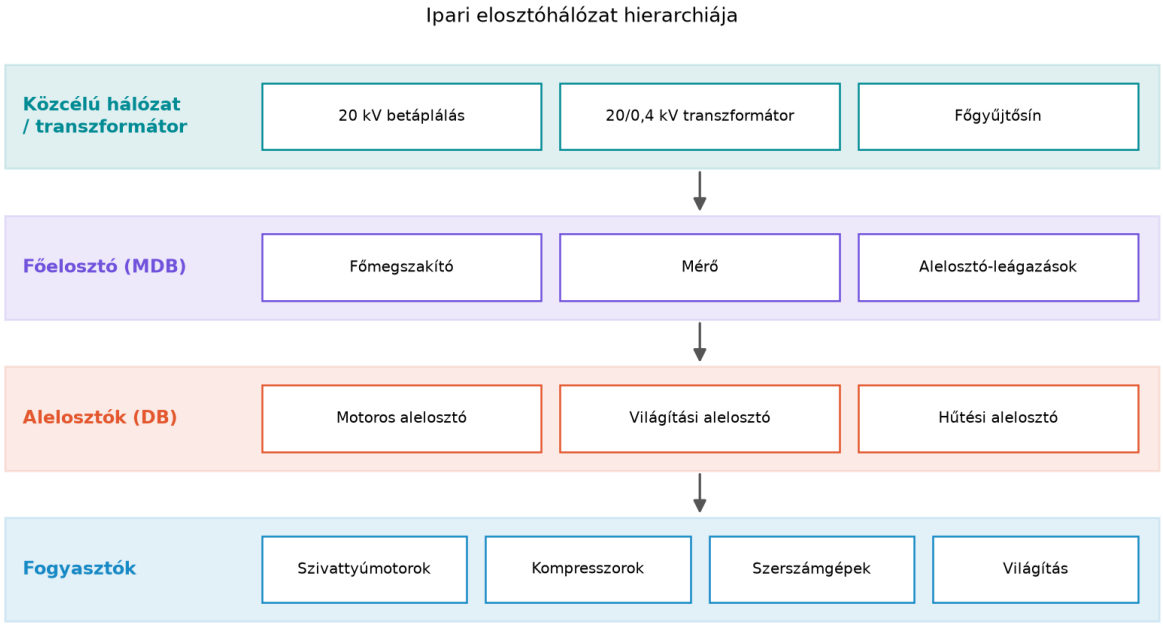
33.1. Ipari elosztóhálózatok jellemzői és topológiája

33.1.1. Motiváció

Egy fémmegmunkáló üzemben a kompresszorház leágazásán rövidzárlat keletkezik. A leágazás megszakítója leold, de a főelosztó főmegszakítója is, ezért az egész csarnok feszültségmentessé válik. A termelés órákra leáll, a kemence lehűl, az automatika elveszti a paramétereit. A szerelő nemcsak a hibát javítja, hanem jogosan teszi fel a kérdést: miért okozott egyetlen leágazási hiba teljes üzemleállást? A válasz az ipari elosztóhálózat szerkezetében, védelmi kialakításában és a terhelés becslésében rejlik. Ebben az alfejezetben megismerjük az ipari elosztóhálózatok topológiáit, az egyidejűségi tényező szerepét, valamint a tartalék betáplálás és a megbízhatóság alapelveit, hogy a lakóépületi elosztóktól eltérő gondolkodásmódot kialakítsuk.

33.1.2. Szemléletes kép

Az ipari elosztóhálózatot legkönnyebb rétegesen, a betáplálástól a fogyasztókig haladva elképzelni.



33.1. ábra. Ipari elosztóhálózat hierarchiája - Szemléltető rétegábra: a közcélú betáplálástól a főelosztón és az alelosztókon át a fogyasztókig.

A rétegábra azt mutatja, hogy a közcélú hálózatból érkező energia először a főelosztóba (MDB, main distribution board), onnan az egyes alelosztókba, végül a fogyasztókhoz jut. A lakóépületi elosztóhoz képest itt több szint, nagyobb teljesítmény, több motoros fogyasztó és lényegesen nagyobb zárlati áram jelenik meg. A hibák hatása ezért egy-egy szinten túl is terjedhet, ha a védelmi láncot nem gondoljuk át.

33.1.3. Az ipari elosztóhálózat fogalma és jellemzői

Definíció. Az **ipari elosztóhálózat** a villamos energia elosztásának az a része, amely a betáplálási ponttól (például a transzformátor 0,4 kV-os kapcsaitól) az egyes fogyasztói leágazásokig vezet, beleértve a kapcsoló- és védelmi készülékeket, a gyűjtősíneket, a vezeték- vagy sínrendszereket és a csatlakozási pontokat.

Az ipari hálózat jellemzői a lakóépületi elosztókkal szemben:

- a fogyasztók teljesítménye nagy, gyakran 10–500 kW vagy még nagyobb;
- a motorok, kemencék, hegesztőgépek és hajtások miatt a terhelés dinamikusan változik;
- a zárlati áramok nagyok, mert a transzformátorok impedanciája kicsi, ezért a védelmi készülékek megszakítóképessége is nagyobb;
- a termeléskiesés költsége miatt a hálózat megbízhatósága, a szelektivitás és a tartalék betáplálás fontosabb, mint egy lakásban.

A Szelektivitás, hátvédelem és megszakítóképesség alfejezetben tanult elvek itt teljesednek ki: egy ipari hálózatban a hibaelhárítás során nem elég a hibás leágazást kikapcsolni, hanem a lehető legkisebb üzemrészt szabad csak lekapcsolni.

33.1.4. Topológiák: sugaras, gyűrűs és hurkolt hálózat

A hálózat szerkezetét **topológiának** nevezzük. Három alapvető ipari elrendezést különböztetünk meg: a sugaras, a gyűrűs és a hurkolt hálózatot.

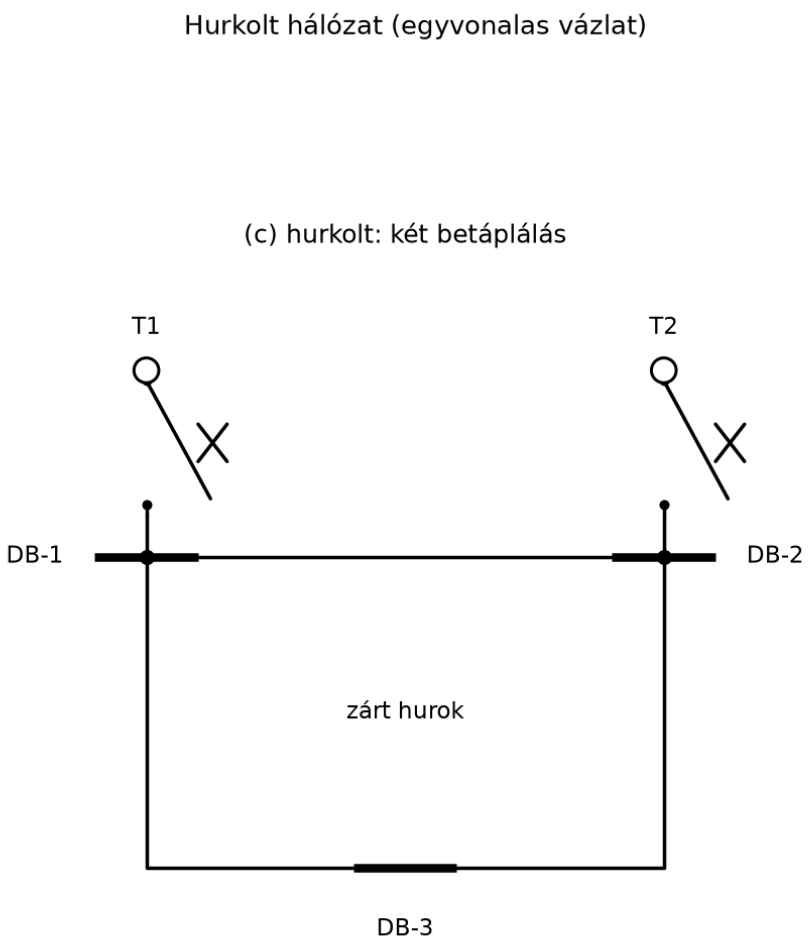
Definíció. Sugaras hálózat (radial feeder). Minden leágazás és fogyasztó csak egyetlen útvonalon kaphat táplálást. A betáplálástól a fogyasztókig nincs zárt kör, tehát a hálózati gráfban nincs hurok. Ha egy szakaszon hiba lép fel, az adott szakaszon túli összes fogyasztó feszültségmentessé válik.

Definíció. Gyűrűs hálózat (ring main). A fővezeték vagy az alelosztók betáplálása zárt gyűrűt alkot, de a gyűrűt üzemszerűen **egy ponton nyitva** hagyják (nyitott gyűrű). A gyűrű két végét ugyanahhoz a betápláláshoz vagy két különböző betápláláshoz csatlakoztatják. Hibás szakasz kikapcsolása után a gyűrűt átrendezve a fogyasztók nagy része továbbra is táplálható.

Definíció. Hurkolt hálózat (meshed network). Olyan hálózat, amelyben több, egymással összekapcsolt betáplálási út is létezik, tehát a fogyasztók több irányból is táplálhatók. A zárt hurkok miatt a rövidzárlati áram nagyobb, a védelmi szelektivitás bonyolultabb, ezért a kisfeszültségű ipari hálózatokban ritkábban alkalmazzák, mint a sugaras vagy a nyitott gyűrűs megoldást.

Az alábbi egyvonalas vázlatok a három topológiát a 4. feladat jelöléseivel mutatják. A **sugaras** hálózatban a T1 transzformátortól a Q1 főmegszakítón és a gyűjtősínen át a Q2 a DB-A, a Q3 a DB-B alelosztót táplálja, mindegyiket egyetlen úton. A **nyitott gyűrűben** a két alelosztót a Q4 gyűrűkapcsoló is összeköti, de ez üzemszerűen nyitva van, így a hálózat normál üzemben sugarasan működik; hiba után Q4 zárásával lehet áttáplálni. A **hurkolt** hálózatban két betáplálás (T1, T2) és három csomópont zárt hurkot alkot, minden csomópont két irányból is táplált.

33.2. ábra. Sugaras és nyitott gyűrűs ipari elosztóhálózat (egyvonalas vázlat) - (a) Sugaras: T1 – Q1 főmegszakító – gyűjtősín – Q2 → DB-A és Q3 → DB-B alelosztó; minden alelosztóhoz egyetlen út vezet. (b) Nyitott gyűrű: ugyanez, de DB-A és DB-B között a Q4 gyűrűkapcsoló is ott van, üzemszerűen NYITVA (a rajzon nyitott kapcsolóként). Ha például a DB-A betápláló kábele hibás, Q2 nyitva marad, és Q4 zárásával DB-A a Q3 – DB-B úton át táplálható. Q4 zárása előtt a reteszelést és a zárlati viszonyokat ellenőrizni kell.



33.3. ábra. Hurkolt hálózat (egyvonalas vázlat) - Két betáplálás (T1, T2) és három csomópont (DB-1, DB-2, DB-3) zárt hurokban: minden csomópont két irányból is kap táplálást, ezért egy szakasz kiesése után is ellátott marad, de a zárlati áram nagyobb, és a szelektív védelem bonyolultabb. A kapcsoló- és védelmi készülékek a szakaszok végein a vázlatról elhagyva.

A gyakorlati ipari hálózatok legtöbbször **sugaras** felépítésűek, de a fontos fogyasztóknál tartalék betáplálással vagy gyűrűs átrendezéssel növelik a rendelkezésre állást. A gyűrűs elrendezés akkor előnyös, ha a fogyasztók egy csarnokban, egy útvonal mentén helyezkednek el, és a kiesésük jelentős termelési kárt okoz.

Összefüggés. Minél több útvonalon juthat el az energia egy fogyasztóhoz, annál nagyobb a rendelkezésre állás, de annál nagyobb a zárlati áram és annál nehezebb a szelektív védelmi lánc kialakítása. A tervezés során tehát kompromisszumot kell kötni a megbízhatóság és a védhetőség között.

33.1.5. Terhelések, egyidejűségi tényező

Az ipari hálózat méretezésének első lépése a várható terhelés becslése. A beépített teljesítmény önmagában nem elegendő, mert a fogyasztók nem mind egyszerre üzemelnek teljes terheléssel.

Definíció. Egyidejűségi tényező (angolul simultaneity vagy coincidence factor; vigyázat: a „diversity factor” szó egyes forrásokban ennek reciprokát jelenti, az MSZ EN 61439-ben pedig a kapcsolóberendezés névleges egyidejűségi tényezőjét – ellenőrizendő: a használt forrás definíciója). Az egyidejűségi tényező k_i a csúcsidőben ténylegesen egyidejűleg felvett hatásos teljesítmény és az összes beépített névleges hatásos teljesítmény hányadosa:

$$k_i = \frac{P_{\text{csúcs}}}{\sum P_n}$$

ahol:

- $\sum P_n$ a beépített fogyasztói hatásos teljesítmények összege,
- $P_{\text{csúcs}}$ a méretezéshez figyelembe vett egyidejű csúcsterhelés.

Motoroknál $\sum P_n$ helyett a hálózatból felvett teljesítmények összegét, $\sum P_n/\eta$-t vesszük, mert az adattábla a tengelyen leadott teljesítményt adja; ellenállásos és egyéb fogyasztónál a névleges teljesítmény már a felvett teljesítmény.

Az egyidejűségi tényező értéke mindig $0 < k_i \le 1$. Lakóépületekben a lakások számától függően jellemzően kicsi (például 0,2–0,6), mert a háztartások fogyasztása időben eloszlik. Az iparban az érték üzemtől és technológiától függ: egy folyamatos üzemű szivattyútelepen közel lehet 1-hez, egy műhelyben viszont a gépek ritkán üzemelnek egyszerre, ezért k_i 0,5–0,8 lehet. A konkrét értéket mindig a folyamatismeretből, a gyártói adatokból vagy a tervezési előírásokból kell meghatározni. **(ellenőrizendő: az adott üzemre vonatkozó egyidejűségi tényező)**

Kidolgozott példa – egyidejűségi tényező és betáplálási áram.
Adott: egy műhelyben 5 db, egyenként 7,5 kW tengelyteljesítményű (adattáblai, leadott) motor üzemel, $k_i = 0{,}7$, $\eta = 0{,}88$, $\cos\varphi = 0{,}82$, $U_v = 400\,\text{V}$.
Keresett: a várható egyidejű csúcsteljesítmény és a főelosztó betáplálási árama.
Képlet: a motor adattáblai P_n a tengelyen leadott teljesítmény, a hálózatból felvett hatásos teljesítmény $P_1 = P_n/\eta$; így $P_{\text{csúcs}} = k_i \sum P_n/\eta$, majd $S = \frac{P_{\text{csúcs}}}{\cos\varphi}$ és $I_v = \frac{S}{\sqrt{3}\,U_v}$.
Behelyettesítés:
$\sum P_n = 5 \times 7{,}5 = 37{,}5\,\text{kW}$ (tengelyteljesítmény)
$P_{\text{csúcs}} = 0{,}7 \times 37{,}5/0{,}88 = 29{,}8\,\text{kW}$ (felvett)
$S = \frac{29{,}8}{0{,}82} = 36{,}4\,\text{kVA}$
$I_v = \frac{36\,400}{\sqrt{3}\times 400} = \frac{36\,400}{692{,}8} = 52{,}5\,\text{A}$
Ellenőrzés: a visszaszámolt hatásos teljesítmény $P = \sqrt{3} \times 400 \times 52{,}5 \times 0{,}82 \approx 29{,}8\,\text{kW}$, ami egyezik a felvett csúcsteljesítménnyel (a hatásfok figyelmen kívül hagyása az áramot 46,2 A-re, tehát mintegy 12 %-kal alábecsülné). A főelosztóban legalább $I_b \le I_n \le I_z$ szerint kell kismegszakítót választani, például 63 A-es készüléket ($52{,}5\,\text{A} \le I_n$), a vezeték terhelhetőségétől függően. ∎

Figyelem. Az egyidejűségi tényezőt nem szabad automatikusan átvenni egy lakóépületi értékből. Egy ipari üzemben a terhelés jellege, a műszakok, az automatikus indítások és a folyamatirányítás miatt a k_i akár 0,9 is lehet, ezért a hálózatot a valós folyamatra kell méretezni.

33.1.6. Üzemi megbízhatóság, tartalék betáp

Az ipari hálózat tervezésénél a rendelkezésre állás és a termelésbiztonság alapvető szempont. A **szelektivitás** biztosítja, hogy a hibás szakasz leválasztása ne érintse a hibátlan részeket. A

hátvédelem és a **megszakítóképesség** pedig azt garantálja, hogy a védelmi készülékek a fellépő zárlati áramot el tudják viselni.

Szabály. Az ipari létesítmények villamos berendezéseinek tervezésére és ellenőrzésére is az MSZ HD 60364 sorozat vonatkozik, kiegészítve a kapcsolóberendezésekre vonatkozó MSZ EN 61439 és a gépek villamos berendezéseire vonatkozó MSZ EN 60204-1 szabvánnyal. A hálózati csatlakozás feltételeit a helyi elosztói engedélyes írja elő. **(ellenőrizendő: aktuális szabványszámok és hatályos követelmények)**

Tartalék betáp (redundancia). Fontos fogyasztóknál gyakran két független betáplálást építenek ki: az egyik az üzemi, a másik a tartalék. A tartalék lehet egy másik transzformátorról, egy másik elosztói betáplálásról vagy szünetmentes áramforrásról (UPS) táplált ág. A két betáplálást **mechanikus vagy villamos reteszeléssel** kell ellátni, hogy soha ne járhassanak párhuzamosan, mert ez visszatáplálást, túlterhelést vagy hibás védelmi működést okozhat.

Az n–1 elv. A hálózat megbízhatóságának egyszerű megfogalmazása, hogy egy elem kiesésekor a rendszer még biztonságosan, ha nem is teljes kapacitással, de tovább üzemelhessen. Két transzformátoros üzemnél gyakran úgy méreteznek, hogy az egyik transzformátor kiesésekor a másik átvegye a fontos fogyasztókat, a nem fontos terheléseket pedig leválasztják.

Kidolgozott példa – n–1 elvű tartalék.
Adott: két transzformátor, egyenként 630 kVA; a csúcsterhelés 780 kVA; a nem fontos fogyasztók (például hűtőkompresszorok) összesített terhelése 120 kVA.
Keresett: ha az egyik transzformátor kiesik, elegendő-e a másik kapacitása?
Képlet: a megmaradó transzformátor névleges teljesítménye S_{TR}, a leválasztandó teljesítmény $S_{\mathrm{lev}} = S_{\mathrm{csúcs}} - S_{\mathrm{TR}}$, ha $S_{\mathrm{csúcs}} > S_{\mathrm{TR}}$.
Behelyettesítés: $S_{\mathrm{TR}} = 630\,\mathrm{kVA}$, $S_{\mathrm{csúcs}} = 780\,\mathrm{kVA}$.
$S_{\mathrm{lev}} = 780 - 630 = 150\,\mathrm{kVA}$.
Ellenőrzés: a nem fontos fogyasztók összesen 120 kVA-t tehetnek ki, ami önmagában nem elég, mert 150 kVA-t kell leválasztani. Tehát további 30 kVA, például egy kevésbé fontos műhelyág lekapcsolására is szükség van. Ez a tervezési szemlélet: a tartalék betáp nem helyettesíti a teljes csúcsterhelést, hanem a folyamat szempontjából fontos fogyasztókat tartja üzemben. ∎

Továbbvitt eredmény. Az itt kiválasztott topológia, a becsült egyidejű csúcsteljesítmény és a tartalék betáplálás igénye határozza meg, hogy a Síncsatorna, energiaoszlop, kábeltálca és kábelpadló alfejezetben milyen fizikai szerelési módot és útvonalat választunk.

33.1.7. Különbségek a lakóépületi elosztótól

A lakóépületi elosztó és az ipari elosztó közötti különbségeket a következő táblázat foglalja össze:

Szempont	Lakóépületi elosztó	Ipari elosztóhálózat
Teljesítmény	néhány kW–tíz kW lakásonként	tíz kW–több MW
Fogyasztók jellege	világítás, dugaszoló aljzatok, háztartási gépek	motorok, hajtások, kemencék, hegesztők, automatika
Zárlati áram	jellemzően kicsi, 1,5–6 kA	nagy, akár 25–100 kA
Egyidejűségi tényező	lakások számával csökkenő, 0,2–0,6	üzemfüggő, 0,5–1,0
Topológia	legtöbbször sugaras, egy betáplálással	sugaras, gyűrűs vagy tartalék betáplálással

Szempont	Lakóépületi elosztó	Ipari elosztóhálózat
Védelem	kismegszakítók, FI-relék egyszerű láncban	megszakítók, motorvédők, szelektív és hátvédelmi koordináció
Megbízhatósági igény	a kényelmi és biztonsági igény a fontos	a termeléskiesés csökkentése, folyamatbiztonság
Dokumentáció	egyszerűbb egyvonalas rajz	részletes egyvonalas rajz, zárlati és terhelési számítások, védelmi beállítási táblázat

A táblázatból látható, hogy az ipari hálózat tervezése nem egyszerű „nagyobb lakáselosztó”. A hibás méretezés vagy a rossz védelmi beállítás nemcsak a fogyasztókat, hanem az egész termelést veszélyezteti.

33.1.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy csarnokhálózat átalakítása gyűrűssé. Egy élelmiszer-feldolgozó üzemben a hűtőkompresszorokat és a csomagológépeket egyetlen sugaras kábelrendszer táplálta. Egy földzárlat a csarnok közepén lévő alelosztóban leoldotta a főmegszakítót, így a teljes hűtőlánc leállt. A vizsgálat kimutatta, hogy a főmegszakító és az alelosztó leágazása között nem volt szelektivitás; ezt a főmegszakító késleltetett (rövid késleltetésű) beállításával javították (ellenőrizendő: gyártói adatlap, szelektivitási táblázat). A szerelő emellett azt javasolta, hogy a csarnok fogyasztóit két szakaszra bontva **nyitott gyűrűként** alakítsák ki: az egyik szakaszt a főelosztó A leágazása, a másikat a B leágazása táplálja. A két szakasz közé egy nyitott gyűrűkapcsolót helyeztek el. Ha az egyik betáplálás kiesik, a gyűrűkapcsolót zárva a másik betáplálás át tudja venni a fontos fogyasztókat. A védelmeket úgy állították be, hogy áttápláláskor (más útvonalon, más zárlati árammal) is szelektíven oldjanak le. A gyűrű a szelektivitási hibát nem orvosolja, csak a betáplálás kiesése utáni áttáplálást teszi lehetővé. **Biztonsági korlát.** A 230/400 V-os hálózaton és a kapcsolóberendezésen csak jogosult, arra képesített személy végezhet munkát.

Ez az eset jól mutatja a topológia és a védelmi koordináció együttes szerepét: a gyűrű lehetőséget ad az áttáplálásra, de a tervezésnél figyelembe kell venni a megnövekedett zárlati áramot és a gyűrűkapcsoló reteszelését.

33.1.9. Tipikus hibák

1. hiba – Az ipari hálózatot lakóépületi egyidejűségi tényezővel méretezik. A szerelő a lakásoknál megszokott $k_i = 0{,}3$ értéket alkalmazza egy műhelyre is, ahol a gépek a műszak kezdetén egyszerre indulnak. A betápláló kábelt alulméretezi, a főmegszakító túlterhelés miatt rendszeresen leold. **Helyes gyakorlat:** az egyidejűségi tényezőt a tényleges üzemvitelből, a technológiai sorrendből és a motorok indítási viszonyaiból kell meghatározni.

2. hiba – A gyűrűt állandóan zárva üzemeltetik. A gyűrűt azért nyitják meg egy ponton, hogy a hálózat sugarasan, egyszerűen védhető legyen. Ha a gyűrűt zárva hagyják, a rövidzárlati áram megnő, és a védelmek nem feltétlenül szelektívek, ezért egy hiba két irányból is táplálva nagyobb károkat okozhat. **Helyes gyakorlat:** a gyűrűt üzemszerűen nyitva kell hagyni, és csak a hiba elhárításához szükséges áttáplálláskor szabad zárni.

3. hiba – A tartalék betáplálásnál nincs reteszelés. Ha a hálózati és a tartalékforrás együtt tud üzemelni, visszatáplálás jöhet létre, ami a hálózati dolgozókat veszélyeztetheti, és

a védelmeket is megzavarhatja. **Helyes gyakorlat:** mechanikus vagy villamos reteszelést kell beépíteni, amely kizárja a párhuzamos üzemet.

33.1.10. Önellenőrzés

1. Mi a sugaras hálózat fő jellemzője és mi a legnagyobb hátránya?

2. Igaz vagy hamis? A nyitott gyűrű üzemszerűen zárt állapotban üzemel. Indokold!

3. Egy üzemben 10 db 5 kW-os fogyasztó van, $k_i = 0{,}8$. Mennyi a becsült csúcsteljesítmény?

4. Miért nagyobbak az ipari hálózat zárlati áramai, mint egy lakóépületben?

5. Mit jelent az n–1 elv két transzformátoros betáplálásnál?

6. Miért tilos a tartalék betáplálást reteszelés nélkül párhuzamosan üzemeltetni a hálózattal?

33.1.11. Feladatok

1. feladat (A)
Sorold fel a három alapvető ipari elosztóhálózati topológiát, és egy-egy mondatban jellemezd őket!

2. feladat (A)
Egy műhelyben 6 db 5,5 kW-os (tengelyteljesítményű) motor van. Az egyidejűségi tényező $k_i = 0{,}75$, a motorok hatásfoka $\eta = 0{,}88$, $\cos\varphi = 0{,}8$. Számítsd ki a hálózatból felvett becsült csúcsteljesítményt és a látszólagos teljesítményt!

3. feladat (B)
Az előző feladat műhelyét 400 V-os, háromfázisú hálózat táplálja. Határozd meg a betáplálási vonali áramot, majd ellenőrizd, hogy egy 32 A-es főmegszakító elegendő-e! Ha nem, mekkora névleges áramú kismegszakítót javasolnál?

4. feladat (B)
Rajzold le szövegesen egy sugaras és egy nyitott gyűrűs hálózat egyvonalas vázlatát! Jelöld be a betáplálást, a főmegszakítót és két alelosztót! Magyarázd el, mi történik egy alelosztó betápláló kábelének hibája esetén mindkét topológiában!

5. feladat (C)
Egy üzemet két 800 kVA-es transzformátor táplál. A csúcsterhelés 950 kVA, a nem fontos fogyasztók 200 kVA-t tesznek ki. Az egyik transzformátor kiesik. Határozd meg, mennyi teljesítményt kell leválasztani, és elegendő-e a nem fontos fogyasztók lekapcsolása!

6. feladat (D)
Egy üzemben a főelosztó és az alelosztó megszakítója is leold egy rövidzárlatnál, pedig a hiba az alelosztó egyik leágazásában volt. Milyen hálózati vagy védelmi beállítási hibára gyanakszol? Milyen mérésekkel, dokumentumokkal ellenőriznéd a feltételezésed? (A mérést jogosult személy végezheti!)

33.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. A sugaras hálózatban minden fogyasztó csak egy útvonalon kap táplálást. Előnye az egyszerű felépítés és védhetőség, hátránya, hogy egy szakasz hibája az utána lévő összes fogyasztót feszültségmentessé teszi.

2. Hamis. A nyitott gyűrű üzemszerűen **nyitva** van, hogy a hálózat sugarasan, egyszerűen védhető legyen; a gyűrűt csak áttáplálláskor zárják.

3. $P_{\text{csúcs}} = k_i \sum P_n = 0{,}8 \times 10 \times 5 = 40\,\text{kW}$.

4. Az ipari hálózat transzformátorai nagyobb teljesítményűek és kisebb belső impedanciájúak, a vezetékek rövidebbek, ezért a hibahelyre jutó zárlati áram lényegesen nagyobb.

5. Az n–1 elv szerint egy elem (például az egyik transzformátor) kiesésekor a rendszer még biztonságosan, a fontos fogyasztókat továbbra is ellátva üzemeljen, szükség esetén a nem fontos terhelések leválasztásával.

6. A reteszelés nélküli párhuzamos üzem visszatáplálást okozhat, ami a hálózati dolgozókat veszélyezteti, és a védelmi koordinációt felborítja.

1. feladat (A)
A három topológia: sugaras, gyűrűs (nyitott), hurkolt. A sugaras egyetlen útvonalat ad, a gyűrűs egy ponton nyitott zárt hurkot alkot, a hurkolt több összekapcsolt utat tartalmaz.

2. feladat (A)
Adott: $n = 6$, $P_n = 5{,}5\,\text{kW}$ (tengely), $k_i = 0{,}75$, $\eta = 0{,}88$, $\cos\varphi = 0{,}8$.
Keresett: $P_{\text{csúcs}}$ (felvett), S.
Képlet: $P_{\text{csúcs}} = k_i \sum P_n / \eta$, $S = \frac{P_{\text{csúcs}}}{\cos\varphi}$.
Számítás: $\sum P_n = 6 \times 5{,}5 = 33\,\text{kW}$;
$P_{\text{csúcs}} = 0{,}75 \times 33 / 0{,}88 = 28{,}1\,\text{kW}$;
$S = \frac{28{,}1}{0{,}8} = 35{,}2\,\text{kVA}$.
Eredmény: $P_{\text{csúcs}} \approx 28{,}1\,\text{kW}$, $S \approx 35{,}2\,\text{kVA}$.

3. feladat (B)
Adott: $S = 35{,}16\,\text{kVA}$, $U_v = 400\,\text{V}$.
Keresett: I_v és a szükséges megszakító névleges árama.
Képlet: $I_v = \frac{S}{\sqrt{3}\,U_v}$.
Számítás: $I_v = \frac{35\,160}{1{,}732 \times 400} = \frac{35\,160}{692{,}8} = 50{,}7\,\text{A}$.
Ellenőrzés: a 32 A-es főmegszakító nem elegendő, mert $50{,}7\,\text{A} > 32\,\text{A}$; az 50 A-es sem ($I_b \le I_n$ sérülne), tehát legalább 63 A-es kismegszakító szükséges, a vezeték terhelhetőségétől függően ($I_b \le I_n \le I_z$).

4. feladat (B)
Szöveges rajz (rajzban lásd a Topológiák alszakasz egyvonalas vázlatát):
- **Sugaras:** betáplálás → Q1 főmegszakító → gyűjtősín → Q2 alelosztó A, Q3 alelosztó B. Mindkét alelosztó külön leágazáson, egyetlen útvonalon.
- **Nyitott gyűrűs:** betáplálás → Q1 főmegszakító → gyűjtősín → két leágazás: Q2 az A alelosztóhoz, Q3 a B alelosztóhoz. Az A és B alelosztó között van egy nyitott Q4 gyűrűkapcsoló, tehát a gyűrű üzemszerűen nyitott.
Hiba esetén: A sugarasnál, ha az A alelosztó betápláló kábele hibás, az A alelosztó fogyasztói

lekapcsolódnak, a B tovább üzemel. A nyitott gyűrűsnél, ha az A betápláló kábel hibás, a Q2 leold, és az A szakasz kiesik. Ezután a hibás kábelszakaszt mindkét végén leválasztjuk (a Q2 nyitva marad és reteszeljük, az A alelosztó betáplálási leválasztóját nyitjuk), és csak ezt követően zárjuk a Q4 gyűrűkapcsolót: így a B betáplálás felől az A alelosztó fontos fogyasztói áttáplálhatók. Ha a Q4-et a még csatlakozó hibás kábelre zárnánk, a B ág a zárlatra kapcsolna, és a teljes csarnok kiesne. A kapcsolási sorrendet az üzem kapcsolási utasítása rögzíti, és csak jogosult személy végezheti.

5. feladat (C)
Adott: két transzformátor, egyenként $S_{\mathrm{TR}} = 800\,\mathrm{kVA}$; csúcsterhelés $S_{\mathrm{csúcs}} = 950\,\mathrm{kVA}$; nem fontos fogyasztók $S_{\text{nem fontos}} = 200\,\mathrm{kVA}$.
Keresett: a leválasztandó teljesítmény.
Képlet: $S_{\mathrm{lev}} = S_{\mathrm{csúcs}} - S_{\mathrm{TR}}$, ha $S_{\mathrm{csúcs}} > S_{\mathrm{TR}}$.
Számítás: $S_{\mathrm{lev}} = 950 - 800 = 150\,\mathrm{kVA}$.
Ellenőrzés: a nem fontos fogyasztók 200 kVA-je leválasztható, és mivel $200 > 150$, elegendő a nem fontos fogyasztók lekapcsolása. A megmaradó terhelés $950 - 200 = 750\,\mathrm{kVA}$, ami a 800 kVA-es transzformátor kapacitása alatt van.

6. feladat (D)
A jelenség arra utal, hogy a főmegszakító és az alelosztó megszakítója között nincs megfelelő **szelektivitás**. A feltételezés ellenőrzése:
- Először a védelmi beállítási táblázatot és a gyártói dokumentációt kell megnézni, hogy a két megszakító kioldási görbéje hogyan viszonyul egymáshoz.
- Ezután a zárlati áram nagyságát kell meghatározni (például a mért hurokimpedanciából, $I_k \approx U_0/Z_s$). Ha a zárlati áram mindkét megszakító pillanatkioldó tartományába esik, akkor áramszelektivitás nem érvényesül.
- A hurokimpedancia-mérést üzemi feszültség alatt, az MSZ EN 61557-3 szerinti műszerrel, megfelelő CAT-kategóriájú mérőzsinórral és a munkautasítás szerinti védőeszközökkel csak erre jogosult, képzett személy végezheti (a szigetelésmérés ezzel szemben feszültségmentes állapotban történik); a zárlati áramot a mért Z_s-ből számítjuk ($I_k \approx U_0/Z_s$). (ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás)

Megoldás: időszelektivitás beállítása a főmegszakítón, vagy nagyobb kioldási tartományú, illetve késleltetett megszakító választása, a gyártói adatokkal összehangolva.

33.1.13. Rövid összefoglaló

Az ipari elosztóhálózat a betáplálástól a fogyasztókig vezető kapcsoló-, védelmi és vezetékrendszer, amely nagy teljesítménye, nagy zárlati árama és magas rendelkezésre állási igénye miatt eltér a lakóépületi elosztótól. Alapvető topológiái a sugaras, a nyitott gyűrűs és a hurkolt hálózat. A sugaras egyszerű, de egy hiba nagy üzemrészt lekapcsolhat; a gyűrűs áttáplálást tesz lehetővé, de a védelmi koordinációt gondosabban kell megtervezni. A terhelés becslésénél az egyidejűségi tényezőt $k_i = P_{\mathrm{csúcs}} / \sum P_n$ képlettel vesszük figyelembe. A megbízhatóság növelésére tartalék betáplálást és n–1 elvű méretezést alkalmazunk, de a párhuzamos üzemet reteszeléssel mindig ki kell zárni. **Továbbvitt eredmény.** A kiválasztott topológia, a becsült egyidejű csúcsteljesítmény és a tartalék betáplálás igénye határozza meg a fizikai szerelési módokat a Síncsatorna, energiaoszlop, kábeltálca és kábelpadló alfejezetben.

33.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a villamos hálózatok klasszikus topológiai és teljesítményszámítási ismereteire épül, amelyek stabil tudásnak tekinthetők. A szabványi hivatkozások közül az MSZ HD 60364 sorozat,

az MSZ EN 61439 és az MSZ EN 60204-1 aktuális kiadását, valamint a hálózati engedélyes csatlakozási feltételeit a felhasználás előtt ellenőrizni kell. Az egyidejűségi tényező konkrét számszerű értékei üzem- és folyamatfüggők, ezért azokat mindig az adott létesítményre vonatkozó tervezési adatokból vagy mérési tapasztalatokból kell meghatározni. A példákban szereplő áram- és teljesítményértékek tanulási célt szolgálnak, nem tervezési előírások. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadások, egyidejűségi tényezők, megszakítók kioldási adatai)**

33.2. Síncsatorna, energiaoszlop, kábeltálca és kábelpadló

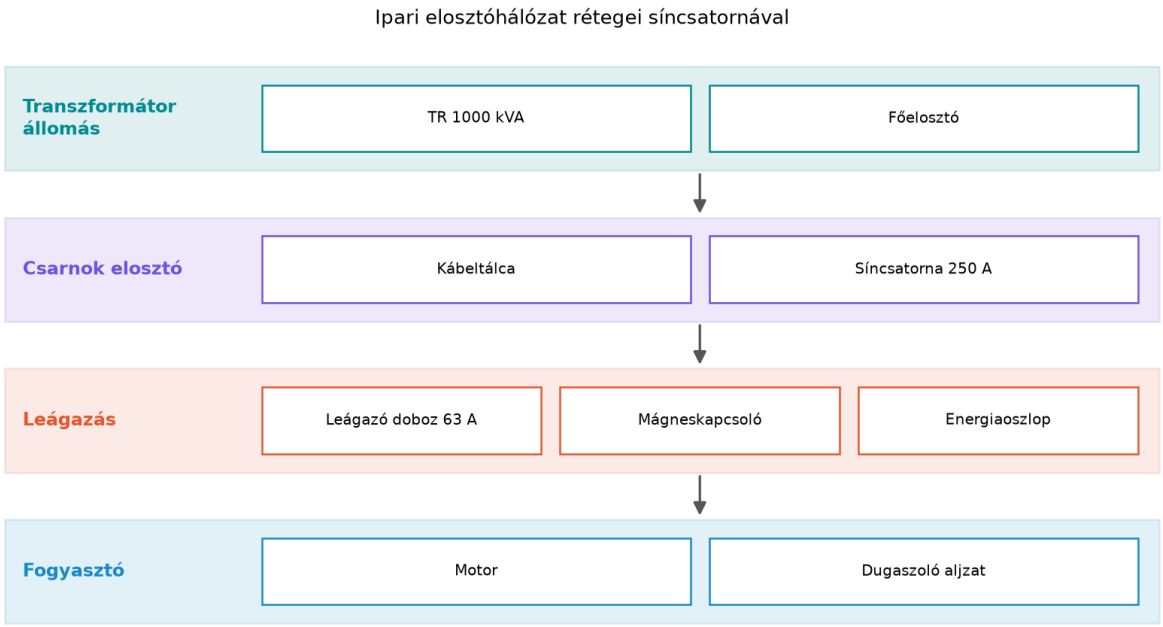
33.2.1. Motiváció

Ipari csarnokban a villanyszerelő ritkán találkozhat kész, falba vésett nyomvonalakkal. A termelési gépek áthelyezése, új gép beállítása vagy egy légtechnikai rendszer bővítése gyakran azt jelenti, hogy néhány óra alatt kell energiaellátást kiépíteni, méghozzá úgy, hogy az később is rugalmasan átrendezhető legyen. Ha minden gépet külön kábellel, közvetlenül a főelosztóból táplálunk, akkor a kábeltenger áttekinthetetlenné válik, a javítás lassú lesz, és a kábelek rögzítetlenül, rossz szellőzéssel túlmelegedhetnek. A síncsatorna, az energiaoszlop, a kábeltálca és a kábelpadló éppen erre a feladatra készült: rendezett, újrakonfigurálható, jól szellőző és biztonságos elosztási utat ad.

Ha szerelőként három gépet kell bekötni egy csarnokban, a következő kérdésre kell választ adni: milyen gerincvezetéket fektessen, hová tegye a leágazási pontokat, és milyen szerelési mód biztosítja a kábelek hőleadását. Ez az alfejezet ezeket az eszközöket és szerelési technológiákat tanítja meg.

33.2.2. Szemléletes kép: egy ipari csarnok elosztási rétegei

A következő rétegábra egy tipikus csarnoki elosztást mutat. A transzformátorból induló kábel először egy kábeltálcán fut a főelosztótól a síncsatornáig. A síncsatorna a csarnok hosszában flexibilis energia-gerincet alkot. Erről leágazó dobozokkal lehet leválasztani a munkagépek áramköreit, kisebb energiaoszlopokat pedig közvetlenül a tálcáról vagy a síncsatorna leágazó dobozából táplálni.



33.4. ábra. Ipari elosztóhálózat rétegei síncsatornával - A főelosztótól a munkagépig haladva mutatja az egyes elosztóeszközök szerepkörét. A kábeltálca a főelosztó és a síncsatorna közötti kábelszakaszt, valamint az energiaoszlopok bekötését szolgálja. Szemléltető vázlat, nem méretezési terv.

Ábraolvasás. Fentről lefelé haladva minden réteg egy-egy elosztási szintet jelent. A villamos teljesítmény a felső szintről lefelé folyik, a készülékek a rétegekben mint csomópontok jelennek meg. A síncsatornán lévő leágazó doboz a rugalmas csatlakozási pont, ahonnan már hagyományos kábellel vagy energiaoszloppal lehet a gépet ellátni. A kábeltálca nem áramot szállít, hanem a kábeleket tartja.

33.2.3. A síncsatorna: elemek, felépítés és terhelhetőség

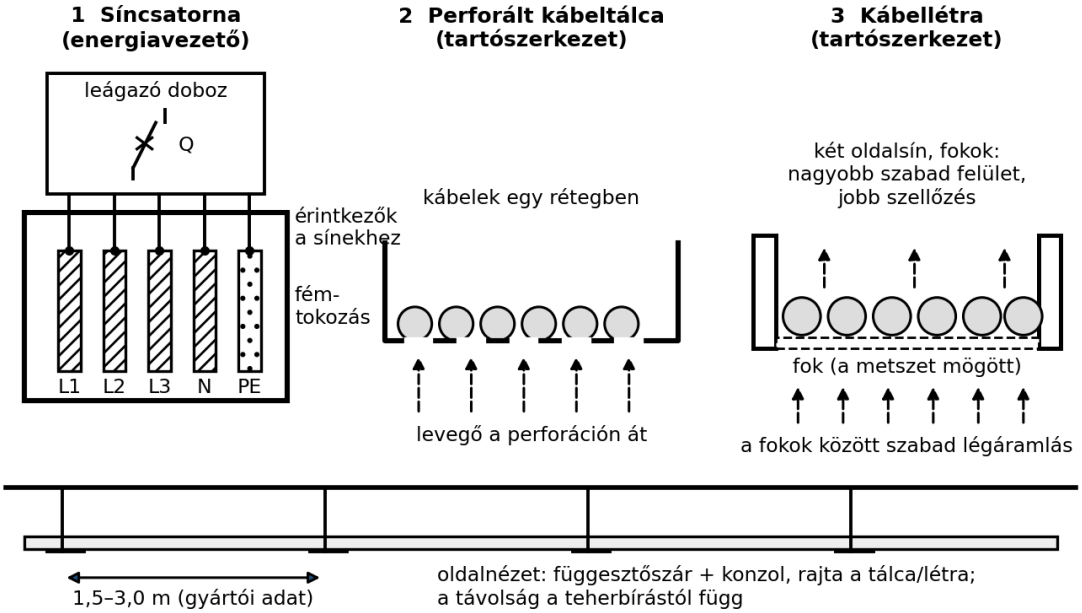
Motiváció. A csarnokban hétről hétre új masinákat állítanak be, vagy épp elvisznek egy gépet. A falba vésés lassú, koszos, és nem is ad rugalmasságot. Ehelyett ipari környezetben a tápsínt, azaz síncsatornát használnak.

Definíció. A síncsatorna (busway / busbar trunking system; régebbi magyar szóhasználatban gyakran „sínes elosztó” vagy „tápsín”) olyan előregyártott, zárt vagy félig zárt elosztórendszer, amelyben a villamos energiát szigetelt, párhuzamosan futó réz- vagy alumíniumgyűjtősínek szállítják. A gyűjtősíneket mechanikusan védő, általában fém vagy más nem éghető tokozás veszi körül. A síncsatornára leágazó dobozokat vagy csatlakozó egységeket lehet szerelni, így a megcsapolási pont áthelyezhető, bővíthető.

Elemek. Egy teljes síncsatornás rendszer fontosabb elemei:

- **Tápcsatlakozó doboz:** a főelosztóból vagy transzformátorból érkező kábel fogadása.
- **Tápcsatorna elemek:** jellemzően 2–4 m hosszú szakaszok, bennük a fázissínek (L1, L2, L3), a nulla- (N) és a védővezető- (PE) sín, illetve néha a ház mint védővezető is.
- **Leágazó doboz / leágazó adapter:** a síncsatornára szerelhető egység, benne kismegszakító vagy olvadóbiztosító, esetleg kapcsoló, mágneskapcsoló vagy FI-védelem.

- **Véglezáró és mechanikai tartóelemek:** konzolok, függesztők, fali tartók, menetes szárak, csavarkötések.
- **Készülékcsatlakozó aljzat:** kisebb rendszereknél a leágazó doboz helyett dugaszolható aljzat is lehet.



33.5. ábra. Síncsatorna (energiavezető) és kábeltálca/kábellétra (tartószerkezet) keresztmetszete

Ábraolvasás. Az 1. keresztmetszet a síncsatorna: maga az energiavezető, a fémtokozásban öt párhuzamos sínnel; a rápattintott leágazó doboz érintkezői közvetlenül a sínekre csatlakoznak, benne a leágazás védelmével. A 2. és 3. keresztmetszet a kábeltálca és a kábellétra: ezek csak tartószerkezetek, a kábeleket hordozzák. A tálcán a levegő a perforáción, a létrán a fokok között áramlik, ezért a létrán jobb a kábelek hűlése. Az alsó sáv a rögzítést mutatja: a konzolok és függesztők távolsága a fejezet szerint jellemzően 1,5–3,0 m, de ez gyártói adat. A HTML-kiadásban az ábra három lépésben játszható le.

Fontos szabály. A síncsatorna nem kábeltálca. A kábeltálca a kábelek tartószerkezete, a síncsatorna maga az energiavezető. Ezért a síncsatorna névleges árama annak az áramnak felel meg, amelyet tartósan elvisel, és amelyet a gyártó a környezeti hőmérséklet, a szerelési mód és a tokozás anyagának függvényében megad.

Számítás. Egy csarnokban 12 darab, egyenként 2,2 kW-os, 230 V-os fűtőszalagot kell ellátni egy háromfázisú (L1–L3, N, PE) síncsatornáról. Az egyfázisú fogyasztókat a három fázisra egyenletesen osztjuk el, fázisonként 4 darabot. A fűtőszalag ohmos terhelés, ezért $\cos\varphi = 1$. A mértékadó a legterheltebb fázis árama:

$$I_b = \frac{4 \cdot 2\,200}{230 \cdot 1} \approx 38{,}3\ \text{A fázisonként.}$$

Szabály. Egyfázisú fogyasztóknál a legterheltebb fázis árama a mértékadó, ezért a fázisok kiegyenlítésére törekszünk; ha mind a 12 fogyasztót egy fázisra kötnénk, az áram $12 \cdot 2\,200/230 \approx 115$ A lenne, vagyis háromszoros fázisáram és erős aszimmetria lépne fel, és a síncsatornát erre a háromszoros áramra kellene méretezni.

Bővítési tartalékkal ($38{,}3 \cdot 1{,}25 \approx 47{,}9\,\text{A}$) egy $I_n = 63\,\text{A}$ névleges áramú síncsatorna megfelel (a gyártói választéktól függően). A leágazó dobozokat ezután úgy kell méretezni, hogy a leágazó áramkörében is teljesüljön az $I_b \le I_n \le I_z$ elv.

Megjegyzés. A síncsatornák névleges árama jellemzően 25 A-tól több ezer amperig terjedhet a gyártói választékban. A pontos típust és a szakaszok hosszát a gyártói katalógus és az MSZ EN 61439 sorozat szerinti készülékadatok alapján kell kiválasztani **(ellenőrizendő: aktuális gyártói adatlap és szabványkiadás)**.

Továbbvitt eredmény. A síncsatorna névleges áramát és a leágazó dobozok védelmi osztályát a Méretezés: terhelés, feszültségesés és zárlat egyszerű esetekben alfejezetben használjuk fel, amikor a terhelési láncot és a zárlati védelmet a teljes ipari hálózatra kiterjesztjük.

33.2.4. Energiaoszlop, falba süllyesztett és padlóba épített megoldások

A csarnokban nem mindig lehetséges a mennyezetre vagy a tartószerkezetre szerelt síncsatorna. A padlószinten dolgozó munkások és gépek esetében bizonyos munkaállomásokhoz energiaoszlopokat (power distribution column / service pole) használunk. Ezek az oszlopra szerelt, több dugaszoló aljzatot és védőkapcsolót tartalmazó elosztóegységek, amelyeket rendszerint a padló alatti vagy feletti kábelszerelésből táplálunk.

Energiaoszlop alkalmazása. Az energiaoszlop jól szolgál laboratóriumokban, műhelyekben, gépcsoportok közelében. Felső részén általában a bejövő kábel csatlakozik, alsó részén vagy több magassági szinten a dugaszoló aljzatok, esetleg védőkapcsoló vagy kismegszakító van. A rögzítést a padlóhoz vagy a mennyezethez, illetve a falhoz kell kialakítani. Az energiaoszlop szerelése során a bejövő kábelt mechanikusan védeni kell, és a kábelsaru kötéseket ellenőrizni kell a későbbi rángatásból adódó sérülések ellen.

Falba süllyesztett megoldások. Falazott falszerkezetben előszeretettel használnak süllyesztett szerelődobozokat és falba süllyesztett csatornákat (a falon kívüli vezetékcsatorna külön, falon kívüli szerelési mód). A süllyesztett dobozok védettsége fontos; a padlószinthez közeli, freccsenő víz vagy vegyszer ellen legalább IP44 védettségre lehet szükség, de a pontos érték a környezettől függ **(ellenőrizendő: környezeti feltételek és aktuális szabvány)**. A falba süllyesztett dobozok előnye a mechanikai védelem és az esztétikus megjelenés, hátránya a kisebb hőleadás és az utólagos bővíthetőség nehézsége.

Padlóba épített megoldások. Irodai és ipari terekben gyakori a padlócsatorna (flush floor trunking) és a padlódoboz. A padlócsatornát a betonlemezbe vagy az esztrichbe süllyesztik; a kábeleket a csatornában húzzák, a kivezetésekhez padlódobozokat szerelnek. A padlódoboznak a járó terhelést (pl. 3 kN terhelés) és a vízbehatolás elleni védelmet kell biztosítani. A csatorna fém fedelét úgy kell rögzíteni, hogy ne zörögjön, ne billenjen, és hőtágulás esetén se szoruljon. A padlóba épített rendszernél a kábelek hőleadása rosszabb, ezért a terhelhetőséget a megfelelő szerelési mód szerint kell csökkenteni.

33.2.5. Kábeltálca, kábellétra és a rögzítés

A kábeltálca és a kábellétra a legelterjedtebb tartószerkezetek ipari környezetben. A **kábeltálca** (cable tray) általában perforált acéllemezből készült, U-alakú vagy lapos tálca. A **kábellétra** (cable ladder) két hosszanti tartóból és a közéjük hegesztett vagy csavarozott fokokból áll, ezért a levegő hozzáférése a kábelhez jobb, a hosszabb tartószerkezeti távolságok is áthidalhatók.

Definíció. A kábeltálca és a kábellétra olyan tartószerkezet, amely a kábeleket meghatározott nyomvonalon, mechanikailag védett módon, a levegő hozzáférhetőségét megtartva vezeti. Nem villamos vezető, hanem szerelési mód.

Rögzítési elvek. A tálcát vízszintesen és függőlegesen is lehet szerelni. A rögzítőelemek:

- **Konzolok** a falra vagy oszlopra szerelve.
- **Függesztő szárak** mennyezet vagy födém alá.
- **Merevítő keretek, szintező elemek** a hosszirányú stabilitáshoz.
- **Kötések** a szakaszok toldásához, és gyártói **áthidaló kötések** a villamos (EPH-/védővezetői) folytonossághoz.

Ha a fém kábeltálcát a terv szerint az egyenpotenciálú (EPH) rendszerbe vonják, vagy védővezetőként használják, a toldásoknál a villamos folytonosságot biztosítani kell (áthidaló kötés, gyártói összekötő). A bekötés szükségessége a tervtől, az alkalmazott kábelektől és a környezettől függ **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41, -5-54, gyártói adatok)**.

Rögzítési távolság. A konzolok és függesztő szárak távolsága a tálca teherbírásától és a kábelköteg tömegétől függ. Jellemző gyakorlati távolság 1,5–3,0 m közötti, de a pontos értéket a gyártói adatlap és a statikai követelmény határozza meg **(ellenőrizendő: gyártói terhelési táblázat)**. Ha a tálcán túl sok kábel van, a konzol behajlik, a toldások meglazulnak, és a kábelek letörnek.

Szerelési terv készítése. A kábeltálcás és síncsatornás elosztás szerelése előtt nyomvonaltervet kell készíteni. A terven rögzíteni kell a megtámasztási pontokat, a dobozok és leágazások helyét, a kereszteződéseket, a tűzgátló áttöréseket és a későbbi bővíthetőségi tartalékot.

Gyakorlati recept: Síncsatornás elosztás szerelési tervének lépései

1. **Mérd fel a csarnok méreteit** és a munkagépek helyét; vedd fel a várható üzemi áramokat.
2. **Válassz nyomvonalat** a főelosztó és a fogyasztói zónák között, lehetőleg az építészeti oszlopsor mentén, a tűzveszélyes helyeken kívül.
3. **Válassz síncsatorna típust**: a névleges áram legalább akkora, mint a teljes előrelátható terhelés, tartalékkal is.
4. **Tervezd meg a leágazó dobozokat**: minden gépcsoporthoz külön leágazó dobozt, a védelmet (kismegszakító, FI) a feladatnak megfelelően.
5. **Jelöld ki a tartószerkezeteket**: konzolok, függesztők, menetes szárak, falikonzolok, rögzítési távolság a gyártó adatai szerint.
6. **Készíts egyvonalas rajzot**, amelyen a síncsatorna, a leágazások, a fővezetékek és a védelmek jelölései szerepelnek.
7. **Jelöld a kábeltálca és az energiaoszlop helyét**, ha a nyomvonal vegyesen használja ezeket.
8. **Ellenőrizd a szerelési tervet**: minden kábel hőleadása, a védővezető folytonossága, a tűzgátló átvezetés és a bővíthetőségi tartalék.

Gyakorlat. A tanműhelyben szerelési tervet készíthetsz egy képzeletbeli csarnokhoz. Vegyél fel 6 munkagépet, 4 darab 3 kW-os és 2 darab 5,5 kW-os motort, $\cos\varphi = 0{,}82$-vel. Az egyszerűsítés kedvéért a motorok hatásfokát most 1-nek vesszük: $\Sigma P = 4 \cdot 3 + 2 \cdot 5{,}5 = 23\,\text{kW}$, így $I_b = \dfrac{23\,000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}82} \approx 40{,}5\,\text{A}$; 25 % tartalékkal $\approx 50{,}6\,\text{A}$, vagyis legalább 63 A-es síncsatorna kell. A motorok hatásfokát (például $\eta = 0{,}85$) figyelembe véve $I_b \approx 47{,}6\,\text{A}$ (ellenőrizendő: gyártói adatlap).

33.2.6. Tűz- és hőterhelés, szellőzés

A kábelek működés közben melegszenek. Ha a kábel hőleadása gátolt, a szigetelés hőmérséklete a megengedett fölé emelkedik, ami idő előtti öregedéshez, rövidzárlathoz vagy tűzhöz vezethet. Ezért a kábeltálcás, kábellétrás és síncsatornás szerelésnél a szellőzést soha nem szabad elzárni.

Hőterhelés. A csoportba fektetett kábelek egymást melegítik. A tálcán vagy létrán a kábelek közti hézagok, a perforáció és a levegő mozgása javítja a hőleadást, de a csoportosítás miatt a terhelhetőséget javító-, illetve csökkentő tényezőkkel kell módosítani. A pontos tényezőket az MSZ HD 60364-5-52 szerinti szerelési módok és táblázatok adják meg. Ez a méretezési lépés a Méretezés: terhelés, feszültségesés és zárlat egyszerű esetekben alfejezetben visszatér.

A kábeltálca szellőzése. A perforált tálcán a levegő a kábel alá is bejut, ezért jobb a hőleadás, mint zárt csőben. A tömör tálca (nem perforált) viszont csökkenti a hőleadást; a kábeltálcás szerelési módnál a szabvány szerint különböző referenciaértékek érvényesek. Tervezési ökölszabály, hogy a kábelek közötti szabad légrést ne tömd ki teljesen, és a kábelköteget ne fesd le.

Tűzterhelés. A kábelek éghető szigetelőanyagokat tartalmaznak. A kábeltálcákon összeérő kábelnyalábok a tűz terjedésének útjai lehetnek. Ezért tűzgátló falakon, födémeken való átvezetéskor minősített tűzgátló anyaggal kell lezárni a nyílást, és a kábelrendszerben tűzvédelmi megszakításokat, például tűzálló kőzetgyapot párnákat vagy tűzgátló habot kell alkalmazni. A függőleges kábelszerelésnél a kábelek tűz közbeni önsúlyát is figyelembe kell venni; a rögzítéseknek biztosítaniuk kell, hogy a kábel ne essen le és ne terjessze a tüzet.

Figyelem. A síncsatorna tokozása, a kábeltálca és a kábellétra anyaga gyakran fém, ami jó szellőzést és mechanikai védelmet ad, de tűz esetén felmelegszik. A tűzgátló átvezetéseknél a fémbordás szerkezetet is le kell zárni, hogy a tűz és a füst ne tudjon átjutni.

33.2.7. Szabványi környezet

Szabvány. A kisfeszültségű berendezések vezetékválasztásának alapdokumentuma az MSZ HD 60364-5-52. Ez ad iránymutatást a szerelési módokhoz (kábeltálca, kábellétra, védőcső, szabad vezeték), a terhelhetőségi referencia-értékekhez és a csoportosítási tényezőkhöz. A gyűjtősínes elosztórendszerekre (síncsatornák) jellemzően az MSZ EN 61439 sorozat vonatkozik, azon belül az elosztóberendezések és a gyűjtősín-csatornák vizsgálatai, melegedési határai és készülékkombinációi **(ellenőrizendő: pontos szabványszám, jellemzően MSZ EN 61439-6)**. A kábeltálcákra és kábelétrákra mint kábelrendszer-tartószerkezetekre gyakran az MSZ EN 61537 sorozat utal **(ellenőrizendő: aktuális kiadás és pontos szám)**.

Magyar gyakorlat. Régi terveken előfordulnak az „MSZ 1600”, „MSZ 2364” jelölések. Ezeket a szabványokat lecserélték; a régi rajzon a megjegyzés csak arra utal, hogy a dokumentáció korábbi kivitelben készült. A szerelő új munkánál a hatályos MSZ HD 60364 sorozat szerint jár el.

A szerelés biztonsága. Hálózati feszültségű síncsatornát és kábeltálcát csak jogosult, arra képesített személy szerelhet. A tanuló ezt gyakorlatban csak tanműhelyi, törpefeszültségű modelleken vagy jogosult oktató közvetlen felügyeletével végezheti.

33.2.8. Gyakorlati útmutató: Síncsatorna-szakasz tanműhelyi szerelése és kábelek rögzítése

Cél: Síncsatorna-modell összeszerelése és egy kábelköteg kábeltálcára való szakszerű fektetése, a szerelési terv lépéseinek begyakorlása.

Eszközök és anyagok: - törpefeszültségű síncsatorna-modell vagy gyártói demonstrációs sín, - néhány darab (pl. 5 db) különböző színű, 1,5–2,5 mm²-es hajlékony vezeték a kábelköteg modellezéséhez, - kábeltálca-darab vagy perforált lemez, konzolok, csavarok, ütköző anyák, - egyenáramú, max. 24 V-os próbafeszültség forrás, pl. tanulműhelyi tápegység, - multiméter, csavarhúzó készlet, hálózati munkánál kétpólusú feszültségvizsgáló (MSZ EN 61243-3 – ellenőrizendő: aktuális kiadás); a fázisceruza feszültségmentesség megállapítására nem használható.

Biztonsági korlát. A gyakorlat kizárólag tanműhelyi, legfeljebb törpefeszültségű környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik. Hálózati feszültségen önállóan ne dolgozz.

Az öt biztonsági szabály a megkezdés előtt: 1. Kapcsold le a tanműhelyi tápegységet. 2. Biztosítsd a visszakapcsolás ellen (lakattal vagy az oktató utasítása szerint). 3. Kétpólusú feszültségvizsgálóval (törpefeszültségű modellnél multiméterrel) ellenőrizd minden pólus között, valamint a PE felé is a feszültségmentességet; a műszer működését előtte és utána ismert feszültségforráson próbáld ki. 4. Ahol a gyakorlatban indokolt, földeld és rövidre zárd a munkaszakaszt. 5. A szomszédos, feszültség alatt lévő részeket fedd le, ha vannak ilyenek.

Lépések:

1. **Olvasd le a síncsatorna elemeit.** Azonosítsd a tápcsatlakozó pontot, a gyűjtősín jelöléseket (L1, L2, L3, N, PE) és a leágazó doboz rögzítő mechanikáját.
2. **Szereld fel a tartókonzolokat.** A rögzítési pontok közti távolságot a gyártói adat szerint válaszd, a gyakorlatban tanműhelyi rövidebb szakaszon 0,5–1 m közötti távolsággal.
3. **Helyezd be a síncsatorna-elemet a konzolokba**, majd rögzítsd a toldást. Ellenőrizd, hogy a gyűjtősínek sarkai pontosan illeszkednek, és a tokozás nem feszül.
4. **Szereld a leágazó dobozt a síncsatorna előre jelölt pontjára.** A leágazó doboz érintkezőinek szorosan kell kapcsolódniuk a sínekhez; a rögzítő csavart a gyártó nyomatékával húzd meg **(ellenőrizendő: gyártói csavarnyomaték)**.
5. **Kösd be a kábeleket a leágazó doboz és képzeletbeli fogyasztó közé.** Használj a színek szerint rendezett érvéghüvelyeket, és tartsd be a fázis–nulla–védővezető sorrendet.
6. **Fektess kábelköteget a kábeltálcára.** A kábeleket rendezd párhuzamosan, ne keresztezd őket, és hagyj szellőzőhézagot.
7. **Rögzítsd a kábeleket a tálcához.** Használj műanyag vagy fém kábelbilincset; a függőleges szakaszon sűrítsd a rögzítést. A rögzítés ne szorítsa le a szigetelést.
8. **Mérj átmeneti ellenállást** a szerelt kábel és a síncsatorna megfelelő pontjai között multiméterrel. Az ellenállásnak a vezető hosszával összevetve ésszerűen kicsinek kell lennie.
9. **Ellenőrizd a folytonosságot** a PE sín és a kábeltálca között a tanműhelyi modellen; a fémes kötéseknél jól meghúzott csavarok szükségesek.

Ellenőrzési pontok: - A síncsatorna toldásánál nincs elszíneződött, meglazult csavar. - A leágazó doboz érintkezői nem lógnak le. - A kábelek színei a szabvány szerintiek (fázis barna/fekete/szürke, nulla világoskék, védővezető zöld-sárga). - A kábelköteg a tálcán nem lép ki a tálca szabad pereme fölé. - A multiméteres ellenállásmérés nem mutat szakadást.

Dokumentálás: Készíts egyszerű kapcsolási vázlatot a síncsatornáról, a leágazó dobozról és a kábelezésről. Jelöld a rögzítési pontok távolságát és a kábelek keresztmetszetét.

33.2.9. Valós életbeli alkalmazás: miért áll le a sor?

Egy csarnokban egy fűtőszalag-sor folyamatos leállását tapasztalták. A szerelő a gépsor betáplálását egy régi, elhúzódó kábeltálcán vizsgálta. A kábelek szorosan egymás mellett, több rétegben feküdtek, a tálca pereme lefelé fordult, a levegő nem járhatta át őket. A csatlakozó dobozban a leágazó vezetékek összeértek, a kábelszigetelés helyenként elszíneződött. A műszeres mérés

hőterhelésre gyanúsan magas hőmérsékletet mutatott, és a túlmelegedés miatt a kábelszigetelés ellenállása lecsökkent. A hibát nem a kismegszakító okozta, hanem a rossz kábelfektetés: a kábeleket nem lehetett kellően szellőztetni.

Tanulság. A kábeltálca nem „kábeltartó rekesz”, hanem hőleadó felület. A szakszerűtlenül egymásra dobált kábelek a névlegesnél jóval kisebb terhelhetőséggel bírnak. A javítás egy új, szellős kábeltálca-szakasz, kábelköteg-elválasztó lécek, kábelbilincsek és a csoportosítási tényező figyelembevétele volt.

33.2.10. Tipikus hibák

1. Hiba: Kábeltálca helyett síncsatornát kever a megrendelő, vagy fordítva. A szerelő rutinból kábeltálcát kínál, pedig a csarnok flexibilis energiaellátást igényel. Helyes gyakorlat: a síncsatorna a teljesítmény-gerinc, a kábeltálca a nyomvonalkövető kábelszerelés. A feladat jellege dönt.

2. Hiba: A leágazó doboz védővezető-érintkezőjét nem köti be. A ház vagy a PE-sín folytonossága megszakad. A hiba az áramütés elleni védelem kialakulását akadályozza. Helyes gyakorlat: a fémházat és a síncsatorna-köpenyt a terv szerint be kell kötni a védővezetői/EPH-rendszerbe, a kábeltálcát pedig akkor, ha a terv ezt előírja vagy védővezetőként használják **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-54, tervdokumentáció)**; és a PE-érintkezőt minden szerelési ponton ellenőrizni kell.

3. Hiba: A kábeltálcát túlterheli, a konzolokat túl ritkán rakja fel. A tálca behajlik, a kábelek húzás közben megfeszülnek, a toldások megrepedhetnek. Helyes gyakorlat: a rögzítési távolságot a gyártói terhelési táblázatból válassza, és a szerelést statikailag is ellenőrizzék.

4. Hiba: A tűzgátló áttörést utólag, nem minősített anyaggal zárja le. A faláttörés nyitva marad, a tűz és füst szabadon terjedhet. Helyes gyakorlat: a falon átmenő kábelt és a tálcát minősített tűzgátló anyaggal kell lezárni, a gyártói utasításoknak megfelelően.

5. Hiba: A síncsatorna nem használt leágazási nyílását nyitva hagyja. Az IP védettség csökken, az érinthető gyűjtősín áramütést okozhat. Helyes gyakorlat: a nem használt leágazási nyílásokat a gyártói zárófedéllel (takaróelemmel) kell lezárni; leágazó dobozt csak a ténylegesen használt pontokra szerelünk, a felszerelt doboz fedele zárva legyen.

33.2.11. Önellenőrzés

1. Mi a döntő különbség a síncsatorna és a kábeltálca között?
2. Miért előnyös a perforált kábeltálca a zárt csőnél?
3. Melyik szerelési módot választanád egy padlóra állított munkaállomásnál, ha a mennyezetre nem szerelhetsz?
4. Számítsd ki annak a kábelkötegnek a teljes keresztmetszetét, amely 8 darab, egyenként 11 mm átmérőjű kerek kábelből áll.
5. Mi a hiba abban a tervben, ahol a leágazó dobozok PE-érintkezői nincsenek bekötve a síncsatorna PE sínjéhez?

33.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Nevezd meg a síncsatornás elosztórendszer legalább négy elemét, és mondd meg, mire való a leágazó doboz.

2. feladat (A). Egy 230 V-os, egyfázisú, 2,2 kW-os (tengelyteljesítmény) motort, amelynek hatásfoka $\eta = 0{,}8$ és teljesítménytényezője $\cos\varphi = 0{,}85$, kell ellátni leágazó dobozzal. Mekkora a felvett üzemi áram, és milyen kioldási jellegű kismegszakítót választanál?

3. feladat (B). Egy csarnok síncsatornáját 8 darab, egyenként 1,1 kW-os, 230 V-os fűtőlámpa fogja táplálni (ohmos terhelés, $\cos\varphi = 1$), a lámpákat a három fázisra 3/3/2 darabos bontásban kötik. Mekkora legyen legalább a síncsatorna névleges árama, ha 25% bővíthetőségi tartalékot is figyelembe akarsz venni?

4. feladat (B). Tervezz kábeltálca-szélességet: 10 darab, egyenként 13 mm átmérőjű kábelt kell fektetni egy sorban (egy rétegben), 40% megengedett töltési tényezővel. A tálca belső magassága 60 mm. Mekkora legyen a minimális belső szélesség? (Vedd az egyszerűség kedvéért a kábelek keresztmetszetét $d \cdot h$ téglalapnak.)

5. feladat (C). A Méretezés: terhelés, feszültségesés és zárlat egyszerű esetekben témakör előkészítéséhez: miért fontos, hogy a síncsatornás és kábeltálcás szerelésnél a csoportosítási tényezőt és a szerelési módot pontosan ismerjük? Fogalmazd meg, mit számolnánk ezekből a terhelhetőségi láncban.

6. feladat (D). A gyakorlati útmutató lépései alapján írd le, hogyan ellenőriznéd a síncsatorna-leágazás PE-folytonosságát multiméterrel.

33.2.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. A síncsatorna maga villamos energiavezető (gyűjtősíneket tartalmaz), a kábeltálca viszont csak a kábelek tartószerkezete, nem villamos vezető.
2. A perforáció lehetővé teszi a levegő áramlását a kábelek alatt is, így a hőleadás jobb, mint zárt csőben, ahol a levegő nem áramlik.
3. Energiaoszlopot használhatunk, amely padlóba rögzítve biztosít dugaszoló aljzatokat és védelmeket a munkaállomásnak.
4. $A_{\text{össz}} = 8 \cdot \frac{\pi \cdot 11^2}{4} \approx 760\,\text{mm}^2$.
5. A PE-érintkezők hiánya megszakítja a védővezetői láncot; hibás szigetelés esetén a készülék testén érintési feszültség jelenhet meg, és az automatikus lekapcsolás nem tud működni.

1. feladat (A). Tápcsatlakozó doboz, tápcsatorna elemek, leágazó doboz, véglezáró, tartószerkezetek. A leágazó doboz a gyűjtősínről leágazó biztosított csatlakozási pont, ahonnan a fogyasztóbetáp kábelezhető.

2. feladat (A).

$$I_b = \frac{2\,200}{230 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}85} \approx 14{,}1\,\text{A}.$$

A 2,2 kW a tengelyteljesítmény, a hálózatból felvett teljesítmény P_n/η (lásd az Ipari elosztóhálózatok jellemzői és topológiája alfejezetben tanultakat). A 13 A-es kismegszakító ezért már kevés; a motor indítóárama (a motor névleges áramának, itt kb. 14 A-nek jellemzően 5–7-szerese, azaz kb. 70–100 A) miatt a választás nem magától értetődő. A C16 kismegszakító mágneses kioldása

5–10-szeres (I_n-re vetítve, azaz 80–160 A) tartományban lehet, ezért nagy indítóáramú motornál a C16 leoldhat; ilyenkor D jellegű kismegszakító vagy – motornál inkább – a motoráramra (≈14 A) beállított motorvédő kapcsoló a jobb választás. A vezeték terhelhetőségétől függően $I_b \le I_n \le I_z$ (ellenőrizendő: MSZ EN 60898-1, gyártói adatlap).

3. feladat (B).

A legterheltebb fázison 3 lámpa van:

$$I_b = \frac{3 \cdot 1\,100}{230 \cdot 1} \approx 14{,}3\,\text{A}.$$

Tartalék 25%:

$$I_{\text{méretezés}} = 14{,}3 \cdot 1{,}25 \approx 17{,}9\,\text{A}.$$

Tehát a gyártói választék legkisebb, megfelelő névleges áramú síncsatornája (pl. 25 A) elegendő. (Ha mind a 8 lámpát egy fázisra kötnék: $8 \cdot 1\,100/230 \approx 38{,}3$ A, azaz 63 A-es csatorna – ezért a fázisok kiegyenlítése gazdaságos.)

4. feladat (B). Az egyszerűsített keresztmetszet:

$$A_{\text{kábel}} = 10 \cdot (13 \cdot 13) = 1\,690\,\text{mm}^2.$$

A megengedett töltési tényező 0,4:

$$A_{\text{tálca}} = \frac{1\,690}{0{,}4} \approx 4\,225\,\text{mm}^2.$$

A tálca magassága 60 mm, így minimális szélesség:

$$b = \frac{A_{\text{tálca}}}{h} = \frac{4\,225}{60} \approx 71\,\text{mm}.$$

A töltési tényező csak az egyik feltétel. Az egy rétegű (egy soros) fektetéshez a kábelek egymás mellett $10 \cdot 13 = 130$ mm szélességet igényelnek, szellőzőhézaggal ennél többet; a szigorúbb feltétel a mértékadó, ezért 150 mm széles tálcát választunk (a töltés ekkor $1\,690/(150 \cdot 60) \approx 19\,\%$, azaz bőven a 40 % alatt).

5. feladat (C). A terhelhetőség (I_z) függ a szerelési módtól, a környezeti hőmérséklettől és a csoportosítástól. A síncsatornán vagy kábeltálcán a hőleadás jobb, mint falba vésve, de a kábelek csoportosítása miatt redukáló tényezővel kell számolni. A terhelhetőségi lánc:

$$I_b \le I_n \le I_z.$$

A I_z értéket a választott szerelési mód és a csoportosítás alapján kell meghatározni; ezzel a módszerrel a Méretezés: terhelés, feszültségesés és zárlat egyszerű esetekben alfejezetben a teljes csarnokra is kiterjesztjük az ellenőrzést.

6. feladat (D). A példa szerint a feszültségmentesítés után a multimétert ellenállásmérésbe állítva az egyik mérőzsinórt a leágazó doboz PE-kapcsához, a másikat a síncsatorna PE-sínjéhez, majd a kábeltálca fémvázához kell érinteni. Kis, stabil (nem ugráló) ellenállást várunk, néhány tized ohm nagyságrendben, a vezetőhossznak megfelelően (például 10 m, 2,5 mm²-es rézvezető

$\approx 0{,}07\,\Omega$). Valós berendezésen a védővezető folytonosságát MSZ EN 61557-4 szerinti, legalább 200 mA mérőáramú műszerrel mérjük (ellenőrizendő: aktuális kiadás); a multiméter csak a tanműhelyi modellen elegendő. Szakadás esetén a csavart, a csatlakozó felületet, a festést és az érvéghüvelyt kell ellenőrizni, majd a mérést megismételni.

33.2.14. Rövid összefoglaló

A síncsatorna előregyártott gyűjtősínes elosztórendszer, amely rugalmas, áthelyezhető energiaellátást biztosít az ipari csarnokban. A leágazó dobozokkal lehet becsatlakozni a gyűjtősínekre, ezért a rendszer könnyen bővíthető. A kábeltálca és kábellétra ezzel szemben a kábelek tartószerkezete, nem villamos vezető; a szerelési mód befolyásolja a hőelvezetést, ezért a terhelhetőség számításakor a csoportosítási és szerelési tényezőket ismerni kell. Az energiaoszlop, a falba süllyesztett doboz és a padlócsatorna a munkaállomások környezetében ad helyi csatlakozási pontot. Minden szerelésnél a rögzítési távolságot a gyártói terhelési adat határozza meg, a védővezető folytonosságot pedig minden toldásnál és leágazásnál ellenőrizni kell. A tűz- és hőterhelés kezelése a tűzgátló áttörések minősített lezárásával és a kábelek szellős elrendezésével valósul meg.

Továbbvitt eredmény. Az itt bemutatott síncsatornás, kábeltálcás és energiaoszloppos elosztóeszközök, valamint a hőterhelés és szellőzés alapelve a ve121 – Méretezés: terhelés, feszültségesés és zárlat egyszerű esetekben alfejezetben a terhelhetőség, a feszültségesés és a zárlati védelem együttes ellenőrzésének alapját képezik.

33.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

A szabványi keret: MSZ HD 60364-5-52 a kisfeszültségű berendezések vezetékválasztásához és szerelési módjaihoz, MSZ EN 61439 sorozat a kapcsolóberendezésekhez és a gyűjtősínes elosztórendszerekhez (jellemzően -6), MSZ EN 61537 sorozat a kábeltartó rendszerekhez **(ellenőrizendő: aktuális szabványszámok és kiadványok)**. A csavarnyomaték, a kábeltálca teherbírása, a rögzítési távolság és az energiaoszlop védettségi osztálya típusfüggő; a konkrét értékekhez mindig a gyártói adatlap és a hatályos tűzvédelmi előírások az irányadók. Régi terveken előforduló MSZ 1600 és MSZ 2364 jelölések lecserélt szabványokra utalnak.

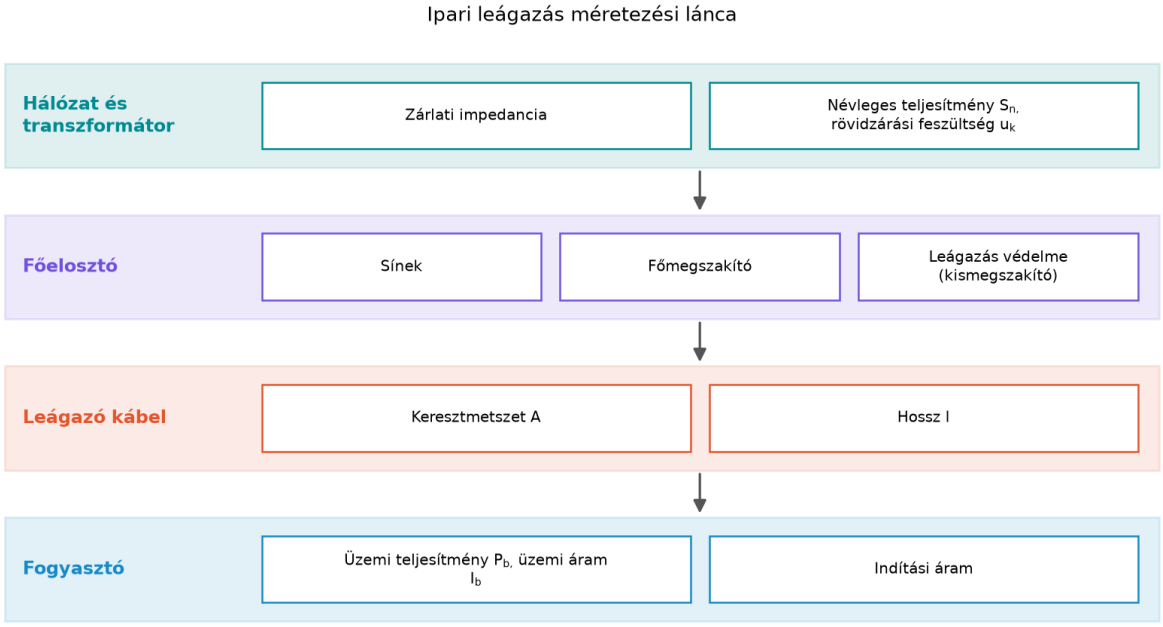
33.3. Méretezés: terhelés, feszültségesés és zárlat egyszerű esetekben

33.3.1. Motiváció

Egy üzemi csarnokban a karbantartó szerelőnek új gépsort kell bekötnie a meglévő elosztószekrényből. Az elosztó és a gép közötti távolság jelentős, a kábeltálcán több meglévő kábel halad. A szerelőnek azt kell eldönteni: mekkora keresztmetszetű kábelt válasszon, mekkora kismegszakítót tegyen elé, és mi történik akkor, ha a motor elindul, vagy ha zárlat keletkezik a kábel végén. Ha alulméretezi, a motor nem indul el, vagy a védelem nem old ki időben. Ha túlméretezi, szükségtelenül drága lesz a kivitelezés. Ebben az alfejezetben egyszerű, kézzel számolható módszereket tanulunk meg ipari leágazások méretezésére – úgy, hogy a hálózati adatoktól (trafó) a gépig bezárólag minden feltételt ellenőrizzünk.

33.3.2. Szemléletes kép: egy ipari leágazás láncolata

Az ipari méretezés nem egyetlen képlet, hanem egy ellenőrzési lánc. A lánc elemei: a középfeszültségű hálózat és a transzformátor (mint zárlati forrás), az elosztószekrény sínje, a leágazó kábel, a leágazás védelme és a fogyasztó (legtöbbször motor). A lánc minden elemén egyszerre három feltételnek kell teljesülnie: terhelhetőség, feszültségesés, zárlati kioldás.



33.6. ábra. Ipari leágazás méretezési lánca - A transzformátortól a fogyasztóig bezárólag minden részen ellenőrizni kell a terhelést, a feszültségesést és a zárlati áramot.

Ábraolvasás. A rétegábra azt mutatja, hogy a tervező szeme előtt mindig a teljes lánc lebeg, mert a hálózati zárlati teljesítmény és a kábel impedanciája együtt határozza meg, mekkora zárlati áram fog folyni a kábel végén.

33.3.3. Terhelésszámítás és egyidejűségi tényező

A villamos méretezés kiindulópontja az, hogy mekkora áramot vesz fel a fogyasztó, illetve fogyasztói csoport. Egy gép adattáblájáról leolvashatjuk a névleges teljesítményt (P_n) vagy a névleges áramot (I_n). Egy leágazáson azonban gyakran több gép is van, és nem mindegyik működik egyszerre teljes terhelésen. Ezt az arányt **egyidejűségi tényezőnek** nevezzük.

Definíció. Az egyidejűségi tényező (k_i, ugyanaz, mint az előző alfejezetben, az Ipari elosztóhálózatok jellemzői és topológiája alfejezetben; idegen forrásokban gyakran e vagy f_{co} betűvel is jelölik) megadja, hogy az összes beépített teljesítmény mekkora hányadával kell egyidejűleg számolni. Értéke $0 < k_i \leq 1$; ipari üzemben jellemzően 0,5–1,0, lakóépületben ennél kisebb.

Összefüggés. Az üzemi (tervezési) teljesítmény:

$$P_b = k_i \sum P_{n,i}$$

illetve háromfázisú áramkörben az üzemi áram:

$$I_b = \frac{P_b}{\sqrt{3}\,U_v \cos\varphi}$$

ahol P_b az egyidejűleg felvett hatásos teljesítmény (W), $U_v = 400\,\mathrm{V}$ a vonali feszültség, $\cos\varphi$ pedig a fogyasztói csoport várható teljesítménytényezője. Motoroknál a névleges hatásos teljesítmény mellett az adattáblán szereplő η hatásfokkal is számolni kell, ha a felvett villamos teljesítményt keressük:

$$P_{felvett} = \frac{P_{tengely}}{\eta}$$

Ezt a pontos motoráram-számításnál a Szlip, nyomaték, jelleggörbe és adattábla tárgyalja, itt annyit használunk belőle, hogy 10 kW tengelyteljesítményű motornál a hálózatból felvett hatásos teljesítmény jellemzően 11–12 kW, ha a hatásfok 85–90 % körüli. **(ellenőrizendő: konkrét motortípus adattáblája szerint.)**

Szabály. Az üzemi áramot mindig a legrosszabb üzemszerű állapotra számoljuk, nem a maximális beépített teljesítményre, de a rövid távú túlterhelésre (indítás) a zárlati és feszültségesési vizsgálatban külön kitérünk.

33.3.3.1. Példa egyszerű terhelésszámításra

Egy műhely leágazó áramkörére a következő gépek kerülnek:

- egy 15 kW-os CNC megmunkálóközpont,
- egy 5 kW-os elszívóventilátor,
- kettő 2,2 kW-os hűtőfolyadék-szivattyú,
- egy 1 kW-os világítási kör.

A teljes beépített teljesítmény:

$$P_{be} = 15 + 5 + 2 \cdot 2{,}2 + 1 = 25{,}4\,\mathrm{kW}$$

A felsorolt teljesítmények a gépek hálózatból felvett (adattáblai villamos) teljesítményei, ezért itt nem osztunk η-val; ha csak a tengelyteljesítmény ismert, előbb P_n/η-t kell képezni. A gyakorlatban a CNC-gép és a szivattyúk ritkán dolgoznak egyszerre teljes terhelésen, a világítás pedig folyamatosan üzemel. Az egyidejűségi tényezőt a gyártási technológiából becsüljük meg: legyen $k_i = 0{,}7$. Ekkor

$$P_b = 0{,}7 \cdot 25{,}4 = 17{,}8\,\mathrm{kW}$$

Számítsuk ki az üzemi áramot $\cos\varphi = 0{,}85$ mellett:

$$I_b = \frac{17\,800}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}85} = \frac{17\,800}{589{,}0} \approx 30{,}2\,\mathrm{A}$$

A kismegszakítót tehát $I_n = 32\,\mathrm{A}$ névleges áramúra választhatjuk, ha a vezeték terhelhetősége ezt megengedi.

33.3.4. Feszültségesés motorindításkor

A feszültségesés számításának alapképleteit már a Feszültségesés és a vezeték méretezése alfejezetben bevezettük. Ipari leágazásoknál a méretezés szempontjából a legkritikusabb állapot gyakran nem a névleges üzem, hanem a motor indítása.

Törvény. Szimmetrikus háromfázisú terhelésnél a feszültségesés:

$$\Delta U = \sqrt{3} I l \left(r \cos\varphi + x \sin\varphi \right)$$

ahol r és x a vezeték méterre eső ellenállása és reaktanciája, l az egy vezeték hossza, I a vonali áram, φ pedig a fogyasztó fázisszöge. Kis keresztmetszetű kábelnél ($A \le 25\,\mathrm{mm}^2$) a reaktancia elhanyagolható, és visszakapjuk a

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} I l \cos\varphi}{\kappa A}$$

alakot, ahol $\kappa = 56\,\mathrm{m}/(\Omega\,\mathrm{mm}^2)$ rézre (20 °C-on, szemléltető érték).

Motorindításkor az indítási áram nagysága rendszerint $5 \dots 8\,I_n$, az indítási teljesítménytényező pedig alacsony, jellemzően $0{,}3 \dots 0{,}5$. Mivel az indítási $\cos\varphi$ kisebb, a feszültségesés kis keresztmetszetű kábelnél nem az áram arányában, hanem jellemzően a névleges érték 2–4-szeresére nő (például $6\,I_n$ és $\cos\varphi$ $0{,}85 \to 0{,}4$ mellett $6 \cdot 0{,}4/0{,}85 \approx 2{,}8$-szeresére); nagyobb keresztmetszetnél a reaktív tag miatt ennél nagyobb is lehet. Ezért az indítási állapotot külön kell ellenőrizni.

Szabály. A motorindítási feszültségesést úgy ellenőrizzük, hogy a motor kapcsain a feszültség ne csökkenjen a mágneskapcsoló megtartási feszültsége, illetve a motor indítónyomatéka miatt kritikus érték alá. Ipari hálózaton elfogadható gyakorlat, ha az indítási feszültségesés nem haladja meg a 10 %-ot, de ez motoronként és szabványonként változik. **(ellenőrizendő: aktuális MSZ HD 60364, gyártói indítási feltételek.)**

33.3.4.1. Számítási példa: motorindítási feszültségesés

Egy 15 kW névleges tengelyteljesítményű, $I_n \approx 28\,\mathrm{A}$ névleges áramú motort 80 m hosszú, $10\,\mathrm{mm}^2$ keresztmetszetű rézkábellel táplálunk. Az indítási áram $6 \cdot I_n$, az indítási $\cos\varphi_{ind} = 0{,}4$.

Adott: $I_{ind} = 6 \cdot 28 = 168\,\mathrm{A}$, $l = 80\,\mathrm{m}$, $A = 10\,\mathrm{mm}^2$, $\kappa = 56\,\mathrm{m}/(\Omega\,\mathrm{mm}^2)$, $\cos\varphi_{ind} = 0{,}4$.

Keresett: ΔU_{ind}.

Behelyettesítés:

$$\Delta U_{ind} = \frac{\sqrt{3} \cdot 168 \cdot 80 \cdot 0{,}4}{56 \cdot 10} = \frac{1{,}732 \cdot 168 \cdot 80 \cdot 0{,}4}{560}$$

Először a számlálót számoljuk ki:

$$1{,}732 \cdot 168 = 291{,}0, \quad 291{,}0 \cdot 80 = 23\,280, \quad 23\,280 \cdot 0{,}4 = 9312$$

tehát

$$\Delta U_{ind} = \frac{9312}{560} \approx 16{,}6\,\mathrm{V}$$

Százalékban:

$$\frac{16{,}6}{400} \approx 4{,}2\,\%$$

Ez általában elfogadható. Ha a keresztmetszet $4\,\mathrm{mm}^2$ lett volna, a feszültségesés

$$\Delta U_{ind} = \frac{9312}{56 \cdot 4} = \frac{9312}{224} \approx 41{,}6\,\mathrm{V} \approx 10{,}4\,\%$$

ami már motorfüggően határhelyzet vagy elfogadhatatlan. Látható, hogy hosszú motorleágazásnál nem a névleges áram, hanem az indítási áram dönti el a kábel keresztmetszetét.

33.3.5. Zárlati áram számítása hálózati és trafóadatokból

Ahhoz, hogy a leágazás végén kialakuló zárlati áramot meghatározzuk, ismernünk kell a hálózati (trafó) zárlati impedanciáját és a kábel impedanciáját. A teljes hurok impedanciája:

$$Z_{total} = \sqrt{(R_{tr} + R_{vez})^2 + (X_{tr} + X_{vez})^2}$$

Nagyipari elosztókban sokszor elég a transzformátor impedanciájával és a kábel ellenállásával számolni, a kábel reaktanciáját 25 mm² alatt elhanyagoljuk, a hálózat előzárlati teljesítményét pedig csak akkor vesszük figyelembe, ha nagyon pontos értékre van szükség. A transzformátor impedanciája a névleges adatokból jó közelítéssel:

$$Z_{tr} \approx \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{U_v^2}{S_n}$$

ahol $u_k\%$ a rövidzárási feszültség (%), S_n a transzformátor névleges látszólagos teljesítménye (VA), U_v pedig a vonali feszültség (V). A képlet a transzformátor rövidzárási méréséből származik: a rövidzárási feszültség az a feszültség, amely a névleges áramot hajtja át a rövidre zárt transzformátoron, így Z_{tr} éppen a fenti alakot adja.

A zárlati áram háromfázisú zárlatnál:

$$I_k = \frac{c\,U_v}{\sqrt{3}\,Z_{total}}$$

ahol c feszültségkorrekciós tényező, amely kisfeszültségen jellemzően 1,0 ... 1,1 közötti, figyelembe véve a hálózati feszültségeltérést. **(ellenőrizendő: aktuális szabvány szerinti c-tényező.)**

33.3.5.1. Kidolgozott példa: zárlati áram a kábel végén

Egy 630 kVA névleges teljesítményű, $u_k = 4\,\%$ rövidzárási feszültségű transzformátorról táplált elosztóból leágaztatunk egy 80 m hosszú, 10 mm^2 réz kábelt. Számítsuk ki a háromfázisú zárlati áramot a kábel végén.

Adott: $S_n = 630\,\text{kVA} = 630\,000\,\text{VA}$, $U_v = 400\,\text{V}$, $u_k\% = 4$, $l = 80\,\text{m}$, $A = 10\,\text{mm}^2$.

Keresett: I_k.

1. lépés: Transzformátor impedanciája.

$$Z_{tr} = \frac{4}{100} \cdot \frac{400^2}{630\,000} = 0{,}04 \cdot \frac{160\,000}{630\,000} = 0{,}04 \cdot 0{,}254 \approx 0{,}0102\,\Omega$$

A transzformátor impedanciájának ellenállás- és reaktanciakomponense között szokásos közelítést alkalmazunk: $R_{tr} \approx 0{,}2\,X_{tr}$. Ebből:

$$R_{tr} \approx 0{,}002\,\Omega, \quad X_{tr} \approx 0{,}010\,\Omega$$

(Az egyszerű becsléshez elég annyi, hogy a trafó impedanciája nagyrészt induktív.)

2. lépés: Kábel impedanciája.

A kábel ellenállása:

$$R_{vez} = \frac{l}{\kappa A} = \frac{80}{56 \cdot 10} \approx 0{,}143\,\Omega$$

A kábel reaktanciája 10 mm^2 keresztmetszetnél elhanyagolható, $X_{vez} \approx 0$.

3. lépés: Eredő impedancia.

$$Z_{total} = \sqrt{(0{,}002 + 0{,}143)^2 + (0{,}010 + 0)^2} = \sqrt{0{,}145^2 + 0{,}010^2} = \sqrt{0{,}0210 + 0{,}0001} \approx 0{,}145\,\Omega$$

4. lépés: Zárlati áram.

$$I_k = \frac{1{,}0 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0{,}145} = \frac{400}{0{,}251} \approx 1593\,\text{A}$$

A kábel végén tehát körülbelül 1,6 kA zárlati áram folyik. Ez azt jelenti, hogy egy C32-es kismegszakító mágneses kioldása $10 \cdot I_n = 320\,\text{A}$, amelynél a zárlati áram lényegesen nagyobb, tehát a háromfázisú zárlatnál a védelem pillanatszerűen leold.

5. lépés: a legkisebb zárlati áram (fázis–védővezető zárlat). A fenti I_k a *legnagyobb* (háromfázisú) zárlati áram, ezzel a megszakítóképességet ellenőrizzük. A gyors kioldást és az önműködő lekapcsolást a *legkisebb* zárlati árammal kell ellenőrizni, ami jellemzően a fázis–védővezető (L–PE) zárlat: a hurok a fázis- és a védővezetőből áll (azonos keresztmetszetnél $2R_{vez}$), a feszültség $U_0 = 230\,\text{V}$, a feszültségtényező $c_{min} \approx 0{,}95$, a vezető ellenállását üzemi hőmérsékletre (kb. $\times 1{,}2$) számítjuk:

$$I_{k1,min} \approx \frac{c_{min}\,U_0}{\sqrt{(R_{tr} + 2\cdot 1{,}2\,R_{vez})^2 + X_{tr}^2}} = \frac{0{,}95\cdot 230}{\sqrt{(0{,}002+0{,}343)^2+0{,}010^2}} \approx \frac{218{,}5}{0{,}345} \approx 630\,\text{A}$$

Ez nagyobb, mint a C32 mágneses határa (320 A), tehát a C32 gyorsan old. (A hibavédelemhez az önműködő lekapcsolás kioldási időkövetelménye is teljesül, ha a gyors kioldás biztosított; TN-rendszerben a végáramkörökre a szabvány rövid, jellemzően 0,4 s-os időt ír elő – ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41, c-tényezők: MSZ EN 60909-0.)

33.3.6. Védelmek összehangolása és a teljes méretezési algoritmus

A leágazás védelmét és vezetékét együtt kell megválasztani, és a két feltételt egyszerre ellenőrizni:

1. **Túlterhelésvédelem:** $I_b \le I_n \le I_z$ és $I_2 \le 1{,}45\,I_z$. Ez a feltétel biztosítja, hogy a vezetéket a tartós áram nem melegíti túl.
2. **Zárlatvédelem:** a várható *minimális* zárlati áramnak (fázis–védővezető hurok, üzemmeleg vezetővel, c_{min}-nel) el kell érnie a védelem mágneses (gyors) kioldását. Kismegszakítóknál a B-jelű $3\ldots5\,I_n$, a C-jelű $5\ldots10\,I_n$, a D-jelű $10\ldots20\,I_n$ között old le mágnesesen. Ha a zárlati áram nem éri el a mágneses tartományt, a hőkioldó lassan, akár másodpercek alatt old le, ami alatt a kábel vagy a berendezés károsodhat.
3. **Megszakítóképesség:** a védelmi készülék névleges megszakítóképessége (I_{cn} vagy I_{cu}) nagyobb legyen, mint a beépítési ponton fellépő várható zárlati áram. Ez legtöbbször 6 kA vagy 10 kA kismegszakítóknál, ipari főelosztókban azonban ennél nagyobb is lehet.

Szabály. A méretezés lépései:

1. Határozd meg az üzemi áramot I_b.
2. Válassz védelmi készüléket $I_n \ge I_b$.
3. Válassz vezetéket, amelyre $I_z \ge I_n$.
4. Ellenőrizd a feszültségesést névleges üzemben.
5. Ellenőrizd a feszültségesést motorindításkor.
6. Számítsd ki a legkisebb (L–PE) és a legnagyobb (háromfázisú) zárlati áramot a vezeték végén.
7. Ellenőrizd, hogy a legkisebb zárlati áram gyors kioldást eredményez-e.
8. Ellenőrizd a megszakítóképességet a legnagyobb zárlati árammal.

Ezt a lépéssort használjuk a Csatlakozási hely és ipari fogyasztói berendezés kialakítása alfejezetben is.

33.3.7. Valós életbeli alkalmazás

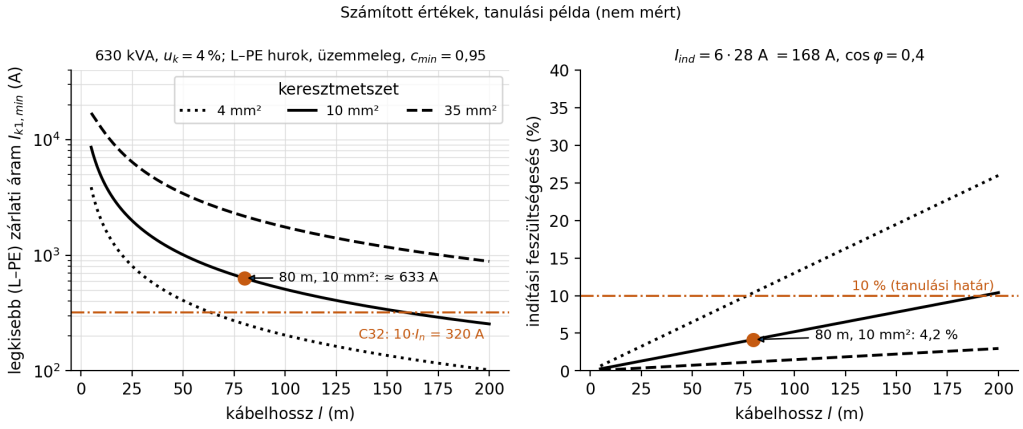
Egy üzemi csarnokban egy régi esztergagépet korszerű CNC-gépre cseréltek. A gép telepítése után a kezelő azt tapasztalta, hogy a gép indításakor a mágneskapcsoló többször is bizonytalanul húzott be, a monitor képe villant, és a gép időnként reteszhibát jelzett. A karbantartó megmérte a lakatfogóval az indítási áramot, és azt találta, hogy a motor 170 A-t vett fel az indítás pillanatában. A régi kábel 4 mm^2-es volt, 70 m hosszúságú. A feszültségesés mérése indításkor 45 V-nál is többet mutatott a kábelen, így a gép kapcsain a feszültség 400 V helyett csak 355 V körül volt. A megoldás nem a kismegszakító cseréje volt, hanem a leágazó kábel keresztmetszetének növelése 10 mm^2-re. Ezután az indítási feszültségesés 18 V alá csökkent, és a gép hibátlanul működött. A hiba tanulsága: a kábelt nemcsak a névleges áramra, hanem a gépek indítási áramára is méretezni kell.

33.3.8. Tipikus hibák

1. **Az egyidejűségi tényező figyelmen kívül hagyása.** Ha a tervező az összes beépített teljesítményt összeadja és arra méretez, a kábelek és védelmek túl nagyra adódnak, ami drága és merev rendszert eredményez. Fordítva, ha túl kicsi tényezőt vesz fel, a leágazás üzemszerűen túlterhelődik.
2. **Csak a névleges áramra méretezés, motorindítás kihagyása.** A névleges áramra bőven elég a 2,5 mm^2, de az indítási áram hatására a feszültségesés akkora lesz, hogy a motor nem indul, vagy a mágneskapcsoló visszaejt. Mindig ellenőrizni kell az indítási feszültségesést is.
3. **A zárlati áram elhanyagolása.** Hosszú, kis keresztmetszetű kábelnél a kábel ellenállása olyan nagy, hogy a végén a zárlati áram már nem éri el a kismegszakító mágneses kioldási tartományát. Ilyenkor a zárlat csak a hőkioldóval szakad meg, ami másodpercekig is eltarthat, és tűzveszélyes.
4. **A megszakítóképesség figyelmen kívül hagyása.** Közvetlenül egy nagy transzformátor után a várható zárlati áram meghaladhatja a 6 kA-t. Ha a szerelő 6 kA-es kismegszakítót épít be, az zárlat esetén nem tudja megszakítani az áramot, és maga is károsodhat vagy felrobbanhat.

33.3.9. Interaktív számítógépes elem

Ábraolvasás. A kalkulátorban (a HTML-kiadásban interaktívan) beállítod a transzformátor látszólagos teljesítményét (S_n, 100–2000 kVA), a kábel hosszát (5–200 m), a keresztmetszetet (1,5–35 mm²), a motor névleges áramát (5–100 A) és a kismegszakító jellegét (B, C, D). A kalkulátor kiírja a transzformátor és a kábel impedanciáját, a kábel végén a legnagyobb (háromfázisú, I_{k3}) és a legkisebb (fázis–védővezető, üzemmeleg, $I_{k1,min}$) zárlati áramot és az indítási feszültségesést ($6 \cdot I_n$ indítási árammal), és jelzi, ha a gyors kioldást eldöntő $I_{k1,min}$ a választott kismegszakító mágneses kioldási határa alá esik. Próbáld ki: a 630 kVA, 10 mm², C32 beállításból indulva növeld a kábelhosszt, és figyeld, mikor esik a legkisebb (L–PE) zárlati áram, $I_{k1,min}$ a C32 felső mágneses határa (320 A) alá; ugyanígy nézd meg, hogyan nő a feszültségesés 4 mm²-es keresztmetszetnél. A statikus ábra a legkisebb (L–PE) zárlati áramot és az indítási feszültségesést a kábelhossz függvényében mutatja 4, 10 és 35 mm²-re, a fejezet példájának adataival (630 kVA, 28 A-es motor).



33.7. ábra. Ipari leágazás-méretező kalkulátor

A kalkulátor szemlélteti, hogyan tolja le a kábel a zárlati áramot: minél hosszabb és minél

vékonyabb a kábel, annál kisebb I_k értéket kapunk, és egy ponton túl a védelem mágneses tartománya alá esünk.

33.3.10. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** Az egyidejűségi tényező meghaladhatja az 1-et, ha a gépek túlterhelhetők.
2. **Gyors számolás.** Egy 630 kVA-es, $u_k = 6\,\%$-os transzformátor Z_{tr} impedanciája nagyobb vagy kisebb, mint egy $u_k = 4\,\%$-osé?
3. **Mi a hiba?** Egy szerelő a 80 m hosszú motorleágazást csak a névleges áramra méretezte (4G2,5 mm^2, azaz három fázisér és PE), de a motor $6 \cdot I_n$-rel indul. Mi a valószínű következmény?
4. **Fogalom.** Miért kell a zárlati áramnak elérnie a kismegszakító mágneses kioldási tartományát?
5. **Számolási ellenőrzés.** Egy 10 m hosszú, háromfázisú, szimmetrikus terhelésű (400 V-os), 4 mm^2-es rézkábelen mekkora körülbelül a feszültségesés, ha 20 A terhelő áram folyik, és $\cos\varphi = 1$? ($\kappa = 56\,\mathrm{m/\Omega\,mm^2}$)

33.3.11. Feladatok

1. feladat (A). Egy ipari leágazáson három motor dolgozik: 11 kW, 7,5 kW és 4 kW. Az egyidejűségi tényező 0,8, a hatásfok közös értéke 0,85, a teljesítménytényező 0,8. Számold ki az üzemi áramot.

2. feladat (A). Egészítsd ki a mondatot! A vezetéket úgy kell megválasztani, hogy a védelmi készülék névleges árama (I_n) és a vezeték terhelhetősége (I_z) között fennálljon: _____ $\leq$ _____ $\leq$ _____. Mi a feltétele a gyors zárlati kioldásnak?

3. feladat (B). Egy 500 kVA-es, $u_k = 4\,\%$-os transzformátorról táplált elosztóból leágaztatunk egy 100 m hosszú, 6 mm^2-es rézkábelt. Számítsd ki a kábel végén a várható zárlati áramokat. ($\kappa = 56\,\mathrm{m/(\Omega\,mm^2)}$, a transzformátor adatai: $Z_{tr} \approx 0{,}0128\,\Omega$, $X_{tr} \approx 0{,}0126\,\Omega$, $R_{tr} \approx 0{,}0025\,\Omega$. Számold ki a háromfázisú és a fázis–védővezető (azonos keresztmetszetű PE, üzemmeleg vezető: $\times 1{,}2$, $c_{min} = 0{,}95$) zárlati áramot is, és ellenőrizd a C32 gyors kioldását.)

4. feladat (B). Egy motor adattáblája szerint $I_n = 22\,\mathrm{A}$, indítási árama $7 \cdot I_n$, indítási $\cos\varphi = 0{,}4$. A motor és az elosztó közötti távolság 60 m. Mekkora feszültségesést okoz az indítás, ha a tápláló kábel 6 mm^2? Elfogadható-e, ha a határ 10 %?

5. feladat (C). Egy leágazást C32-es kismegszakító véd, a várható minimális zárlati áram a végén 180 A. Mi a helyes következtetés? Változtass a rendszeren úgy, hogy a zárlatvédelem gyors legyen.

6. feladat (D). Gyakorlati hibakereső feladat: Egy üzemben a karbantartó azt tapasztalja, hogy egy távoli motor indításakor a vezérlőfeszültségű relék „zúgnak” és a gép leáll. Lakatfogóval (indítási áram mérő funkcióval) mért indítási áram 170 A, a tápláló kábel 4 mm^2, hossza 55 m. Milyen méréssel és számítással igazolnád a hibát? Mit javasolnál?

33.3.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. **Hamis.** Az egyidejűségi tényező legfeljebb 1 lehet, mert a beépített teljesítménynél soha nem vehető fel több egyidejűleg, túlterhelés pedig üzemszerűen nem tervezhető.
2. A 6 %-os feszültségű transzformátor impedanciája nagyobb, mert Z_{tr} arányos az u_k-val.
3. A kábel ellenállása indításkor nagy feszültségesést okoz, a motor kapcsain a feszültség leesik, a motor nem indul vagy a mágneskapcsoló visszaejt. A kábel keresztmetszetét növelni kell.
4. Mert a mágneses kioldás a kismegszakító gyors, zárlatvédelmi funkciója. Ha az áram nem éri el ezt a tartományt, csak a lassú hőkioldó lép működésbe, ami alatt a kábel és a berendezés károsodhat.
5. $\Delta U = \sqrt{3}Il/(\kappa A) = 1{,}732 \cdot 20 \cdot 10/(56 \cdot 4) = 346{,}4/224 \approx 1{,}55\,\text{V}$. Ez 400 V-nál 0,39 %, tehát kiváló. (Egyfázisú körnél $2Il/(\kappa A) = 2 \cdot 20 \cdot 10/224 \approx 1{,}79\,\text{V}$, 230 V-ra 0,78 %.)

Feladatok – megoldások:

1. feladat. Az üzemi teljesítmény:

$$P_b = k_i \sum P_{tengely,i} = 0{,}8 \cdot (11 + 7{,}5 + 4) = 18\,\text{kW}$$

A felvett hatásos teljesítmény:

$$P_{felv} = \frac{P_{tengely}}{\eta} = \frac{18}{0{,}85} \approx 21{,}2\,\text{kW}$$

Az üzemi áram:

$$I_b = \frac{P_{felv}}{\sqrt{3}U_v \cos\varphi} = \frac{21\,200}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}8} = \frac{21\,200}{554{,}3} \approx 38{,}2\,\text{A}$$

A védelmi készülék legalább $I_n = 40\,\text{A}$ legyen.

2. feladat. $I_b \le I_n \le I_z$. A gyors zárlati kioldás feltétele, hogy a várható minimális zárlati áram (I_k) elérje a kismegszakító mágneses gyorskioldójának áramtartományát (például C32 esetén $10 \cdot I_n = 320\,\text{A}$), és a megszakítóképesség is nagyobb legyen, mint a fellépő zárlati áram.

3. feladat. $S_n = 500\,000\,\text{VA}$, $U_v = 400\,\text{V}$, $u_k = 4$. A transzformátor impedanciája $Z_{tr} = 0{,}04 \cdot 400^2/500\,000 = 0{,}0128\,\Omega$. A kábel ellenállása $R_{vez} = \frac{l}{\kappa A} = \frac{100}{56 \cdot 6} = 0{,}298\,\Omega$.

Legnagyobb (háromfázisú) zárlati áram, a megszakítóképességhez:

$$Z_{total} = \sqrt{(0{,}0025 + 0{,}298)^2 + 0{,}0126^2} \approx 0{,}301\,\Omega, \qquad I_{k3} = \frac{1{,}0 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0{,}301} \approx 769\,\text{A}$$

Legkisebb (L–PE) zárlati áram a kioldás ellenőrzéséhez, üzemmeleg vezetővel ($2 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}298 = 0{,}714\,\Omega$):

$$I_{k1,min} \approx \frac{0{,}95 \cdot 230}{\sqrt{(0{,}0025 + 0{,}714)^2 + 0{,}0126^2}} \approx \frac{218{,}5}{0{,}717} \approx 305\,\text{A}$$

(20 °C-os vezetővel kb. 365 A.) A háromfázisú zárlati áram mind a B32 ($\le$ 160 A), mind a C32 ($\le$ 320 A) mágneses tartományát jóval meghaladja, de a kioldás ellenőrzéséhez a kisebb L–PE

árammal kell számolni: $305\,\mathrm{A} < 320\,\mathrm{A}$, ezért C32-nél a gyors kioldás nem garantált. Megoldás: nagyobb PE- és fázisvezető-keresztmetszet, vagy B-karakterisztika (ha a motorindítás engedi). (Ellenőrizendő: gyártói kioldási görbe és MSZ HD 60364-4-41.)

4. feladat. $I_{ind} = 7 \cdot 22 = 154\,\mathrm{A}$. A feszültségesés:

$$\Delta U_{ind} = \frac{\sqrt{3} \cdot 154 \cdot 60 \cdot 0{,}4}{56 \cdot 6} = \frac{1{,}732 \cdot 154 \cdot 60 \cdot 0{,}4}{336} = \frac{6401}{336} \approx 19{,}0\,\mathrm{V}$$

Százalékban: $19{,}0/400 = 4{,}8\,\%$. Ez 10 % alatt van, tehát általában elfogadható.

5. feladat. A C32-es kismegszakító mágneses kioldása $10 \cdot I_n = 320\,\mathrm{A}$ körül kezdődik. A 180 A zárlati áram ennél kisebb, ezért a megszakító csak a hőkioldóval, lassan old le. Ilyenkor a kábelt meg kell vastagítani (vagy rövidíteni), hogy az ellenállása csökkenjen, vagy kisebb kioldási áramú B32-es megszakítót lehet választani, ha az üzemszerűen megengedett. Ellenőrizni kell, hogy a B32-es mágneses tartománya $(3 \ldots 5 I_n)$ alatt a 180 A már eléri-e a gyors kioldást (B32 esetén a felső határ $5 \cdot 32 = 160\,\mathrm{A}$, tehát 180 A felette van, így gyorsan old).

6. feladat. A hibát a motorindítási feszültségesés okozza. Az indítás közbeni feszültséget az elosztóban és a motor kapcsain CAT III/CAT IV kategóriájú műszerrel csak erre jogosult személy mérheti, a munkautasítás szerinti védőeszközökkel (a tanuló ezt csak felügyelet mellett végezheti); a különbség ΔU. Számítással: $I_{ind} = 170\,\mathrm{A}$, $l = 55\,\mathrm{m}$, $A = 4\,\mathrm{mm}^2$, $\cos\varphi_{ind} \approx 0{,}4$.

$$\Delta U_{ind} = \frac{\sqrt{3} \cdot 170 \cdot 55 \cdot 0{,}4}{56 \cdot 4} = \frac{1{,}732 \cdot 170 \cdot 55 \cdot 0{,}4}{224} \approx 28{,}9\,\mathrm{V}$$

Ez 7,2 %-os esés, ami a vezérlőfeszültséget is lehúzza, a relék visszaejtenek vagy zúgnak. Javaslat: a tápláló kábel keresztmetszetének növelése legalább $10\,\mathrm{mm}^2$-re, ezzel az esés 12 V körülire csökken.

33.3.13. Rövid összefoglaló

Az ipari leágazás méretezése három fő pilléren nyugszik: terhelés, feszültségesés és zárlati áram. A terhelésszámításnál az egyidejűségi tényezővel (k_i) csökkentett üzemi teljesítményből számolunk: $I_b = P_b/(\sqrt{3} U_v \cos\varphi)$. A feszültségesést nemcsak névleges áramra, hanem a motorindítási áramra is ellenőrizni kell: $\Delta U = \sqrt{3} I l (r\cos\varphi + x\sin\varphi)$, kisebb kábeleknél $\Delta U = \sqrt{3} I l \cos\varphi/(\kappa A)$. A zárlati áramot a transzformátor és a kábel impedanciájának összegéből számítjuk: $Z_{tr} \approx (u_k/100) \cdot (U_v^2/S_n)$, $Z_{total} = \sqrt{(R_{tr}+R_{vez})^2 + (X_{tr}+X_{vez})^2}$, és $I_k = c U_v/(\sqrt{3} Z_{total})$ (ez a legnagyobb zárlati áram, a megszakítóképességhez); a gyors kioldást és az önműködő lekapcsolást a legkisebb, fázis–védővezető zárlati árammal ellenőrizzük: $I_{k1,min} \approx c_{min} U_0/\sqrt{(R_{tr} + 2 \cdot 1{,}2\, R_{vez})^2 + X_{tr}^2}$ (azonos keresztmetszetű PE, üzemmeleg vezető). A védelmek összehangolása azt jelenti, hogy fennáll $I_b \le I_n \le I_z$, a zárlati áram eléri a megszakító mágneses kioldását, és a megszakítóképesség nagyobb a várható zárlati áramnál. A következő alfejezetben ezeket a lépéseket alkalmazzuk a tényleges ipari csatlakozási helyek és fogyasztói berendezések kialakítására.

33.3.14. Források és ellenőrzési hiányok

A feszültségesés és zárlati áram képletei az Ohm-törvényből és a háromfázisú rendszer geometriájából levezetett stabil elektrotechnikai alapok. A szabványos méretezési határértékeket (pl. c-tényező, megengedett feszültségesés, megszakítóképesség, kismegszakító kioldási tartományok) és a konkrét transzformátoradatok rövidzárási feszültségét a hatályos MSZ HD 60364 sorozat,

a gyártói adatlapok és az elosztói csatlakozási előírások alapján ellenőrizni kell. A példákban használt értékek (pl. $u_k = 4\%$, $6 \cdot I_n$ indítási áram) jellemző, tanulási célú becslések; éles méretezéshez a konkrét berendezés adatai és a szerelési körülményeket tükröző terhelhetőségi táblázatok szükségesek.

33.4. Csatlakozási hely és ipari fogyasztói berendezés kialakítása

33.4.1. Miért kell a csatlakozási helyet külön megtanulni?

Egy ipari csarnokban a legjobb elosztóhálózat sem ér semmit, ha az egyes gépek csatlakoztatása rosszul sikerül. Ilyenkor jellemzően nem az történik, hogy „teljesen nincs áram”, hanem az, hogy a gép indításkor leoldja a kismegszakítót, a kábel időnként meleg, a fázissorrend hibája miatt a szivattyú ellenkező irányba forog, vagy a karbantartáskor hiányzik a megfelelő leválasztási pont. A csatlakozási hely a gép és az ipari elosztó közötti határ: ha itt a védelem, a kábel, a kapocscsatlakozás és a dokumentáció nem illeszkedik egymáshoz, akkor a hiba beépül a rendszerbe.

Ebben az alfejezetben azt építjük fel, hogyan kell kialakítani egy ipari fogyasztó csatlakozási pontját, mit kell ellenőrizni a gép és az elosztó határán, és milyen mérésekkel, dokumentumokkal adjuk át a csatlakoztatást biztonságosan.

33.4.2. Mi az ipari csatlakozási hely?

Definíció. Ipari fogyasztói csatlakozási helynek azt a pontot nevezzük, ahol az üzemi elosztóhálózatból táplált tápkábel csatlakozik a gép, berendezés vagy részelosztó kapocs- vagy dugaszoló csatlakozójához. A csatlakozási hely jellemzően tartalmazza az elosztó oldali túláramvédelmet, a tápkábelt, a kábelbevezetést, a gépi főkapcsolót, a védővezető csatlakoztatását és az azonosító feliratokat.

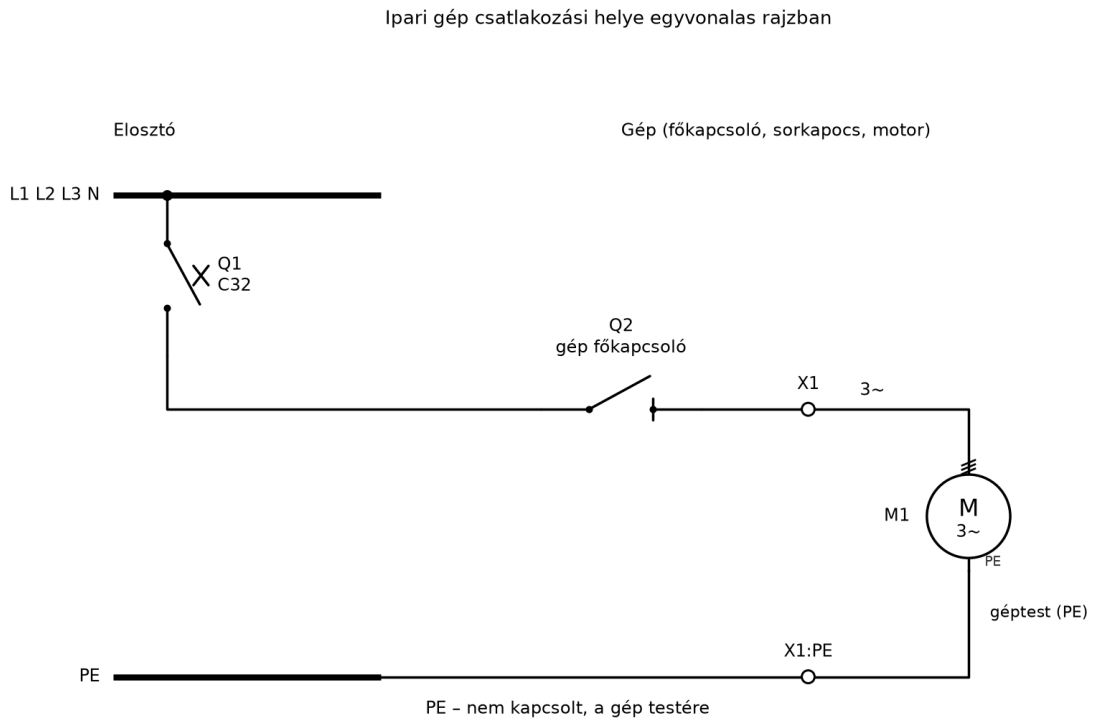
A gyakorlatban a csatlakozási hely lehet:

- fix bekötésű sorkapocs vagy kábelsaru a gép kapocsszekrényében,
- ipari dugaszoló aljzat/dugó (CEE-rendszerű, MSZ EN 60309 szerinti) csatlakozópár,
- részelosztó vagy gépkapcsoló szekrény, amelyből a gép saját betáplálása indul.

A villanyszerelőnek azt kell megszerveznie, hogy a csatlakozási ponton a villamos teljesítmény, a védelem, a mechanikai kialakítás és a dokumentáció egyaránt illeszkedjen a gép gyártói előírásaihoz és a létesítési szabványokhoz.

33.4.3. Szemléletes kép: gép és elosztó határa egyvonalas rajzon

Az alábbi egyvonalas rajz azt az alaphelyzetet mutatja, amikor az elosztó gyűjtősínjéről egy kismegszakító táplálja a gép betápláló vezetékét, a gépen pedig egy reteszelhető főkapcsoló és a gépi sorkapocs után következik a motor.



33.8. ábra. Ipari gép csatlakozási helye egyvonalas rajzban - Egyvonalas ábrázolás: a fővonal a 3 fázisvezetőt (és szükség esetén az N-t) egyetlen vonalként jelzi. Az elosztó oldalán Q1 védi a gép tápkábelét; a gépen Q2 a reteszelhető főkapcsoló, X1 a gépi sorkapocs, M1 a fogyasztó. A PE-t nem kapcsoljuk: az elosztó PE-sínjéről a gép X1:PE kapcsán át közvetlenül a gép testére fut, Q1 és Q2 nem szakítja meg.

A rajzon `Q1` az elosztóban elhelyezett csatlakozási pont feletti védelem, `Q2` a gép főkapcsolója, `X1` pedig a gépi betápláló kapocs. A védővezetőt a gépi csatlakozóhelynél is be kell kötni, és onnan a gép valamennyi vezetőképes testére, valamint az egyenpotenciálra hozó rendszerre kell továbbvezetni. A rajz egyvonalas; a kapcsolási rajzon ugyanez az áramkör három fázisvezetővel, valamint külön `N` és `PE` érrel szerepelne.

33.4.4. A gép és az elosztó határa: védelem, EPH, vészleállítás

A csatlakozási hely nem csupán fizikai csatlakozó, hanem villamos határpont is. Ezen a határon rögzíteni kell, hogy melyik berendezéshez tartozik a túláram-védelem, hol van a leválasztási pont, és hogyan csatlakozik a védővezető.

Szabály. Az ipari gép csatlakoztatásánál a `PE` védővezetőt folytonosan, meg nem szakítva kell kialakítani. A `PE` védővezetőbe kapcsolót, megszakítót vagy biztosítót beiktatni tilos; a `PE`-t semmilyen kapcsolókészülék nem szakíthatja meg. Dugaszolós csatlakozásnál a `PE`-érintkező bedugáskor elsőként zár, kihúzáskor utolsóként bont (a szabványos dugaszolók ezt szerkezetileg biztosítják). A gépi főkapcsoló és megszakító `PE`-kapcsa csak átmenő, nem kapcsolt kapocs. **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-54, MSZ EN 60204-1)**

Magyarországon a kisfeszültségű hálózati rendszer leggyakrabban TN-C-S vagy TN-S rendszerű. A gépi csatlakoztatás a `PEN` vezető szétválasztása után már csak `L1`, `L2`, `L3`, `N` és `PE` vezetőket használ. A gépet a `PEN`-vezető szétválasztása után külön `N`- és `PE`-vezetővel kell táplálni; a

szétválasztási pont után az `N` és a `PE` vezető többé nem köthető össze, és a gépen belül `PEN`-vezető nem alakítható ki (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-54, MSZ EN 60204-1).

Törvény. A túláramvédelemnek teljesítenie kell a

$$I_b \le I_n \le I_z$$

összefüggést, ahol:

- I_b a gép normál üzemi árama,
- I_n a védelmi készülék névleges árama,
- I_z a tápkábel tényleges szerelési móddal, hőmérséklettel, érterheléssel korrigált terhelhetősége.

A csatlakozási hely zárlatvédelmét is ellenőrizni kell. TN-rendszerben a hurokimpedanciának ki kell elégítenie a

$$Z_s \le \frac{U_0}{I_a}$$

feltételt, ahol $U_0 = 230\,\mathrm{V}$ a fázis és a `PE` közötti szabványos feszültség, I_a pedig a védelmi készülék kioldási árama arra az időre, amelyet a szabvány az adott áramkörre megenged. A tápkábel hosszát és keresztmetszetét ez a feltétel is korlátozza, nem csak a melegedés.

Szabvány. A gépek villamos berendezéseire vonatkozó követelményeket az MSZ EN 60204-1 tartalmazza. A létesítés oldalát a kisfeszültségű villamos berendezések szabályait rögzítő MSZ HD 60364 sorozat, a kapcsoló- és vezérlőberendezésekre vonatkozó követelményeket pedig az MSZ EN 61439 sorozat és az MSZ EN 60947 készülékszabványok adják. A konkrét kioldási időket, határértékeket és terhelhetőségi adatokat a hatályos kiadás és a gyártói adatlapok szerint kell ellenőrizni.

33.4.4.1. Főkapcsoló és vészleállítás

Különbség. A gép főkapcsolója elsősorban leválasztó és karbantartást támogató kapcsoló. A vészleállítás ezzel szemben biztonsági funkció: a felismert veszélyhelyzetben azonnali, lehetőleg biztonságos állapotot hoz létre. A kettő nem cserélhető fel automatikusan.

A gép főkapcsolójának jellemzője, hogy kézi működtetésű, kikapcsolt állapotban reteszelhető, látható vagy megbízhatóan jelzett kapcsoló. Ez teszi lehetővé, hogy karbantartás előtt a gépet megbízhatóan leválasszuk. A vészleállító készülék ezzel szemben általában sárga háttér előtt elhelyezett piros, gombafejű, reteszelődő nyomógomb vagy kötélkapcsoló (ellenőrizendő: MSZ EN ISO 13850, MSZ EN 60204-1), és a biztonsági vezérlőrendszer része. A vészleállító áramkör megszakíthatja a motorvezérlő hurkot, a szelepet, a hajtást vagy akár a teljes betáplálást attól függően, hogy a gép kockázatértékelése mit ír elő. A vészleállítás után a gép előre nem várt újraindulást okozó módon nem állhat vissza automatikusan; a visszaállítás szándékos emberi beavatkozást igényel.

A csatlakozási hely kialakításánál ezért a szerelőnek rögzítenie kell:

- a gépi főkapcsoló helyét és reteszelhetőségét,
- a vészleállító áramkört, ha van,
- a `PE` vezető folyamatosságát a gépi sorkapocsig,
- és azt, hogy az elosztó oldali védelem nem tévesztendő össze a gépi vezérlés biztonsági reteszelésével.

33.4.4.2. A csatlakozási pont tápellátásának védelme

Ipari gépeknél a motor túlterhelését gyakran a gép saját motorvédő kapcsolója vagy hőkioldója védi. Az elosztó oldali kismegszakító ilyenkor elsősorban zárlatvédelmet és kábelvédelmet lát el. A tápkábelt azonban úgy kell méretezni, hogy a kismegszakító névleges áramához illeszkedjen.

Ha a csatlakozás dugaszoló aljzaton keresztül történik, akkor a hálózati csatlakozó és a kábel is a kiválasztott áramerősségű legyen. A gyakori értékek: 16 A, 32 A, 63 A, 125 A. A 400 V-os dugaszoló aljzatok jellemzően `3P+N+PE` kialakításúak, a kódolásuk az 50 Hz-es hálózatnak felel meg; a pontos szín- és óraállás-kódokat a gyártói katalógus és az MSZ EN 60309 szabvány szerint kell kezelni.

33.4.4.3. EPH a gépi csatlakozási pontnál

Szabály. A gép valamennyi vezetőképes testét be kell kötni a `PE` védővezetőbe, és a csatlakozási hely környezetében ki kell alakítani az egyenpotenciálra hozó kapcsolatot, ha a szabvány vagy a kockázatértékelés előírja. Különösen fontos ez akkor, ha a gép részei egymáshoz képest elmozdulnak, szigetelt csapágyakkal vagy festett illesztésekkel rendelkeznek. A védővezetőt a `PE`-kapocssínre, a géptestre, a vezérlőszekrény ajtajára és a fémkábelbevezetőkre is folytonosan kell kötni.

33.4.5. Kábelek, csatlakozók és kapcsok kiválasztása

A csatlakozási hely kialakításánál a kábel kiválasztása három feltételből álló, ismétlődő lépéssor: a kábel bírja a folyamatos áramot, a feszültségesés ne legyen túl nagy, és a zárlati feltétel teljesüljön.

Ipari gép betáplálásához leggyakrabban használt vezetékek:

- fix szerelésű tápkábel: `NYY-J` (réz, PVC szigetelésű, belső `PE` érrel),
- flexibilis gumikábel: `H07RN-F` (nehéz igénybevételre, hajlékony),
- árnyékolt kábel, ha a frekvenciaváltó vagy EMC-érzékeny berendezés igényli.

A kábel jelölését és értelmezését a Vezeték- és kábeltípusok, jelölésrendszer alfejezetben vezettük be. A gépi csatlakozásnál a `PE` ér soha nem maradhat el; a gépi betáplálás `G` jelű (zöld-sárga eres) kábel: nulla vezetőt nem igénylő háromfázisú motornál 4 eres (például H07RN-F 4G6: `L1`, `L2`, `L3`, `PE`), ha a gép `N`-t is igényel, 5 eres (5G6 vagy NYY-J 5×6: `L1`, `L2`, `L3`, `N`, `PE`). A harmonizált jelölésben (például H07RN-F) a „G” zöld-sárga eret jelent, az „X” pedig azt, hogy nincs zöld-sárga ér; a nemzeti típusoknál (például NYY) a „-J” utótag jelzi a zöld-sárga eret, a „-O” a hiányát, az „5×6” itt csak érszám × keresztmetszet. Az „-O” vagy „X” jelű kábelben nincs zöld-sárga ér, ezért ilyennel `PE` nem vezethető (ellenőrizendő: MSZ HD 308 S2, gyártói jelölés).

Szabály. A kábelbevezetést úgy kell megválasztani, hogy a kábel húzásmentes legyen, a köpeny ne sérüljön a tömszelence élén, és a védettség megmaradjon. Fém kábelbevezető tömszelencénél gondoskodni kell a kábelárnyékolás vagy vezetőképes réteg egyenpotenciálú bekötéséről, ha ezt a tervezés előírja. A hajlítási sugár és a szerelési mód a gyártói adatokból ellenőrizendő.

A kapcsoknál a következőket kell ellenőrizni:

- a kapocs befogadja-e a kábel keresztmetszetét, nem csak a vezetőéret, hanem az érvéghüvely vagy kábelsaru méretét is,
- a nyomaték a gyártó által megadott értékre legyen beállítva,

- az `L1`, `L2`, `L3`, `N`, `PE` jelölés egyértelmű legyen,
- a fázissorrend és a motor kapocsjelölése (`U1`, `V1`, `W1`) a rajz és a gyártói adatlap szerint egyezzen.

33.4.6. Kidolgozott számítási példák

33.4.6.1. 1. példa: gép névleges áramának meghatározása

Adott. Egy 15 kW-os, 400 V-os háromfázisú kompresszor, $\cos\varphi = 0{,}85$, $\eta = 0{,}9$.

Keresett. A gép folyamatos áramfelvétele, I_b.

Képlet.

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3}\cdot U_v \cdot \cos\varphi \cdot \eta}$$

Behelyettesítés.

$$I_b = \frac{15\,000\,\mathrm{W}}{\sqrt{3}\cdot 400\,\mathrm{V}\cdot 0{,}85\cdot 0{,}9}$$

$$I_b = \frac{15\,000}{1{,}732\cdot 400\cdot 0{,}85\cdot 0{,}9} \approx 28{,}3\,\mathrm{A}$$

Ellenőrzés. A gyakorlati nagyságrend helyes: egy 15 kW-os háromfázisú gép névleges árama 400 V-on körülbelül 28–30 A.

Kiválasztás. A csatlakozási ponton 32 A-es C-karakterisztikájú kismegszakítót választunk, ha az indítási áram ezt megengedi. A tápkábelt 6 mm²-es réz érrel építjük, feltéve, hogy a szerelési módhoz és a környezethez tartozó gyártói táblázat szerint $I_z \geq 32\,\mathrm{A}$.

33.4.6.2. 2. példa: feszültségesés és zárlati feltétel

Adott. A gép betápláló kábele 25 m hosszú, 6 mm² réz, $\kappa = 56\,\mathrm{m/\Omega\,mm^2}$, $I_b = 28{,}3\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi = 0{,}85$, C32-es kismegszakító. A mért hurokimpedancia $Z_s = 0{,}41\,\Omega$.

Keresett. A feszültségesés és a zárlati kioldási feltétel.

Feszültségesés képlete háromfázisú betáplálásra.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}\cdot I_b \cdot l \cdot \cos\varphi}{\kappa \cdot A}$$

Behelyettesítés.

$$\Delta U = \frac{1{,}732\cdot 28{,}3\,\mathrm{A}\cdot 25\,\mathrm{m}\cdot 0{,}85}{56\,\mathrm{m/\Omega\cdot mm^2}\cdot 6\,\mathrm{mm^2}}$$

$$\Delta U \approx 3{,}1\,\mathrm{V}$$

Százalékban.

$$\frac{3{,}1}{400} \cdot 100\% \approx 0{,}78\%$$

Ellenőrzés. Ez gépbetáplálásnál jó érték; a motorindítás okozta rövid idejű letörést külön kell vizsgálni.

Zárlati feltétel. A C32-es megszakító mágneses felső kioldási árama példánk szerint $I_a = 10 \cdot 32 = 320\,\text{A}$. A feltétel:

$$Z_s \le \frac{230\,\text{V}}{320\,\text{A}} = 0{,}719\,\Omega$$

A mért $Z_s = 0{,}41\,\Omega$ a feltételt teljesíti.

Következtetés. A 6 mm²-es rézkábel 25 m hosszúsággal ebben a példában megfelel mind a feszültségesés, mind a zárlati feltétel szempontjából.

33.4.7. Csatlakozási hely kialakításának lépéssora

Eljárás. Az alábbi lépéssor a gyakorlati csatlakoztatás sorrendje. A lépések közben folyamatosan ellenőrizni kell az áramot, a feszültségesést, a zárlati feltételt és a jelöléseket.

1. **Adatgyűjtés.** Olvasd le a gép adattáblájáról a névleges teljesítményt, feszültséget, áramot, frekvenciát, indítási módot, védettséget és a gyártói bekötési előírást.
2. **Számítsd ki az üzemi áramot.** Használd a háromfázisú teljesítményképletet.
3. **Határozd meg a csatlakozási módot.** Fix kötés vagy ipari dugaszoló aljzat? Dugaszoló csatlakozásnál a dugó és az aljzat névleges árama, pólusszáma és védettsége illeszkedjen a géphez.
4. **Válaszd ki a védelmet.** A kábelre és a gép indítási áramára együtt illesztett kismegszakítót vagy megszakítót válassz; ha szükséges, áram-védőkapcsolót illessz a csatlakozási pontba.
5. **Válaszd ki a kábelt.** Érszám, keresztmetszet, szigetelés, hajlékonyság, szerelési mód, környezeti hőmérséklet.
6. **Ellenőrizd a feszültségesést és a zárlati feltételt.** A hosszabb csatlakozásnál a keresztmetszet növelése a megoldás.
7. **Alakítsd ki a csatlakozási pontot.** Szereld be az elosztó oldali megszakítót, a gépi főkapcsolót, a kábelbevezetést, a sorkapcsokat és a `PE` csatlakoztatást.
8. **Végezd el a jelölést.** Minden kábel, megjelölés, kapocs és kapcsoló kapja meg a rajzzal egyező azonosítót.
9. **Végezd el a méréseket.** A feszültségmentesített állapotban ellenőrizd a bekötést, a `PE` folytonosságot és a szigetelési ellenállást. Jogosult személy végezze a feszültség alatti ellenőrzéseket.
10. **Dokumentálj.** Rögzítsd a csatlakozási rajzot, a mérési jegyzőkönyvet, a fázissorrendet és a főkapcsoló helyét.

33.4.8. Gyakorlati útmutató: csatlakozási hely ellenőrzése átadás előtt

33.4.8.1. Cél

A csatlakozási pontot úgy átadni, hogy a gép biztonságos legyen, a védelem működőképes, a fázissorrend helyes, és a kapcsolási rajz a valóságot tükrözi.

33.4.8.2. Eszközök és anyagok

- CAT III/IV besorolású multiméter, megfelelő mérőzsinórokkal,
- kétpólusú feszültségvizsgáló (MSZ EN 61243-3 – ellenőrizendő: aktuális kiadás),
- szigetelési ellenállásmérő,
- hurokimpedancia-mérő,
- fázissorrend-ellenőrző,
- lakatfogó árammérő,
- nyomatékkulcs,
- jelölők, feliratozó,
- mérési jegyzőkönyv.

Biztonsági korlát. Hálózati feszültségű (230/400 V) munkát csak jogosult személy végezhet; a tanuló ezt a gyakorlatot tanműhelyi környezetben vagy jogosult oktató felügyeletével végezheti. A feszültség alatti méréseket csak az arra kioktatott személy végezheti megfelelő mérési kategóriájú műszerrel.

33.4.8.3. Az öt biztonsági szabály

1. **Lekapcsolás.** Kapcsold ki a csatlakozási pont feletti megszakítót, és ha van, a gépi főkapcsolót.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás.** Reteszeld le a kapcsolót, és helyezz el „ne kapcsolja be” figyelmeztetést.
3. **Feszültségmentesség megállapítása.** Kétpólusú feszültségvizsgálóval mérd meg `L1`–`L2`, `L2`–`L3`, `L3`–`L1`, `Lx`–`N`, `Lx`–`PE`, valamint `N`–`PE` között, hogy nincs feszültség; a vizsgáló működését előtte és utána ismert feszültségforráson ellenőrizd.
4. **Földelés és rövidre zárás.** Ha az üzemeltetői előírás szerint szükséges, a munkavégzési helyet földeld és rövidre zárd.
5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése.** Ha az elosztóban más áramkör feszültség alatt marad, fedd le vagy határold el.

33.4.8.4. Lépések

1. **Szemrevételezés.** Ellenőrizd a kábel nyomvonalát, a szerelési módot, a kábelköpeny épségét, a tömszelence tömítettségét, a védettséget és a feliratokat. A bekötés feleljen meg a kiviteli rajznak.

2. **Kikapcsolt állapotú mérések.** A `PE` védővezető folytonosságát mérd meg az elosztó `PE` sínje és a gép testpontja, valamint a gépi sorkapocs között. A mért értéknek a kábel hosszának és keresztmetszetének megfelelő kis ellenállásúnak kell lennie. Ezután mérd a szigetelési ellenállást az `L1`, `L2`, `L3`, `N` és `PE` között.

3. **Bekötési nyomaték ellenőrzése.** Húzd utána a csatlakozási kapcsoknak a gyártó által megadott nyomatékkal. A laza kapocs melegedést és feszültségesést okoz.

4. **Fázissorrend ellenőrzés.** Jogosult személy kapcsolja vissza a feszültséget, és fázissorrend-ellenőrzővel igazolja az `L1`, `L2`, `L3` sorrendet a csatlakozási pontban. A gép forgásirányát csak a megengedett üzemi próbán ellenőrizd.

5. **Feszültség alatti ellenőrzések.** Mérd meg a vonali feszültségeket, a fázis- és nullavezető közötti feszültséget, és a PE és N közötti feszültséget, ha az üzemeltetési előírás megengedi. Mérd meg a hurokimpedanciát, és szükség esetén végezd el az áram-védőkapcsoló kioldási mérését.

6. **Terhelési próba.** Ha a gép indítása az üzemeltetési engedély szerint lehetséges, lakatfogóval kövesd az indítási és a folyamatos áramot. A mért áram ne haladja meg a védelmi készülék és a kábel terhelhetőségének együttesét.

7. **A dokumentáció frissítése.** Vezesd fel a kapcsolási rajzra a csatlakozási pont tényleges kialakítását, a mérési eredményeket és a figyelmeztetéseket.

Ellenőrzési pontok. Ha a PE folytonosság értéke indokolatlanul nagy, először a kapcsokat és a kábelbevezetést vizsgáld. Ha a szigetelési ellenállás alacsony, keress nedvességet, sérült szigetelést vagy lazán csatlakoztatott vezetéket.

33.4.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy üzemben 15 kW-os csomagológépet csatlakoztattak egy C32-es megszakítóról, 25 m hosszú, 6 mm²-es gumikábellel. A gép közvetlen indítású motorral indult, és a C32-es kismegszakító indításkor rendszeresen leoldott. A szerelő először azt gyanította, hogy a kábel túl kicsi. A feszültségesés számítása azonban azt mutatta, hogy a 25 m, 6 mm² kábelen a névleges áramnál csak mintegy 3 V (0,8 %) feszültségesés várható (lásd a 2. példát), tehát a kábel nem azonnali hiba.

A tényleges ok az indítási áramlökés volt. A motor névleges árama körülbelül 28 A volt ($I_b \le I_n = 32\,\mathrm{A}$ teljesül), a direkt indítási áram pedig ennek többszöröse; az indítási áramcsúcs elérte a C32 mágneses kioldási tartományát ($5 \dots 10 \cdot I_n = 160 \dots 320\,\mathrm{A}$), ezért a gyorskioldó működött. A mért hurokimpedancia $Z_s = 0{,}22\,\Omega$ volt (ez a gép a transzformátorhoz közelebbi elosztóról kapott táplálást, ezért kisebb, mint a 2. példa 0,41 Ω-os értéke; utóbbival a D32 feltétele, $Z_s \le 230/640 = 0{,}359\,\Omega$, nem teljesülne), ami lehetővé tette a D32-es készülék alkalmazását, mert a D karakterisztika nagyobb mágneses kioldási ára ($20 \cdot 32 = 640\,\mathrm{A}$) mellett (és a 6 mm²-es kábel $I_z \ge 32\,\mathrm{A}$ terhelhetőségének igazolásával – ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52) a

$$Z_s \le \frac{230\,\mathrm{V}}{640\,\mathrm{A}} = 0{,}359\,\Omega$$

feltétel teljesült. A másik megoldás lágyindító vagy csillag–delta indítás lett volna. A tanulság, hogy a csatlakozási pont kialakításánál a gép indítási módját is ismerni kell, nem csak a névleges áramot.

33.4.10. Tipikus hibák

Hiba. A szerelő a gépi csatlakozásnál az N- és a PE-vezetőt összeköti (újra PEN-t alakít ki), vagy a szétválasztási pont után négy eres kábellel PEN-vezetőt visz a géphez, és azt a gépben köti át N-re és PE-re.

Miért veszélyes? A PEN vezető terhelőárama a védővezetői funkcióval közös vezetőn folyik; egy megszakadásnál vagy laza kötésnél a gép teste veszélyes feszültségre kerülhet. A helyes megoldás a szétválasztott N és PE vezetős gépbetáplálás.

Hiba. A kismegszakítót csak a motor névleges árama alapján választják ki, és nem veszik figyelembe az indítási áramot.

Miért hibás? A B vagy C karakterisztikájú készülék indításkor leoldhat, pedig a folyamatos terhelés megengedhető volna. A helyes kiválasztás a kábel, a hurokimpedancia és az indítási mód együttes vizsgálatával történik.

Hiba. A gép főkapcsolóját vészleállításként használják, miközben a gép biztonsági leállítást igényelne.

Miért hibás? A főkapcsoló leválasztja a táplálást, de nem biztosítja az összes veszélyes energiaforrás azonnali, koordinált leállítását. A vészleállító funkciót a gépi biztonsági rendszer részeként kell megvalósítani.

Hiba. Elmarad a fázissorrend ellenőrzése.

Miért hibás? A fázissorrend hibája a szivattyúnál, kompresszornál vagy szellőzőnél forgásirány-hibát okozhat, ami mechanikai károsodáshoz vezet. A helyes gyakorlat a csatlakoztatás utáni fázissorrend-mérés és a forgásirány-próba.

Hiba. A csatlakozási pont nem kap egyértelmű feliratot, ezért karbantartáskor nem tudni, melyik megszakítóhoz tartozik a gép.

Miért hibás? A karbantartó téves megszakítót kapcsolhat ki, vagy feszültség alatt kezdhet munkát. A csatlakozási pontot, a tápkábelt és a védelmi készüléket a rajz szerint kell jelölni.

33.4.11. Önellenőrzés

1. Mi a feltétele annak, hogy a kismegszakító és a kábel összeillő legyen a folyamatos terhelésre?
2. Miért tilos a gép csatlakozási pontjában az `N` és a `PE` vezetőt összekötni (újra `PEN`-t kialakítani)?
3. Milyen két feltételt kell ellenőrizni a túláramvédelem és a hálózati hurok oldaláról?
4. Mi a különbség a gép főkapcsolója és a vészleállítás között?
5. Milyen mérést kell elvégezni, hogy elkerüld a gép motorjának ellentétes forgását?

A válaszok az alábbi feladatok megoldásainál, az „Önellenőrzés – válaszok” részben találhatók.

33.4.12. Feladatok

1. feladat (A). Mondd el, mit értünk ipari fogyasztói csatlakozási hely alatt, és sorolj fel legalább négy olyan elemet, amely a csatlakozási ponton található.

2. feladat (A). Egy 22 kW-os, 400 V-os háromfázisú gép $\cos\varphi = 0{,}86$ és $\eta = 0{,}92$. Számítsd ki a gép folyamatos áramfelvételét, I_b-t.

3. feladat (B). A 2. feladatban számított áramú gép csatlakoztatásához 40 A-es C-kismegszakítót és 40 m hosszú, 10 mm²-es réz tápkábelt választanak. Először ellenőrizd az $I_b \le I_n$ feltételt a választott kismegszakítóra, majd azt, hogy a feszültségesés megfelel-e a 3%-os célértéknek, ha $\kappa = 56\,\mathrm{m}/(\Omega\,\mathrm{mm}^2)$ és $\cos\varphi = 0{,}86$. Szükséges-e nagyobb keresztmetszet?

4. feladat (B). Rajzold le egyvonalas rajzban egy gép csatlakozási helyét: az elosztó gyűjtősínről leágazó C32-es kismegszakító, a gép oldalán reteszelhető főkapcsoló, majd a gép betápláló motorja. A `PE` vezető kötését is tüntesd fel. Készítsd el a rajzot kézzel vagy a könyvben tanult rajzjelek segítségével.

5. feladat (C). Egy csatlakozási pontban C32-es kismegszakító táplál egy direkt indítású motort. Az üzemi áram $I_b = 30\,\mathrm{A}$. Az indítási csúcs 180 A, és a C32-es kismegszakító mágneses

kioldási sávja 160–320 A. A mért hurokimpedancia $Z_s = 0{,}35\,\Omega$. Mi a lehetséges hibajelenség, és hogyan lehet megszüntetni?

6. feladat (D). Az átadás előtti mérésnél a `PE` folytonosságot 0,8 Ω-nak méred egy 50 m hosszú, 6 mm²-es réz védővezetőn. A szigetelési ellenállás 2,0 MΩ. Milyen hibára gyanakodhatsz, mit érdemes megvizsgálni?

33.4.13. Megoldások

33.4.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. A folyamatos terheléshez a $I_b \le I_n \le I_z$ feltételnek kell teljesülnie.
2. Mert a gépi csatlakozás már a `PEN` szétválasztása után van, és a terhelőáram a `PE` vezetőn átfolyva veszélyes testfeszültséget okozhat.
3. A túláramvédelem oldaláról a $I_b \le I_n \le I_z$, a hurok oldaláról pedig a $Z_s \le U_0/I_a$ feltételt kell ellenőrizni.
4. A főkapcsoló leválasztó/karbantartó kapcsoló, a vészleállítás biztonsági funkció, amely a gép veszélyes állapotát szünteti meg.
5. Fázissorrend-ellenőrzővel kell megmérni a betáplálás fázissorrendjét, majd a motor forgásirányát a megengedett próbán.

33.4.13.2. Feladatok megoldásai

1. feladat.

Az ipari csatlakozási hely az a pont, ahol az elosztóhálózatról táplált tápkábel csatlakozik a géphez, berendezéshez vagy részelosztóhoz. Négy lehetséges elem: elosztó oldali megszakító, tápkábel, gépi főkapcsoló vagy ipari dugaszoló csatlakozó, továbbá a `PE`/EPH csatlakoztatás.

2. feladat.

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_v \cdot \cos\varphi \cdot \eta}$$

$$I_b = \frac{22\,000\,\mathrm{W}}{\sqrt{3} \cdot 400\,\mathrm{V} \cdot 0{,}86 \cdot 0{,}92}$$

$$I_b \approx 40{,}1\,\mathrm{A}$$

3. feladat.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_b \cdot l \cdot \cos\varphi}{\kappa \cdot A}$$

$$\Delta U = \frac{1{,}732 \cdot 40{,}1\,\mathrm{A} \cdot 40\,\mathrm{m} \cdot 0{,}86}{56\,\mathrm{m/(\Omega \cdot mm^2)} \cdot 10\,\mathrm{mm^2}}$$

$$\Delta U \approx 4{,}3\,\mathrm{V}$$

$$\frac{4{,}3}{400} \cdot 100\% \approx 1{,}1\%$$

A 3%-os célérték alatt van, ezért a 10 mm²-es kábel feszültségesés szempontjából megfelelő. **A védelem választása azonban nem:** $I_b = 40{,}1\,\text{A} > I_n = 40\,\text{A}$, tehát az $I_b \le I_n$ feltétel sérül; ráadásul egy közvetlen indítású 22 kW-os motor kb. $6\text{–}7 \cdot I_b$ indítási árama ($\approx$ 260 A) a C40 mágneses tartományába (200–400 A) esik. Egy C50-es készülék sem jó, mert mágneses sávja ($5 \dots 10 \cdot 50 = 250 \dots 500\,\text{A}$) ugyanúgy tartalmazza az $\approx$ 260 A-es indítási áramot. Megfelelő lenne például egy D50-es kismegszakító (mágneses sáv $10 \dots 20 \cdot 50 = 500 \dots 1000\,\text{A}$, az indítási áram alatta marad; a zárlati feltétel ekkor $Z_s \le 230/1000 = 0{,}23\,\Omega$, ezt méréssel igazolni kell), vagy – motornál inkább – a motoráramra ($\approx$ 40 A) beállított motorvédő kapcsoló és a kábelt védő zárlatvédelem. Mindkét esetben $40{,}1 \le I_n \le I_z$, és a 10 mm²-es kábel I_z értékét a szerelési mód szerint ellenőrizni kell (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 táblázata; ha $I_z < 50\,\text{A}$, nagyobb keresztmetszet szükséges).

4. feladat.

A rajz egyvonalasan ábrázolja az elosztó gyűjtősínjét, a `Q1` C32-es kismegszakítót, a `Q2` gépi főkapcsolót, a gépi sorkapcsot és a motort. A `PE` vezető a gépi sorkapocshoz és a gép testéhez csatlakozik. A rajz felépítése megegyezik az alfejezetben látható `circuit` ábrával.

5. feladat.

A lehetséges hibajelenség az, hogy a C32-es kismegszakító indításkor leold, mert a 180 A-es indítási csúcs a mágneses kioldási sávba esik. A megoldás lehet a D-karakterisztikájú megszakító, ha a hurokimpedancia engedi, vagy az indítási csúcs csökkentése lágyindítóval, csillag–delta indítással vagy frekvenciaváltóval. D32 esetén a kioldási áram körülbelül $20 \cdot 32 = 640\,\text{A}$, tehát a feltétel $Z_s \le 230/640 \approx 0{,}359\,\Omega$; a mért $0{,}35\,\Omega$ közel van, ezért a választást méréssel kell igazolni.

6. feladat.

A 0,8 Ω-os `PE` folytonosság 50 m hosszú, 6 mm²-es rézvezetőnél gyanúsan nagy. Egy ilyen vezető közelítő ellenállása $R = l/(\kappa A) = 50/(56 \cdot 6) \approx 0{,}15\,\Omega$. A 0,8 Ω laza kapcsra, rossz krimpelésre, korrodált sorkapocsra vagy rossz kábelbevezetésre utalhat. A 2,0 MΩ szigetelési ellenállás kisfeszültségű áramkörnél 500 V-os mérésen elvileg elfogadható lehet, de a gyakorlatban ellenőrizni kell, hogy a berendezés jellege és a hatályos előírás szerint van-e megfelelő, és hogy a `PE`-hez képest nem laza, nedves vagy sérült bekötés okozza-e az alacsonyabb értéket.

33.4.14. Rövid összefoglaló

A csatlakozási hely az ipari elosztó és a gép közötti határ, ahol a tápkábel, a túláramvédelem, a gépi főkapcsoló, a `PE`/EPH kötés és a dokumentáció együtt adják a biztonságos kialakítást. A kábelválasztásnál a folyamatos áramra a $I_b \le I_n \le I_z$ feltétel, a zárlatvédelemre TN-rendszerben a $Z_s \le U_0/I_a$ feltétel mérvadó. A gépi csatlakozásnál a `PE` minden esetben kell; az `N` csak akkor, ha a gép egyfázisú részterhelést (például vezérlőtranszformátor nélküli 230 V-os vezérlést, világítást) tartalmaz: ekkor 5 eres (`L1`, `L2`, `L3`, `N`, `PE`), egyébként 4 eres (`L1`, `L2`, `L3`, `PE`) betáplálás szükséges. A gép főkapcsolója leválasztó karbantartó feladatot lát el, a vészleállítás pedig biztonsági funkció. A csatlakozási pontnál a feszültségesést, a fázissorrendet, a `PE`-folytonosságot, a szigetelési ellenállást és a hurokimpedanciát mérni kell, majd az eredményeket a mérési jegyzőkönyvben és a kiviteli rajzon rögzíteni. **Továbbvitt eredmény:** az itt megismert csatlakozási pontok, védelmi feltételek, `PE`/EPH kialakítás és dokumentációs lépések az elosztóberendezések szabványai és típusai alfejezetben a kapcsolószekrények kialakítása során is ugyanúgy visszatérnek.

33.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet elsősorban a kiindulási pontokban megadott MSZ EN 61439, MSZ EN 60947, MSZ HD 60364 és MSZ EN 60204-1 szabványcsaládok szerinti általános szerelési gyakorlatra épül. A pontos kioldási határértékeket, a C/D kioldási sávokat, a kábelek terhelhetőségét, az IP-védettséget, a csavarnyomatékokat, az RCD-követelményeket és a feszültség alatti mérésekhez szükséges mérési kategóriát a mindenkor hatályos szabvány és a gyártói adatlapok szerint kell ellenőrizni. A megadott `MSZ EN 60309` hivatkozás, a 3%-os feszültségesési célérték és a mérési határértékek tanulási példák; a létesítéskor a hatályos magyarországi előírás a mérvadó.

34 Kapcsolószekrények és elosztóberendezések

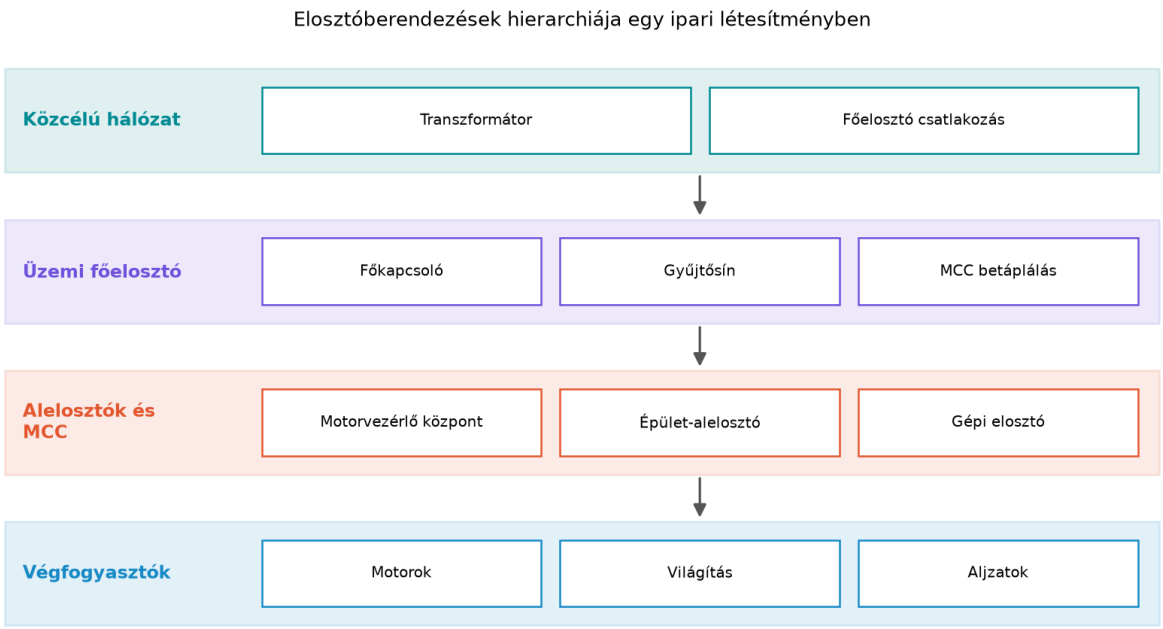
34.1. Az elosztóberendezések szabványai és típusai

34.1.1. Motiváció

Amikor egy villanyszerelő lakáselosztót cserél, vagy egy műhelyben új motorvezérlő szekrényt szerel, ritkán gondol arra, hogy az általa összeállított doboz jogi és szabványügyi szempontból **elosztóberendezés**. Mégis ezen múlik, hogy az elkészült szerkezetet át lehet-e adni, milyen dokumentumokat kell mellékelni, és ki felel akkor, ha később zárlat vagy érintésvédelmi hiba miatt baleset történik. A gyakorlatban gyakori félreértés, hogy „a kismegszakító típusvizsgált, tehát az elosztó is megfelelő”. Ez nem igaz: az elosztóberendezés önálló termék, amelyre külön szabványsorozat vonatkozik, és amelynek megfelelőségét a gyártónak kell igazolnia. Ebből a fejezetből megtanulod, mi a különbség a gyártói rendszerből épített és az egyedi konstrukciójú elosztó között (a régi „típusvizsgált” fogalom helyett tervezési igazolás), ki számít gyártónak, mi a darabigazolás (rutinvizsgálat) szerepe, és milyen jelölésekkel, dokumentumokkal kell egy elosztót átadni.

34.1.2. Szemléletes kép

Az alábbi vázlat egy ipari létesítmény elosztási hierarchiáját mutatja. A hálózati betáplálástól a végfogyasztókig minden szinten elosztóberendezés található, csak más-más feladattal, árammal és zárlati szilárdsággal.



34.1. ábra. Elosztóberendezések hierarchiája egy ipari létesítményben - Szemléltető vázlat: a főelosztó, az alelosztó, az MCC és a végfogyasztók viszonya. A csatlakozási pontok és a zárlati szintek projektfüggők.

A felső szinten a **főelosztó** fogadja a közcélú hálózat vagy a helyi transzformátor betáplálását. Itt nagy a névleges áram és a zárlati áram. Az alatta lévő **alelosztók** és **motorvezérlő központok (MCC)** már kisebb területet látnak el, de sok védelmi és vezérlési funkciót tartalmaznak. A legalján a végfogyasztók – motorok, világítási áramkörök, aljzatok – közvetlen kapcsolatai vannak. Egy villanyszerelő jellemzően az alelosztókat, gépelosztókat, lakáselosztókat vagy az MCC-k egyes fiókjait szereli, ezért ezekkel a fogalmakkal találkozik nap mint nap.

34.1.3. Definíciók és alapfogalmak

Definíció. Elosztóberendezés (kapcsoló- és vezérlőberendezés). Az elosztóberendezés olyan, a gyártó által összeállított villamos szerkezet, amely egy vagy több kapcsoló-, védő-, vezérlő-, mérő- vagy jelzőkészüléket tartalmaz, és amelyet villamos energia elosztására, kapcsolására, vezérlésére vagy védelmére terveztek. A pontos meghatározást az MSZ EN 61439-1 aktuális kiadása adja meg.

Példa. Egy lakáselosztó, amely tartalmaz egy főkapcsolót, néhány kismegszakítót, egy áramvédőkapcsolót és sorkapcsokat, elosztóberendezésnek minősül. Ugyanígy egy motorvezérlő szekrény, amely mágneskapcsolót, hőkioldót, motorvédő kapcsolót és nyomógombos vezérlést tartalmaz.

Definíció. Gyártó (elosztóberendezés-gyártó). Az a természetes vagy jogi személy, aki az elosztóberendezést forgalomba hozza, vagy aki a tervezésért és a legyártásért felelős. A villanyszerelő, aki egyedi elosztót épít, a szabvány értelmében elosztóberendezés-gyártónak minősül. Ennek jogi következményei vannak: neki kell gondoskodnia a tervezési igazolásról (egyedi konstrukciónál), a darabigazolásról (rutinvizsgálatról), a jelölésről és a megfelelőségi nyilatkozatról. A pontos felelősségi szabályokat a hatályos magyar műszaki biztonsági előírások és a szabvány aktuális kiadása tartalmazzák. **(ellenőrizendő: a felelősségi kör jogi megfogalmazása)**

Definíció. Eredeti gyártó (original manufacturer). Az a szervezet, amely az elosztóberendezés-rendszert (kapcsolóberendezés-családot) kifejlesztette, és a tervezési igazolást elvégezte. Az eredeti gyártó és az elosztóberendezés-gyártó lehet ugyanaz a szervezet, de lehet két különböző is. **(ellenőrizendő: az MSZ EN 61439-1 hatályos magyar terminológiája)**

Definíció. Tervezési igazolás (design verification). Annak igazolása, hogy a konstrukció megfelel a szabvány követelményeinek (melegedés, zárlati szilárdság, szigetelés, védettség, mechanikai tulajdonságok stb.). Három módszer létezik: **vizsgálat**, **számítás vagy összehasonlítás** már igazolt referenciakonstrukcióval, valamint **tervezési szabályok** alkalmazása; hogy melyik módszer melyik követelményre engedett, azt a szabvány adja meg. A tervezési igazolás a konstrukcióra vonatkozik, nem minden legyártott példányra.

Definíció. Darabigazolás (rutinigazolás, routine verification). Minden egyes legyártott elosztóberendezésen elvégzendő igazolás, amely az adott példány gyártási vagy szerelési hibáit tárja fel. Jellemző elemei a szemrevételezés, a védővezető-folytonosság ellenőrzése, a szigetelési ellenállás mérése és a működési próbák. A konkrét lépéseket a szabvány aktuális kiadása és a gyártói dokumentáció határozza meg. **(ellenőrizendő: a darabigazolás pontos listája)**

Definíció. Gyártói rendszerből, a gyártói utasítás szerint épített elosztóberendezés. Olyan elosztó, amelynek konstrukcióját az eredeti gyártó már igazolta, és az elosztóberendezés-gyártó (pl. a szerelő) a gyártói utasításnak megfelelően, eltérés nélkül, a rendszer jóváhagyott elemeiből építi. Ilyen lehet például egy moduláris lakáselosztó-család vagy egy MCC-rendszer.

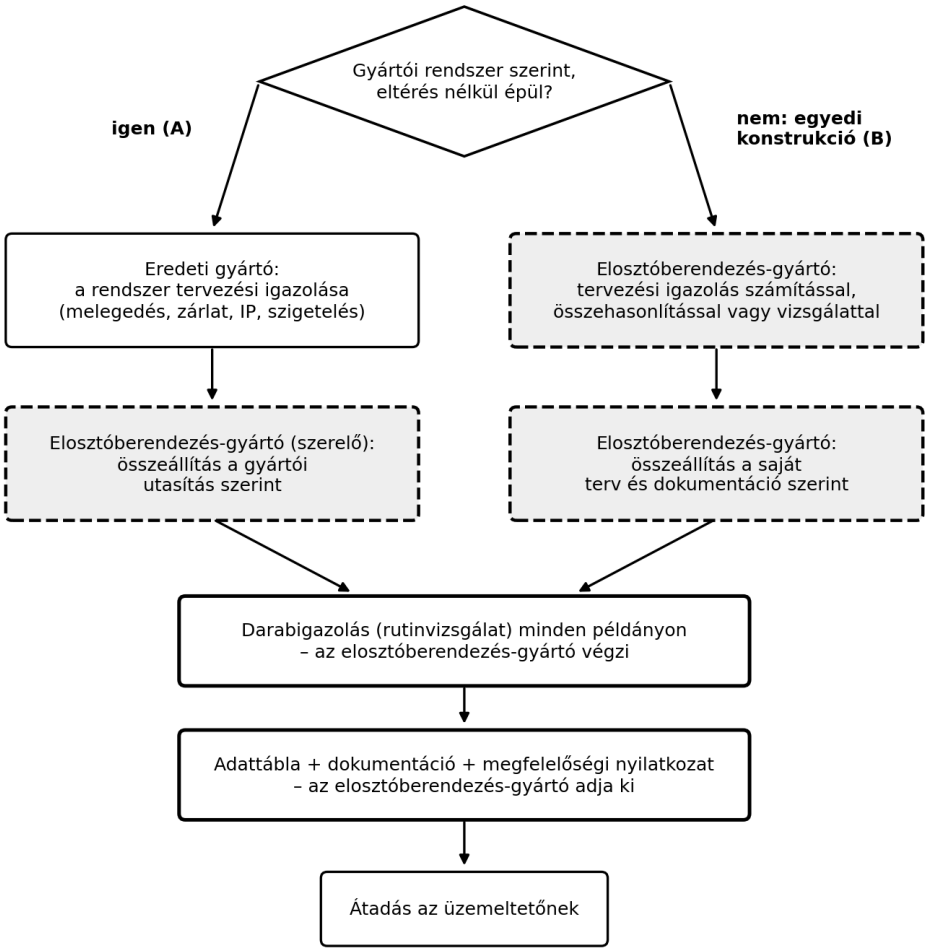
Definíció. Egyedi konstrukciójú elosztóberendezés. Olyan elosztó, amelyet egy adott projekthez, konkrét kapcsolási rajz és elrendezési terv alapján, a gyártói rendszer utasításaitól eltérően, vagy rendszer nélkül építenek, jellemzően egyszeri példányban. Ebben az esetben a tervezési igazolást az elosztóberendezés-gyártónak kell elvégeznie erre az egyedi konstrukcióra. Az „egyedi” kifejezés nem azt jelenti, hogy az elosztóra nem vonatkoznak követelmények, hanem csak azt, hogy nem sorozatgyártásról van szó.

Régi terveken. A korábbi MSZ EN 60439 a „típusvizsgált (TTA)” és a „részlegesen típusvizsgált (PTTA)” fogalmat használta; ezeket az MSZ EN 61439 a tervezési igazolással váltotta fel (az MSZ EN 60439 jelölést lecserélték). Ma „típusvizsgált” minősítés önmagában nem igazolja a megfelelőséget. **(ellenőrizendő: az MSZ EN 61439-1 hatályos magyar terminológiája)**

Szabvány. MSZ EN 61439 sorozat. A kisfeszültségű kapcsoló- és vezérlőberendezések fő szabványa az MSZ EN 61439 sorozat. Az általános rész (MSZ EN 61439-1) tartalmazza a fogalmakat, az igazolási módszereket, a vizsgálatokat és a dokumentációs követelményeket. Az egyes alkalmazási részek az ipari kapcsolóberendezésekre (MSZ EN 61439-2), az épületelosztókra (MSZ EN 61439-3) és más speciális elosztótípusokra vonatkoznak. A pontos követelményeket, határértékeket és vizsgálati módszereket mindig az aktuális kiadásból, valamint a nemzeti kiegészítésekből kell ellenőrizni.

34.1.4. Gyártói rendszerből épített és egyedi konstrukciójú elosztó a gyakorlatban

A legfontosabb gyakorlati különbség a **felelősség és az igazolás** módja.



34.2. ábra. Az elosztóberendezés megfelelőségének igazolása és a felelősség megoszlása

Ábraolvasás. Az ábra a döntési kérdéssel indul: gyártói rendszerből, a gyártói utasítástól eltérés nélkül épül-e az elosztó. Ha igen (A ág), a konstrukció tervezési igazolását (melegedés, zárlati szilárdság, IP, szigetelés) az eredeti gyártó már elvégezte; ha nem (B ág, egyedi konstrukció), ezt az elosztóberendezés-gyártónak – sokszor magának a szerelőnek – kell elvégeznie számítással, összehasonlítással vagy vizsgálattal. A darabigazolás (rutinvizsgálat) minden példányon, valamint az adattábla, a dokumentáció és a megfelelőségi nyilatkozat mindkét ágon az elosztóberendezés-gyártó feladata.

A **gyártói rendszerből épített** elosztó esetén az eredeti gyártó egy adott elosztócsaládra – például egy moduláris falon belüli elosztóra vagy egy MCC fiókos rendszerre – elvégezte a tervezési igazolást. Ez magában foglalja például a melegedési vizsgálatot, a zárlati szilárdság igazolását, a védettség (IP) ellenőrzését és a mechanikai vizsgálatokat. A szerelő, aki ezt a rendszert a gyártói előírások szerint, jóváhagyott elemekből építi, felhasználhatja az eredeti gyártó igazolásait, de a darabigazolást és a példányra vonatkozó megfelelőségi nyilatkozatot elosztóberendezés-gyártóként akkor is neki kell elkészítenie. **(ellenőrizendő: a gyártói rendszerből épített elosztó feltételei, MSZ EN 61439-1)**

Az **egyedi konstrukciójú** elosztó esetén nincs mögötte rendszerszintű igazolás. Ilyenkor az elosztóberendezés-gyártó – sokszor maga a villanyszerelő – felelős azért, hogy a tervezési igazolást elvégezze. Ez nem mindig igényel drága laborvizsgálatot: a szabvány lehetőséget ad

arra, hogy bizonyos követelményeket számítással, összehasonlítással vagy a gyártói adatlapokból származó igazolásokkal ellenőrizzenek. Például a zárlati szilárdságot egy adott sínrendszerre a sín gyártójának adatlapja is igazolhatja, ha a szerelés megfelel az ott leírt feltételeknek. **(ellenőrizendő: a tervezésellenőrzési módszerek alkalmazási feltételei)**

Példa. Gyártói rendszerből épített lakáselosztó. Egy gyártó kínál egy falon belüli elosztót, amelyben a kismegszakítók fésűsinre csatlakoznak, a szerelőlemez előre kialakított, és a PE-sín rögzítése is gyártói elem. Az eredeti gyártó dokumentációja tartalmazza a tervezési igazolás jegyzőkönyveit, az I_{nA} névleges áramot, az I_{cw} zárlati szilárdságot és az IP védettséget. A szerelő ebből az elemkészletből épít elosztót, elvégzi a darabigazolást, és az elosztóberendezés-gyártóként a saját nevében kiadja a megfelelőségi nyilatkozatot, majd átadja a vevőnek. A felelősség megoszlik: a konstrukció igazolásáért az eredeti gyártó, a konkrét példány megfelelőségéért, darabigazolásáért és dokumentációjáért az elosztóberendezés-gyártó (itt a szerelő) felel. **(ellenőrizendő: a felelősségmegosztás jogi részletei)**

Példa. Egyedi konstrukciójú motorvezérlő szekrény. Egy gépész műhelyben a szerelő egyedi motorvezérlő szekrényt épít: a kapcsolási rajz alapján beépít egy főkapcsolót, olvadóbiztosítókat, mágneskapcsolót, hőkioldót, sorkapcsokat és egy PLC-t. Itt nincs kész gyártói rendszerigazolás az egész szekrényre, ezért a szerelőnek mint elosztóberendezés-gyártónak kell igazolnia például a melegedést, a zárlati szilárdságot, a védettséget és a vezetékezést. A gyakorlatban ez úgy történik, hogy a felhasznált készülékek gyártói adatait, a szekrény mechanikai adatait és a szerelési módot összehasonlítja a szabvány követelményeivel, majd az elvégzett rutinvizsgálatokat jegyzőkönyvben rögzíti. Ha ezt elmulasztja, az elosztó nem tekinthető szabványosnak.

34.1.5. Elosztóberendezések típusai

Az elosztóberendezéseket a gyakorlatban a feladatuk és a beépített készülékek jellege szerint csoportosítjuk.

- **Főelosztó (fő elosztóberendezés).** A létesítmény betáplálási pontján található, a közcélú hálózatot vagy a helyi transzformátort fogadja. Nagy a névleges árama és a várható zárlati árama, ezért gyűjtősínes kialakítású, megszakítókkal és gyakran mérőváltókkal épül. Ide tartozik a mérőhely felőli csatlakozás is.
- **Alelosztó.** Egy épületrészt, szintet vagy üzemcsarnok-részt lát el. A főelosztótól kap betáplálást, és továbbosztja az áramköröket. Jellemző készülékei: kismegszakítók, áramvédőkapcsolók, sorkapcsok, kisebb megszakítók.
- **Motorvezérlő központ (MCC).** Olyan elosztóberendezés, amelyben a motorindító és motorvédő készülékeket fiókokban vagy rekeszekben helyezik el. Minden motorhoz külön indítóegység tartozik, amely tartalmazhat mágneskapcsolót, hőkioldót, motorvédő kapcsolót, jelzőlámpákat és vezérlő sorkapcsokat. Az MCC-k jellemzően ipari üzemekben, szivattyútelepeken, vízműveken találhatók.
- **Kapcsolóberendezés (ipari kapcsoló- és vezérlőberendezés).** Nagyjából az előzőek gyűjtőneve, de gyakran a nagyobb teljesítményű, gyűjtősínes, megszakítós elosztókra használják. Az MSZ EN 61439-2 az ipari kapcsoló- és vezérlőberendezésekre vonatkozik.
- **Épületelosztó.** Lakó- és középületekben használt elosztó, jellemzően falon belüli vagy falon kívüli szekrényben, moduláris készülékekkel. A lakáselosztó ennek leggyakoribb példája.

Ezek a típusok nem merev kategóriák: egy gépelosztó lehet egyszerre alelosztó és motorvezérlő egység is. A lényeg az, hogy a **feladat és a zárlati igénybevétel** határozza meg a szerkezetet és a szükséges vizsgálatokat.

34.1.6. Dokumentáció és jelölés

Dokumentáció. Az elosztóberendezéshez a gyártónak legalább az alábbi dokumentumokat kell tudnia átadni:

- kapcsolási rajz és/vagy egyvonalas rajz,
- elrendezési rajz (a készülékek fizikai helye),
- alkatrészjegyzék és gyártói megfelelőségi nyilatkozatok,
- bekötési lista vagy huzalozási táblázat,
- tervezési igazolások,
- az adott példány rutinvizsgálati jegyzőkönyve,
- kezelési, telepítési és karbantartási utasítás (szállítás, emelés, rögzítés, meghúzási nyomatékok, ellenőrzési időközök, megengedett környezeti feltételek),
- EU-megfelelőségi nyilatkozat (kisfeszültségű és EMC-irányelv szerint) és CE-jelölés **(ellenőrizendő: 2014/35/EU, 2014/30/EU irányelv, hazai átültető rendelet, MSZ EN 61439-1)**.

A rajzokon a készülékek referenciajelöléseit (Q1, F1, K1, X1 stb.) kell használni, összhangban a Villamosipari dokumentáció II – gépek és készülékek részben tanultakkal. A kapcsolási rajz és az egyvonalas rajz közötti különbséget az Alaprajzok, fővezetéki terv és egyvonalas rajz alfejezet tárgyalja.

Jelölés. Minden elosztóberendezésen, jól látható helyen, **adattáblát** kell elhelyezni. Az adattáblán legalább a gyártó nevének vagy védjegyének, a típusjelnek, a gyártási idő azonosítójának és a vonatkozó MSZ EN 61439-X résznek szerepelnie kell; a további, jellemző adatok (az adattáblán vagy a műszaki dokumentációban):

- névleges feszültség U_n (pl. 400 V),
- névleges áram I_{nA} (az elosztóra vonatkozóan),
- névleges zárlati szilárdság I_{cw} adott ideig (pl. 25 kA/1 s),
- IP-védettség (pl. IP54),
- IK mechanikai védettség (ha előírás).

A pontos adatkör a szabvány aktuális kiadásában és a jogszabályi előírásokban szerepel. **(ellenőrizendő: az adattábla kötelező tartalma)**

Továbbvitt eredmény. Az itt megismert elosztóberendezés-fogalom, a gyártói rendszerből épített / egyedi konstrukciójú elosztó megkülönböztetése (tervezési igazolás, darabigazolás), az IP/IK besorolás és a feliratozási követelmény közvetlenül szükséges a Felépítés: szekrény, sínek, szerelőlemez, hűtés és fűtés alfejezetben, ahol a fizikai kialakítás és a hőháztartás kérdéseit tárgyaljuk.

34.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy villanyszerelő egy kis üzemben egyedi gépelosztót épített egy frekvenciaváltóhoz és egy motorhoz. A kapcsolási rajzot saját maga rajzolta meg, a készülékeket megbízható gyártóktól vette, a szerelést gondosan elvégezte, majd a szekrényt felszerelte és bekötötte. A próbaüzem sikeres volt, a motor elindult. Az elosztóra azonban nem került adattábla, és rutinvizsgálati jegyzőkönyv sem készült. Később a létesítmény szabványossági felülvizsgálatán a felülvizsgáló hiányosságként jelezte, hogy nem lehet egyértelműen azonosítani a gyártót, a névleges adatokat és a zárlati szilárdságot. A megrendelő nem tudta igazolni, hogy az elosztó megfelel a hatályos előírásoknak, ezért a berendezést pótlólagos dokumentációval, adattáblával és mérésekkel kellett

utólag ellenőrizni. A tanulság: **az elosztó nem akkor kész, amikor a motor elindul, hanem amikor a dokumentáció és a jelölés is rendelkezésre áll.**

Biztonsági korlát. A példában szereplő munka 230/400 V hálózati feszültségen csak jogosult, arra képesített személy végezheti, a hatályos előírások szerint. Tanműhelyi gyakorlat esetén az oktató felügyelete kötelező.

34.1.8. Tipikus hibák

Hiba 1. „A kismegszakító típusvizsgált, tehát az elosztó is megfelelő.”
A kismegszakító valóban típusvizsgált készülék, de az elosztóberendezés a maga egészében új termék. A melegedés, a zárlati szilárdság, a védettség és a mechanikai kialakítás a beépítéstől függ, ezért az elosztóra külön tervezési igazolás és darabigazolás szükséges.

Hiba 2. „Én csak összeraktam, a tervező felel.”
A szabvány szerint aki az elosztót fizikailag legyártja, összeállítja és forgalomba hozza, az elosztóberendezés-gyártónak minősül. A tervező rajza fontos, de a gyártói felelősség – a rutinvizsgálat, a jelölés, a megfelelőségi nyilatkozat – az elosztó készítőjénél van.

Hiba 3. Nincs adattábla, csak a kismegszakítók feliratai.
A kismegszakítók feliratai az egyes áramköröket azonosítják, de az elosztó egészének adatait nem. Az adattábla hiánya megnehezíti a felülvizsgálatot, a karbantartást és a baleseti rekonstrukciót.

Hiba 4. A rutinvizsgálatot kihagyják, mert „úgyis működik”.
A rutinvizsgálat nem a működést, hanem a gyártási és szerelési hibákat keresi. Egy rosszul meghúzott kapocs vagy egy sérült szigetelés a próbaüzemben még nem mindig okoz hibát, de később tüzet vagy áramütést okozhat.

34.1.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Ha egy elosztó kismegszakítója rendelkezik típusvizsgálati tanúsítvánnyal, akkor az elosztóberendezés is automatikusan megfelelőnek tekinthető.
2. Ki minősül elosztóberendezés-gyártónak egy egyedileg, a helyszínen összeszerelt elosztó esetén?
3. Mi a különbség a tervezési igazolás és a darabigazolás között?
4. Sorolj fel legalább négy adatot, amelyet egy elosztó adattábláján fel kell tüntetni.
5. Mit jelent a $I_{cw} = 25\,\mathrm{kA}/1\,\mathrm{s}$ felirat egy elosztóberendezés adattábláján, és milyen más zárlati adatokat kell még figyelembe venni?

34.1.10. Feladatok

1. feladat (A)
Fogalmazd meg saját szavaiddal, mi az elosztóberendezés, és adj két példát a gyakorlatból.

2. feladat (A)
Sorold fel a gyártói rendszerből épített és az egyedi konstrukciójú elosztóberendezés legalább három lényeges különbségét.

3. feladat (B)
Egy elosztó adattábláján ezeket az adatokat látod: $U_n = 400\,\mathrm{V}$, $I_{nA} = 630\,\mathrm{A}$, $I_{cw} = 25\,\mathrm{kA}/1\,\mathrm{s}$, IP54. Magyarázd el mindegyik jelentését, és mondd meg, miért fontos az elosztó telepítésekor.

4. feladat (B)
Egyedi gépi elosztót kell építened. Sorold fel, milyen dokumentumokat kell átadnod a megrendelőnek, és milyen vizsgálatokat kell elvégezned, mielőtt az elosztó feszültség alá kerül.

5. feladat (C)
A megrendelő „típusvizsgált” elosztót kér. Mit jelent ez ma, és hogyan igazolod a megfelelőséget, ha a villanyszerelő egyedi kapcsolási rajz alapján szeretné megépíteni?

6. feladat (D)
Egy szabványossági felülvizsgálat során az egyik elosztón nincs adattábla, a készülékfeliratok viszont megvannak. A felülvizsgáló hiányosságot állapít meg. Miért nem elegendő a készülékek felirata? Milyen intézkedést kell tenni a hiányosság megszüntetésére?

34.1.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Az elosztóberendezés önálló termék, amelynek tervezési igazolását külön kell biztosítani (vizsgálattal, számítással/összehasonlítással vagy tervezési szabályokkal), és minden példányon darabigazolás kell.

2. Az a természetes vagy jogi személy, aki az elosztót összeállítja, forgalomba hozza, vagy aki a tervezésért és a legyártásáért felelős. A gyakorlatban ez gyakran maga a villanyszerelő.

3. A tervezési igazolás a konstrukcióra vonatkozik (vizsgálattal, számítással/összehasonlítással vagy tervezési szabályokkal). A darabigazolás (rutinigazolás) minden egyes legyártott példányon történik, és a gyártási, szerelési hibákat keresi.

4. Például: gyártó neve vagy védjegye, típusjel, gyártási szám, névleges feszültség U_n, névleges áram I_{nA}, zárlati szilárdság I_{cw}, IP-védettség, a vonatkozó szabvány jelölése.

5. Az I_{cw} a gyűjtősínrendszer névleges rövid idejű áramtűrése (effektív érték, adott ideig): 25 kA, 1 másodpercig. Mellette az adattábla/dokumentáció megadja a névleges csúcsáramtűrést (I_{pk}), zárlatvédő készülékkel védett berendezésnél pedig a névleges feltételes zárlati áramot (I_{cc}). A telepítési pont várható zárlati áramát és a zárlat időtartamát (I^2t) kell összevetni ezekkel (ellenőrizendő: MSZ EN 61439-1).

1. feladat (A) megoldása
Az elosztóberendezés olyan összeállított villamos szerkezet, amely kapcsoló-, védő-, vezérlő-, mérő- vagy jelzőkészülékeket tartalmaz, és a villamos energia elosztására, kapcsolására, vezérlésére vagy védelmére szolgál. Példa: lakáselosztó kismegszakítókkal és áram-védőkapcsolóval; ipari motorvezérlő szekrény mágneskapcsolóval és hőkioldóval.

2. feladat (A) megoldása
Különbségek: (1) A gyártói rendszerből épített elosztó a gyártói utasítás szerint, eltérés nélkül épül, az egyedi konstrukciójú egy konkrét projekthez készül. (2) Az előbbinél a tervezési igazolást az eredeti gyártó elvégezte, az utóbbinál az elosztóberendezés-gyártónak (a szerelőnek) kell elvégeznie vagy igazolnia. (3) A gyártói rendszer dokumentációja sok igazolást tartalmaz, az egyedinél ezeket össze kell gyűjteni. A végső rutinvizsgálat mindkét esetben kötelező.

3. feladat (B) megoldása
- $U_n = 400\,\text{V}$: az elosztó névleges feszültsége, tehát 230/400 V-os háromfázisú hálózaton használható.
- $I_{nA} = 630\,\text{A}$: az elosztó névleges árama, amellyel folyamatosan terhelhető a megadott környezeti feltételek mellett.
- $I_{cw} = 25\,\text{kA}/1\,\text{s}$: a zárlati szilárdság, az elosztó 1 másodpercig 25 kA zárlati áramot visel el. Ez

a gyűjtősínrendszer effektív értékű, adott idejű áramtűrése; mellette a névleges csúcsáramtűrést (I_{pk}) és zárlatvédő készülékkel védett berendezésnél a feltételes zárlati áramot (I_{cc}) is figyelembe kell venni, és a telepítési pont várható zárlati áramát és a zárlat időtartamát ezekkel kell összevetni (ellenőrizendő: MSZ EN 61439-1).
- IP54: por ellen védett, és fröccsenő víz ellen védett. Ez a besorolás határozza meg, hogy az elosztó milyen környezetbe (pl. poros műhelybe) telepíthető. Az értékek ellenőrzését a gyártói dokumentáció és a szabvány aktuális kiadása alapján kell végezni.

4. feladat (B) megoldása
Dokumentumok: kapcsolási rajz, elrendezési rajz, alkatrészjegyzék, gyártói megfelelőségi nyilatkozatok a beépített készülékekre, tervezési igazolások, darabigazolási (rutinvizsgálati) jegyzőkönyv, kezelési, telepítési és karbantartási utasítás, EU-megfelelőségi nyilatkozat és CE-jelölés (ellenőrizendő: 2014/35/EU, 2014/30/EU, MSZ EN 61439-1). Vizsgálatok: szemrevételezés, védővezető-folytonosság, szigetelési ellenállás, működési próbák, esetleg a védőberendezések kioldási ellenőrzése. A pontos vizsgálati listát az MSZ EN 61439-1 aktuális kiadása rögzíti.

5. feladat (C) megoldása
A „típusvizsgált” az MSZ EN 60439 (TTA/PTTA) fogalma volt, amelyet az MSZ EN 61439 a tervezési igazolással váltott fel. Ma a helyes eljárás: ha az elosztó gyártói rendszerből, a gyártói utasítás szerint, eltérés nélkül épül, az eredeti gyártó tervezési igazolására támaszkodhatsz. Ha a kapcsolási rajz egyedi, vagy eltér a gyártói utasítástól, a tervezési igazolást (vizsgálattal, számítással/összehasonlítással vagy tervezési szabályokkal) neked mint elosztóberendezés-gyártónak kell elvégezned. Mindkét esetben a darabigazolás (rutinvizsgálat) minden példányon, valamint az adattábla, a dokumentáció és a megfelelőségi nyilatkozat a te felelősséged. (Ellenőrizendő: MSZ EN 61439-1 hatályos terminológiája és a megrendelő szerződéses elvárása.)

6. feladat (D) megoldása
A készülékfeliratok csak az egyes kismegszakítók vagy relék adatait mutatják, de nem azonosítják az elosztó gyártóját, típusát, névleges áramát, zárlati szilárdságát és védettségét. Az adattábla hiánya miatt nem lehet megállapítani, hogy az elosztó alkalmas-e az adott telepítési helyre, és nem lehet nyomon követni a gyártói felelősséget. A hiányosság megszüntetése: utólag el kell helyezni egy adattáblát a gyártó adataival, a típusjellel, a gyártási idő azonosítójával és az MSZ EN 61439-X jelöléssel, a névleges adatokat (U_n, I_{nA}, I_{cw}, IP/IK) pedig az adattáblán vagy a dokumentációban kell rögzíteni; emellett pótolni kell a tervezési igazolásokat és a darabigazolási (rutinvizsgálati) jegyzőkönyvet.

34.1.12. Rövid összefoglaló

Az elosztóberendezés önálló termék, amelyre az MSZ EN 61439 szabványsorozat vonatkozik. Az elosztóberendezés-gyártó – gyakran maga a villanyszerelő – felelős azért, hogy a darabigazolás, a jelölés és a megfelelőségi dokumentáció elkészüljön. A gyártói rendszerből, utasítás szerint épített elosztónál az eredeti gyártó tervezési igazolására lehet támaszkodni, az egyedi konstrukciónál a tervezési igazolást az elosztóberendezés-gyártónak kell elvégeznie (a régi „típusvizsgált” fogalmat az MSZ EN 61439 lecserélte). A darabigazolást (rutinvizsgálatot) minden egyes legyártott példányon el kell végezni. Az elosztókat feladatuk szerint főelosztóra, alelosztóra, motorvezérlő központra (MCC), ipari kapcsolóberendezésre és épületelosztóra osztjuk. Az adattáblán legalább a gyártó nevét/védjegyét, a típusjelet, a gyártási idő azonosítóját és a vonatkozó MSZ EN 61439-X részt kell feltüntetni; a névleges adatok (U_n, I_{nA}, I_{cw}, IP/IK) az adattáblán vagy a műszaki dokumentációban szerepelnek (ellenőrizendő: MSZ EN 61439-1 a jelölésről). **Továbbvitt eredmény:** ezek a fogalmak és követelmények alapozzák meg a Felépítés: szekrény, sínek, szerelőlemez, hűtés és fűtés alfejezetben tárgyalt fizikai kialakítást, védettséget és hőháztartást.

34.1.13. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a magyarországi és európai szabványrendszer, elsősorban az MSZ EN 61439 sorozat fogalomrendszerét használja. A pontos szabványszakaszok, a tervezési igazolási és darabigazolási módszerek, az adattábla kötelező adattartalma, valamint a gyártói felelősség jogi részletei a kiadás előtt ellenőrizendők az aktuális szabványkiadások és a hatályos magyar jogszabályok alapján. A szabványok tartalmát a Magyar Szabványügyi Testület által kiadott hatályos kiadásból, a szekrényrendszerek tervezési igazolását a rendszergyártó dokumentációjából kell ellenőrizni. A megadott példaértékek és értelmezések oktatási célúak, nem helyettesítik a gyártói dokumentációt és a hatósági előírásokat.

34.2. Felépítés: szekrény, sínek, szerelőlemez, hűtés és fűtés

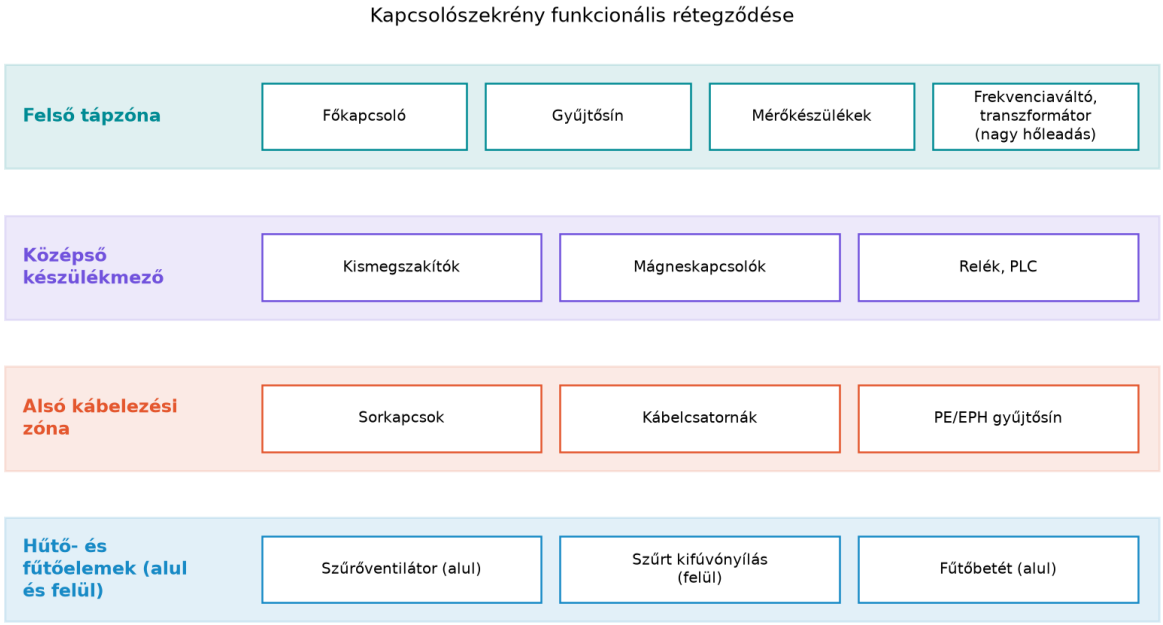
34.2.1. Miért kell a szerelőnek ismernie a szekrény belső felépítését?

Egy ipari kapcsolószekrény nem egyszerűen egy fémdoboz, amelybe készülékeket csavarozunk. Ha a belső elrendezés rossz, a szekrény túlmelegedhet, a készülékek idő előtt meghibásodhatnak, a vezetékezés áttekinthetetlenné válik, és az üzemzavar-elhárítás is indokolatlanul sok időt emészt fel. A Kapcsolószekrények és elosztóberendezések rész előző alfejezetében, Az elosztóberendezések szabványai és típusai alfejezetben megismerkedtünk a szekrénytípusokkal és az alapvető szabványi követelményekkel. Most belülről vizsgáljuk meg a szerkezetet: mire szerelünk, hogyan rögzítünk, és mit teszünk azért, hogy a hő ne tegye tönkre a berendezést.

A jó elrendezéssel három célt érsz el egyszerre: a készülékek hozzáférhetők maradnak, a hőelvezetés működik, és a szerelési idő is csökken. A rossz elrendezés viszont leoldásokat, melegedő csatlakozásokat és rejtélyes, csak meleg időben jelentkező hibákat okoz.

34.2.2. Szemléltető kép: a szekrény funkcionális rétegződése

A legtöbb kapcsolószekrény belső terét nem véletlenszerűen töltjük meg. A feladat szerint négy nagy zónát célszerű kialakítani: a felső tápzónát, a középső készülék- és szerelőmezőt, az alsó kábelezési zónát, valamint a hűtő- vagy fűtőelemek helyét.



34.3. ábra. Kapcsolószekrény funkcionális rétegződése - Szemléltető elrendezés fentről lefelé (a rétegek térbeli zónák, nem energiaáramlási lépések). A gyakorlatban a zónák pontos helyét a szekrénygyártó és a készülékek hőleadása határozza meg.

A rétegződés lényege, hogy a nagy hőleadású elemek (transzformátorok, frekvenciaváltók, ellenállások) ne közvetlenül a hőérzékeny elektronika alatt helyezkedjenek el, hanem a meleg levegő természetes útvonala, azaz a felső zóna felé kerüljenek. A kábelek és sorkapcsok alulra kerülnek, ahová a hidegebb levegő érkezik, és ahol a szerelés is kényelmesebb. A hűtő- vagy fűtőelemeket a légáramlás szempontjából kedvező helyre, gyakran a szekrény alsó és felső részére szerelik.

34.2.3. Definíciók és szabályok

Definíció. Szerelőlemez. A szerelőlemez a kapcsolószekrényben függőlegesen vagy vízszintesen rögzített, rendszerint horganyzott acéllemez, amelyre a készülékek, sorkapcsok, kábelcsatornák többségét csavarozzák. Célja, hogy a készülékeket a szekrény vázától függetlenül, stabilan és síkban lehessen elhelyezni. Vastagsága jellemzően 2–3 mm (a gyártói adatlapon ellenőrizendő), hogy a nagyobb készülékek súlyát is elbírja. A szerelőlemez csavaros rögzítése lehetővé teszi, hogy a szekrény külső burkolata nélkül is szereljük, majd a lemezt az egész szerkezettel együtt emeljük be.

Definíció. DIN-sín. A DIN-sín a kapcsolószekrényekben a legelterjedtebb, 35 mm széles szabványos rögzítőprofil (gyakori neve: TS35). A kismegszakítókat (MCB), áram-védőkapcsolókat (RCD), sorkapcsokat, reléket és számos vezérlőkészüléket úgy tervezik, hogy egyszerűen rá lehessen pattintani, illetve csavarhúzóval lefeszíteni. Anyaga általában horganyzott acél, néha alumínium. A DIN-sínnek nem feladata a villamos áram vezetése; a készülékek csatlakozókapcsait külön vezetékek kötik össze.

Definíció. Gyűjtősín. A gyűjtősín olyan csupasz vagy szigetelt vezető sín, amely több áramkört közösít. A kapcsolószekrényben leggyakrabban réz vagy alumínium laposrúd, ritkábban profilozott rézsín. A gyűjtősín méretezésekor nemcsak az üzemi áramot, hanem a zárlati áram által okozott melegedést és az elektrodinamikai erőhatásokat is figyelembe kell venni. A síneket

szigetelő tartókra szerelik, és úgy kell rögzíteni, hogy a zárlat fellépésekor ne tudjanak elcsúszni vagy összeérni.

Szabály. A gyűjtősín terhelhetősége és rögzítése. A gyűjtősín megengedett terhelhetőségét a gyártói adatlapok és a vonatkozó szabványok rögzítik. A melegedés függ a sín anyagától, keresztmetszetétől, felületétől, a környezeti hőmérséklettől és a sín hűtésétől. A szekrényben a síneket úgy kell elhelyezni, hogy a meleg levegő szabadon áramolhasson mellettük, és a csatlakozási pontok (csavaros kötések) hozzáférhetők maradjanak. A csavarkötéseket a gyártó által megadott csavarnyomatékkal kell meghúzni; a nem megfelelő nyomaték melegedő, később ívkárosodást okozó kötést hozhat létre.

34.2.4. Hőleadás és a készülékek elhelyezése

A kapcsolószekrényben szinte minden készülék hőt termel. A hőveszteséget a gyártói adatlapok általában wattban adják meg. Néhány jellemző érték (becslés, katalógusadattól függően):

- kismegszakító: 1–3 W pólusonként, terhelésfüggően;
- mágneskapcsoló tekercs: 5–15 W (tartásban);
- hőkioldó: 1–5 W;
- PLC központi egység: 5–15 W;
- frekvenciaváltó: az átvitt teljesítmény 1–5%-a, azaz 4 kW-os motorhajtásnál 40–200 W is lehet;
- transzformátor: a leadott teljesítmény 2–5%-a.

Szabály. Hőleadó és hőérzékeny elemek elrendezése. A nagy veszteségű készülékeket a szekrény felső részébe vagy olyan zónába kell tenni, ahonnan a meleg levegő szabadon távozhat. A hőérzékeny elektronikát (PLC, biztonsági relé, kommunikációs modul) alacsonyabbra, lehetőleg a hideg levegő belépési oldalára kell szerelni. Két készülék között hagyni kell a gyártó által előírt szerelési távolságot: ez biztosítja a szellőzést és a kábelezéshez szükséges helyet. A gyártói adatlapok gyakran megadják a minimális szabad térközt, jellemzően 30–100 mm-t, de ezt mindig ellenőrizni kell.

Számítás. A belső hőveszteség meghatározása. A szekrényben keletkező összes hőveszteséget a készülékek veszteségi teljesítményeinek összege adja:

$$P_{\text{összes}} = \sum P_{\text{veszteség},i}$$

ahol $P_{\text{összes}}$ a szekrényben disszipált teljes hőteljesítmény wattban, $P_{\text{veszteség},i}$ pedig az egyes készülékek veszteségi teljesítménye. Az összegzéshez a készülékek katalógusadatait vagy a gyártói hőleadási adatokat használjuk.

Példa. Hőveszteség összegzése. Egy motorvezérlő szekrényben a következő készülékek vannak:

- főkapcsoló: 2 W
- 4 db mágneskapcsoló, egyenként 8 W tartásban
- 2 db hőkioldó, egyenként 3 W
- PLC: 10 W
- kapcsolóüzemű tápegység: 6 W
- frekvenciaváltó 4 kW-os motorhoz: 60 W

Határozzuk meg a szekrény összes hőveszteségét.

Megoldás. A veszteségeket összegezzük:

$$P_{\text{összes}} = 2 + 4 \cdot 8 + 2 \cdot 3 + 10 + 6 + 60 = 2 + 32 + 6 + 10 + 6 + 60 = 116\,\text{W}$$

A szekrény tehát körülbelül 116 W hőt termel. Ez elsőre nem tűnik soknak, de egy zárt, rosszul szellőző szekrényben 10–20 K hőmérséklet-emelkedést is okozhat.

34.2.5. Hűtés: szellőztetés, hűtőaggregát, hőcserélő

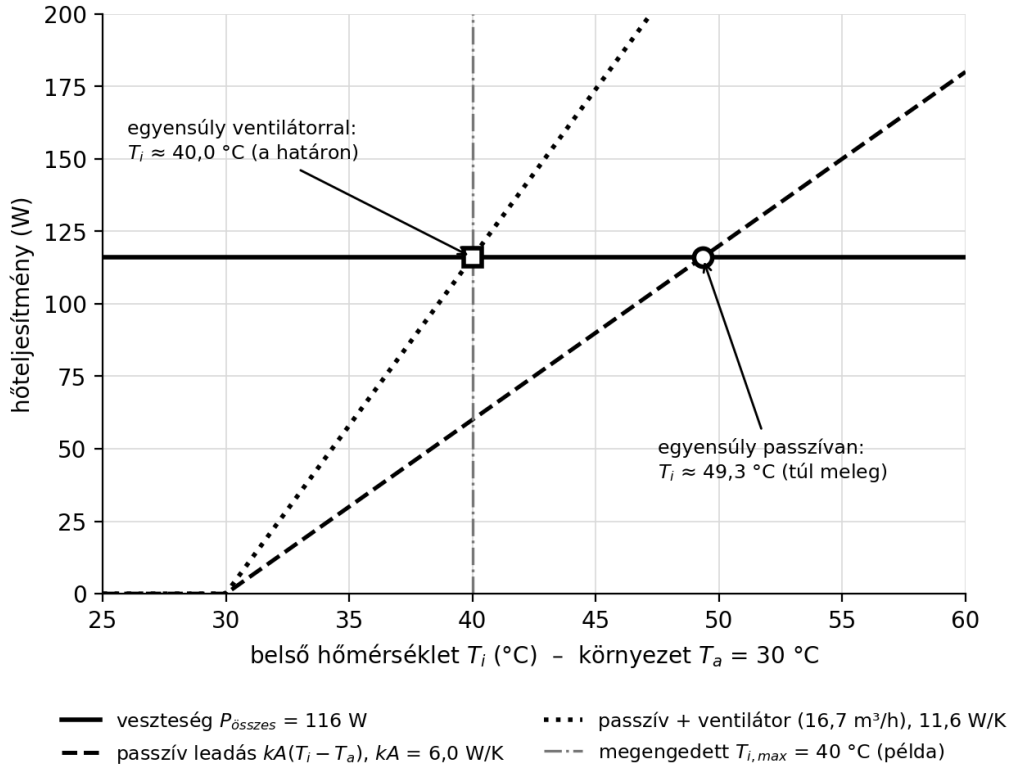
A szekrény hőmérsékletét a belső hőveszteség és a szekrény hőleadó képessége határozza meg. Ha a szekrény fala elegendő hőt lead a környező levegőnek, a belső hőmérséklet megállapodik. A leadott hő maga is a hőmérséklet-különbségtől függ, ezért a belső hőmérséklet addig nő, amíg a leadás egyenlő a veszteséggel; a döntő kérdés, hogy ez az egyensúlyi hőmérséklet a megengedett érték alatt marad-e.

Összefüggés. Passzív hőleadás. A szekrény által passzívan leadott hőteljesítményt közelítőleg így számíthatjuk:

$$P_{\text{lead}} = k \cdot A \cdot \Delta T$$

ahol P_{lead} a leadott hőteljesítmény wattban, k a szekrény hőátadási tényezője $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$-ben (jellemzően 3–6 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, a gyártói adattól függően; ellenőrizendő), A a szekrény effektív hűtőfelülete m²-ben, $\Delta T = T_{\text{belső}} - T_{\text{környezet}}$ a belső és a külső levegő hőmérséklet-különbsége kelvinben. Az egyensúlyi hőmérséklet-különbség $\Delta T = P_{\text{összes}}/(kA)$, a belső hőmérséklet ekkor $T_{\text{környezet}} + \Delta T$.

Döntési lépések. (1) Megengedett belső hőmérséklet $T_{i,\max}$ (pl. 35–40 °C – ellenőrizendő: készülékadatlap). (2) Legnagyobb környezeti hőmérséklet $T_{a,\max}$. (3) Passzív leadás a megengedett különbségnél: $P_{\text{lead}} = kA(T_{i,\max} - T_{a,\max})$. (4) Ha $P_{\text{összes}} > P_{\text{lead}}$, kényszerhűtés (vagy más beavatkozás) kell. A továbbiakban P_{lead} mindig a megengedett ΔT-re értendő.



34.4. ábra. A kapcsolószekrény hőmérlege: a belső hőmérséklet ott áll be, ahol a leadás egyenlő a veszteséggel

Ábraolvasás. A vízszintes vonal a szekrény $P_{\text{összes}} = 116$ W vesztesége, a ferde egyenesek a leadott hő a belső hőmérséklet függvényében ($k = 5$ W/(m² · K), $A = 1{,}2$ m², tehát $kA = 6$ W/K, $T_a = 30$ °C – példaadatok; a megengedett 40 °C-on így a passzív leadás $6 \cdot 10 = 60$ W, ugyanannyi, mint a lenti légáram-számításban). A metszéspont az egyensúlyi belső hőmérséklet: $T_i = T_a + P_{\text{összes}}/(kA + \rho c_p \dot{V})$. Passzívan $T_i \approx 30 + 116/6 \approx 49{,}3$ °C, ami a példaként vett 40 °C-os határ fölött van; a lenti számításból adódó 16,7 m³/h-s szellőztetéssel ($\rho c_p \dot{V} \approx 5{,}6$ W/K) a leadás meredekebb, és $T_i \approx 30 + 116/(6 + 5{,}6) \approx 40{,}0$ °C – éppen a határon, hiszen a légáramot pontosan erre méreteztük; a gyakorlatban ezért tartalékkal (nagyobb légszállítású ventilátorral) választunk. A hőmérséklet tehát nem „folyamatosan emelkedik”, hanem egy egyensúlyi értéken áll be – a kérdés az, hogy ez a megengedett határ alatt van-e. A HTML-kiadásban csúszkával állíthatod a veszteséget, a felületet, a k tényezőt, a környezeti hőmérsékletet, a ventilátor légáramát és a megengedett belső hőmérsékletet; a kalkulátor kiírja az egyensúlyi T_i-t, és jelzi, ha a határ fölé kerül.

Összefüggések. Kényszerhűtés méretezése. Ha a passzív hőleadás nem elegendő, kényszerhűtést kell alkalmazni. A szellőztetéshez szükséges légáramot a következő képletből becsülhetjük:

$$\dot{V} = \frac{P_{\text{összes}} - P_{\text{lead}}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T_{\text{szellőzés}}}$$

ahol $\dot{V}$ a levegő térfogatárama m³/s-ban, ρ a levegő sűrűsége (kb. $1{,}2\,\mathrm{kg/m^3}$), c_p a levegő fajhője (kb. $1005\,\mathrm{J/(kg \cdot K)}$), $\Delta T_{\text{szellőzés}}$ pedig a levegő megengedett felmelegedése a szekrényben (pl. 10 K). A hűtőaggregát vagy hőcserélő szükséges hűtőteljesítménye legalább a szekrényben disszipált hőteljesítmény legyen, plusz ha a külső hőmérséklet magasabb a kívánt belső hőmérsékletnél, a falon át beáramló hő.

Számítás. Szellőztetési légáram meghatározása. Tegyük fel, hogy a fenti 116 W veszteségű szekrényben a passzív leadás a megengedett belső hőmérsékleten 60 W (az ábra példaadataival: $kA = 6$ W/K, $T_{i,\max} - T_a = 40 - 30 = 10$ K), és a levegőt legfeljebb 10 K-nel engedjük felmelegedni a szekrényben. A szükséges légáram:

$$\dot{V} = \frac{116 - 60}{1{,}2 \cdot 1005 \cdot 10} = \frac{56}{12060} \approx 0{,}00464\,\mathrm{m^3/s} = 4{,}64\,\mathrm{L/s}$$

Ez körülbelül 16,7 m³/h. A gyakorlatban egy kis szűrőventilátor 50–200 m³/h légszállítással bőven elegendő lehet, de a pontos kiválasztásnál figyelembe kell venni a szűrő ellenállását és a szekrény tömítettségét is.

34.2.6. Fűtés a kondenzáció ellen

Nemcsak a túlmelegedés, hanem a túlzott lehűlés is káros lehet. Ha a kapcsolószekrény kültéren vagy fűtetlen helyiségben áll, és a belső levegő hőmérséklete a harmatpont alá süllyed, a levegő nedvessége kicsapódik a hideg felületeken. A páralecsapódás a szigetelési ellenállást csökkenti, korróziót okoz, és kúszóáramot vagy átívelést is előidézhet.

Szabály. Fűtőbetét alkalmazása. A hőmérséklet harmatpont felett tartásához fűtőbetétet (ellenállásfűtést) szerelnek a szekrénybe, amelyet termosztáttal vagy higrosztáttal vezérelnek. A fűtőteljesítményt úgy kell megválasztani, hogy a szekrény belső hőmérséklete a környezeti hőmérséklet ingadozása mellett is 5–10 K-nel a harmatpont felett maradjon. A szükséges fűtőteljesítmény közelítőleg $P_{\text{fűtő}} = k \cdot A \cdot (T_{i,\min} - T_{a,\min}) - P_{\text{összes}}$, ahol $T_{i,\min}$ a kívánt legkisebb belső hőmérséklet (harmatpont + 5–10 K), $T_{a,\min}$ a legkisebb környezeti hőmérséklet, k a szekrény hőátbocsátási tényezője, A a szekrény effektív hőleadó felülete; ha a berendezés állhat (nincs belső veszteség), $P_{\text{összes}} = 0$. Fűtés csak akkor kell, ha a belső hőveszteség ezt nem fedezi. A pontos értéket a szekrénygyártó hőszámítási táblázata vagy a fűtőberendezés gyártója adja meg.

A fűtőbetétet ne a műanyag kábelek vagy érzékeny készülékek közvetlen közelébe szereld, mert a hősugárzás károsíthatja azokat. A fűtőbetét és a kábelek között tartsd be a gyártói biztonsági távolságot.

34.2.7. Szabványi követelmények

Szabvány. Kapcsolóberendezések és elrendezésük. A kisfeszültségű kapcsoló- és vezérlőberendezések szerelésére, szerkezeti kialakítására és a beépített készülékek elrendezésére az MSZ EN 61439 sorozat vonatkozik. A szabvány előírja, hogy a berendezésben a gyártó által megadott üzemi feltételek mellett a hőmérséklet-emelkedés nem lépheti túl a készülékekre és a szigetelő anyagokra megengedett határértékeket. A berendezés védettségére és a környezeti hatásokkal szembeni ellenállásra az MSZ EN 60529 (IP-kód) és a gyártói adatok az irányadók. A pontos határértékeket, vizsgálati eljárásokat és táblázatokat a mindenkor hatályos szabványkiadás és a készülékgyártó adatlapja tartalmazza – ezeket tervezés előtt ellenőrizni kell.

A szekrény hűtésére és fűtésére vonatkozó részletes környezetállósági követelményekkel a Védettség (IP, IK), különleges környezet és klimatizálás alfejezet foglalkozik.

Továbbvitt eredmény. A hőmérséklet-számítás itt bemutatott elve – a belső hőveszteség, a passzív leadás és a szükséges légáram viszonya – alapozza meg a Védettség (IP, IK), különleges környezet és klimatizálás alfejezet hűtési és fűtési méretezési lépéseit.

34.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy műanyagipari üzemben egy frekvenciaváltós motorszekrény rendszeresen leállt a nyári hónapokban. A szerelő megnézte a szekrényt: a frekvenciaváltó a szekrény alsó részébe, közvetlenül a PLC alá volt szerelve. A természetes légáramlás a meleg levegőt felfelé vezette, így a PLC mindig a frekvenciaváltó meleg levegőjében dolgozott. A hőmérséklet a PLC környezetében meghaladta a gyártó által megengedett 50 °C-ot, és a PLC túlmelegedési (hőmérséklet-) hibaüzenetet adott.

A javítás során a frekvenciaváltót a szekrény felső zónájába helyezték át, a PLC-t pedig alacsonyabbra, hidegebb környezetbe szerelték. Ezen kívül a szekrény aljára szűrőventilátort, tetejére szűrt kifúvónyílást szereltek. A hőmérséklet a PLC-nél 55 °C-ról 38 °C-ra csökkent. A hiba megszűnt, és a PLC élettartama is megnőtt. Az eset tanulsága: nem elég a készülékeket beférni, a hő útját is meg kell tervezni.

34.2.9. Gyakorlati útmutató

Cél. Kapcsolószekrény belső elrendezésének megtervezése és a hűtés/fűtés szükségességének meghatározása.

Eszközök és anyagok. Kapcsolószekrény, szerelőlemez, DIN-sínek, gyűjtősínek, készülékek, hőleadási adatlapok, csavarhúzók, csavarnyomatékkulcs, mérőműszerek (hőmérséklet-mérő, áramváltós lakatfogó), feliratozó anyagok.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A bekötött szekrényen a munkát csak feszültségmentesítés után, az öt biztonsági szabály szerint kezdd el.

Az öt biztonsági szabály: 1. Lekapcsolás (a szekrény leválasztása minden energiaforrásról, a külső vezérlőfeszültségről és a szünetmentes tápról is). 2. Visszakapcsolás elleni biztosítás (lakatolás, kikapcsolt állapot rögzítése). 3. Feszültségmentesség megállapítása kétpólusú feszültségvizsgálóval (MSZ EN 61243-3, ellenőrizendő: aktuális kiadás; fázisceruzával nem) minden pólus között: L1–L2, L2–L3, L3–L1, minden fázis–N, minden fázis–PE és N–PE; a vizsgáló működését előtte és utána ismert feszültségforráson ellenőrizd. 4. Földelés és rövidre zárás (ha a munka jellege megköveteli). 5. Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.

Lépések:

1. **Gyűjtsd össze a készüléklistát.** Írd fel minden készülék nevét, darabszámát és a gyártó adatlapjából a veszteségi teljesítményt (W).
2. **Számold ki az összes hőveszteséget.** Add össze a wattokat.
3. **Válaszd ki a szekrény méretét és anyagát.** A szekrényméretnél számolj a készülékek helyigényével, a szellőzési távolságokkal és a jövőbeni bővítéssel.
4. **Tervezd meg a zónákat.** Fent a nagy hőleadású elemek, lent a kábelezési zóna, középen az érzékeny elektronika. Rajzold le a szerelőlemezen a készülékek körvonalát.
5. **Szereld a DIN-síneket és a gyűjtősíneket.** Rögzítsd stabilan, a megadott csavarnyomatékkal. Ügyelj arra, hogy a sínek ne takarják le a szellőzőnyílásokat.
6. **Helyezd el a készülékeket.** A hőleadók felül legyenek, a kábelezés alul. A készülékek között hagyj szerelési távolságot.
7. **Határozd meg a hűtés szükségességét.** Számítsd ki a passzív hőleadást a megengedett belső és a legnagyobb környezeti hőmérséklet különbségére ($kA(T_{i,\max} - T_{a,\max})$), és hasonlítsd össze az összes veszteséggel. Ha a veszteség nagyobb, hűtést kell tervezni.
8. **Válassz hűtési módot.** Először a szellőztetést vizsgáld meg; ha nem elég, hűtőaggregátot vagy hőcserélőt használj.

9. **Ellenőrizd a fűtés szükségességét.** Kültéri vagy fűtetlen szekrény esetén számold ki, fennáll-e páralecsapódás veszélye, és ha igen, szerelj be fűtőbetétet termosztáttal.
10. **Végezz hőmérsékleti ellenőrzést.** A szekrényt a várható legnagyobb terheléssel, meleg időben járasd, és mérd a belső hőmérsékletet. A mért értéknek a készülékek megengedett értéke alatt kell maradnia.

Ellenőrzési pontok. A készülékek rögzítése stabil, a csavarnyomatékok megfelelők, a szellőzőnyílások szabadok, a hőleadó készülékek felül vannak, a belső hőmérséklet a megengedett határon belül marad, a fűtőbetét nem érinti a kábeleket, és a feliratok jól láthatók.

Tipikus hibák a gyakorlatban. A szerelő a nagy hőleadású elemet a kábelezési zónába rejti, a szellőzőnyílásokat letakarja kábelcsatornával, vagy nem hagy a készülékek között szellőzési rést. Mindegyik melegedést okoz.

Dokumentálás. A kész szekrényben készíts belső elrendezési rajzot, tüntesd fel a készülékek referenciajelölését, a hűtő- és fűtőelemek bekötését, és rögzítsd a hőmérsékleti ellenőrzés eredményét.

34.2.10. Tipikus hibák

Hiba 1. A hőleadó készülék az érzékeny elektronika alá kerül. A meleg levegő felfelé száll, így a frekvenciaváltó alatt levő PLC folyamatosan meleg levegőt kap. A helyes elrendezés: a hőleadó felül, az elektronika alul.

Hiba 2. A szerelő figyelmen kívül hagyja a veszteségi teljesítményt. Csak a helyigényt nézi, a hőveszteséggel nem számol. Emiatt a szekrény túlmelegszik, a készülékek idő előtt meghibásodnak. A megoldás: mindig gyűjtsd össze a wattokból a teljes hőveszteséget, és ellenőrizd a hűtést.

Hiba 3. A fűtőbetét közvetlenül a kábelek mellé kerül. A hősugárzás megolvaszthatja a szigetelést. A fűtőbetétet a gyártói előírást betartva, a kábelektől távol kell elhelyezni.

Hiba 4. A szellőzőnyílásokat letakarja a kábelcsatorna vagy a szerelőlemez. A légáramlás lecsökken, a hűtés hatástalanná válik. A szellőzőnyílásokat mindig szabadon kell hagyni.

34.2.11. Önellenőrzés

1. Mi a DIN-sín feladata, és milyen széles a leggyakoribb típus?
2. Igaz vagy hamis? A gyűjtősín terhelhetősége független a környezeti hőmérséklettől. Indokold is!
3. Egy szekrényben 80 W a készülékek hővesztesége. A passzív leadás a megengedett 15 K-es hőmérséklet-különbségnél 40 W. Szükséges-e kényszerhűtés? Miért?
4. Miért van szükség fűtőbetétre egy kültéri, fűtetlen kapcsolószekrényben?
5. Számold ki a szükséges légáramot, ha a disszipált hő 100 W, a passzív leadás 30 W, a megengedett levegő-felmelegedés 10 K, a levegő sűrűsége 1,2 kg/m³, fajhője 1005 J/(kg · K).

34.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a kapcsolószekrény négy funkcionális zónáját, és mindegyikhez egy-egy jellemző készüléket!

2. feladat (A). Egy szekrényben 6 kismegszakító (egyenként 2 W), 3 mágneskapcsoló (egyenként 9 W), egy PLC (12 W) és egy tápegység (7 W) található. Mekkora a teljes hőveszteség?

3. feladat (B). Az előző feladat szekrényének effektív hűtőfelülete 2,2 m², hőátadási tényezője 5 W/(m² · K). A külső hőmérséklet 30 °C. Mennyi a szekrény passzív hőleadása, ha a belső hőmérséklet eléri a 45 °C-ot? Szükséges-e kényszerhűtés?

4. feladat (B). Határozd meg a szükséges szellőztetési légáramot, ha a teljes hőveszteség 150 W, a passzív leadás 70 W, a levegő felmelegedése legfeljebb 8 K lehet, a levegő sűrűsége 1,2 kg/m³, fajhője 1005 J/(kg · K). Add meg az eredményt m³/h-ban is!

5. feladat (C). Rajzold fel egy motorvezérlő szekrény belső elrendezési vázlatát: az alsó zónában sorkapcsok és kábelcsatorna, a középső zónában PLC, tápegység, relék, mágneskapcsolók, a felső zónában frekvenciaváltó, főkapcsoló, gyűjtősín. Indokold, miért a frekvenciaváltó kerül felülre! Hol helyeznéd el a szellőző ventilátort és a fűtőbetétet?

6. feladat (D). Egy műhelyben egy kapcsolószekrény belső hőmérséklete 48 °C-on stabilizálódott, amikor a külső hőmérséklet 28 °C volt. A készülékek gyártói adatlapja szerint a megengedett maximális környezeti hőmérséklet 50 °C. A szekrényben a mért összes hőveszteség 90 W. Nyáron a külső hőmérséklet 35 °C-ig emelkedhet, a szekrényben legfeljebb 45 °C-ot szeretnénk tartani. Döntsd el, szükséges-e beavatkozás! Ha igen, javasolj hűtési megoldást, és becsüld meg a szükséges légáramot 10 K levegő-felmelegedéssel (a passzív leadást a 45 °C-os célhőmérsékletre számold).

34.2.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. A DIN-sín a készülékek gyors, szabványos rögzítésére szolgál; a leggyakoribb típusa 35 mm széles (TS35).
2. Hamis. A gyűjtősín terhelhetősége függ a környezeti hőmérséklettől, mert a melegebb környezetben kisebb a hőelvezetés, így a megengedett áram csökken.
3. Igen, mert a megengedett hőmérsékleten a szekrény csak 40 W-ot tud leadni; kényszerhűtés nélkül a belső hőmérséklet a megengedettnél magasabban állna be (az egyensúlyi ΔT itt a megengedett kétszerese, 30 K).
4. A fűtőbetét a szekrény belső hőmérsékletét a harmatpont felett tartja, megelőzve a páralecsapódást, a korróziót és az átívelést.
5. $\dot{V} = \frac{100-30}{1{,}2 \cdot 1005 \cdot 10} = \frac{70}{12060} \approx 0{,}0058\,\mathrm{m^3/s} = 20{,}9\,\mathrm{m^3/h}$.

Feladatok megoldásai

1. feladat. Felső tápzóna (gyűjtősín), középső készülékmező (kismegszakító), alsó kábelezési zóna (sorkapocs), hűtő/fűtő zóna (ventilátor). A megoldás a szövegben bemutatott rétegződésre épül.

2. feladat.

$$P_{\text{összes}} = 6 \cdot 2 + 3 \cdot 9 + 12 + 7 = 12 + 27 + 19 = 58\,\mathrm{W}$$

3. feladat. Adott: $k = 5\,\mathrm{W/(m^2 \cdot K)}$, $A = 2{,}2\,\mathrm{m^2}$, $\Delta T = 45 - 30 = 15\,\mathrm{K}$. A passzív leadás:

$$P_{\text{lead}} = 5 \cdot 2{,}2 \cdot 15 = 165\,\text{W}$$

A teljes veszteség 58 W, ami kisebb 165 W-nál (a 45 °C-os belső hőmérsékletre vonatkozó leadásnál), tehát a passzív hűtés elegendő, kényszerhűtésre nincs szükség. A belső hőmérséklet a valóságban ennél alacsonyabban fog stabilizálódni.

4. feladat. A szekrényből elvonandó hő: $150 - 70 = 80\,\text{W}$. A légáram:

$$\dot{V} = \frac{80}{1{,}2 \cdot 1005 \cdot 8} = \frac{80}{9648} \approx 0{,}00829\,\text{m}^3/\text{s}$$

Átváltva: $0{,}00829 \cdot 3600 \approx 29{,}8\,\text{m}^3/\text{h}$. Tehát körülbelül 30 m³/h légáram kell.

5. feladat. A vázlat a funkcionális rétegződés alapján készül. A frekvenciaváltó kerül felülre, mert nagy hőleadású, és a meleg levegő felfelé szállva távozik a szekrényből, így nem melegíti az alsóbb zónában levő érzékeny elektronikát. A szellőző ventilátort alulra, a szűrt kifúvónyílást felülre, a fűtőbetétet az alsó zónába, de a kábelektől távol, lehetőleg a hideg levegő beömléséhez közel helyeznénk el. A vezérlő elemek (PLC, relék, tápegység) a középső zónában, a frekvenciaváltó alatti meleg légáramon kívül kapnak helyet.

6. feladat. Állandósult állapotban a szekrény falán át pontosan a 90 W veszteség távozik, így $kA = 90/(48-28) = 4{,}5\,\text{W/K}$. 35 °C külső hőmérsékletnél a belső hőmérséklet $35+90/4{,}5 = 55\,°\text{C}$ lenne, ami meghaladja a megengedett 50 °C-ot, a célhőmérséklet (45 °C) pedig még inkább kívül esik: beavatkozás szükséges. A 45 °C-os célnál a passzív leadás $4{,}5 \cdot 10 = 45\,\text{W}$, a maradék 45 W-ot szellőztetéssel vezetjük el:

$$\dot{V} = \frac{90 - 45}{1{,}2 \cdot 1005 \cdot 10} = \frac{45}{12060} \approx 0{,}00373\,\text{m}^3/\text{s}$$

Átváltva: $0{,}00373 \cdot 3600 \approx 13{,}4\,\text{m}^3/\text{h}$. Egy 50 m³/h-s szűrőventilátor elegendő lehet, de a szűrő ellenállása és a szekrény tömítettsége miatt a gyártói méretezés szerint kell ellenőrizni.

34.2.14. Rövid összefoglaló

A kapcsolószekrény belső felépítését a funkció, a hőelvezetés és a szerelhetőség határozza meg. A szerelőlemez a készülékek stabil alapja, a DIN-sín (TS35) a gyors rögzítést szolgálja, a gyűjtősín pedig a nagy áramok közösítésére való. A gyűjtősínek terhelhetőségét a gyártói adatok adják meg, rögzítésüket a zárlati erőhatásokra is méretezni kell. A készülékeket zónákba rendezzük: felül a nagy hőleadású elemek, középen az érzékeny elektronika, alul a kábelezés. A hűtés szükségességét a hőveszteségek összegzésével és a szekrény passzív hőleadásával állapítjuk meg: ha a veszteség nagyobb, mint a megengedett belső hőmérsékleten számított passzív leadás ($kA(T_{i,\max} - T_{a,\max})$), kényszerhűtés kell. A szellőztetés méretezésére a $\dot{V} = P_{\text{maradék}}/(\rho c_p \Delta T)$ közelítő képletet használjuk. Hűvös, párás környezetben a páralecsapódás ellen fűtőbetéttel tartjuk a belső hőmérsékletet a harmatpont felett. Ezek a hőtani alapelvek a Védettség (IP, IK), különleges környezet és klimatizálás alfejezet hűtési-fűtési méretezését alapozzák meg.

34.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

A szekrények, sínek, szerelőlemezek mechanikai adatait, a hőátadási tényezőket és a veszteségi teljesítményeket a gyártói katalógusok (szekrénygyártók katalógusai) és a beépített készülékek adatlapjai tartalmazzák. A vonatkozó szabványok az MSZ EN 61439 sorozat és az MSZ EN 60529. A szövegben használt konkrét értékek (hőátadási tényező, szerelési távolság, veszteségi teljesítmény) tanulási példák, nem tervezési előírások. A tervezéshez a hatályos szabványkiadást és a gyártói adatlapokat ellenőrizni kell.

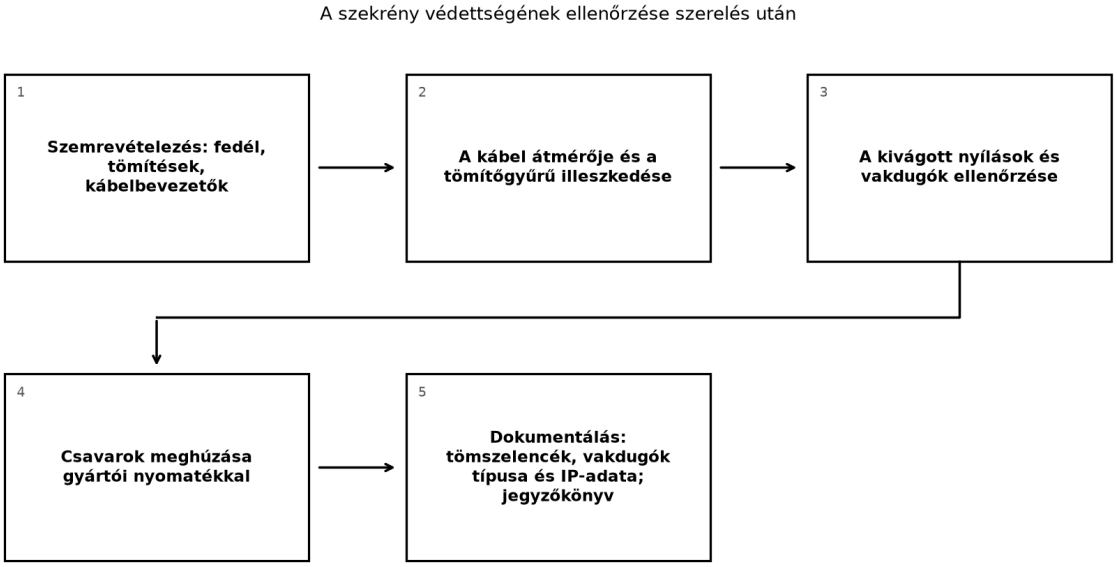
34.3. Védettség (IP, IK), különleges környezet és klimatizálás

34.3.1. Motiváció

A kapcsolószekrényt nem légüres térbe szereljük. Egy kültéri elosztó naponta ki van téve esőnek, hónak, pornak, a nyári tűző napon belül a hőmérséklet meghaladhatja a készülékek üzemi határát, télen pedig páralecsapódás okozhat zárlatot. Egy poros asztalosműhelyben a finom fűrészpor a hűtőventilátor nyílásán át a szekrénybe jutva lerakódik a meleg készülékeken és a gyűjtősíneken; éghető por, ezért tűzveszélyt jelent, nedvesen pedig kúszóáramot is okozhat. A megfelelő védettség nem kényelmi kérdés: érintésvédelmi, hő- és tűzvédelmi feltétel, és a szerelőnek a helyszíni körülmények alapján kell kiválasztania a szekrényt és a szerelési módot.

34.3.2. Szemléletes kép

Az elosztószekrény védettségét a burkolat jelölése mondja meg. Az IP- és IK-kódok a szerelő számára rövid, szabványos nyelvet adnak, hogy megítélje, hol használható az adott szekrény. A védettségi fokozat azonban csak annyiban igaz, amennyiben a szerelés során megőrizzük: a ki nem használt kábelbevezetők, a rosszul illeszkedő tömszelence és a deformálódott ajtótömítés egyaránt lerontja a gyári IP-fokozatot. Az alábbi ábra azt a folyamatot mutatja, amelyet szerelés után követni kell ahhoz, hogy a védettség ne csak a papíron maradjon meg.



34.5. ábra. A szekrény védettségének ellenőrzése szerelés után - Az IP/IK védettség csak akkor marad meg, ha a kábelbevezetések, a fedél és a tömítések sértetlenek.

A folyamatban minden lépés arra irányul, hogy a burkolatot a gyári állapotnál ne gyengébbé tegyük. Aki a kábelbevezetést sietősen intézi, később zárlatot, szigetelési hibát vagy érintésveszélyt okoz.

34.3.3. IP-kód: a burkolat védettsége

Definíció. Az **IP-kód** (International Protection, régebben Ingress Protection) a villamos gyártmányok burkolata által nyújtott védettség szabványos jelölése. Két számjegyből áll: az **első számjegy** a szilárd idegen testek és a por behatolása elleni védelmet, a **második számjegy** a víz behatolása elleni védelmet jelzi. A kód kiegészítő betűket is tartalmazhat, amelyek pontosítják a védelmet.

A gyakori első számjegyek:

- `IP2X`: 12,5 mm-nél nagyobb szilárd testek ellen véd (pl. ujj). Elosztókban legalább ezt szokás kérni, hogy a szigeteletlen részekhez ne lehessen kézzel hozzáférni.
- `IP3X`: 2,5 mm-nél nagyobb eszközök ellen véd (pl. vékony szerszám).
- `IP4X`: 1 mm-nél nagyobb testek ellen véd (pl. csavarhúzó hegye, drót).
- `IP5X`: por ellen véd (nem teljesen portömör, de a bejutó por nem akadályozza a működést és nem veszélyezteti a biztonságot).
- `IP6X`: teljesen portömör.

A második számjegyek közül a legfontosabbak:

- `IPX0`: nincs vízvédelem.
- `IPX1`: függőlegesen lecsapódó vízcseppek ellen véd.
- `IPX2`: függőlegesen csepegő víz ellen véd, ha a burkolat legfeljebb 15°-kal meg van döntve.
- `IPX3`: 60°-ig terjedő szögben eső víz ellen véd.
- `IPX4`: fröccsenő víz ellen véd bármely irányból.
- `IPX5`: fúvókával, több irányból irányított vízsugár ellen véd.

- `IPX6`: erős vízsugár ellen véd.
- `IPX7`: átmeneti (30 perces) vízbe merítés ellen véd, legfeljebb 0,15–1 m mélységben, a szabványban rögzített módon (ellenőrizendő: pontos feltételek).
- `IPX8`: tartós vízben történő merítés ellen véd, a gyártó által megadott feltételekkel.

Ha egy számjegyet nem kell megadni (nem vizsgálták, vagy a felhasználás szempontjából nem lényeges), a helyére `X` kerül (pl. `IP2X`, `IPX4`; ellenőrizendő: MSZ EN 60529). Ez nem azonos a `0`-val: a `0` azt jelenti, hogy az adott hatás ellen nincs védelem (pl. `IP20` – víz ellen nem védett, míg az `IP2X` a vízvédelemről semmit nem állít). A kiegészítő betűk közül a gyakorlatban előfordulnak:

- `A`, `B`, `C`, `D`: a veszélyes részekhez való hozzáférés elleni védelem (rendre kézfej, ujj, szerszám, huzal), ha az nagyobb, mint amit az első számjegy jelez.
- `H`: nagyfeszültségű készülékre utal.
- `M`: mozgó részek (pl. forgó motor) ellenőrzése a vízvédelem vizsgálatakor.
- `S`: álló helyzetre vonatkozó vízvizsgálat.
- `W`: időjárásálló.

A teljes táblázatot az aktuális szabvány tartalmazza; a fenti felsorolás a villanyszerelői mindennapokban elegendő tájékozódásra.

34.3.4. IK-kód: ütésállóság

Definíció. Az **IK-kód** a burkolatok mechanikai ütésállóságát jelöli. Két számjegyből áll, és a ráeső, meghatározott energiájú ütések elviselését fejezi ki. Például `IK07` azt jelenti, hogy a burkolat kb. 2 J ütési energiát visel el, `IK10` pedig kb. 20 J-t (ellenőrizendő: a pontos energia- és tömegadatokat az MSZ EN 62262 tartalmazza).

A magas IK-fokozat olyan helyeken fontos, ahol a szekrényt targoncák, kéziszerszámok, labdák vagy vandalizmus érheti. Ipari csarnokokban, közlekedőutak mellett, iskolákban, kültéri berendezéseknél az IK08–IK10 gyakori követelmény. A törékeny vagy könnyen benyomódó ajtóburkolat hiába teljesíti az IP65-öt, ha egy ütés után a fedél réseket nyit, és a védettség megszűnik.

34.3.5. Szabványi háttér

Szabvány. A védettségi fokozatok vizsgálati eljárásait és jelölését a következő szabványok határozzák meg:

- MSZ EN 60529 – Villamos gyártmányok burkolatai által nyújtott védettségi fokozatok (IP-kód).
- MSZ EN 62262 – Villamos gyártmányok burkolatainak mechanikai ütésállósági fokozatai (IK-kód).
- MSZ HD 60364-5-51 – az épületvillamos berendezések kiválasztásának és szerelésének környezeti besorolásai; a helyiség külső hatásai alapján lehet kiválasztani a megfelelő burkolatot. **(ellenőrizendő: a megfelelő fejezet és a besorolási kódok.)**

A szabványok nemcsak a kódot, hanem a vizsgálati módszert is rögzítik: például az IP54 szekrényeket porvizsgálatnak és fröccsenővíz-vizsgálatnak vetik alá. Az IP-vízsugaras és porvizsgálat laboratóriumi típusvizsgálat, nem a szerelő helyszíni feladata. A szerelő a burkolaton csak a gyártó által megengedett helyen és módon (előkivágás, gyártói szerszám, a burkolat IP-fokozatának megfelelő tömszelence vagy vakdugó) alakíthat ki nyílást; tömítetlen nyílás, szellőzőfurat vagy

a falvastagságot gyengítő kivágás lerontja a védettséget, mert a vizsgálati feltételek már nem teljesülnek.

34.3.6. Különleges környezetek

A szekrényt a beépítési hely külső hatásai szerint kell megválasztani. A leggyakoribb kategóriák:

34.3.6.1. Nedves, párafüggő környezet

Mosóhelyiségben, konyhában, fröccsenő víznek kitett területen legalább `IPX4` vízvédelem szükséges. Fürdőszobában az elosztót a 0–2. zónán kívül kell elhelyezni: ezekben a zónákban kapcsoló- és elosztóberendezés, dugaszolóaljzat nem lehet (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701). Ha a szekrény takarítás során vízsugárral érintkezhet, az `IPX5` gyakoribb. A páralecsapódás különösen akkor veszélyes, ha a külső hőmérséklet gyorsan változik, és a szekrényben hideg felületen víz kondenzál. Ilyenkor fűtőbetét vagy páramentesítő szellőztetés szükséges, és a kábelbevezetéseket is párazáró tömszelencével kell ellátni.

34.3.6.2. Poros környezet

Famegmunkáló műhely, malom, cementgyár, papírüzem: a finom por bejutása miatt `IP5X` (por ellen védett) vagy `IP6X` (portömör) szekrényt kell választani. A vezetőképes por (pl. szénpor, fémpor) különösen veszélyes, mert lerakódva szigetelési hibát, kúszóáramot okozhat. Ilyen környezetben a por elleni védekezés mellett a hűtőnyílásokat is úgy kell kialakítani, hogy szűrővel megtartsák a védettséget, vagy passzív hűtésű, zárt szekrényt kell alkalmazni.

34.3.6.3. Kültéri környezet

Kültéren a csapóeső, hó, jég, UV-sugárzás és a hőmérséklet-ingadozás mind hat. A gyakorlatban legalább `IP65`, de sokszor `IP66` vagy `IP67` burkolatot választanak. Az UV-álló anyag (pl. üvegszálas poliészter, vagy speciális műanyag) megakadályozza a burkolat törékennyé válását. A fém szekrényeknél a kültéri kivitel korrózióálló bevonatot vagy rozsdamentes acélt igényel. A ferde tető és az alsó él kialakítása segít a víz levezetésében. Fontos, hogy a kültéri szekrény ajtaja ne nyíljon úgy, hogy a csapóeső közvetlenül belejusson; a szekrény belsejében elhelyezett részegységek is legalább a belső csepegő víz ellen védettek legyenek.

34.3.6.4. Tengerparti, korróziós környezet

A sós, párás levegő gyorsan korrodálja a fém burkolatokat, a csatlakozókat és a sorkapcsokat. Tengerparton, uszodában, vegyi üzemben a rozsdamentes acél (pl. 304 vagy 316), speciális tengerálló bevonat, vagy a nagy vegyi ellenállású poliészter burkolat javasolt. A védőcsavarok, záródások is korrózióálló kivitelűek legyenek. A tömítésekből a klór vagy a sós pár a lágy anyagokat kikezdheti, ezért a gyártó által megadott anyagú, klorid ellen stabil tömítés szükséges. Az elektromos csatlakozásoknál a kontaktpaszták és a bevont érvéghüvelyek a fő védelmet adják.

34.3.6.5. Robbanásveszélyes környezet

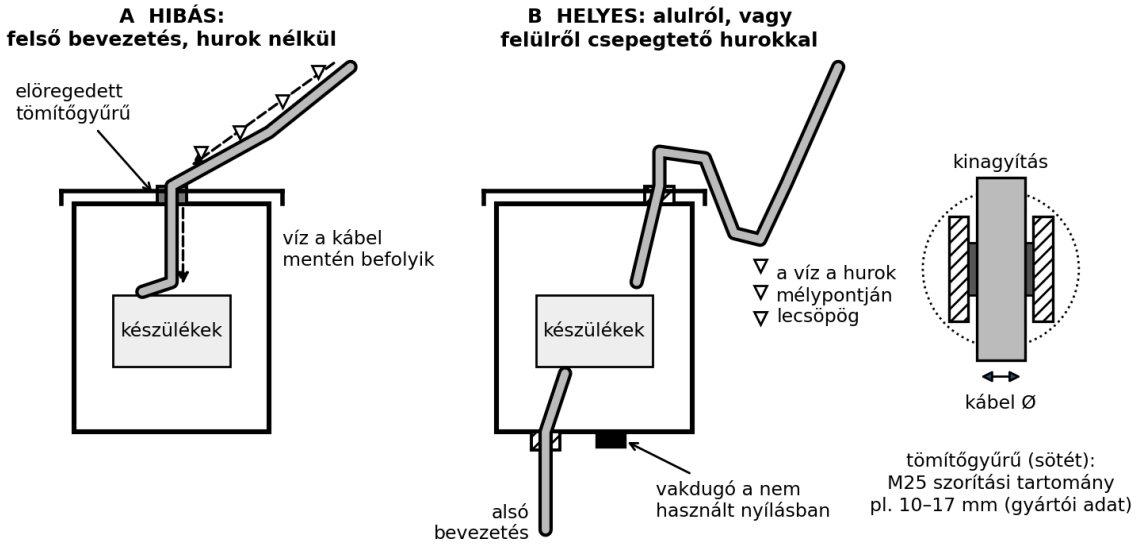
Robbanásveszélyes térben (festőműhely, vegyi üzem, porleválasztó) az IP-kód önmagában nem elegendő; a készülékeknek Ex-minősítésűnek kell lenniük, a besorolás az MSZ EN IEC 60079 sorozat szerint történik. Ilyen helyen a szekrény anyaga, a kábelbevezetés típusa, a statikus feltöltődés elleni védelem és a gyújtóforrások elkerülése mind külön követelmény. Ez a témakör meghaladja a jelen alfejezet kereteit; aki robbanásveszélyes környezetbe szekrényt tervez, az Ex-szakképzett tervezővel dolgozzon.

34.3.7. Kábelbevezetés, tömítés és a védettség megtartása

A legnagyobb szerelői hibák a védettség lerontásában itt keletkeznek. A szekrénybe bevezetett kábelek átmérője és a tömítőgyűrű belső mérete pontosan illeszkedjen. Ha a kábel vékonyabb, mint a tömítőnyílás, rés marad; ha vastagabb, a gyűrű roncsolódik. A metrikus (M) vagy PG típusú kábelbevezetők kiválasztásánál a kábel külső átmérőjét kell figyelembe venni, nem a vezető keresztmetszetét. A kimaradt nyílásokat vakdugóval kell zárni, ugyanolyan tömítési minőségben, mint a bevezetett kábeleket.

A szekrény ajtaját és fedelét a gyártó által megadott csavarnyomatékkal kell zárni. A túlhúzott csavar deformálja a tömítést, a laza csavar pedig nyitott rést hagy. A kábelbevezetésnél a hajlítási sugarak betartása is fontos: a feszülő kábel oldalirányú erőt vihet a tömszelencére, és megszüntetheti annak zárását.

Figyelem. A kültéri szekrény felső részének tömítettsége kritikus. Ha a kábel felülről érkezik, a víz a kábel mentén a tömszelencébe folyhat; ezért a bevezetést alulról vagy oldalról érdemes megoldani, a gyártói előírás szerint. A felülről bevezetett kábel esetén csepegtető hurkot kell kialakítani, és a gyártó által kültérre engedett, legalább a szekrény IP-fokozatának megfelelő tömszelencét kell használni, a gyártói nyomatékkal meghúzva.



34.6. ábra. Kábelbevezetés kültéri szekrénybe: a víz a kábelen fut – alulról vagy csepegtető hurokkal vezessük be

Ábraolvasás. Az A rajzon a kábel felülről, lejtve érkezik a tetőn lévő tömszelencébe: az esővíz a kábel köpenyén lefolyik, és az elöregedett tömítésen át a készülékekre jut. A B rajzon a kábel alulról érkezik, a nem használt nyílás vakdugóval zárt; ha felülről kell bevezetni, az U-alakú

csepegtető hurok mélypontján a víz lecsöpög, mielőtt a tömszelencéhez érne. A kinagyítás azt mutatja, hogy a tömítőgyűrű csak akkor zár, ha a kábel külső átmérője a tömszelence szorítási tartományán belül van (például M25-nél 10–17 mm – gyártói adat, ellenőrizendő). A HTML-kiadásban az ábra három lépésben játszható le: hibás állapot, a víz útja, javított állapot.

34.3.8. Klimatizálás: hőmérséklet és pára

A szekrénybe szerelt készülékek veszteségi hőt termelnek. Ha a burkolat teljesen tömített, a hő nem távozik, és a belső hőmérséklet emelkedik. A gyártói adatlapok megadják az üzemi hőmérséklet-tartományt (pl. -25 °C … +40 °C, ellenőrizendő). A hőelvezetés négy alapmódja:

- **Természetes szellőzés**: a szekrény alsó és felső részén lévő szellőzőnyílásokon hideg levegő áramlik be, meleg távozik. Ez csökkenti az IP-fokozatot (pl. IP20-ra), ezért poros vagy nedves környezetben nem használható.
- **Szűrőventilátoros szellőzés**: ventilátor és szűrő kombinációja, amely a szekrény védettségét a szűrő gyári adatai szerint megtartja (pl. IP54). A szűrőt rendszeresen tisztítani vagy cserélni kell.
- **Passzív hűtés / hőcserélő**: a belső és külső levegő nem keveredik; a hő egy hőcserélőn át távozik, így a szekrény teljesen zárt maradhat. Gyakori eljárás nagy portartalmú, vegyileg agresszív vagy kültéri szekrényeknél.
- **Aktív hűtőgép / klíma**: magas belső hőtermelésnél (frekvenciaváltók, nagy teljesítményű megszakítók) az aktív hűtő tartja a belső hőmérsékletet. A hűtő külső egysége vizet, port, UV-t kaphat, ezért maga is IP-besorolású legyen.

A túl alacsony belső hőmérséklet páralecsapódást okozhat: ha a szekrény hidegebb a környező levegőnél, a nedvesség kicsapódik rajta. Ezért fűtőbetétet építenek be, főleg kültéri vagy hőmérséklet-ingadozó helyeken. A fűtőbetétet úgy kell méretezni, hogy a belső hőmérséklet legalább a környezeti harmatpont felett maradjon. A páralecsapódás ellen gyakran páramentesítő szellőzést is alkalmaznak.

34.3.9. Valós életbeli alkalmazás – hibakeresési eset

Tünet. Kültéri kerti elosztóban a FI-relé (áram-védőkapcsoló) naponta többször leoldott, főleg eső után. A szekrény papírja IP65 volt, de a szerelő sokadszor sem találta a hibát.

Hipotézis. A szekrénybe víz jut, vagy a páratartalom kúszóáramot okoz.

Mérés. A szerelő feszültségmentesítette az elosztót (öt szabály), kinyitotta a szekrényt, és szemrevételezéssel ellenőrizte. A fedél tömítése jó állapotúnak tűnt. A kábelbevezetéseket vizsgálva azt látta, hogy a felülről, a tetőn bevezetett tápkábel tömszelencéjének külső peremén vízcseppek ültek, a belső gumigyűrű pedig elöregedett, repedezett. A kábel lejtése úgy hozta a vizet, hogy az lassan a szekrénybe csorgott. A szigetelési ellenállás mérése a leszerelt készülékek leválasztása után is alacsony értéket mutatott a beázott sorkapocs környékén (ellenőrizendő: a mérési határérték a szabvány szerint).

Ok. A bevezetés felülről, csepegtető hurok nélkül történt, és a tömítőgyűrű elvesztette rugalmasságát. A szekrény IP65 minősítése nem volt érvényes a szerelés után.

Javítás. A kábelt áthelyezték alsó bevezetésre, a régi nyílást vakdugóval zárták. A tömítőgyűrűt új, gyártó által megadott anyagúra cserélték. A vizes sorkapcsot kiszárították, a kötéseket megtisztították, a szigetelési ellenállás helyreállt. A FI-vizsgálat és a hurokimpedancia-mérés rendben volt.

Megelőzés. Kültéri szekrényeknél mindig a gyártói kábelbevezetési útmutatót kell követni: alsó vagy oldalsó bevezetés, csepegtető hurok, megfelelő méretű tömítőgyűrű, a kimaradt nyílások vakdugózása és rendszeres ellenőrzés.

34.3.10. Tipikus hibák

1. **A szekrény IP-fokozatát a szerelés után lerontani.** A gyártó által nem engedett helyen lyukat fúrnak a burkolatba, vagy a nyílást nem tömszelencével, hanem csupasz kábelbevezetéssel oldják meg. Így a gyári védettség semmivé válik. Helyes gyakorlat: a kivágott nyíláshoz mindig megfelelő tömített átvezetőt, vakdugót vagy tömszelencét szerelni.
2. **A kábelátmérő és a tömítőgyűrű méretének rossz párosítása.** A túl vékony kábel a gyűrűben rést hagy, a vastag kábel kinyomja. Helyes: a kábel külső átmérőjére illeszkedő bevezetőt választani, szükség esetén redukáló gyűrűvel.
3. **A szekrény környezeti besorolásának figyelmen kívül hagyása.** Beltéri, IP30-as szekrényt szerelnek be kültérre, mert a katalógusban olcsó volt. A víz és a por bejut, zárlatot vagy érintésveszélyt okoz. Helyes: a helyiség külső hatásai szerint kiválasztani a burkolatot, és az IP/IK mellett a korrózió-, UV- és hőmérsékleti követelményeket is nézni.

34.3.11. Önellenőrzés

1. Mit jelent az IP54?
   Válasz: `5` = por ellen védett (nem teljesen portömör, de a bejutó por nem okoz hibát), `4` = bármely irányból fröccsenő víz ellen védett.
2. Milyen IK-fokozat szükséges ott, ahol targonca ütközhet a szekrénynek?
   Válasz: Nagy ütési energiát elviselő, például IK08–IK10 burkolat, a helyszíni kockázatbecsléstől függően.
3. Miért kell a kimaradt nyílásokat vakdugóval zárni?
   Válasz: Mert a védettséget nemcsak a kábelbevezetők, hanem a burkolat minden nyílása adja; a nyitott furat por- és vízbehatolást, érintésveszélyt okoz.
4. Igaz vagy hamis? Ha egy szekrény IP67, akkor bármilyen kültéri környezetbe jó, és nem kell tömítésre figyelni.
   Válasz: Hamis. Az IP67 a merülést is elviseli, de ha a szerelés során a tömszelencét elrontjuk, vagy a fedelet deformáljuk, a gyári védettség már nem érvényes. A korrózió és az UV-állóság külön kritérium.
5. Mi a különbség az IPX5 és az IPX7 között?
   Válasz: Az IPX5 a több irányból érkező vízsugarat bírja, míg az IPX7 az átmeneti vízbe merítést. A kettő nem egymásból következik: egy IPX5-ös szekrény nem feltétlenül IPX7-es, és fordítva. A gyártó adatlapja mondja meg a pontos vizsgálati feltételeket.

34.3.12. Feladatok

1. feladat (A)
Adja meg az IP65 kód mindkét számjegyének jelentését, és nevezzen meg egy olyan környezetet, ahol ez a szekrény jól használható.

2. feladat (A)
Egy beltéri, poros asztalosműhelybe elosztószekrényt kell választani. Írja le, milyen IP-fokozat lenne a minimum, és indokolja meg, miért.

3. feladat (B)
Két szekrényt hasonlít össze: az egyik IP54, a másik IP66. Melyiket választaná kültéri, szabadban álló elhelyezésre, ahol eső és hó éri, és miért? Milyen IK-fokozatot tenne hozzá, ha a szekrényt targonca is megközelítheti?

4. feladat (B)
Egy szekrénybe felülről vezetnek be egy kábelt, csepegtető hurok nélkül. Rajzolja le a hibát, és írja le, hogyan kell helyesen megoldani a bevezetést. (A rajzot szövegesen is megadhatja: hol van a szekrény, hol érkezik a kábel, mit teszünk.)

5. feladat (C)
Kültéri szekrényben a hőmérséklet nyáron eléri a 60 °C-ot, és a kismegszakítók melegedés miatt leoldanak. Milyen éghajlati szabályozást választana, hogy a védettség továbbra is IP65 maradjon? Indokolja, miért nem elegendő pusztán szellőzőnyílásokat vágni a szekrénybe.

6. feladat (D)
Egy ügyfél szekrénye folyamatosan leoldó FI-relé hibával küzd. Feltételezzük, hogy a hiba a szekrényben lévő kábelbevezetésnél van. Sorolja fel az öt biztonsági szabályt, majd írja le, milyen vizsgálatokat végez a szerelő, és mi a helyes javítás.

34.3.13. Megoldások

1. feladat (A)
IP65: `6` = por ellen teljesen tömített, `5` = fúvókával, bármely irányból irányított vízsugár ellen védett. Kültéri, időjárásnak kitett szekrényhez jó, de UV- és korrózióállóság is szükséges.

2. feladat (A)
Minimum `IP54`: `5` = por ellen védett, `4` = fröccsenő víz ellen véd. Poros műhelyben a bejutó por nem károsíthatja a készülékeket; a vezetőképes por esetén IP6X ajánlott. Az éghető por (például fűrészpor) miatt a műhely tűzveszélyes környezetnek minősülhet: legalább IP5X burkolat, a készülékek felületi hőmérsékletének korlátozása és rendszeres portalanítás szükséges (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-42, -5-51, OTSZ).

3. feladat (B)
Kültérre az IP66 jobb, mert erős vízsugár ellen is véd, és a teljesen portömör kivitel csökkenti a belső szennyeződést. Az IP54 inkább beltéri, fröccsenő vízzel érintett helyszínre való. Targonca esetén IK08–IK10 közötti mechanikai ütésállóságot kell választani, a várható ütési energia függvényében.

4. feladat (B)
Hiba (vö. a kábelbevezetés ábrájának A részével): a kábel felülről, lefelé lejtve érkezik, a víz a kábel mentén a bevezetőhöz folyik. Helyes: alulról vagy oldalról bevezetni, a felülről érkező kábelnél csepegtető hurkot (U-alakot) hagyni, hogy a víz a mélyponton lecsepegjen, majd a kábelt a szekrény IP-fokozatának megfelelő tömszelencével, a gyártói nyomatékkal rögzíteni.

5. feladat (C)
Ha a védettséget IP65-ben kell tartani, szellőzőnyílásokat nem vághatunk, mert azok rontják a por- és vízvédelmet. Megoldás: aktív hűtőgép vagy passzív hőcserélő, amelyek a belső hőt a külső levegővel keveredés nélkül vezetik el. A hűtőgép külső egysége IP65, a hűtőbetét pedig gyárilag a szekrénybe illesztett. Télen páralecsapódás ellen fűtőbetét szükséges. A méretezést a készülékveszteség és a megengedett belső hőmérséklet adja (gyártói adatlapok).

6. feladat (D)
Öt biztonsági szabály: 1) lekapcsolás, 2) visszakapcsolás elleni biztosítás, 3) feszültségmentesség ellenőrzése, 4) földelés és rövidrezárás, 5) szomszédos feszültség alatti részek lefedése. A szerelő ezután feszültségmentes állapotban kinyitja a szekrényt, szemrevételezi a kábelbevezetéseket, megnézi a tömítőgyűrűk állapotát, a csavarok meghúzását. Szigetelési ellenállást mér a gyanús áramkörön (a készülékek leválasztása után), ellenőrzi, hogy a kábel melyik irányból érkezik, van-e csepegtető hurok. Ha a tömítés repedt, cseréli, a kábelt áthelyezi alsó bevezetésre, a nyílásokat vakdugózza, majd a FI-vizsgálatot és hurokimpedanciát mérve ellenőrzi a javítást.

34.3.14. Rövid összefoglaló

A kapcsolószekrény védettsége két kóddal jellemezhető. Az IP-kód (MSZ EN 60529) első számjegye a szilárd testek és a por, második a víz elleni védelmet adja; kiegészítő betűk (A–D a hozzáférés elleni védelem, H, M, S, W további információk) pontosítanak. Az IK-kód (MSZ EN 62262) a mechanikai ütésállóságot jelzi. A szekrényt a beépítési hely külső hatásai szerint kell választani: nedves, poros, kültéri, tengerparti és robbanásveszélyes környezetben más-más követelmény érvényes, a korrózió, UV, hőmérséklet és páratartalom együttes figyelembevételével. A gyári védettséget minden szerelői beavatkozás, főként a kábelbevezetés, a tömítés és a fedelet rögzítő csavarok meghúzása befolyásolja: a kimaradt nyílásokat vakdugóval, a kábeleket méretpontos tömszelencével kell szerelni. A klimatizálás célja a belső hőmérséklet és pára szabályozása úgy, hogy a védettség ne romoljon; szűrőventilátor, hőcserélő vagy hűtőgép használható. **Továbbvitt eredmény.** Az IP- és IK-kód ismerete szükséges a Mérő- és jelzőkészülékek, feliratok és dokumentáció alfejezethez: a feliratoknak és készülékeknek is megfelelő védettségű burkolatban kell maradniuk, és az adott környezetben olvashatóknak kell lenniük.

34.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

Az IP-kód (MSZ EN 60529), az IK-kód (MSZ EN 62262) és a kapcsolóberendezések (MSZ EN 61439, MSZ HD 60364-5-51) hivatkozásainak aktuális kiadását, az AD/AE külső hatás kódokat, az Ex-besorolás részleteit (MSZ EN IEC 60079 sorozat) és a megadott hőmérséklet-tartományokat a kiadás előtt ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: kiadások, gyártói adatlapok)**. Az IP-fokozat helyszíni igazolása nem szerelői feladat: a gyártói utasítás és a dokumentáció a mérvadó.

34.4. Mérő- és jelzőkészülékek, feliratok és dokumentáció

34.4.1. Az elosztó mérő- és jelzőkészülékei: miért nem „csak dísz” a műszer az ajtón?

Amikor egy ipari kapcsolószekrényt vagy lakáselosztót átadunk, a megrendelő gyakran először nem a kapcsolási rajzot nézi, hanem az ajtót: van-e benne feszültségmérő, ampermérő, világítanak-e a jelzőlámpák. Neki ezek a műszerek jelentik az üzem közbeni visszajelzést. Ha a műszer rosszul van kiválasztva, rosszul van bekötve, vagy a felirata nem egyezik a rajzzal, akkor a karbantartó később téves következtetést vonhat le, rossz áramkört kapcsolhat le, vagy éppen hibát nem vesz észre. Ezért ebben az alfejezetben a mérő- és jelzőkészülékek kiválasztását, feliratozását, valamint a kapcsolószekrény teljes dokumentációjának összeállítását járjuk körül.

Képzeljünk el egy elosztóajtót, ahol a következők vannak elhelyezve:

34.7. ábra. Feszültségmérő és jelzőlámpa elvi bekötése (TN-S, 230/400 V) - Szemléltető rajz: Q2 a mérő- és jelzőkör kismegszakítója (az L1 fázisról); P1 voltmérő és H1 zöld jelzőlámpa egyaránt a Q2 kimenete és az N-sín közé kötve. A PE-sín a szekrény fémházát és ajtaját köti be, a mérőkör nem csatlakozik rá. Az árammérő bekötését a szöveg áramváltós módon tárgyalja.

A rajz azt mutatja, hogy a feszültségmérőt és a jelzőlámpát egyaránt a Q2 kimenete (fázis) és az N-sín közé kötjük; a PE-sín a szekrény fémházát és ajtaját köti be. A Q2 kismegszakító a mérő- és jelzőkörök védelmét látja el, így a műszerköri hiba nem veszélyezteti a teljes elosztót. A valós elosztóban a feszültségmérő lehet átkapcsolóval ellátott háromfázisú műszer is, amellyel az L1, L2 és L3 feszültségeket egyetlen műszerrel váltogatva ellenőrizzük.

34.4.2. Mérő- és jelzőkészülékek szerepe az elosztóban

Definíció. Az elosztóba beépített mérőműszer olyan készülék, amely a kapcsolóberendezés valamely villamos jellemzőjét – feszültséget, áramot, teljesítményt, energiát, frekvenciát – folyamatosan vagy kiértékelhető módon megjeleníti az üzemeltető vagy a karbantartó számára.

A leggyakoribb elosztóban használt mérő- és jelzőkészülékek:

Jelölés	Készülék	Mit mutat, mire való
P1	Feszültségmérő (voltmérő)	A gyűjtősín vagy leágazás feszültségét mutatja; feszültség alatti állapot és fáziskimaradás jelzésére is használható.
P2	Ampermérő (árammérő)	Az egyes leágazások áramfelvételét mutatja; segít felismerni a túlterhelést.
P3	Teljesítménymérő, cosφ-mérő	Hatásos teljesítményt vagy teljesítménytényezőt mutat.
P4	Energiamérő (kWh)	A fogyasztást méri; a hálózati mérő mellett almérőként használható.
H1, H2, H3	Jelzőlámpák	Feszültség jelenlétét, kapcsoló állapotát vagy hibát jeleznek.
H4	Hangjelző	Hiba, túlterhelés vagy megengedett időn túli üzem esetén hangjelzést ad.

A voltmérőt mindig párhuzamosan kötjük a mérendő feszültségre, pontosabban a fázis és a nulla vagy két fázis közé. A ampermérőt sorosan kötjük az áramútba; kis áramoknál közvetlenül, nagyobb áramnál áramváltón keresztül. A Teljesítmény- és energiamérés, fogyasztásmérők alfejezetben látott áramváltó-alapelvet tehát az elosztóban is használjuk: a beépített ampermérők szekunder oldala leggyakrabban 5 A vagy 1 A névleges áramú.

Szabály. Az áramváltó szekunder kapcsait üresen, terhelés nélkül tilos hagyni. Ha az ampermérő nincs bekötve, a szekunder kapcsokat rövidre kell zárni; különben a nyitott áramváltón veszélyes túlfeszültség jelenhet meg.

Példa – áramváltó leolvasása. Egy elosztóban 100/5 A áramváltóra 0–5 A skálájú ampermérőt kötöttek. A műszer 4,67 A-t mutat.

Kiszámítjuk a primer áramot:

$$I_{\text{primer}} = \frac{100}{5} \cdot I_{\text{szekunder}} = 20 \cdot 4{,}67 = 93{,}4 \text{ A}$$

A leágazás terhelése tehát körülbelül 93 A.

Példa – jelzőlámpa árama. A műszerköri kismegszakító kiválasztásához tudni akarjuk, mekkora áramot vesz fel egy 230 V-os, 0,5 W-os LED jelzőlámpa.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{0{,}5 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0{,}00217 \text{ A} = 2{,}17 \text{ mA}$$

A 6 A-es kismegszakító tehát bőségesen védi a műszerkört; itt a méretezés nem a jelzőlámpa fogyasztása, hanem a vezeték- és zárlatvédelem miatt fontos.

34.4.3. A mérő- és jelzőkészülék kiválasztásának lépései

Szabály. A mérőműszer kiválasztásánál a következőket vizsgáljuk:

1. Milyen mennyiséget akarunk mérni vagy jelezni?
2. Mekkora a hálózati feszültség és a várható áram?
3. Milyen a környezet: por, nedvesség, hőmérséklet, rázkódás?
4. Milyen pontossági osztály elég a feladathoz?
5. Be kell-e iktatni mérőváltót?
6. Milyen védettséggel kell az ajtóba szerelhetőnek lennie? Az IP-védettséghez lásd a Védettség (IP, IK), különleges környezet és klimatizálás alfejezetet.

A gyakorlatban egy kapcsolószekrény ajtajába választott műszer akkor jó, ha a beszerelés után is elérhető a csatlakozókapcsa, a skálája jól olvasható, a vezetékei rendezetten, érvéghüvellyel csatlakoznak, és a felirata megegyezik a kapcsolási rajz jelölésével.

A jelzőlámpák színe nem önkényes. Ipari vezérléseknél a leggyakoribb alapjelentés:

- piros: vészhelyzet, veszélyes állapot (azonnali beavatkozás);
- sárga: figyelmeztetés, rendellenes állapot;
- zöld: normál üzem, bekapcsolt állapot;
- kék: kötelező tevékenység (a kezelőnek be kell avatkoznia, pl. nyugtázás, visszaállítás);
- fehér: semleges vagy egyéb jelzés.

Megjegyzés. A kapcsolóberendezések állásjelzőinek színét a projektdokumentáció rögzíti; régi erősáramú berendezéseken a piros a bekapcsolt állást is jelentheti, ezért mindig a dokumentáció és a felirat a mérvadó **(ellenőrizendő: MSZ EN 60204-1, MSZ EN 60073)**.

Szabvány. A gépek villamos berendezéseiben a kezelő- és jelzőszínek követelményeit az MSZ EN 60204-1 szabályozza; az elosztóberendezések megjelölésére és dokumentációjára az MSZ EN 61439 sorozat ad keretet. A rajzjelekre az MSZ EN 60617, az ellenőrzésre és mérésre az MSZ HD 60364-6 alkalmazandó. A konkrét színjelentéseket és a feliratok formáját mindig az aktuális szabványkiadás és a gyártói adatlap szerint kell ellenőrizni. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás, színjelentés-táblázat)**

34.4.4. Feliratok, színek és áramkör-jelölések

Definíció. A felirat az elosztóban elhelyezett olyan azonosító vagy tájékoztató szöveg, amely a készüléket, az áramkört, a műszert vagy a kezelőszervet egyértelműen összekapcsolja a dokumentációval.

A feliratozás alapelvei:

- Minden készülék kapjon a rajzzal megegyező referenciajelölést, például Q1, Q2, F1, K1, H1, P1.
- A feliratot úgy helyezzük el, hogy a készülék azonosítása akkor is lehetséges legyen, ha az ajtó nyitva van, vagy a kábeltálcában dolgozunk.
- A védővezetőt ne jelöljük kizárólag ragadós szalaggal; magát a vezetőt a szabványos zöld-sárga színnel kell azonosítani.
- A kapocscímkék a kapcsolási rajz kapocsszámozásával egyezzenek, például L1, L2, L3, N, PE, U1, V1, W1.

A főáramköri vezetők színei a magyar és európai gyakorlatban:

- fázis: barna, fekete, szürke;
- nulla: világoskék;
- védővezető: zöld-sárga.

Hiba. A zöld-sárga védővezetőt tilos fázis- vagy nullavezetőként használni, és a kék nulla vezetőt sem szabad védővezetőként alkalmazni. A vezeték színe nem önmagában véd, hanem a rajz–valóság–mérés hármas egyik azonosítója.

Az áramköröket az elosztó belsejében célszerű számozni. Egy egyszerű jelölés lehet például:

- 1. áramkör: betáplálás, főkapcsoló;
- 2. áramkör: aljzatkör;
- 3. áramkör: világítási kör;
- 4. áramkör: szivattyú leágazás.

Ezt a sorszámozást a kábeltáblázatban és az egyvonalas rajzon is feltüntetjük.

34.4.5. Egyvonalas rajz, kapcsolási rajz és kábeltáblázat

A kapcsolószekrény átadásához nem elég egyetlen fénykép a beépített készülékekről. A dokumentációnak tartalmaznia kell legalább az alábbi három műszaki leírást:

1. **Egyvonalas rajz.** A gyűjtősínt, a főkapcsolót, a leágazásokat, a védelmeket, a mérőműszereket és a fogyasztókat egyetlen vonallal ábrázolja. Célja, hogy a rendszer felépítését gyorsan lehessen látni. Nem ábrázol minden kapcsot és segédérintkezőt, ezért mellé mindig kell kapcsolási rajz.
2. **Kapcsolási rajz.** Az áramkörök teljes, kapocs szintű összekötését mutatja. Itt jelenik meg a tekercs, az érintkező, a jelzőlámpa, a mérőműszer és a segédérintkező is. A szerelő ebből tudja beazonosítani, hogy az adott vezetéknek pontosan hová kell mennie.
3. **Kábeltáblázat.** Az elosztóból kiinduló vagy oda érkező kábelek legfontosabb adatait foglalja össze. Egy tipikus részlet:

Kábel jele	Típus	Keresztmetszet	Védelmi szerv	Fogyasztó	Megjegyzés
W1	NYY-J	5×10 mm²	Q3, 50 A	Szivattyú	TN-S, 400 V
W2	NYM-J	5×2,5 mm²	Q4, 16 A	Dugaszoló aljzatok	3 fázisú
W3	NYM-J	3×1,5 mm²	Q5, 10 A	Világítás	230 V

A kábeltáblázatban a védelmi szerv és a keresztmetszet összetartozik. A helyes méretezési alapelv röviden: a vezeték terhelhetősége legyen legalább akkora, mint a védelmi szerv névleges árama, és a védelmi szerv névleges árama legalább akkora, mint a várható üzemi áram. Ennek pontos feltételeit a Vezetékvédelem, koordináció és zárlati áram alfejezet tárgyalja.

34.4.6. Átadás: mérések és ellenőrzések jegyzőkönyve

Az átadási dokumentáció tartalmazza a mérési jegyzőkönyvet is. A jellemzően elvégzendő mérések és ellenőrzések:

- szemrevételezés: kötések, feliratok, vezetékszínek, védettség, érvéghüvelyek;
- védővezető folytonossága;
- szigetelési ellenállás;
- hurokimpedancia és a várható zárlati áram;
- áram-védőkapcsoló kioldási próbája;
- működési próbák: kapcsolók, jelzőlámpák, mérőműszerek, reteszelések;
- hőmérsékleti vagy hőfényképes ellenőrzés, ha az indokolt.

Továbbvitt eredmény. Az itt elkészített mérési jegyzőkönyv-minta, kábeltáblázat és feliratozási rend készenléti dokumentációként használható a Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru, a Világítási áramkörök építése: egypólusú, váltó, kereszt és a Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése alfejezetek gyakorlati feladataiban. A mérési eredményeket csak hiteles, a mérési kategóriának megfelelő műszerrel, feszültségmentesítés után vagy megfelelő jogosultsággal szabad felvenni.

34.4.7. Szabvány

Szabvány. A kapcsolóberendezésre vonatkozó elosztószabvány a komplett kapcsolóberendezés dokumentációját, feliratozását és a gyártói megfelelőségi nyilatkozatot is megköveteli. A kisfeszültségű elosztóberendezések esetében ehhez az MSZ EN 61439 sorozatot (a középfeszültségű kapcsolóberendezéseknél az MSZ EN 62271 sorozatot – ellenőrizendő: aktuális kiadás), a gépvillamos berendezések kezelőszerveinek és jelzőlámpáinak színeire az MSZ EN 60204-1-et, a rajzjelekre az MSZ EN 60617-et, az ellenőrzésre az MSZ HD 60364-6-ot kell alapul venni. A készülékek kiválasztásánál a gyártói adatlapok és az adott hálózati engedélyes előírásai is mérvadók. A szabványban rögzített határértékek és a feliratok pontos formája kiadásonként változhat; a konkrét értékeket mindig a hatályos szabvány és az adott termék dokumentációja szerint kell ellenőrizni. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás, vonatkozó pontok)**

34.4.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy ipari mosóüzemben a kapcsolószekrénybe 200/5 A áramváltóval ampermérőt szereltek a mosógép-fűtő leágazás elé. Az ajtóban a műszer szépen mutatta a várt áramot, de a zöld jelzőlámpa nem világított, ezért az üzemeltető azt hitte, hogy a fűtés nincs bekapcsolva. Kiderült, hogy a jelzőlámpa izzótálcája rossz csatlakozóba volt nyomva, és a karbantartó nem talált kapcsolási rajzot sem, mert a dokumentáció hiányos volt. A hibakeresés így órákat vett igénybe, pedig a kapcsolási rajz és a felirat alapján percek alatt be lehetett volna azonosítani a hibát. A tanulság: a műszer önmagában nem elegendő, a jelzőfényt és a rajzot együtt kell üzembe helyezni, és az átadáskor a működési próbát dokumentálni kell.

Egy másik gyakori eset az áramváltó nyitott szekunder köre. Ha a beépített ampermérőt egy módosítás során kikötik, és a szekunder oldalt nem rövidre zárva hagyják, az áramváltó kapcsain veszélyes feszültség alakulhat ki. Ezt a szerelőnek nem szabad „pillanatnyi állapotnak” tekintenie, mert a primer kör bekapcsolásakor a túlfeszültség károsíthatja a műszert vagy balesetet okozhat.

34.4.9. Gyakorlati útmutató: mérő- és jelzőkör, feliratozás és átadási dokumentáció

Gyakorlat. Cél: tanműhelyi elosztómodellen feszültségmérő és jelzőlámpa bekötése, a készülékek feliratozása, valamint a kapcsolószekrény átadási dokumentációjának összeállítása.

Eszközök és anyagok: multiméter, kétpólusú feszültségvizsgáló (MSZ EN 61243-3, ellenőrizendő: aktuális kiadás; a fázisceruza, azaz egypólusú feszültségkereső feszültségmentesség megállapítására nem használható), csavarhúzók, nyomatékkulcs, érvéghüvely-fogó, feliratozó gép vagy feliratkészlet, vezetékek, mérőműszerek, jelzőlámpa, kismegszakító, kapcsolási rajz-űrlap, kábeltáblázat-űrlap, mérési jegyzőkönyv-űrlap.

Biztonsági korlát. A hálózati feszültségen végzett munkát csak jogosult, arra képesített személy végezheti. A feladat tanműhelyi, törpefeszültségű környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Mindig a **feszültségmentesítés öt biztonsági szabályával** kezdj:

1. Lekapcsolás.
2. Visszakapcsolás elleni biztosítás.
3. Feszültségmentesség megállapítása kétpólusú feszültségvizsgálóval minden pólus között (fázisok egymás között, fázisok–N, fázisok–PE, N–PE), a vizsgáló előtte és utána történő kipróbálásával.
4. Földelés és rövidre zárás, ha szükséges és elrendelt.
5. Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.

A bekötés lépései:

1. Feszültségmentesítsd az elosztót, és ellenőrizd a feszültségmentességet.
2. Ellenőrizd, hogy a kapcsolási rajz és a feliratok megegyeznek-e a ténylegesen beépített készülékekkel.
3. A Q2 mérőköri kismegszakító után kösd be a P1 feszültségmérőt fázis és nulla közé. A fázist a kismegszakító védje, a nullát ne tedd megszakítóba.
4. A H1 jelzőlámpát ugyanígy fázis és N közé kösd, a zöld színű tagot a kívánt üzemállapot-jelzéshez válaszd.
5. Ha a leágazás áramát áramváltón keresztül méred, először kösd be az ampermérőt az áramváltó szekunder kapcsaira, és csak ezután távolítsd el a gyári rövidzárat (a szekunder kör soha nem maradhat nyitva); ha a műszert később kiveszed, előbb zárd rövidre a szekundert. Ha a rövidzáró híd bent marad, a műszer 0 A-t mutat.
6. Az összes vezetéket szereld érvéghüvellyel, és a bekötést a rajz szerint végezd.
7. A folytonosságot és a zárlatmentességet multiméterrel, a szigetelési ellenállást szigetelésvizsgálóval (MSZ EN 61557-2 – ellenőrizendő: aktuális kiadás, egyenfeszültségű mérőfeszültséggel) ellenőrizd, mielőtt a kört feszültség alá helyeznéd.
8. Törpefeszültségű modellen törpefeszültségű (pl. 24 V-os) jelzőlámpát és megfelelő méréshatárú műszert használj, és végezz működési próbát: a voltmérő mutasson értéket, a jelzőlámpa világítson, az ampermérő a betáplált árammal arányos értéket mutasson. Hálózati (230/400 V) műszerekkel és lámpával a működési próbát csak jogosult oktató felügyeletével, hálózati feszültségen végezheted.
9. Készítsd el vagy frissítsd az egyvonalas rajzot, a kapcsolási rajzot és a kábeltáblázatot.
10. Töltsd ki a mérési jegyzőkönyvet a mért értékekkel, dátummal, aláírással és a műszer azonosítójával.

Ellenőrzési pontok: a felirat és a rajz azonos készülékjelet használ; a feszültségmérő a kismegszakító után van; a jelzőlámpa színe megegyezik a tervezett funkcióval; az áramváltó szekunder köre zárt; a mérési jegyzőkönyv minden rovatot tartalmaz.

Tipikus hiba a gyakorlatban: a feliratot a készülék hátoldalára helyezik, ahol szerelés után nem látható, vagy a műszer elé olyan kábelköteget vezetnek, amely eltakarja a skálát.

Dokumentálás: az elvégzett próba és a mért értékek az üzembe helyezési jegyzőkönyvben maradnak. A jegyzőkönyvhöz csatold a gyártói megfelelőségi nyilatkozatokat és a készülékek adatlapjait is.

34.4.10. Tipikus hibák

Hiba 1. – Az ampermérőt nagy áramú körben közvetlenül kötik be. A 0–5 A-es műszer nem 100 A mérésére készült; a túláram tönkreteszi a műszert, és a hozzá vezető vékony mérővezeték is túlterhelődhet. Helyes: a nagy áramot áramváltóval transzformáljuk mérhető 5 A vagy 1 A értékre.

Hiba 2. – Az áramváltó szekunder körét nyitva hagyják. A nyitott szekunder körön veszélyes feszültség jöhet létre, és a váltó mágneses köre is telítődhet. Helyes: a szekunder kapcsokat rövidre zárva tartjuk addig, amíg a mérőműszer be nincs kötve.

Hiba 3. – A jelzőlámpa színét önkényesen választják meg. Ha a piros jelzi a normál üzemet és a zöld a hibát, a kezelő tévesen dönthet veszélyhelyzetben. Helyes: a szabványos színjelentést használjuk, és a felirattal is egyértelműsítjük a funkciót.

Hiba 4. – A rajz elavul a módosítás után. Átépítés után a szerelő elfelejti javítani az egyvonalas rajzot és a kábeltáblázatot. A későbbi karbantartó rossz áramkört kapcsolhat le, mert a rajz nem a valóságot tükrözi. Helyes: minden átalakítás után a dokumentációt még aznap frissítsük, és a változást az átadásnál tüntessük fel.

34.4.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az áramváltó szekunder kapcsait nyitva lehet hagyni, ha nincs rá mérőműszer kötve. Indokold!
2. Milyen színű jelzőlámpát választanál hiba jelzésére, és mit jelent a zöld jelzőlámpa?
3. Mi a különbség az egyvonalas rajz és a kapcsolási rajz között?
4. Egy 150/5 A áramváltóra kötött ampermérő 4,3 A-t mutat. Mekkora a primer áram?
5. Sorolj fel legalább három oszlopot, amelynek szerepelnie kell egy elosztói kábeltáblázatban.
6. Mi a hiba ebben a jelölésben: a nullavezetőt zöld-sárga színnel jelölik?

34.4.12. Feladatok

1. feladat (A). Azonosítsd a készülékjelöléseket egy elosztóban: Q1, F1, K1, H1, P1.

2. feladat (A). Egy 200/5 A áramváltóhoz tartozó ampermérő 2,7 A-t mutat. Számítsd ki a primer áramot.

3. feladat (B). Egy 400 V-os háromfázisú leágazás 55 kW hatásos teljesítményt szállít, a teljesítménytényező 0,85. Számítsd ki a vonali áramot, és válassz áramváltót, valamint beépített ampermérő skálát! Milyen szekunder áramot mutat a műszer teljes terheléskor?

4. feladat (B). Rajzold le vagy írd le szövegesen egy TN-S elosztó mérőkörének kapcsolását: Q2 kismegszakító után P1 voltmérő fázis és N között, H1 zöld jelzőlámpa ugyancsak fázis és N között. Jelöld a PE-t és az N vezetőt is.

5. feladat (C). Az elosztóban az ampermérő 0 A-t mutat, pedig a motor terhelés alatt működik, és a zöld jelzőlámpa világít. Fogalmazz meg legalább három lehetséges okot, és mindegyikhez írd le, milyen méréssel ellenőriznéd.

6. feladat (D). Készítsd el egy kiselosztó átadási jegyzőkönyvének mérési fejezetét. Az áramkört B16 kismegszakító és 30 mA-es, AC/A típusú áram-védőkapcsoló (RCD) védi; a szigetelésmérés 500 V DC mérőfeszültséggel történt; az RCD-idő $I_{\Delta n}$ mérőárammal mért érték. Tanulási határértékek **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-6, -4-41)**: szigetelés $\geq 1\,\mathrm{M\Omega}$; RCD kioldási idő $I_{\Delta n}$-nél $\leq 300\,\mathrm{ms}$; hurokimpedancia $Z_s \leq 230/(5 \cdot 16) = 2{,}88\,\Omega$. Az adott értékek: védővezető-folytonosság 0,1 Ω, szigetelési ellenállás 1,2 MΩ, FI kioldási idő 23 ms, hurokimpedancia 0,45 Ω. Töltsd ki a táblázatot, és jelöld be, hol kell csatolni a műszer adatait.

34.4.13. Megoldások

34.4.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Az áramváltó szekunder körét mindig zárni kell; nyitott szekunder körön veszélyes feszültség jelenhet meg.
2. Hibához piros, normál üzemhez zöld jelzőlámpát választunk.
3. Az egyvonalas rajz a gyűjtősínt, a védelmeket és a leágazásokat egyetlen vonallal mutatja; a kapcsolási rajz kapocs szinten ábrázolja az összekötéseket és a segédérintkezőket is.
4. $I_{\text{primer}} = \frac{150}{5} \cdot 4{,}3 = 30 \cdot 4{,}3 = 129$ A.
5. Például: kábel jele, típusa, keresztmetszete, védelmi szerv, fogyasztó, megjegyzés.
6. A nulla vezető színe nem zöld-sárga; a nulla világoskék, a zöld-sárga a védővezető, PE.

34.4.13.2. 1. feladat

- Q1: kapcsoló, kismegszakító vagy főkapcsoló.
- F1: biztosító vagy védelmi készülék.
- K1: mágneskapcsoló, relé.
- H1: jelzőlámpa.
- P1: mérőműszer, például voltmérő.

34.4.13.3. 2. feladat

$$I_{\text{primer}} = \frac{200}{5} \cdot 2{,}7 = 40 \cdot 2{,}7 = 108\ \text{A}$$

A leágazás primer árama 108 A.

34.4.13.4. 3. feladat

A háromfázisú hatásos teljesítmény képlete:

$$P = \sqrt{3} U I \cos\varphi$$

Ebből az áram:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi} = \frac{55\,000\ \text{W}}{\sqrt{3} \cdot 400\ \text{V} \cdot 0{,}85}$$

$$I = \frac{55\,000}{1{,}732 \cdot 400 \cdot 0{,}85} = \frac{55\,000}{588{,}9} \approx 93{,}4 \text{ A}$$

Teljes terheléskor tehát körülbelül 93 A folyik. Válasszunk 100/5 A áramváltót, mert a névleges primer ára 100 A, ami a várható 93 A-t lefedi. A beépített ampermérő skálája 0–5 A, teljes terheléskor a szekunder áram:

$$I_{\text{szekunder}} = \frac{5}{100} \cdot 93{,}4 = 4{,}67 \text{ A}$$

34.4.13.5. 4. feladat

A kapcsolás leírása: az L1, L2, L3 gyűjtősínről leágazunk egy fázist a Q2 kismegszakítóhoz. A Q2 kimenetére kötjük a P1 feszültségmérő egyik kapcsát, a másik kapcsát az N gyűjtősínre. A H1 jelzőlámpa egyik kapcsát ugyancsak a Q2 kimenetére, a másik kapcsát N-re kötjük. A feszültségmérő fázis és nulla közötti feszültséget mér. A PE sínre most nem kötünk a mérőkörből, de a védővezető folytonosságát a fém házig biztosítjuk.

34.4.13.6. 5. feladat

Lehetséges okok és mérésmódok:

- A szekunder körben a gyári rövidzáró híd bent maradt (ekkor a műszer 0 A-t mutat). Ellenőrzés: feszültségmentesítés után szemrevételezzük a szekunder sorkapcsot (a rövidzáró híd, illetve rövidre záró kapocs állása); lakatfogóval a szekunder vezetőn mérve áram folyik, a műszeren nem.
- Az áramváltó szekunder köre megszakadt, vagy az ampermérő bekötésénél laza a csupasz érvéghüvely. Ilyenkor a szekunder kör nyitott, ami veszélyes túlfeszültséget okozhat: a primer kört azonnal le kell kapcsolni, vagy a szekundert az áramváltó kapcsain rövidre kell zárni. Ellenőrzés: feszültségmentesítés után a szekunder kör folytonosságát mérjük, a kötéseket meghúzzuk.
- Az áramváltó nem a mért leágazás vezetőjére van felfűzve (például a szomszédos ágon vagy a nullavezetőn ül). Ellenőrzés: az egyvonalas rajz alapján a beépítést szemrevételezni, és lakatfogóval összehasonlítani a primer áramot. (Hibás áttétel nem 0 A-t, hanem arányosan torz értéket adna.)
- A motor valójában a másik leágazásról üzemel, tehát az ampermérővel mért leágazás árammentes. Ellenőrzés: az adott gyűjtősín-csatlakozást a kapcsolási rajz szerint beazonosítani.

34.4.13.7. 6. feladat

A jegyzőkönyv mérési fejezete például:

Mérés megnevezése	Mért érték	Mértékegység	Elfogadható	Értékelés
Védővezető-folytonosság	0,1	Ω	alacsony, vezetékfüggő	megfelelő

Mérés megnevezése	Mért érték	Mértékegység	Elfogadható	Értékelés
Szigetelési ellenállás	1,2	MΩ	≥ 1 MΩ	megfelelő (az 1 MΩ-hoz közeli, alacsony érték, okát érdemes keresni)
RCD kioldási idő ($I_{\Delta n}$)	23	ms	≤ 300 ms	megfelelő
Hurokimpedancia	0,45	Ω	≤ 2,88 Ω (B16)	megfelelő

A műszer adatait a jegyzőkönyvhöz csatolt műszerlistán kell feltüntetni: gyártó, típus, gyártási szám, mérési kategória, kalibrálás vagy hitelesítés érvényessége. **(ellenőrizendő: a mérési határértékeket a hatályos szabvány és a védelmi szerv gyártói adatai alapján kell minősíteni)**

34.4.14. Rövid összefoglaló

Az elosztó mérő- és jelzőkészülékei az üzemeltető és a karbantartó számára teszik láthatóvá a berendezés állapotát. A feszültségmérőt párhuzamosan, az ampermérőt sorosan, nagyobb áramnál áramváltón keresztül kötjük. Az áramváltó szekunder körét soha nem hagyjuk nyitva. A műszerek kiválasztásánál a mérendő mennyiséget, a hálózat értékeit, a környezeti védettséget és a pontossági osztályt együtt vizsgáljuk. A feliratok a kapcsolási rajz referenciajelöléseivel egyeznek meg; a jelzőlámpák színe nem tetszőleges, hanem a biztonságos kezelés része. Az átadási dokumentációnak tartalmaznia kell az egyvonalas rajzot, a kapcsolási rajzot, a kábeltáblázatot és a mérési jegyzőkönyvet, mert ezek nélkül az elosztó később sem biztonságosan üzemeltethető, sem karbantartható nem lesz. A dokumentációt minden módosítás után frissíteni kell, és a méréseket csak jogosult személy, megfelelő mérési kategóriájú műszerrel végezheti.

34.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet a stabil villamos alapelveket és a magyarországi szabványrendszer elnevezéseit használja, de a konkrét szabványszámok, színjelentés-táblázatok, a mérési határértékek és a gyártói adatlapok adatai a kiadás előtt ellenőrizendők. Különösen ellenőrizendő:

- MSZ EN 61439 sorozat aktuális kiadása és a kapcsolóberendezés dokumentációs követelményei.
- MSZ EN 60204-1 aktuális szín- és jelzőkód-táblázata.
- MSZ EN 60617 aktuális rajzjel-kiadása.
- MSZ HD 60364-6 aktuális ellenőrzési előírásai, mérési határértékei.
- A választott mérőműszerek és áramváltók gyártói adatlapjai.

35 Ipari fogyasztók és vezérlőberendezések

35.1. Motorvédelmek, lágyindítók és frekvenciaváltók az elosztóban

35.1.1. Miért kell ezt tudnod a szerelőműhelyben?

Képzeld el, hogy egy ipari elosztószekrényt szerelsz, amelyben egy szivattyúmotort frekvenciaváltóról kell járatni. A terv szerint a betáplálás, a kismegszakító, a váltó és a motorkábel is rendelkezésre áll. Bekötöd a készüléket, a motor elindul, de a szomszédos PLC-analóg bemenet értéke „ugrálni” kezd, vagy a váltó túlmelegedési hibát jelez néhány fordulat után. Az ilyen jelenségek nagyon gyakran nem a készülék hibájából, hanem abból fakadnak, hogy a frekvenciaváltót, a lágyindítót és a motorvédelmi láncot nem az erősáramú, EMC- és földelési szempontok szerint építették be és kábelezik. Ebben az alfejezetben azt tanulod meg, hogyan kell egy motorvezérlő elosztót úgy kialakítani, hogy a motorvédelmi funkciók, a frekvenciaváltó és a lágyindító együttműködjenek, a vezérlés stabilan működjön, és a telepítés megfeleljen a szabványoknak.

35.1.2. Szemléletes kép: egy motorleágazás frekvenciaváltóval

Az alábbi egyvonalas rajz egy frekvenciaváltós motorleágazás elvi felépítését mutatja. A leágazás zárlatvédelmét a Q1 kismegszakító adja, a váltó bemeneti oldalán EMC-szűrő és választható hálózati fojtó található, a kimeneti motorkábel árnyékolt, és az árnyékolás mindkét végén a védővezetőhöz csatlakozik. A PE külön vezetőként, kapcsolókészülék nélkül jut el a szűrő, a váltó és a motor testéhez.

35.1. ábra. Frekvenciaváltós motorleágazás elvi kapcsolása (egyvonalas) - Egyvonalas ábrázolás: a fővonal a három fázisvezetőt egyetlen vonalként jelzi (3~). Q1 kismegszakító (zárlatvédelem), L11 választható hálózati fojtó, Z1 EMC-szűrő közvetlenül a váltó előtt, U1 frekvenciaváltó, W1 árnyékolt motorkábel, M1 motor. A PE külön vezetőként a PE-sínről a szűrő, a váltó és a motor testéhez fut; a motorkábel árnyékolása mindkét végén körkörösen (360°) a PE-hez csatlakozik. Ha a gyártó félvezető-védő biztosítót ír elő, az Q1 helyett/mellett a váltó bemenetén áll. A vezérlő- és biztonsági áramkörök nincsenek a rajzon.

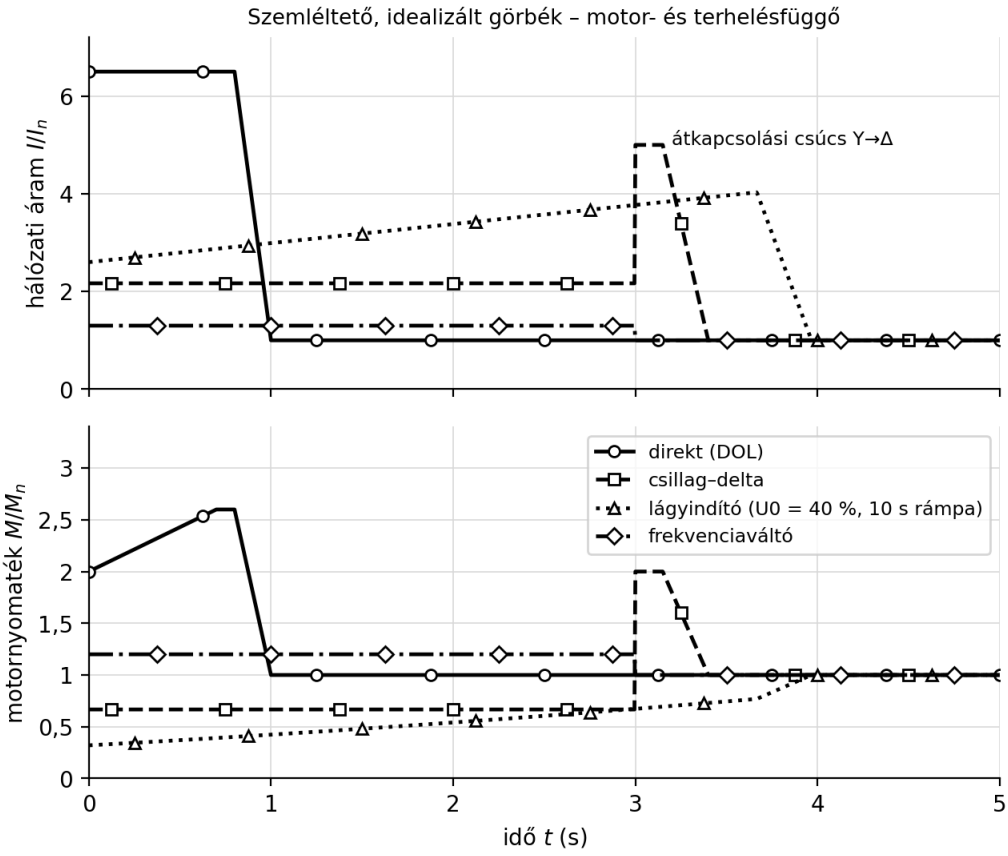
A rajz a motorleágazás erősáramú oldalára koncentrál. A valóságban a vezérlőkapcsok (start, stop, hibajelzés, analóg alapjel) külön, árnyékolt vezérlőkábelen érkeznek, és azokat az erősáramú motorkábeltől elkülönítetten vezetik.

35.1.3. Fogalmak, felépítés és védelmi elvek

Definíció. A motorvezérlő elosztó (motorvezérlő fiók) olyan kapcsoló- és vezérlőkészülékeket tartalmazó egység, amely egy villamos motort a hálózatra kapcsol, véd, indít/leállít, terhelés szerint szabályoz, és a vezérlőrendszerhez csatlakoztatható. A motorvezérlő elosztó része lehet közvetlen (direkt) indító, lágyindító vagy frekvenciaváltó.

Definíció. A frekvenciaváltó (VFD, Variable Frequency Drive) olyan teljesítményelektronikai átalakító, amely a hálózati feszültséget egyenirányítja, majd a közbenső egyenáramú körből változtatható frekvenciájú és effektív értékű, impulzusszélesség-modulált háromfázisú feszültséget állít elő a motor számára. A frekvenciaváltó a motor fordulatszámát folyamatosan, veszteséges mechanikus elemek nélkül szabályozza.

Definíció. A lágyindító (soft starter) olyan indítókészülék, amely a motor feszültségét az indítás alatt fokozatosan növeli, általában tirisztorok segítségével, így csökkenti az indítási áramlökést és a mechanikai nyomatéklökést. A lágyindító jellemzően nem változtatja a frekvenciát, és a motor üzemszerűen a hálózati frekvencián fut.



35.2. ábra. Indítási áram és nyomaték különböző indítási módoknál (szemléltető)

Ábraolvasás. A felső grafikon a hálózati áramot, az alsó a motornyomatékot mutatja a névleges érték arányában, szemléltető, idealizált görbékkel. A lágyindító az áramot a kapocsfeszültséggel arányosan csökkenti, a nyomaték viszont a feszültség négyzetével arányos ($M \propto U^2$): 40 %-os kezdőfeszültségnél az áram kb. $2{,}6 \cdot I_n$, a nyomaték azonban csak kb. a direkt indítás 16 %-a. A frekvenciaváltó a feszültséget és a frekvenciát együtt növeli, ezért névleges áram közelében is névleges körüli nyomatékot ad. A HTML-kiadásban az egyes görbék ki-be kapcsolhatók, és csúszkával állítható a lágyindító kezdőfeszültsége (30–70 %) és rámpaideje (2–20 s).

Szabály. A motorvédelmi lánc elve: a hálózati oldali zárlatvédelmet, a túlterhelés elleni védelmet és a hővédelmet egymástól meg kell különböztetni. Egy korszerű motorvédelem általában a következő rétegeket foglalja magában:

1. Rövidzárlatvédelem: kismegszakító vagy olvadóbiztosító a hálózati oldalon, a frekvenciaváltó vagy lágyindító bemenetén.
2. A frekvenciaváltó/lágyindító belső elektronikus túlterhelésvédelme: a kimeneti áram folyamatos mérésén alapuló időfüggő hőmodell.
3. Motor hővédelme: a motortekercsbe vagy csapágyba épített PTC-termisztor vagy hőrelé a túlmelegedés ellen.
4. Kiegészítő védelmek: fáziskiesés, földzárlat, túlfeszültség, alulfeszültség, fordulatszám-korlát és hálózatkiesés.

Definíció. A PTC-termisztor (Positive Temperature Coefficient, pozitív hőfoktényezőjű ellenállás) olyan hőmérsékletfüggő ellenállás, amelynek ellenállása egy bizonyos névleges hőmérséklet közelében hirtelen meredeken megnő. A motor hővédelme a tekercsekbe épített PTC-láncot figyeli, és ha a mért ellenállás átlépi a határt, a vezérlés letiltja a motort.

35.1.4. A frekvenciaváltó beépítésének alapszabályai

Szabály. A frekvenciaváltó beépítésekor az alábbi szempontokat mindig ellenőrizni kell:

- A bemeneti tápellátás fázisszáma és feszültsége (egyfázisú vagy háromfázisú, 230 V vagy 400 V) megegyezik a váltó adattáblájával.
- A motor névleges árama nem haladja meg a váltó megengedett kimeneti áramát, és a motor feszültsége/frekvenciája a paraméterezett tartományba esik.
- A váltó belső túlterhelésvédelmét a motor névleges adataihoz kell paraméterezni.
- A hálózati oldali védőkapcsoló (kismegszakító) időben leválasztja a váltót zárlat esetén, de nem old ki a váltó bekapcsolásakor fellépő töltőáram-lökésnél (a közbenső kör kondenzátorainak töltése); a motor indítási áramát a váltó korlátozza, azt a hálózati oldal nem látja. A típust és a névleges áramot a váltó gyártója adja meg (gyakran gG vagy félvezető-védő biztosító) (ellenőrizendő: gyártói adatlap).
- A váltó kimenetét nem szabad közvetlenül kondenzátorra vagy tirisztoros fázisjavítóra kötni, mert a kapcsolási felharmonikusok károsíthatják mindkét oldalt.
- A váltó kimeneti oldalán nem szabad megszakítót, kontaktoros szakaszolót vagy más kapcsolókészüléket működtetni, ha az üzem közben megszakíthatja a motoráramot, mert ez a kimeneti fokozat túlfeszültségét okozhatja.

Összefüggés. A frekvenciaváltó bemeneti áramát a motor tengelyteljesítményéből és a hatásfokból becsülhetjük, de fontos megérteni, hogy a bemeneti áram a hálózati oldali áram, a kimeneti áram pedig a motoráram; ezek a közbenső egyenáramú kör miatt nem azonosak. A bemeneti látszólagos teljesítmény közelítőleg:

$$S_{\mathrm{be}} = \frac{P_{\mathrm{mech}}}{\eta \cdot \lambda}$$

ahol P_{mech} a motor tengelyteljesítménye (W), η a motor és a váltó együttes hatásfoka, λ pedig a bemeneti teljesítménytényező. A frekvenciaváltó bemeneti áramát ennek felhasználásával a hálózati oldali feszültség és a fázisszám alapján számíthatjuk. A kimeneti áramot a motor adattáblájáról olvassuk le.

Példa. Egy 5,5 kW-os, 400 V-os háromfázisú aszinkron motor névleges árama az adattáblán 11,7 A. A frekvenciaváltó bemeneti árama hozzávetőlegesen $S_{\mathrm{be}} = P/(\eta \cdot \lambda)$, ahol $\eta = 0{,}85$ és $\lambda = 0{,}9$ (hálózati fojtóval; fojtó nélkül 0,65–0,75 – ellenőrizendő: gyártói adat) esetén:

$$S_{\mathrm{be}} = \frac{5500}{0{,}85 \cdot 0{,}9} \approx 7{,}2\,\mathrm{kVA}$$

A bemeneti vonali áram:

$$I_{\mathrm{be}} = \frac{S_{\mathrm{be}}}{\sqrt{3}\,U_v} = \frac{7{,}2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} \approx 10{,}4\,\mathrm{A}$$

A kismegszakító névleges áramát (pl. $I_n = 16$ A) és a vezeték terhelhetőségét ($I_z \geq I_n$) a gyártó ajánlása szerint választjuk. A motoroldali kábel méretezésénél a motor névleges árama (11,7 A) és a kimeneti frekvencia/feszültség a mérvadó.

35.1.5. Kábelezés és EMC a frekvenciaváltós környezetben

Definíció. EMC (elektromágneses összeférhetőség, Electromagnetic Compatibility) alatt azt értjük, hogy egy villamos berendezés sem saját környezetében, sem más berendezésben nem okoz zavart, és más berendezések zavaró hatása ellen sem érzékeny. A frekvenciaváltó kimeneti PWM-jele gyors feszültség- és áram-átkapcsolásokat okoz, amelyek nagyfrekvenciás zavarok forrásai lehetnek.

Szabály. A frekvenciaváltó motorkábele legyen árnyékolt, lehetőleg a váltó gyártója által ajánlott, 3 fázis + PE (és adott esetben külön árnyékolt mag) kialakítású. Az árnyékolás földelését a váltó oldalán és a motor oldalán is 360°-os körbefogással kell elvégezni, azaz az árnyékolót a kábelbevezető fémezett karmantyúján, a készülék fém házán vagy az árnyékoló sínre bilincselt, teljes kerületén érintkező rögzítéssel kell leföldelni. A 360°-os árnyékolás azt jelenti, hogy az árnyékoló szalagot vagy fonott rézharisnyát körben, hézagmentesen kötjük a földpotenciálhoz, nem pedig csak egy ponton „sertésfarok” módon.

Szabály. A frekvenciaváltó és a motor közötti kábel hossza legyen a lehető legrövidebb. A gyártói előírások és a szűrőfokozatok határozzák meg a megengedhető hosszt. Túl hosszú, nem árnyékolt kábel esetén a kapcsolási felharmonikusok miatt:

- megnő a motor tekercseit érő feszültségmintázat, ami csökkenti a szigetelés élettartamát,
- a nagyfrekvenciás feszültségek a védővezetőn át elektromágneses zavart okoznak,
- a szivárgóáram (az EMC-szűrő kondenzátorai és a hosszú kábel kapacitása) növekedhet, és az áram-védőkapcsoló (FI-relé) nemkívánatosan kioldhat.

Szabály. Ha a frekvenciaváltós áramkört áram-védőkapcsoló védi, a hibaáram egyenáramú összetevője miatt háromfázisú váltónál B típusú (egyfázisúnál legalább F típusú) RCD szükséges; az AC vagy A típus nem működhet megbízhatóan, mert az egyenáramú hibaáram „elvakíthatja”, vagyis a hibavédelem nem működik. A kioldási küszöböt (pl. 300 mA a tűzvédelemhez) a szivárgóáram miatt a gyártói ajánlás szerint kell megválasztani. **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-53, gyártói adatlap)**

Szabály. A vezérlő kábelezésben is tartsd be az EMC-elvet: a vezérlő- és jelvezetékek árnyékolt, sodrott érpárú kábelek legyenek, az árnyékolást egy ponton (általában a frekvenciaváltó oldalán) földeljük, és a vezérlő kábelt a motorkábeltől legalább 30 cm távolságra, eltérő kábelcsatornában vezessük. Ha elkerülhetetlen a keresztezés, az mindig derékszögben történjen.

35.1.6. Lágyindító beépítése és a bypass

Definíció. A bypass kapcsolás a lágyindító fölötti mechanikus vagy elektronikus megkerülés: amint a motor elérte a névleges feszültséget, egy kontaktor átkapcsolja a motort közvetlenül a hálózatra, a lágyindító tirisztorait áthidalja: üzem közben árammentesek, de továbbra is hálózati feszültség alatt állnak. Ez csökkenti a lágyindító melegedését, és lehetővé teszi, hogy a lágyindító csak az indítási ciklus alatt legyen terhelve.

Szabály. A lágyindító beépítésekor az alábbiakat kell betartani:

- A lágyindító bemenetén legyen zárlatvédelem és egy soros szakaszoló (pl. kismegszakító vagy biztosító-szakaszoló).
- A bypass kontaktor a lágyindító bemeneti és kimeneti kapcsai közé, a tirisztorokkal párhuzamosan kapcsolódik; csak akkor húzhat be, ha a lágyindító elérte a teljes feszültséget.

- A bypass kontaktor vezérlése legyen reteszelve a lágyindító indítási folyamatához: a kontaktor csak az indítás befejezése (teljes feszültség, „indítás vége” jel) után húzhat be, lágy leállításkor pedig előbb el kell ejtenie. A bypass ugyanarról a hálózatról, a tirisztorokkal párhuzamosan kapcsol; nincs külön tápforrás.
- A lágyindító elektronikus túlterhelésvédelmét vagy a motorra kell paraméterezni, vagy a motor hőreléjét külön kell bekötni a védelmi láncba.

A bypass alkalmazása gyakori szivattyúknál, ventilátoroknál és kompresszoroknál, ahol a nyomatékigény az indítás után közel állandó.

35.1.7. Motorvédelmi funkciók és a frekvenciaváltó

A frekvenciaváltó alapvetően több védelmi funkciót valósít meg, amelyeket a motor hagyományos védelmével össze kell hangolni.

Szabály. A frekvenciaváltó belső túlterhelésvédelmét a motor névleges adataihoz kell paraméterezni, például meg kell adni a motor névleges feszültségét, frekvenciáját, teljesítményét, áramát és a motor típusát (aszinkron, szinkron, reluktancia stb.). A váltó a kimeneti áram és a motor hőállapotának modellje alapján dönti el, hogy túlterhelés esetén csökkenti-e a kimeneti frekvenciát, hibajelzést ad-e, vagy letiltja a kimenetet.

Szabály. A PTC hővédelmi bemenetet (gyakran T1/T2 vagy PTC kapocs) a frekvenciaváltó vagy a lágyindító vezérlő sorkapcsán kell bekötni. A PTC-lánc ellenállását a váltó méri, és ha az ellenállás a kritikus érték fölé emelkedik, a váltó letiltja a modulációt, és hibajelzést ad. A PTC-kapcsok áramköre a motor szigetelési rendszerétől galvanikusan leválasztott kisjelfeszültségű áramkör, ezért nem köthető össze a 230 V-os vezérléssel.

Szabály. A motor külső hőreléje (bimetallos vagy elektronikus) és a frekvenciaváltó belső hővédelme közül az egyiket kell a motorra hangolni, a másikat pedig határőrként, a váltó kimeneti áramának lekapcsolására lehet beállítani. Frekvenciaváltónál a motor túlterhelésvédelmét a váltó elektronikus hőmodellje és a motor PTC-termisztora adja. Ha több motor jár egy váltóról, motoronként külön hőrelé szükséges, a váltó kimenetén, PWM-re alkalmas típussal, amely a váltó engedélyező bemenetét bontja (a hőrelé az áramot méri, ezért a váltó bemeneti oldalán nem a motoráramot látná). **(ellenőrizendő: gyártói kézikönyv)**

35.1.8. Hálózati fojtó, EMC-szűrő és DC-fojtó

Definíció. A hálózati fojtó (line reactor) a frekvenciaváltó bemeneti oldalára kötött induktivitás, amely csökkenti a hálózati áram felharmonikus-tartalmát, védi a bemeneti egyenirányítót a feszültségtranziensektől, és javítja a teljesítménytényezőt. Hasznos, ha a hálózat impedanciája alacsony, a váltó teljesítménye nagyobb, vagy a hálózaton sok kapcsolási művelet történik.

Definíció. A DC-fojtó a váltó közbenső egyenáramú körébe kötött induktivitás, amely a bemeneti egyenirányító kimenetén az áram simítását végzi, csökkenti a hálózati áram felharmonikus-tartalmát, és növeli a közbenső kör stabilitását. A DC-fojtó a váltó gyártói által ajánlott, a meghatározott teljesítménytartomány fölött jellemzően szükséges.

Definíció. Az EMC-szűrő (hálózati szűrő) a frekvenciaváltó bemenetére szerelt passzív szűrő, amely a váltó által keltett nagyfrekvenciás zavarok hálózatra jutását csökkenti, és a hálózat felől érkező zavarok ellen is védelmet nyújt. A szűrőt a váltó közelében, a bemeneti kábel árnyékolását a szűrő fémházán vagy a szerelőlemezen 360°-osán földelve kell beépíteni.

Szabály. A hálózati fojtó, DC-fojtó és EMC-szűrő kiválasztását a frekvenciaváltó gyártói dokumentációjában megadott ajánlások szerint kell elvégezni, a kívánt EMC-kategóriától és a motorkábel hosszától függően. A fojtók és szűrők melegedését a szekrény hűtésénél figyelembe kell venni.

35.1.9. Árnyékolás és földelés: 360°-os elv

Szabály. Az árnyékolt motorkábel árnyékolását mindkét végén földelni kell. A földelés legyen 360°-os, azaz az árnyékoló felület kontúrját körben érintő módon rögzítsük a földelő felülethez. Ennek leggyakoribb módja a fémezett kábelbevezető (cable gland) alkalmazása, amely a kábel kivezető nyílásánál a készülékházhoz csavarozva érintkezik az árnyékolással.

Szabály. A frekvenciaváltó és a motor közötti kábel védővezető keresztmetszete, valamint a motor védővezetője teljesítse a készülék gyártói előírásait és a kisfeszültségű villamos berendezésekre vonatkozó szabvány (MSZ HD 60364 sorozat) vezetékméretezési követelményeit **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**. A PE-vezető keresztmetszetét ne csökkentsük kizárólag az árnyékolás miatt; az árnyékolás nem helyettesíti a védővezetőt.

35.1.10. Szabvány és szabályozási háttér

Szabvány. A frekvenciaváltók és hajtások általános követelményeire az MSZ EN 61800 sorozat vonatkozik, amely a villamos hajtásrendszerek biztonsági, EMC- és funkcionális követelményeit írja le. Az EMC-követelményeket a hajtás telepítési kategóriája és a környezet szerint kell teljesíteni. A pontos EMC-határértékeket a gyártói dokumentáció és a mindenkori szabványkiadás rögzíti **(ellenőrizendő: aktuális kiadás és a konkrét telepítési kategóriák)**. Az elosztóberendezésekre az MSZ EN 61439 sorozat, a kapcsolókészülékekre az MSZ EN 60947 sorozat vonatkozik; a motorvédő kapcsolókra és kontaktorokra a gyártói adatlapok és a hatályos szabványok együttesen érvényesek.

35.1.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy ipari üzemben egy szellőzőventilátor motorját 4 kW-os, 400 V-os aszinkron motor hajtja, frekvenciaváltóval. A szerelő a váltó kimeneti kábelét árnyékolatlan, műanyag köpenyű hajlékony vezetékkel szerelte, mert az volt raktáron. A ventilátor indítása után a szomszédos épületfelügyeleti rendszer analóg hőmérsékletérzékelője téves értékeket kezdett mutatni. A hibát a nem árnyékolt motorkábel és a hosszú, közös kábeltálcán futó vezérlőkábel okozta: a PWM-kapcsolás nagyfrekvenciás zavarai bejutottak a jelkábelekbe. A megoldás az árnyékolt motorkábel, a 360°-os árnyékoláscsatlakozás a váltó oldalán, a vezérlő kábel árnyékolt, sodrott érpárú kivitelre cserélése és a kábeltálcán belüli elválasztás volt. A tanulság: a frekvenciaváltós környezetben nem elég a készülék bekötése, a kábelezést az EMC-szempontok szerint kell megtervezni.

35.1.12. Gyakorlati útmutató: frekvenciaváltó beépítése az elosztóba

35.1.12.1. Cél

Egy frekvenciaváltó beépítése a motorvezérlő elosztóba, a betáplálás, a bemeneti védelem, az EMC-szűrő, a motorkábel csatlakoztatása, a vezérlő- és PTC-kapcsok bekötése, a földelés és árnyékolás kialakítása, valamint az alapvető paraméterezés elvégzése.

35.1.12.2. Eszközök és anyagok

- Frekvenciaváltó, a motor adattáblájának megfelelő méretezésben
- Kismegszakító vagy biztosító-szakaszoló a bemeneti védelemhez
- EMC-szűrő és/vagy hálózati fojtó (a gyártói ajánlás szerint)
- Árnyékolt motorkábel, árnyékolt vezérlőkábel, PE-sín, földelő bilincs, érvéghüvely, kábelsaru
- Csavarhúzó készlet, nyomatékkulcs, kábelkés, érvéghüvely-fogó, multiméter
- A váltó paraméterezési útmutatója, adattábla, toll és jegyzőkönyv

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

35.1.12.3. Biztonsági szabályok

1. Feszültségmentesítés (lekapcsolás).
2. Visszakapcsolás elleni biztosítás.
3. Feszültségmentesség ellenőrzése. Frekvenciaváltónál a közbenső egyenáramú kör kondenzátorai a leválasztás után is percekig életveszélyes feszültségen maradnak (400 V-os hálózaton kb. 560–650 V DC): várd ki a készüléken feltüntetett kisütési időt (ellenőrizendő: gyártói adatlap, jellemzően 5–15 perc), majd a DC+ / DC– kapcsokon és a kimeneti (motor) kapcsokon is mérd meg a feszültségmentességet.
4. Földelés és rövidre zárás (ha szükséges).
5. Szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

35.1.12.4. Lépések

1. **Elrendezés tervezése.** Az elosztószekrényben alakíts ki külön területet a frekvenciaváltónak, a bemeneti védelemnek és a szűrőnek. A váltó fölött és alatt hagyj szellőzési távolságot a gyártói adatlap szerint.
2. **Bemeneti tápellátás bekötése.** A kismegszakító/biztosító-szakaszoló után kösd be a hálózati fázisokat (L1, L2, L3) és a PE-t a váltó bemenetére. Az EMC-szűrőt közvetlenül a váltó bemeneti kapcsa elé szereld, a szűrő fémháza legyen csatlakoztatva a védőföldeléshez.
3. **Motorkábel csatlakoztatása.** A váltó kimeneti kapcsain (U, V, W) kösd be az árnyékolt motorkábel három fázisát. A védővezetőt a váltó PE-kapcsára és a motor PE-kapcsára is kösd be. Az árnyékolást 360°-os módon a váltó földelő csatlakozójához rögzítsd.
4. **Vezérlőkábelek és PTC bekötése.** A Start/Stop, irányváltó, hiba-visszaállító és analóg alapjel vezetékeket külön, árnyékolt kábelen kösd be. A PTC-láncot a váltó PTC-bemenetére kösd. Az árnyékolást a váltó oldalán földeld, a másik oldalon hagyd lebegve, hacsak a gyártó mást nem ír.
5. **Paraméterezés.** A motor adattáblája alapján állítsd be a motor névleges feszültségét, frekvenciáját, teljesítményét, áramát, fordulatszámát és a cosφ-t. Aktiváld a megfelelő túlterhelésvédelmi funkciót, és állítsd be a kívánt indítási/lassítási időket. A PTC-felügyelet aktiválása után teszteld a hővédelmi csatornát.
6. **Első bekapcsolás.** Az összes burkolat visszahelyezése és a munkaterület elhagyása után a jogosult oktató kapcsolja be a betáplálást. A motor indítása előtt a vezérlőpulton ellenőrizd a paramétereket, majd kis frekvencián indítva figyeld az áramfelvételt, a forgásirányt és a motorhangot.

Ellenőrzési pontok: A motorforgás iránya egyezik a technológiai iránnyal; az indítási áram nem haladja meg a megengedett értéket; a váltó hőmérséklet-riasztása nem lép fel; a vezérlőáramkörök nem mutatnak zavart; a PTC-védelem tesztje pozitív.

35.1.13. Tipikus hibák

1. **Az árnyékolás hiánya vagy helytelen földelése.** Az árnyékolt kábel árnyékolását csak egy vékony huzallal, „sertésfarok” módon kötik be, így a nagyfrekvenciás zavarok akadálytalanul kisugároznak, és a közeli jelvezetékekben indukálnak feszültséget. **Helyes gyakorlat:** 360°-os, körbefogó földelő csatlakozás mindkét végen.
2. **A motor hővédelmének elhagyása.** A beruházó szerint a frekvenciaváltó „tudja” a motorvédelmet, ezért a PTC-t vagy a külső hőrelét nem kötik be. Azonban a váltó belső hőmodellje nem feltétlenül ismeri a motor tényleges hőállapotát, különösen környezeti túlmelegedés vagy csapágyhiba esetén. **Helyes gyakorlat:** a PTC-láncot mindig kösd be, és paraméterezd a váltót a motor adatlapja szerint.
3. **Túl hosszú motorkábel.** Az árnyékolt, 360°-os csatlakozással földelt kábel ellenére a gyártói szűrőfokozat által megengedett hosszt jelentősen túllépik. Ez a motor szigetelését veszélyeztető túlfeszültségekhez és a váltó túlterheléséhez vezethet. **Helyes gyakorlat:** ellenőrizd a gyártói ábra szerint, mekkora maximális kábelhossz engedélyezett az adott EMC-kategóriában; szükség esetén alkalmazz kimeneti fojtót vagy szűrőt.
4. **A bypass kontaktor rossz vezérlése.** A bypass kontaktor az indítás közben, csökkentett feszültségnél behúz, így a kontaktor a direkt indítás teljes áramlökését kapcsolja. **Helyes gyakorlat:** a bypass tekercsét a lágyindító „indítás vége” reléje vezérelje, és csak teljes feszültségnél húzzon be.

35.1.14. Önellenőrzés

1. Miért kell árnyékolt motorkábelt használni a frekvenciaváltó kimenetén?
2. Mi a különbség a hálózati fojtó és a DC-fojtó között?
3. Mi a célja a lágyindító bypass kapcsolásának?
4. Hány fokos legyen az árnyékolás földelése a frekvenciaváltó oldalán?
5. Milyen paramétereket kell beállítani a frekvenciaváltóban a motor adattáblája alapján?
6. Miért nem szabad a frekvenciaváltó kimenetét közvetlenül fázisjavító kondenzátorra kötni?

35.1.15. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg három mondatban, mi a különbség a frekvenciaváltóval és a lágyindítóval indított motorok között.

2. feladat (A). Sorold fel a motorvédelmi lánc legalább négy elemét.

3. feladat (B). Egy frekvenciaváltós motort kb. 60 m hosszú kábellel kellene bekötni. A gyártói dokumentáció szerint az adott EMC-kategóriában a maximális motorkábel-hossz 30 m. Mit javasolsz a telepítéshez?

4. feladat (B). Rajzold le egy lágyindító és bypass kontaktor kapcsolási vázlatát a betáplálás, a lágyindító, a bypass, a motor és a vezérlőkapcsok feltüntetésével.

5. feladat (C). Egy frekvenciaváltós motornál a váltó bemeneti oldali zárlatvédelmét 16 A-es C-karakterisztikájú kismegszakító biztosítja. Miért nem jó önmagában ez a megoldás a motor túlterhelés elleni védelmére?

6. feladat (D). A motorkábel árnyékolását a szerelő csak egyetlen rézfonattal, egy ponton kötötte a váltó PE-sínjéhez. A közeli hőmérséklet-érzékelő analóg bemenete zavarossá vált. Írd le a javítás lépéseit, és nevezd meg a helyes árnyékolási módszert.

35.1.16. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Az árnyékolt kábel csökkenti a nagyfrekvenciás zavarkibocsátást, védi a közeli jelvezetékeket, és a nagyfrekvenciás áramok számára alacsony impedanciás visszavezetést biztosít.
2. A hálózati fojtó a váltó bemeneti oldalán, az egyenirányító előtt van, csökkenti a hálózati áram felharmonikus-tartalmát és védi a fokozatot. A DC-fojtó a közbenső egyenáramú körben van, és a DC-áram simítását végzi.
3. A bypass csökkenti a lágyindító melegedését, mivel a motor a teljes feszültségre jutva közvetlen a hálózatra kapcsolódik, a tirisztorok pedig árammentesek (de feszültség alatt maradnak).
4. 360°-os, azaz teljes kerületén érintkező (körbefogó) csatlakozás.
5. Névleges feszültség, frekvencia, teljesítmény, áram, fordulatszám, teljesítménytényező (és adott esetben pólusszám, hőmodell paraméterek).
6. A frekvenciaváltó kimeneti PWM-jele a kapcsolási felharmonikusok miatt nagyfrekvenciás áramot hajtana a kondenzátorba, ami túláramhoz, a fázisjavító vagy a váltó károsodásához vezetne.

1. feladat – megoldás

A frekvenciaváltó a motor fordulatszámát folyamatosan, a frekvencia változtatásával szabályozza, és kimeneti feszültségét a frekvenciával arányosan (U/f) változtatja. A lágyindító a hálózati frekvencián, de a feszültség fokozatos növelésével indítja a motort, a névleges feszültség elérése után a motor közvetlenül a hálózatra kapcsolódik, vagy a lágyindítón át, de nem változtatja a frekvenciát. A frekvenciaváltó tehát folyamatos fordulatszám-szabályozásra, a lágyindító elsősorban az indítási áram- és nyomatéklökés csökkentésére használható.

2. feladat – megoldás

A motorvédelmi lánc legalább négy eleme: (1) rövidzárlatvédelem (kismegszakító/biztosító), (2) túlterhelésvédelem (belső elektronikus hőmodell), (3) motor hővédelme (PTC-termisztor vagy külső hőrelé), (4) kiegészítő védelmek (fáziskiesés, földzárlat, túlfeszültség, alulfeszültség, fordulatszám-korlát).

3. feladat – megoldás

A gyártói EMC-kategória szerint a 30 m maximális kábelhossz túllépése a motor szigetelésére veszélyes feszültségmintázatot és fokozott nagyfrekvenciás zavart okoz. A telepítéshez vagy rövidebb kábelt kell használni, vagy a váltó és a motor közé kimeneti fojtót/szűrőt kell beépíteni, amely növeli a megengedhető hosszt. A pontos hossz és szűrőtípus a váltó gyártói dokumentációjában szerepel **(ellenőrizendő: a gyártói adatlap)**.

4. feladat – megoldás

A kapcsolási vázlaton a háromfázisú betáp (L1, L2, L3) a Q1 szakaszolóra csatlakozik. Innen a lágyindító bemenetére megy, kimenete a motorhoz. A bypass kontaktor a lágyindító kimeneti és bemeneti oldala között párhuzamosan kapcsolódik, a motor közvetlen csatlakoztatásához. A vezérlőkörben a Start/Stop jelek a lágyindító vezérlőkapcsaira, a bypass kontaktor tekercse a lágyindító „indítás vége” (teljes feszültség, angol katalógusokban: top of ramp / full voltage) reléjének kimenetére csatlakozik, reteszelve az indítási folyamattal.

5. feladat – megoldás

A 16 A-es C-karakterisztikájú kismegszakító a rövidzárlati védelmet biztosítja, mert a C-karakterisztika a névleges áram 5–10-szeresénél old le, és így a váltó bekapcsolási töltőáramánál

általában nem old ki. A motor túlterhelése azonban a névleges áram 1,05–1,2-szeresénél, hosszabb időtartam alatt veszélyezteti a tekercseket, ezért az időfüggő túlterhelésvédelmet a motorra kell hangolni. A frekvenciaváltó belső hőmodelljét a motor névleges áramára kell paraméterezni, és a PTC-t is be kell kötni.

6. feladat – megoldás

A szerelő által használt egyetlen ponton történő földelés nem biztosít alacsony impedanciát a nagyfrekvenciás zavarok számára, és az árnyékolás nem csillapítja a kisugárzott zavart. A javítás lépései: (1) feszültségmentesítés és az öt biztonsági szabály betartása, (2) a kábelbevezető fém karmantyújának vagy a fém árnyékolóbilincsnek a felszerelése, (3) az árnyékoló harisnya kibontása, a 360°-os körbefogó érintkezés kialakítása a váltó fémházán vagy a földelő sínre csavarozott bilincsen, (4) a motoroldali árnyékolás hasonló rögzítése, (5) ellenőrzés folytonosság- és szemrevételezéssel. A helyes módszer a 360°-os árnyékoláscsatlakozás, amely biztosítja, hogy az árnyékolás teljes kerületén, hézagmentesen földelt legyen.

35.1.17. Rövid összefoglaló

A frekvenciaváltós és lágyindítós motorvezérlő elosztó tervezésekor a motorvédelmi láncot, az EMC-elveket és a kábelezést együtt kell kezelni. A frekvenciaváltó a motort változtatható frekvenciával és feszültséggel táplálja; a lágyindító az indítási feszültséget növeli fokozatosan, és a teljes feszültség elérése után bypass kontaktorral megkerülhetővé válik. A motorvédelem rétegei: bemeneti zárlatvédelem, a váltó elektronikus túlterhelésvédelme, a motor PTC-termisztoros hővédelme és a kiegészítő védelmek. A frekvenciaváltó kimeneti motorkábele legyen árnyékolt, azt mindkét végén 360°-os körbefogó módon földeljük; a vezérlő- és jelvezetékeket árnyékolt, sodrott érpárú kábelként vezessük, az erősáramú kábeltől elkülönítetten. A hálózati fojtó, a DC-fojtó és az EMC-szűrő kiválasztása a gyártói előírásokhoz kötött, és a készülékek melegedését a szekrény hűtésénél figyelembe kell venni. **Továbbvitt eredmény.** A frekvenciaváltó paraméterezése (motoradatok, indítási/lassítási idők, PTC-felügyelet) a Légtechnikai, vízgépészeti és hőtechnikai elosztók, a Fázisjavítás méretezése és a Frekvenciaváltó és lágyindító paraméterezése alfejezetben kerül további alkalmazásra; a beépített védelmek és a EMC-kialakítás elvei minden hajtásos elosztó alapját adják.

35.1.18. Források és ellenőrzési hiányok

- Frekvenciaváltókra, lágyindítókra és EMC-re: MSZ EN 61800 sorozat, gyártói telepítési kézikönyvek **(ellenőrizendő: a pontos kiadás és az országspecifikus EMC-telepítési kategóriák)**.
- Elosztóberendezések: MSZ EN 61439 sorozat; kapcsolókészülékek: MSZ EN 60947 sorozat **(ellenőrizendő: a vonatkozó részek és kiadások)**.
- Kisfeszültségű villamos berendezések vezetékméretezése: MSZ HD 60364-5-52, védővezető: MSZ HD 60364-5-54 **(ellenőrizendő: az aktuális kiadás)**.
- A feladatokban megadott maximális kábelhossz és szűrőfokozat csak szemléltető példa; a konkrét értékek a gyártói adatlapról veendők.

35.2. Légtechnikai, vízgépészeti és hőtechnikai elosztók

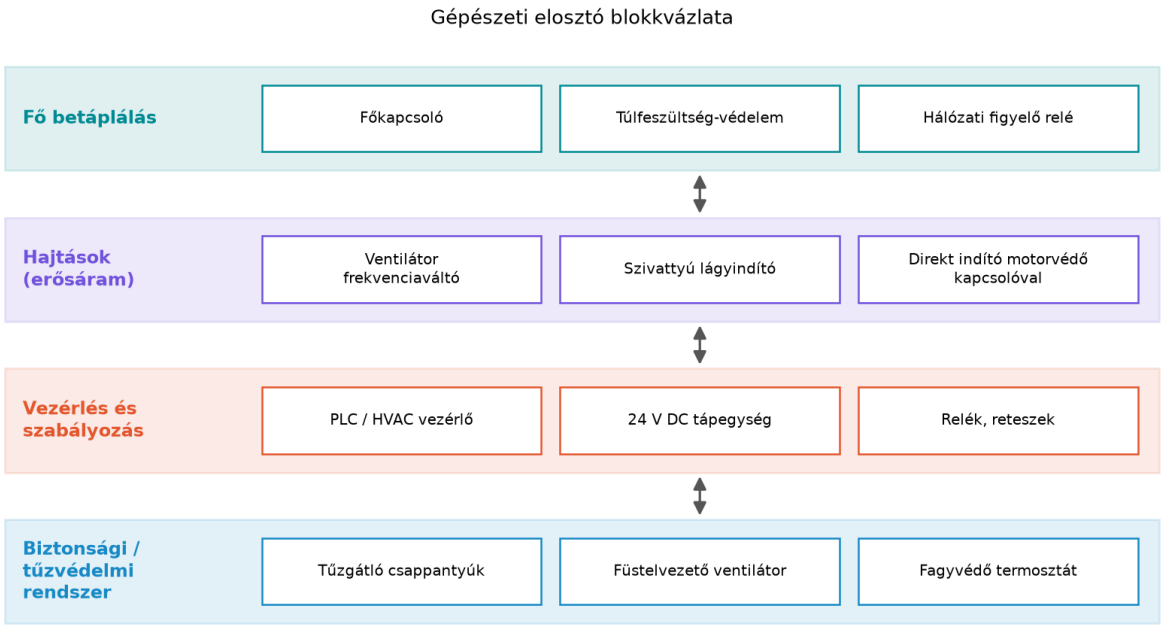
35.2.1. Motiváció: miért kell összeállítanod a gépészeti elosztót?

Egy ipari épületben a villanyszerelő gyakran úgy találkozik a gépészettel, hogy leraknak elé egy cső- és műszerezési tervet (P&ID), egy fogyasztói listát, és azt mondják: „ezt hozd össze egy kapcsolószekrényben”. A szellőztető ventilátor nem indulhat el, ha a fagyvédő termosztát hibát jelez. A fűtési keringtető szivattyúnak le kell állnia, ha a tűzjelző tüzet észlel. A hűtőkompresszornak nem szabad azonnal visszaindulnia egy áramszünet után, mert a hűtőkörben kiegyenlítődött a nyomás. Ha ezeket az összefüggéseket nem érted, hiába kötöd be szabályosan a mágneskapcsolót, a rendszer mégis tönkremegy, vagy egy tűz esetén életveszélyt okoz.

Ebben az alfejezetben a légtechnikai (HVAC), vízgépészeti és hőtechnikai berendezések elosztóinak felépítését, a tipikus ventilátor- és szivattyúvezérléseket, valamint a gépész és villamos szakma határfelületét tanulod meg. Ez azért kritikus, mert a Felvonó- és állandó üzemű fogyasztók elosztói alfejezetben az itt tanult reteszelési és határfelületi logikát fogod továbbvinni bonyolultabb rendszerekre.

35.2.2. Szemléletes kép: egy gépészeti elosztó blokkvázlata

Mielőtt a részletekbe mennénk, nézzük meg, milyen főbb egységekre oszlik egy tipikus gépészeti elosztó.



35.3. ábra. Gépészeti elosztó blokkvázlata - Egy kisebb ipari épület lég- és vízgépészeti elosztójának rétegződése. Az erősáramú hajtásokat a vezérlés és a tűzvédelmi rendszer felülírja.

Ábraértelmezés. A fő betáplálásról indulnak a motoros hajtások. A vezérlési szint felülírja a hajtásokat: a PLC vagy a biztonsági relé letilthat egy kontaktort, ha a tűzgátló csappantyú nem nyitott ki, vagy ha a hőmérséklet túl alacsony.

35.2.3. Ventilátor- és szivattyúvezérlések

A gépészeti elosztóban a leggyakoribb fogyasztók a ventilátorok és a szivattyúk. A villamos szerelő szempontjából ezek általában háromfázisú aszinkronmotorok, ezért a bekötésüknél a Motorvédelmek, lágyindítók és frekvenciaváltók az elosztóban alfejezetben tanult elveket alkalmazzuk, de itt a folyamat oldaláról is megvizsgáljuk őket.

35.2.3.1. Ventilátorok indítása és védelme

A ventilátorokat elsősorban a **frekvenciaváltó (VFD)** vagy a **lágyindító** használata jellemzi, különösen a nagyobb teljesítményű, nagy tehetetlenségi nyomatékú, szíjhajtásos vagy közvetlen hajtású axiál- és radiálventilátoroknál. Miért?

1. **Energiahatékonyság:** A ventilátoroknál a levegőszállítás a fordulatszámmal arányos, a nyomás a fordulatszám négyzetével, a **teljesítményfelvétel pedig a fordulatszám köbével** arányos (affinitási törvények). Ha a hálózatról közvetlenül, névleges fordulaton járatod a ventilátort, és fojtószeleppel szabályozod a légmennyiséget, a motor akkor is majdnem teljes teljesítményt vesz fel. Ha frekvenciaváltóval csökkented a fordulatszámot 80%-ra, a szükséges teljesítmény $(0{,}8)^3 = 0{,}512$, vagyis közel a **fele**.
2. **Indítási áramlökés:** A VFD és a lágyindító elkerüli a direkt indítás nagy áramlökését.

Szabály. Ventilátoroknál a VFD-t jellemzően **négyzetes (változó nyomatékú) U/f jelleggörbére** vagy energiaoptimalizáló módra paraméterezzük, mert a terhelőnyomaték a fordulatszám négyzetével nő **(ellenőrizendő: gyártói kézikönyv)**. Az alsó frekvenciahatárt (pl. 20–25 Hz) a minimális légmennyiség, a hővisszanyerő/fűtőregiszter védelme és a mechanikai rezonanciák határozzák meg; a felső határ jellemzően 50 Hz. A frekvenciaváltó kimenetén **mágneskapcsolót csak akkor szabad alkalmazni**, ha a gyártó megengedi, és a vezérlés biztosítja, hogy csak letiltott (nem moduláló) kimenetnél kapcsoljon; az üzem közbeni, terhelt bontás a kimenő tranzisztorok meghibásodását okozhatja **(ellenőrizendő: gyártói kézikönyv)**.

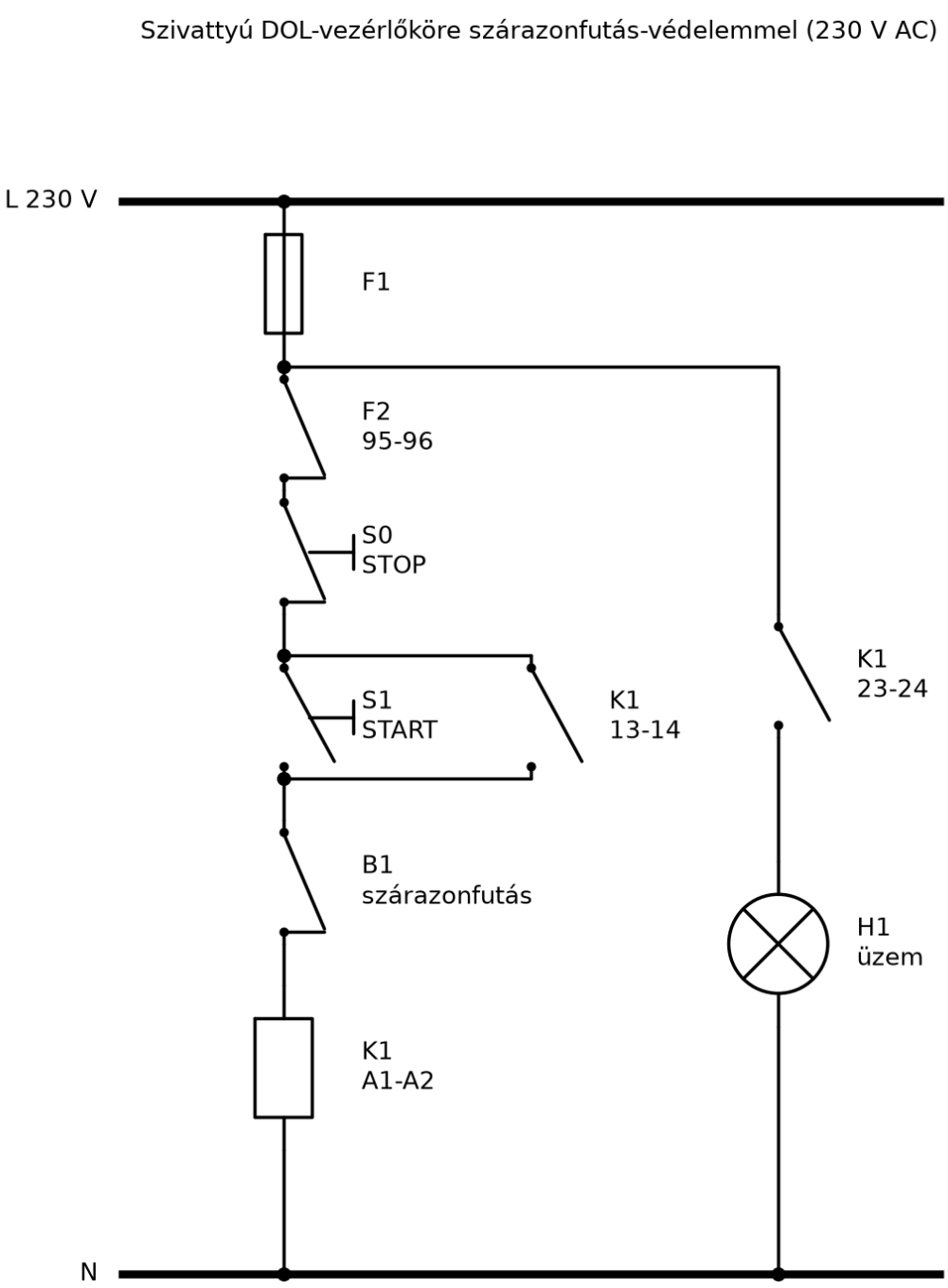
35.2.3.2. Szivattyúk indítása és védelme

A vízgépészeti szivattyúknál a legnagyobb gondot a **vízlökés** (nyomáslökés) okozza. Ha egy szivattyút direkt indítással kapcsolsz be, a csőhálózatban hirtelen nyomásugrás keletkezik, ami kalapácsütésként hangzik és tönkreteheti a csőbilincseket, szelepeket, sőt a szivattyú tömítéseit is. Még súlyosabb a hirtelen leállítás, amikor a megálló vízoszlop visszacsapja a visszacsapó szelepet (vízütés). Ezért a lágyindítót vagy a frekvenciaváltót szivattyúnál lassú indításra és szabályozott, lassú leállításra (soft stop) paraméterezzük.

Szabály. A nagyobb (1,5–2 kW feletti) szivattyúknál **lágyindítót** vagy **frekvenciaváltót** célszerű használni a nyomáslökés elkerülése érdekében. A lágyindító feszültség- vagy nyomatékvezérléssel fokozatosan gyorsítja fel a motort. A frekvenciaváltóval emellett a szivattyú fordulatszámát a nyomás vagy a térfogatáram függvényében szabályozhatjuk.

Tipikus szerelői hiba: A motorvédő kapcsolót a szivattyú tényleges áramfelvételének „ráhagyással” a névleges áram fölé állítják. **Helyes:** a beállítás a motor adattábláján szereplő névleges áram (szervizfaktorral rendelkező motornál a gyártó szerint – ellenőrizendő: adatlap). Ha az üzemi áram tartósan a névleges fölött van, a munkapontot (szelepállás, szűrő, járókerék) kell vizsgálni, nem a védelmet feljebb állítani; a névleges fölé állítva a motor tartós túlterhelés ellen nem védett.

Kapcsolási rajz. Az alábbi rajz egy szivattyú direkt (DOL) indításának vezérlőkörét mutatja szárazonfutás-védelemmel. A K1 13-14 önfenntartó érintkező a START gombbal (S1) párhuzamos, így a STOP (S0), a hőkioldó (F2 95-96) vagy a szárazonfutás-védő (B1) nyitása a tekercset elejti, és a motor leáll.



35.4. ábra. Szivattyú DOL-vezérlőköre szárazonfutás-védelemmel (230 V AC) - Vezérlőkör alapállapotban, L és N között: F1 vezérlőköri biztosító → F2 hőkioldó 95-96 (NC) → S0 STOP (NC) → S1 START (NO), vele párhuzamosan a K1 13-14 önfenntartó érintkező → B1 szárazonfutás-védő (NC; vízhiánykor nyit) → K1 tekercs A1-A2 → N. H1 üzemjelző a K1 23-24 záróérintkezőn át. A főáramkör: L1, L2, L3 → Q1 → K1 főérintkezők → F2 → M1, PE a motortestre.

35.2.4. Fűtési és hűtési szabályozás: érzékelők és szelepek

A gépészeti elosztóban találkozol a legegyszerűbb, termosztátos szabályozással, de a modern rendszereknél PLC vagy dedikált HVAC vezérlő dolgozik. A szerelő feladata az **érzékelők** és a **beavatkozók** (szelepmozgatók) bekötése és a jelzéslánc ellenőrzése.

35.2.4.1. Érzékelők (Szenzorok)

A víz- és levegőhőmérséklet mérésére a leggyakoribb típusok:

1. **Ellenállás-hőmérők (Pt100, Pt1000, NTC):** A Pt100 0 °C-on 100 ohm, 100 °C-on 138,5 ohm. Hidegvíz oldalon jellemző, a fagyvédelemnél. A bekötéshez 2, 3 vagy 4 vezetékes technikát használhatsz. Árnyékolt kábelt használj, és NE vezesd erősáramú kábellel azonos csatornában.
2. **Aktív érzékelők (0–10 V, 4–20 mA):** Hőmérséklet, páratartalom, CO_2, nyomáskülönbség mérésére. A 4–20 mA-es jel előnye, hogy a szakadás (0 mA) jól megkülönböztethető a 0 ponttól (4 mA).

Szabály. A 0–10 V-os és 4–20 mA-es jeleknél mindig **árnyékolt, sodrott érpárú** kábelt használj. Az árnyékolást csak az egyik oldalon, általában a vezérlőszekrényben kösd a PE-re vagy a jel-földre. Az érzékelők kábelét soha ne vezesd a motorokhoz menő, nagy zavartartalmú kábelekkel közös csatornában vagy kötegben.

35.2.4.2. Beavatkozók: szelepmozgatók

A fűtési és hűtési körökben a hőcserélőkön, fűtőregisztereken, hűtőgerendákon átáramló víz mennyiségét **motoros szabályozószelepek** (két- vagy háromjáratú) szabályozzák. Két nagyon elterjedt típus:

1. **Hárompontos (3-pont) vezérlésű szelep:** Két digitális kimenet kell hozzá: az egyik a „nyit” (pl. DO1), a másik a „zár” (pl. DO2) parancs. A szelep csak addig mozog, amíg a kimeneten feszültség van. A pontos pozíciót egy belső potenciométer nem mindig küldi vissza. Olcsó, egyszerűbb.
2. **Analóg (0–10 V) vezérlésű szelep:** A működtető elektronika a 0–10 V-os jel arányában állítja a szelep pozícióját, és a visszajelzést (pl. 2–10 V) is ez az egység adja. Pontosabb, jobban diagnosztizálható.

Számítási példa (érzékelő bekötés): Egy Pt100 hőmérséklet-érzékelőt 50 m hosszú, 0,5 mm² keresztmetszetű réz vezetékkel kötünk be. A réz fajlagos ellenállása $\rho = 0{,}0175\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Mekkora a vezeték ellenállása 2-vezetékes bekötés esetén?

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0{,}0175\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \cdot 2 \cdot 50\ \text{m}}{0{,}5\ \text{mm}^2}$$

A vezeték teljes hossza oda-vissza $l = 2 \cdot 50 = 100$ m.

$$R = \frac{0{,}0175 \cdot 100}{0{,}5} = \frac{1{,}75}{0{,}5} = 3{,}5\ \Omega$$

A Pt100-as érzékelő ellenállása 0 °C-on 100 Ω, 100 °C-on 138,5 Ω. A 3,5 Ω hiba 0 °C-on 3,5 Ohm × 2,6 °C/Ohm = 9,1 °C hibát okoz. Ezért 2-vezetékes módon a Pt100-at **nem** kötjük be, csak 3- vagy 4-vezetékesen.

35.2.5. Tűzgátló és füstelvezető vezérlése

Figyelem. Ez a rész a gépészeti elosztó egyik legbiztonságkritikusabb területe. A pontos kialakítást a tűzvédelmi terv és a hatályos tűzvédelmi szabályok (OTSZ) határozzák meg. **(ellenőrizendő: aktuális OTSZ előírások)**

35.2.5.1. Tűzgátló csappantyúk (Fire dampers)

A szellőzőrendszerben a tűzgátló csappantyú akadályozza meg, hogy a füst és a tűz átterjedjen a csatornákon. A szerelő feladata:

- A csappantyúkhoz **24 V DC vagy 24 V AC** tápfeszültséget és vezérlőjelet biztosít.
- A csappantyú **állásjelző kapcsolóit** (nyitva/zárva) be kell kötni a tűzjelző központba vagy a szellőztető vezérlőjébe.
- A tűzgátló csappantyú működtetője rendszerint rugóvisszatérítéses (fail-safe): feszültség megszűnésekor vagy a hőkioldó működésekor zár (biztonságos állapot). A vezérlőáramkörnek önműködőnek kell lennie, tűzjel esetén a tűzjelző központ zárja a csappantyút, és a ventilátor vezérlése letiltódik.

Szabály. A tűzgátló csappantyúk vezérlőkábelének típusát (például funkciótartó kivitel) a tűzvédelmi terv és a rendszer határozza meg; füstelvezető/füstvédelmi csappantyúknál gyakori a funkciótartó kábel. A kábeltípus egy adott célra való megfelelősége a gyártói tanúsítványból és a tűzvédelmi tervezői kiírásból következik. **(ellenőrizendő: érvényes kábeltanúsítvány)**

Figyelem. A tűzgátló csappantyú motorjának kábelét TILOS erősáramú vezetékkel közös védőcsőben, kábelcsatornában vezetni.

35.2.5.2. Füstelvezető ventilátor (Smoke exhaust fan)

A füstelvezető ventilátor feladata, hogy tűz esetén a füstöt és a hőt eltávolítsa. A specifikációja szigorúbb, mint egy normál légtechnikai ventilátoré:

- A motor és a ventilátor **fokozott hőállóságú** (pl. 400 °C-on 2 órán át működik – ez a tűzvédelmi tervben szerepel). **(ellenőrizendő: tűzvédelmi terv)**
- A tápvezetéknek **funkciótartónak** kell lennie.
- A vezérlésnek **kényszerindítással** kell rendelkeznie. A tűzjelző központ jelére a füstelvezető ventilátornak be kell indulnia, és a betáplálásnál a túlterhelés-védelem tűz esetén nem kapcsolhat ki (csak jelez); a zárlatvédelem megmarad, szelektíven méretezve **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-56, OTSZ, TvMI)**.

Figyelem. Biztonsági berendezés áramkörében az áram-védőkapcsoló (FI-relé) alkalmazását a vonatkozó előírás korlátozhatja, mert a téves kioldás tűz alatt a funkció kiesését jelentené; az áramkör kialakítását a tűzvédelmi terv határozza meg. **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-56, tűzvédelmi terv)**

35.2.6. Gépész–villamos határfelület

A legtöbb gyakorlati hiba itt keletkezik. A gépész tervadatokból, a villanyszerelő rajzokból dolgozik, és ami a kettő között nincs egyértelműen definiálva, az a szerelés során derül ki – rossz esetben rosszul.

Mi tartozik a gépészhez?

- A motorok, szivattyúk, ventilátorok **mechanikai** méretei, fordulatszám- és nyomatékigénye, a csatlakozási pontok (flansz, tengely).
- A folyamatábra (P&ID), ami megmutatja, melyik csőben mi áramlik.

Mi tartozik a villanyszerelőhöz?

- A motorok **elektromos** bekötése, a motorvédő kapcsoló beállítása, a vezérlés logikája, a kapocslista és a kábeltípus kiválasztása.

Szabály (határfelület). A gépész–villamos találkozási pontot **mindig** kapocslistával kell rögzíteni. A szerelés során az I/O-listát (Input/Output lista) használjuk. Ez tartalmazza:

- PLC-cím (pl. I0.0, Q1.2).
- Érzékelő neve és típusa (pl. B1 – Hőmérséklet Pt100).
- Kapocsszám a vezérlőben és a terepen (pl. X1:12, X2:3).
- Kábel típusa és keresztmetszete (pl. J-Y(St)Y 2x2x0.8).

Gyakorlati tipp: A kivitelezés megkezdése előtt mindig egyeztessük a gépész kollégával, hogy melyik érzékelőt ki szerel be, és hol van a határ. Pl. ha a gépész viszi a csőbe a hőmérő zsebet, akkor a villanyszerelő csak a betétet teszi bele.

35.2.7. Szabvány

Szabvány. A gépészeti elosztók kialakításánál is az MSZ EN 61439 szabványsorozatot kell alkalmazni a kapcsolóberendezésre. A berendezés belső huzalozására és védelmére a gépekre vonatkozó MSZ EN 60204-1 szabvány nyújt iránymutatást, még akkor is, ha nem fémmegmunkáló gépről van szó, mert a vezérlési logika és a védelmek hasonlóak. A tűzvédelmi elemekre a tűzvédelmi műszaki irányelvek és a forgalmazói megfelelőségi nyilatkozatok érvényesek. A folyamat oldaláról a gépész a P&ID-t adja, a villamos szerelő a villamos dokumentációt (kapcsolási rajz, I/O-lista). **(ellenőrizendő: a konkrét MSZ EN 60204-1 és MSZ EN 61439 kiadása)**

Megjegyzés. Az alfejezetben található 400 °C / 2 h érték a füstelvezető ventilátor hőállósági osztályára vonatkozik (pl. F400/120 – ellenőrizendő: MSZ EN 12101-3, MSZ EN 13501-4); ettől független a tápkábel funkciótartási ideje, amelyet a hazai gyakorlatban E30/E60/E90 (30/60/90 perc) jelöl (ellenőrizendő: OTSZ/TvMI, kábeltanúsítvány). Ez az érték és a frekvenciaváltó kimenetére vonatkozó tiltások tájékoztató jellegűek, a gyakorlatban a gyártói adatlap és a helyi tűzvédelmi tervező előírása a mérvadó.

35.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy irodaház nyáron jelentette, hogy a klíma nem hűt eléggé, és a szellőzőgépházban furcsa búgás hallatszik. A karbantartó megmérte a ventilátor motorját: a motorvédő kapcsoló nem oldott le, de a frekvenciaváltó hibaüzenetet jelzett („OL1” – túláram). Az áramfelvétel a névleges 14 A helyett 18 A volt.

A hiba oka nem a villanyszerelőben volt, hanem a gépészben: a karbantartás után a légszűrő-betétet nem tették vissza, és a revíziós ajtó nyitva maradt: a rendszer ellenállása lecsökkent, ezért a ventilátor nagyobb térfogatáramon, nagyobb tengelyteljesítménnyel járt, és a motor nagyobb áramot vett fel (radiálventilátornál a teljesítményfelvétel a térfogatárammal nő; az eltömődött szűrő éppen csökkentené az áramot) (ellenőrizendő: ventilátor-jelleggörbe).

A tanulság: A gépészeti elosztóban a villamos védelem nemcsak a zárlat ellen véd, hanem a gépészeti hibák következményeit is el kell tűrnie vagy le kell kezelnie. Ilyenkor a frekvenciaváltó megfelelő beállítása (áramkorlátozás, fordulatszám-csökkentés) vagy a motorvédő kapcsoló helyes kalibrálása védte meg a motort a leégéstől.

35.2.9. Tipikus hibák

1. **A 0–10 V-os érzékelőt 230 V-os jellel közösvezetéken viszik.** *Miért rossz?* A törpefeszültségű analóg jelre a 230 V-os vezeték kapacitív vagy induktív csatoláson keresztül zavart visz. A hőmérsékletérték ugrál, a rendszer rezegni kezd (a szelep folyamatosan nyit-zár). *Helyes gyakorlat:* Erősáramú és gyengeáramú jel csak szeparált csatornában vagy árnyékolt kábellel mehet.
2. **A frekvenciaváltó és a motor közé kontaktort kötnek a motor leválasztására, és azt használják vészleállítónak.** *Miért rossz?* A VFD kimenetének terhelt megszakítása túlfeszültséget indukál, ami tönkreteheti a tranzisztorokat. *Helyes gyakorlat:* A vészleállítás a VFD biztonsági bemenetét (STO – Safe Torque Off) aktiválja, vagy a bemeneti kontaktort oldja le, de a kimenetet nem terhelten szakítja meg.
3. **Nem kötik be a tűzgátló csappantyú végállás-jelzőjét.** *Miért rossz?* A tűzjelző központ nem tudja, hogy a csappantyú beszorult-e. Egy tűz esetén a rendszer azt hiszi, hogy a csappantyú zárva van, de a füst akadálytalanul terjed. *Helyes gyakorlat:* Az állásjelző kontaktusokat mindig sorba kell kötni a szellőztető vezérlésében és a tűzjelzőben.

35.2.10. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A ventilátor teljesítményfelvétele a fordulatszámmal arányos.
2. Miért használunk lágyindítót a nagyobb szivattyúknál?
3. **Gyors számolás:** Egy 15 kW-os ventilátor fordulatszámát 10%-kal csökkented. Körülbelül mekkora lesz az új teljesítményfelvétel?
4. Mi a különbség a hárompontos és a 0–10 V-os szelep között a bekötés szempontjából?
5. Mi a gond a 2-vezetékes Pt100 bekötéssel?
6. Miért veszélyes az FI-relé használata a füstelvezető ventilátor áramkörében tűz esetén?

35.2.11. Megoldások (Önellenőrzés – válaszok)

1. **Hamis.** A teljesítményfelvétel a fordulatszám **köbével** arányos.
2. A lágyindító fokozatosan gyorsítja fel a motort, elkerülve a vízlökést (nyomáslökést) a csőhálózatban; leálláskor a szabályozott lassú leállítás (soft stop) védi meg a rendszert a vízütéstől. A lökés tönkretenné a tömítéseket, csőbilincseket és szelepeket.
3. $P_2 = P_1 \cdot (n_2/n_1)^3 = 15\ \text{kW} \cdot (0{,}9)^3 = 15 \cdot 0{,}729 = 10{,}9\ \text{kW}$. A teljesítmény ~27%-kal csökken.
4. A hárompontos szelephez két digitális kimenetre (nyit, zár) van szükség, a 0–10 V-oshoz egy analóg kimenetre és egy visszajelző analóg bemenetre.
5. A vezeték ellenállása összeadódik az érzékelőével, ami 3,5 ohm esetén már közel 9 °C hibát okozhat.
6. Az FI-relé egy szigetelési hiba esetén leoldhatná a tápellátást, ami tűz alatt a füstelvezető leállásához vezetne. Ezért az áramkör védelmét úgy kell kialakítani, hogy a tűz alatt ne oldjon le tévesen.

35.2.12. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a gépészeti elosztó négy fő rétegét (blokkvázlat alapján), és mindegyikhez nevezz meg egy tipikus elemet.

2. feladat (A) Egy szivattyú motorvédő kapcsolóját be kell állítani. A motor névleges árama 10 A. A szivattyú üzem közben mért árama 11 A. Mire állítod a motorvédő kapcsolót, és mit vizsgálsz?

3. feladat (B) Egy fűtési rendszerben egy 0–10 V-os szabályozó kimenetet használunk. A szelep 0 V-on zárva, 10 V-on teljesen nyitva van. A vezérlő 3,5 V-ot ad ki. A szelep útja 20 mm. Mekkora a szelep becsült nyitási pozíciója mm-ben?

4. feladat (B) Rajzold le (vagy írd le) egy szivattyú DOL (közvetlen) indítású vezérlésének kapcsolási rajzát önfenntartással, START/STOP nyomógombbal és hőkioldóval.

5. feladat (C) Egy légkezelő berendezésben a befúvó ventilátor 11 kW-os, névleges árama 21 A. A tervező frekvenciaváltót ír elő. Indokold meg, miért kell a frekvenciaváltó kimenetére külön fojtótekercset vagy szűrőt tenni, ha a motor kábele 80 m hosszú.

6. feladat (D) Egy hőcserélő fagyvédő termosztátja hibát jelez. A villanyszerelő megméri a termosztát kapcsait: a kapocsra kötött jel 0 V, a földhöz képest nem zárlatos. A PLC bemeneti kártyáján a LED nem világít. Ellenőrzés után kiderül, hogy a gépész a termosztátot a cső külső felületére szerelte, de a kábelt a szivattyú 400 V-os tápvezetékével közös csőben vezették. Hogyan lokalizálod a hibát, és mit javasolsz a megoldásra?

35.2.13. Megoldások (Feladatok)

1. feladat megoldása A blokkvázlat rétegei: 1. **Fő betáplálás:** Főkapcsoló, hálózati figyelő relé, túlfeszültség-levezető. 2. **Hajtások:** Ventilátor frekvenciaváltó, szivattyú lágyindító, direkt motorvédelem. 3. **Vezérlés és szabályozás:** PLC/HVAC vezérlő, 24 V DC tápegység, relék, reteszek. 4. **Biztonsági/tűzvédelmi rendszer:** tűzgátló csappantyúk, füstelvezető ventilátor, fagyvédő termosztát.

2. feladat megoldása A motorvédő kapcsolót a motor adattáblai névleges áramára, 10 A-re kell állítani (a beállítási tartomány ellenőrzése után). A 11 A tartós üzemi áram a névleges

fölött van: a túlterhelés okát kell keresni (a szivattyú munkapontja, szelepállás, eltömődött szűrő, mechanikai ellenállás, a motor alulméretezése), nem a védelmet feljebb állítani.

3. feladat megoldása A 0–10 V-os jel 0–20 mm mozgást vezérel. A 3,5 V a tartomány 35%-a ($3{,}5/10 = 0{,}35$). Tehát a nyitás: $20\ \text{mm} \cdot 0{,}35 = 7\ \text{mm}$.

4. feladat megoldása A DOL kapcsolás leírása: - Főáramkör: L1, L2, L3 -> Q1 (motorvédő vagy kismegszakító) -> K1 főérintkezői (1–2, 3–4, 5–6) -> F2 hőkioldó -> M1 (U1, V1, W1), PE a motortestre. - Vezérlőkör (230 V AC): L -> F1 vezérlőköri biztosító -> F2 95–96 (NC) -> S0 STOP (NC, 11–12) -> S1 START (NO, 13–14) -> K1 tekercs A1–A2 -> N. - A K1 13–14 önfenntartó érintkezője az S1 START-tal párhuzamos. - START: a K1 behúz, az önfenntartó érintkező zár, a motor elindul. STOP vagy a hőkioldó működése: a tekercs elejt, az önfenntartás megszűnik, a motor leáll.

5. feladat megoldása 80 m hosszú motorkábelnél a frekvenciaváltó kimenő feszültsége nagy frekvenciájú (2–16 kHz). A hosszú kábel kapacitása jelentős, a kábel visszaveri a jeleket. A gyors PWM-élek a kábelen visszaverődnek, és a motor kapcsain a közbenső köri feszültség közel kétszeresét elérő (gyártói adat szerint akár nagyobb) csúcsok léphetnek fel, amelyek a tekercsszigetelést károsítják; a kábel nagy kapacitásának töltőárama pedig a váltót terheli, és túláramhibát okozhat. A kimeneti fojtó vagy dU/dt szűrő ezt a feszültségcsúcsot korlátozza, így a motor és a frekvenciaváltó élettartama megnő.

6. feladat megoldása A hiba lokalizálása: Biztonsági korlát: a mérést csak jogosult személy, a műszer mérési kategóriájának megfelelően és az öt biztonsági szabály szerint végezze; a vezeték vizsgálatát feszültségmentesen kell végezni.

1. Mérd a 24 V-ot a PLC bemeneténél és a termosztát kapcsainál: ha a termosztát bemenetén van 24 V, a kimenetén nincs, a termosztát bont (a fagyvédő termosztát jellemzően NC, hibát/alacsony hőmérsékletet bontással jelez) – ellenőrizd a hőmérsékletet és a beállítást. A termosztátot a cső külső felületére szerelték, így az a víz, nem a levegő hőmérsékletét érzékeli, ezért a rossz elhelyezés is okozhatja a bontást.
2. Ha a termosztát zár, de a PLC-n nincs jel: feszültségmentesítés után mérd a kábel érfolytonosságát és szigetelését (szakaszolással).
3. A közös csőben vezetett kábel zavart (téves jeleket) okozhat, de szakadást mechanikai sérülés okoz; indukált feszültség a vezetéket nem szakítja el. Javítás: a termosztát a gyártói előírás szerinti helyre (fagyvédőnél jellemzően a hőcserélő levegő oldalára, kapillárissal), a kábel árnyékolt, sodrott érpárú, az erősáramú vezetéktől elválasztva, mechanikailag védve.

35.2.14. Rövid összefoglaló

A gépészeti elosztó a ventilátorok, szivattyúk, fűtési és hűtési körök villamos háttere. A ventilátoroknál a frekvenciaváltó az energiahatékonyság miatt kulcsfontosságú, a teljesítmény a fordulatszám köbével arányos ($P \sim n^3$). A szivattyúknál a lágyindító a vízlökés ellen véd. A fűtés/hűtés szabályozásban az érzékelők (0–10 V, 4–20 mA, Pt100) bekötésénél az árnyékolásra kell ügyelni, a szelepmozgatók lehetnek 3-pontos vagy 0–10 V-os vezérlésűek. A tűzgátló csappantyúk és a füstelvezető ventilátor vezérlése biztonsági kritikus: a kábelnek funkciótartónak kell lennie, a vezérlést a tűzjelző központtal kell összekapcsolni. A gépész-villamos határfelületet mindig I/O-listával és kapocslistával rögzíteni kell. **Továbbvitt eredmény.** Az itt tanult blokkvázlat, a reteszelési logika és a gépész-villamos interfész az alapja a Felvonó- és állandó üzemű fogyasztók elosztói alfejezetben tárgyalt bonyolultabb tokozásoknak és biztonsági köröknek.

35.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet az MSZ EN 61439 sorozatra, az MSZ EN 60204-1 szabványra, az MSZ HD 60364-5-56 szabványra (biztonsági célú berendezések), az OTSZ-re (54/2014. BM rendelet) és a vonatkozó TvMI-kre, az MSZ EN 13501-3/-4 szabványokra (funkciótartás, füstelvezető ventilátor), valamint a gyártói kézikönyvekre támaszkodik; mindegyik: (ellenőrizendő: aktuális kiadás, hatályos szöveg). A példaértékek oktatási célúak, a gyakorlatban a gyártói adatlap és a tűzvédelmi tervező előírása a mérvadó.

35.3. Felvonó- és állandó üzemű fogyasztók elosztói

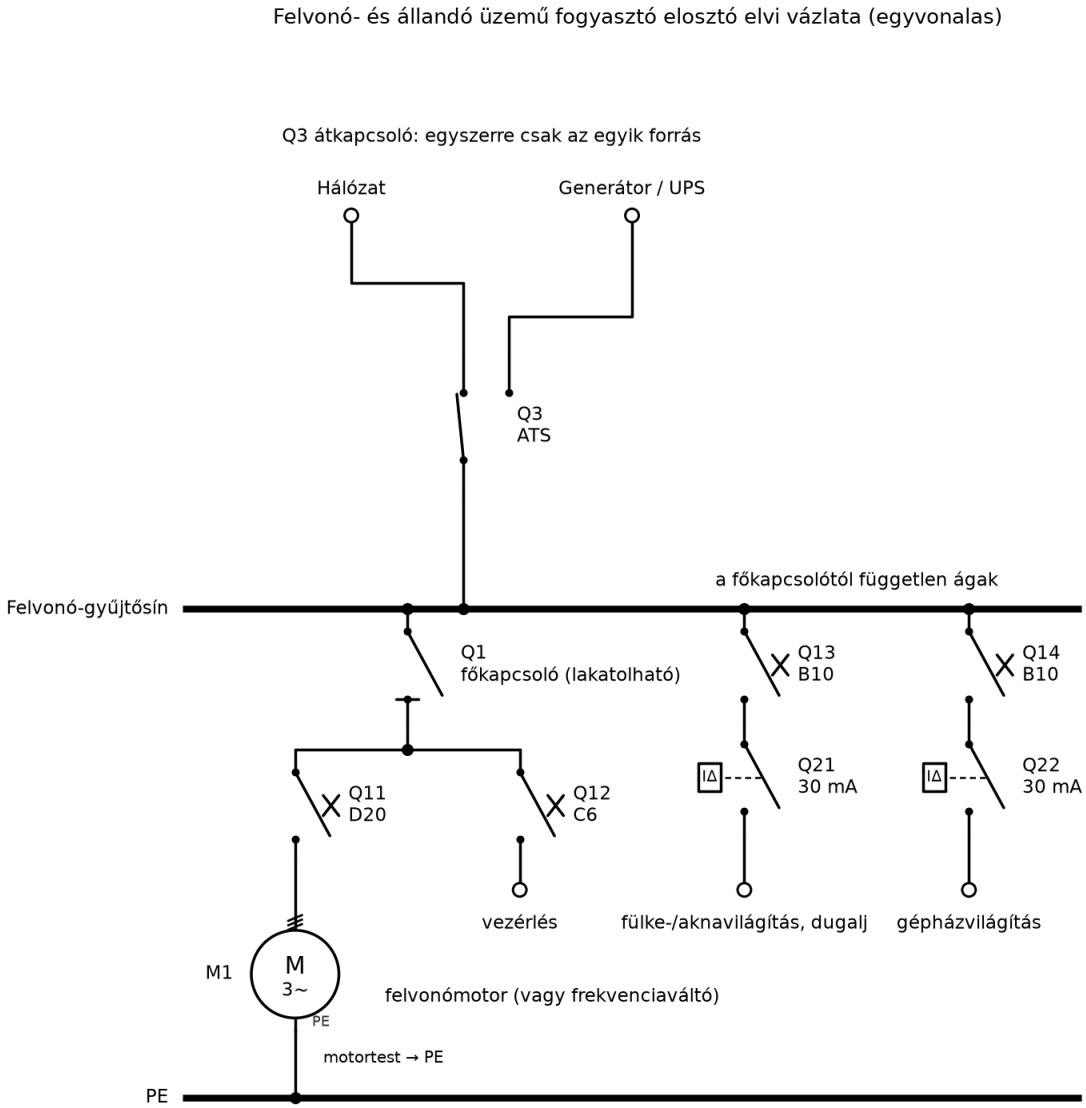
35.3.1. Motiváció

Egy ipari csarnokban a felvonó nem egyszerűen egy „nagyobb fogyasztó”, hanem olyan berendezés, amelynek kiesése mozgáskorlátozottak, anyagmozgatás vagy üzemszerű működés esetén azonnali termeléskiesést okozhat. Ugyanez igaz egy szerverterem vagy hűtőház villamos elosztójára: ha a betáp megszakad, nem elég „majd visszajön az áram”, mert az adatvesztés vagy a hűtőlánc megszakadása visszafordíthatatlan kár. A felvonó- és állandó üzemű fogyasztók elosztóit ezért nem elegendő egy hagyományos lakáselosztó logikájával méretezni: itt a redundancia, a tartalék betáp, a szelektivitás és a karbantarthatóság együtt döntik el, hogy a berendezés valóban akkor működik-e, amikor szükség van rá.

Ebben az alfejezetben a felvonó villamos elosztójának követelményeit, majd az állandó üzemű fogyasztók (szerver, hűtés, biztonságtechnika) elosztóinak sajátosságait vesszük végig. A hangsúly a szerelő szempontján van: milyen áramkört, védelmet, jelölést és karbantartási gyakorlatot kell kialakítani.

35.3.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy felvonó elosztószekrényét a gépházban. A felvonó önálló leágazásáról egy külön elosztó kap tápot. A lakatolható főkapcsoló a hajtómotort és a vezérlést kapcsolja; a fülke-, akna- és gépházvilágítás és a karbantartási dugalj a főkapcsolótól függetlenül, saját védelmen át kap tápot, hogy lekapcsolt főkapcsolónál is legyen világítás (ellenőrizendő: MSZ EN 81-20). A tartalék betápot – ha van – egy automatikus átkapcsoló kapcsolja a hálózat kiesésekor.



35.5. ábra. Felvonó- és állandó üzemű fogyasztó elosztó elvi vázlata (egyvonalas) - Egyvonalas elvi vázlat (a fővonal a 3 fázist, illetve az egyfázisú ágakban az L-t és N-t jelzi). Q3 automatikus átkapcsoló (ATS, váltóérintkezős jellel): alapállásban a hálózati ágat kapcsolja a gyűjtősínre, hálózatkiesés után a tartalék (generátor/UPS) ágat; egyszerre csak az egyik forrás csatlakozhat, így a két forrás sosem kapcsolódik párhuzamosan. Q1 a lakatolható felvonó-főkapcsoló: csak a hajtást (Q11) és a vezérlést (Q12) kapcsolja, a PE-t nem; a fülke-/aknavilágítás, a dugalj (Q13, Q21) és a gépházvilágítás (Q14) a főkapcsolótól függetlenül, közvetlenül a gyűjtősínről kap tápot, hogy kikapcsolt főkapcsolónál is legyen világítás a karbantartáshoz. A 30 mA-es RCD-k a fülke-/aknavilágítás és a karbantartási dugalj (Q21), illetve a gépházvilágítás (Q22) ágában vannak. A készülékértékek szemléltetők; a tényleges kivitel a szabvány (MSZ EN 81-20), a gyártói előírás és a jogosult tervező terve szerint (ellenőrizendő).

Az ábrán a felvonó motor külön leágazáson kap tápot. A dugalj és a világítás FI-relén keresztül csatlakozik, míg a motoráramkörnél a motor jellegéből adódóan nem feltétlenül használunk 30 mA-es FI-t; ezt a következő szakaszban pontosítjuk. A tartalék betáp (generátor vagy UPS) a reteszelt Q3 átkapcsolón át csatlakozik: a gyűjtősínt vagy a hálózat, vagy a tartalék forrás táplálja,

a kettő soha nem párhuzamosan; így a kritikus fogyasztók hálózatkieséskor is működnek.

35.3.3. Definíciók, követelmények és szabályok

35.3.3.1. A felvonó elosztójának villamos követelményei

A felvonó villamos berendezése nem csak a motor: a vezérlés, a biztonsági áramkör, a fülkevilágítás, a gépházvilágítás, a szellőzés és a hívórendszer is ide tartozik. A felvonóra vonatkozó követelményeket a **felvonó-szabvány** (Magyarországon az MSZ EN 81 sorozat; az aktuális kiadás ellenőrizendő) és az építési, tűzvédelmi, munkavédelmi előírások közösen határozzák meg.

Szabvány. A felvonó villamos berendezésére és elosztójára vonatkozó követelményeket elsősorban az MSZ EN 81 sorozat (felvonók biztonsági előírásai) és az MSZ HD 60364 kisfeszültségű villamos berendezésekre vonatkozó szabvány tartalmazza. A felvonó-szabvány a gépház, az akna, a fülke és a vezérlőberendezés villamos követelményeit is rögzíti; a részletes áramköri és szerelési megoldásokat a gyártói dokumentáció és a hatósági előírások pontosítják. **(ellenőrizendő: az aktuális szabványszám és kiadás)**

Meghatározás. A **felvonó-elosztó** a felvonó-berendezés céljára kialakított, elkülönített villamos elosztó, amely a hálózati betáptól a motor, a vezérlés, a fülkevilágítás és a gépházi segédáramkörök megtáplálásáig terjed. A felvonó áramköre a többi fogyasztótól legalább **szelektív túláramvédelemmel** elkülönített leágazáson kap tápot.

A felvonóelosztó jellemző követelményei:

1. **Külön betáp és külön főkapcsoló.** A felvonót rendszerint önálló leágazáson kell táplálni. A főkapcsolónak zárhatónak vagy lelakatolhatónak kell lennie, és egyértelműen jelölni kell, hogy az a felvonóhoz tartozik. A főkapcsoló minden aktív vezetőt (a fázisokat és – ahol a leválasztás megköveteli – a nullavezetőt) bontson, kikapcsolt állapotban lelakatolható legyen. A védővezetőt (PE) és a PEN-vezetőt kapcsolni tilos. **(ellenőrizendő: MSZ EN 81-20, MSZ HD 60364-4-46, -5-54)**

2. **Túláram- és hibavédelem.** A motoráramkört a motor névleges áramához és indítási áramához illesztett kismegszakítóval vagy motorvédő kapcsolóval kell védeni. A motor rövidzárlati védelmére B vagy C kioldási karakterisztikájú kismegszakító a gyakorlatban sokszor nem elegendő a nagy indítási áram miatt, ezért gyakran D karakterisztikájú megszakítót vagy motorvédő kapcsolót alkalmaznak. A vezérlési áramköröket külön, kis névleges áramú megszakítókkal kell védeni. A dugaszolóaljzatok (köztük a karbantartási dugalj) áramköreit 30 mA-es áram-védőkapcsolóval kell ellátni (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41, MSZ EN 81-20); a fülke- és vészvilágítást a gyártói előírás szerint.

3. **FI-relé használata a motoráramkörben.** A felvonó hajtómotorja általában ipari frekvenciaváltóról vagy hálózati feszültségű motorról üzemel. A motor és a frekvenciaváltó üzemszerűen keltette szivárgási árama miatt a 30 mA-es FI-relé használata a motor főáramkörében gyakran téves kioldást okozhat. Ezért a motoráramkört általában nem 30 mA-es FI-relével, hanem hibavédelmi célú, nagyobb (pl. 300 mA) vagy szelektív FI-relével, illetve a hálózati rendszerhez illesztett egyéb hibavédelmi megoldással kell védeni. A végleges megoldást a gyártói előírás és a szabvány határozza meg. **(ellenőrizendő: az aktuális szabvány követelményei)**

4. **Biztonsági áramkörök.** A felvonó biztonsági lánca (ajtóretesz, sebességhatároló, ütköző, stb.) a felvonó-szabvány szerint önálló, felügyelt áramkör, amelynek megszakadása azonnali leállítást és hibajelzést eredményez. A biztonsági lánc a felvonóvezérlés része; táplálását és bekötését a felvonó gyártója/szerelője a szabvány szerint alakítja ki, a villanyszerelő

a vezérlés számára külön (a motorétól független) védett leágazást biztosít (ellenőrizendő: MSZ EN 81-20 vonatkozó szakaszai).

5. **Akna- és gépházvilágítás, dugalj.** A karbantartási munkákhoz külön világítási és dugaljkört kell kialakítani. Az aknában és a gépházban a karbantartási dugaljnak 30 mA-es FI-védelemmel kell rendelkeznie, mert a munkavégzés helyszíne nedves, szűk, földelt felületekkel határolt.

6. **Jelölés és dokumentáció.** A felvonóelosztóban minden áramkört azonosítani kell: „felvonó motor", „vezérlés", „fülkevilágítás", „gépházvilágítás", „dugalj", „tartalék betáp". A kapcsolási rajzot a szekrényben kell elhelyezni. A felvonó átadásakor az elosztó feliratozását ellenőrizni kell.

35.3.3.2. Állandó üzemű fogyasztók: redundancia és szünetmentes ellátás

Definíció. Az **állandó üzemű fogyasztó** olyan berendezés vagy rendszer, amelynek üzeme folyamatos, illetve amelynek kiesése üzemzavart, adatvesztést vagy biztonsági kockázatot okoz. Ilyenek a szerverek, a hűtőházak, a klímaközpontok, a biztonságtechnikai rendszerek, a kommunikációs csomópontok.

Az ilyen fogyasztók elosztóinál nem elegendő a hagyományos, egyszeres betáplálás. A következő szempontokat kell figyelembe venni:

- **Redundancia.** Legalább két, egymástól független villamos betáplálást kell biztosítani: az egyik a közcélú hálózat, a másik lehet tartalék generátor, szünetmentes áramforrás (UPS) vagy másik transzformátor. A két betáplálás közötti átkapcsolást automatikus átkapcsoló (ATS – Automatic Transfer Switch) végzi. Az ATS-nek reteszeltnek kell lennie, hogy a két forrás soha ne kapcsolódjon párhuzamosan.

- **Szünetmentes ellátás (UPS).** A szerverek és a biztonságtechnika nem tűrik a hálózatkimaradást. A UPS olyan akkumulátoros berendezés, amely a hálózat kiesésekor inverterrel táplálja a fogyasztókat. A UPS-nek magának is védett áramkört kell kapnia, és a kimenő oldalát külön elosztóval, FI-védelemmel és szelektív kismegszakítókkal kell kialakítani.

- **Tartalék betáp.** A tartalék generátor indítása, terhelésre kapcsolása és leállítása automatikus rendszerrel történik. A felvonó, a hűtőkompresszor, a szerverterem klímája csak akkor van ellátva, ha a tartalék betáp rendelkezésre áll. A tartalék betáp áramkörét úgy kell méretezni, hogy a kritikus fogyasztók teljes terhelését elbírja.

- **Karbantartási megkerülő áramkör.** A tartalék betáp és a UPS karbantartásához gyakran beépítenek kézi megkerülő kapcsolót, amellyel a fogyasztók ellátása megszakítás nélkül közvetlenül a hálózatra kapcsolható, így a UPS (tartalék berendezés) a fogyasztóktól és a hálózattól leválasztható, és biztonságosan javítható.

35.3.3.3. Kismegszakító, FI és szelektivitás a speciális fogyasztóknál

A felvonó és az állandó üzemű fogyasztók elosztóiban a védelmi eszközök kiválasztásánál a következő szabályokat kell érvényesíteni:

1. **Szelektivitás.** A hibahelyhez legközelebbi védelmi eszköznek kell kioldania, a felette lévőnek bekapcsolva kell maradnia. Ezért a főmegszakító és a leágazó kismegszakítók között energia-szelektivitást kell tervezni. A gyakorlatban a gyártók táblázatokat adnak meg a szelektivitási párokról; ezeket a tényleges kiválasztásnál ellenőrizni kell.

2. **FI-relé kiválasztása.** Állandó üzemű fogyasztók (szerver, hűtés) esetén a 30 mA-es FI-relé elsősorban a dugalj- és világítási áramkörökhöz szükséges. A szerver tápegységek miatti szivárgási áramok miatt azonban a nagyobb, 300 mA vagy 1 A-es FI-reléket és a szelektív FI-reléket gyakran alkalmazzák a főelosztó szintjén. A szivárgási áramok összegződhetnek, ezért az RCD mögé csak annyi fogyasztót kössünk, hogy az áramkör üzemszerű szivárgóárama (védővezető-árama) ne haladja meg az $I_{\Delta n}$ kb. 30 %-át (30 mA-es RCD-nél kb. 10 mA; ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-53, gyártói ajánlás), mert az RCD már a névleges érték felénél is kioldhat.
3. **Kismegszakító karakterisztikák.** A felvonó motorja és a frekvenciaváltó indításakor nagy áramlökés van, ezért D karakterisztikájú megszakítót vagy motorvédő kapcsolót használnak. A szerverek tápegységei C karakterisztikát igényelhetnek a bekapcsolási áram miatt. A világítási áramkörök B karakterisztikát kapnak.
4. **Feszültségesés.** Az állandó üzemű fogyasztók érzékenyek a feszültségesésre, ezért a vezeték keresztmetszetét a megengedett feszültségesés (pl. 3% a leágazásban) alapján is ellenőrizni kell. Ez a Feszültségesés és a vezeték méretezése alfejezetben tanultak szerint történik.

35.3.3.4. Üzemeltetés és karbantartás

A felvonóelosztó és az állandó üzemű fogyasztók elosztója nem „szerelt és elfelejtett” berendezés. A következő karbantartási feladatokat kell rendszeresen elvégezni:

- **Vizuális ellenőrzés:** csatlakozók meglazulása, melegedésnyomok, szigetelés sérülése, por, nedvesség.
- **Melegedésmérés:** hőkamerával vagy hőmérséklet-címkével az elosztó csatlakozásait ellenőrizni.
- **FI-relé vizsgálat:** a FI-relé próbagombját havonta megnyomni; védelmi méréssel a kioldási időt és a kioldási áramot ellenőrizni.
- **Tartalék betáp próba:** a generátort terhelés alatt időszakosan indítani, az ATS működését gyakorolni.
- **UPS akkumulátorok ellenőrzése:** az akkumulátor feszültségét és belső ellenállását rendszeresen mérni, a gyártói ajánlás szerint cserélni.

35.3.4. Kidolgozott példák

35.3.4.1. 1. példa (alap)

Egy felvonó hajtómotorja 7,5 kW névleges teljesítményű, 400 V-os háromfázisú, $\cos\varphi = 0{,}82$, $\eta = 0{,}88$. Számítsa ki a motor névleges áramát, és válasszon kismegszakító kioldási karakterisztikát.

Megoldás:

A háromfázisú hatásos teljesítmény:

$$P = \sqrt{3}\, U_v\, I_n\, \cos\varphi\, \eta$$

Ebből a névleges áram:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3}\, U_v\, \cos\varphi\, \eta} = \frac{7500\,\mathrm{W}}{\sqrt{3}\cdot 400\,\mathrm{V}\cdot 0{,}82\cdot 0{,}88}$$

Kiszámolva:

$$\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}88 = 1{,}732 \cdot 400 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}88 \approx 500{,}1$$

$$I_n \approx \frac{7500}{500{,}1} \approx 15{,}0\,\text{A}$$

A motor indítási árama ennél 5–8-szor nagyobb, ezért a motoráramkörbe D karakterisztikájú kismegszakító (pl. D20) vagy motorvédő kapcsoló illik. A B vagy C karakterisztika a közvetlen indításnál tévesen kioldhat. **(ellenőrizendő: a gyártói katalógus a pontos kioldási görbéhez)**

Ellenőrzés: a teljesítmény-visszaszámítás: $\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 15 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}88 \approx 7500\,\text{W}$. Az eredmény egysége A, nagyságrendje reális.

35.3.4.2. 2. példa (közepes)

Egy szerverterem állandó üzemű betáplálása 20 kVA összteljesítményű, cosφ = 0,95. A terhelés 60%-a kritikus (UPS-ről táplált), a többi csak tartalék generátorról. Kiválasztunk egy UPS-t, amelynek hatásfoka 93%, és a kritikus terhelés 15 perces áthidalását kell biztosítania (az akkumulátor-energiát is becsüld meg). Számítsa ki a UPS névleges teljesítményét, bemeneti áramát 230 V egyfázisú betáplálás esetén, és ellenőrizze, hogy a 63 A-es betápláló kismegszakító elegendő-e.

Megoldás:

Először a kritikus terhelés:

$$S_{krit} = 0{,}6 \cdot 20\,\text{kVA} = 12\,\text{kVA}$$

A UPS hatásos bemeneti teljesítménye a hatásfokkal:

$$P_{be} = \frac{S_{krit} \cdot \cos\varphi}{\eta} = \frac{12\,\text{kVA} \cdot 0{,}95}{0{,}93} \approx \frac{11{,}4}{0{,}93} \approx 12{,}26\,\text{kW}$$

Egyfázisú, 230 V-os betáplálásnál az áram (a UPS bemeneti teljesítménytényezője λ_{be} gyártói adat, pl. 0,99; itt a biztonság javára $\cos\varphi = 0{,}95$-tel számolunk):

$$I_{be} = \frac{P_{be}}{U_f \cdot \cos\varphi} = \frac{12260\,\text{W}}{230\,\text{V} \cdot 0{,}95} \approx \frac{12260}{218{,}5} \approx 56{,}1\,\text{A}$$

A 63 A-es kismegszakító tehát kismértékben elegendő, de a terhelés 60%-os bővítésre vagy a bekapcsolási áramra már nem ad tartalékot. A UPS gyártója gyakran javasolja a 80 A-es betáplálást a kiegészítő terhelések és a bekapcsolási áramlökés miatt. A végleges méretezésnél a gyártói adatlapot és a feszültségesést is ellenőrizni kell.

Áthidalás. A kimeneti hatásos teljesítmény $12\,\text{kVA} \cdot 0{,}95 = 11{,}4\,\text{kW}$; 15 percre (0,25 h) a szükséges akkumulátor-energia $11{,}4 \cdot 0{,}25/0{,}93 \approx 3{,}1\,\text{kWh}$ **(ellenőrizendő: gyártói áthidalási táblázat)**.

Ellenőrzés: a látszólagos betápláló teljesítmény $S_{be} = 230 \cdot 56{,}1 \approx 12{,}9\,\text{kVA} > S_{krit}$, ami a veszteséget is fedezi.

35.3.5. Szabvány

Szabvány. A felvonó villamos berendezésére vonatkozó részletes követelményeket az MSZ EN 81 sorozat (felvonók biztonsági előírásai) tartalmazza, beleértve a gépház, az akna és a fülke villamos telepítését, valamint a vezérlési és biztonsági áramkörök kialakítását. A kisfeszültségű berendezés általános követelményeit az MSZ HD 60364 sorozat adja, a túláramvédelemre és a hibavédelemre vonatkozó részekkel. Az állandó üzemű fogyasztók elosztóinál emellett az MSZ EN 61439 (kapcsolóberendezések) és az MSZ EN 60947 (kapcsolókészülékek) követelményeit kell alkalmazni. A szünetmentes ellátásra az MSZ EN 62040 (UPS) és az akkumulátorokra vonatkozó szabványok vonatkoznak. A tűzvédelmi és biztonsági világítási követelményeket a hatályos OTSZ és az MSZ EN 1838 tartalmazza. **(ellenőrizendő: a felsorolt szabványok aktuális kiadásai és alkalmazhatóságuk)**

Fontos elv: a felvonó szerelése önálló szakma, ezért a felvonó biztonsági áramköreinek kialakítása, a kötések és a behúzások a felvonó-szerelő feladata. A villanyszerelőnek az elosztó kialakítását, a betáplálást, a védelmi eszközöket és a karbantartási áramköröket kell elkészítenie, a felvonó-szerelővel egyeztetve.

35.3.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy raktárcsarnokban a meglévő felvonó elosztójában a fülkevilágítás 10 A-es kismegszakítóval és FI-relé nélkül volt bekötve. A karbantartás során a felvonó-szerelő azt észlelte, hogy a fülkevilágítás vonalában a fázisvezető csupaszodott meg a kábelhúzás miatt, és a fülke fémburkolatához ért. A mérés kimutatta, hogy a fülke fémszerkezetének védővezető-bekötése a függőkábelben megszakadt, ezért a kismegszakító nem oldott le (a hurokimpedancia-feltétel nem teljesült), és a fémrész feszültség alá került. A szerelő a berendezés feszültségmentesítése után helyreállította a PE-folytonosságot, megmérte a folytonosságot és a hurokimpedanciát, és kiegészítő védelemként minden fülke-, akna- és gépházvilágítási, valamint dugaljkört 30 mA-es FI-relével látott el. Tanulság: a hibavédelem alapja a PE-folytonosság és az önműködő lekapcsolás; az FI-relé kiegészítő védelem, amely a motoráramkörnél a szivárgóáram miatt gyakran nem alkalmazható, a karbantartási és világítási köröknél viszont indokolt. **(ellenőrizendő: a konkrét eset adatai; a tanulság általános érvényű)**

Egy másik gyakori eset: a szerverteremben a szerverállványok bővítése után a kritikus áramkörök 30 mA-es FI-reléi tévesen kioldottak a tápegységek szivárgási áramának összegződése miatt (a szivárgóáram nem függ attól, hogy hálózatról vagy generátorról megy a táplálás; csak generátoros kioldásnál először az N-vezető kapcsolását és az N–PE kötést kell vizsgálni). A megoldás az áramkörök szétválasztása volt: a szervereket nagyobb (300 mA) szelektív FI-relével, a munkavédelmi dugaljakat 30 mA-es FI-relével látták el. A szelektivitás így a téves kioldásokat megszüntette.

35.3.7. Gyakorlati útmutató – Ellenőrzőlista a kivitelezéshez és az átadáshoz

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Felvonóelosztóban a munkát a felvonó-szerelővel együttműködve, feszültségmentesítés után kell végezni.

35.3.7.1. Cél

A felvonó- vagy állandó üzemű fogyasztó elosztóját az ellenőrzési pontok szerint kialakítani és átadni.

35.3.7.2. Eszközök és anyagok

- kismegszakítók (B, C, D karakterisztika), FI-relék (30 mA, 300 mA, szelektív)
- főkapcsoló, zárható; átkapcsoló (ATS), kontaktor, jelzőlámpák
- kapcsolási rajz, feliratok, kábeltálca, sorkapcsok
- multiméter, lakatfogó, FI-mérő, hurokimpedancia-mérő, szigetelésvizsgáló (MSZ EN 61557-2)

35.3.7.3. Lépések

1. **Felmérés és rajz.** Az elosztó kapcsolási rajzát az áramkörök megnevezésével készítsd el. Ellenőrizd a betáp fázisszámát, a tartalék betáp meglétét.
2. **Feszültségmentesítés.** A munkát az öt biztonsági szabály szerint végezd.
3. **Főkapcsoló és betáp.** A főkapcsolót zárható kivitelben szereld, és jelöld „FELVONÓ” vagy „ÁLLANDÓ ÜZEMŰ FOGYASZTÓ” felirattal.
4. **Leágazások bekötése.** A motoráramkört D karakterisztikával vagy motorvédő kapcsolóval, a vezérlést külön C karakterisztikával, a világítást és dugaljakat B karakterisztikával és 30 mA-es FI-relével.
5. **FI-relék elhelyezése.** A 30 mA-es FI-relét a karbantartási és világítási áramkörhöz; a fő betáplálásnál szükség esetén nagyobb, szelektív FI-t.
6. **Tartalék betáp.** Az ATS bekötését reteszelve végezd – a két forrás ne kerülhessen párhuzamosan. Ellenőrizd a fázissorrendet.
7. **Ellenőrző mérések.** Folytonosság, szigetelési ellenállás, hurokimpedancia, FI kioldási idő mérése.
8. **Dokumentálás.** A kapcsolási rajzot tedd a szekrénybe, a mérési jegyzőkönyvet archiváld.

35.3.7.4. Ellenőrzési pontok

- Minden áramkör felirata és rajzjele azonos.
- A FI-relé próbagombja kiold.
- A tartalék betáp szimulált kiesésekor az ATS átkapcsol.
- A motor indításakor nem old ki a megszakító.

35.3.7.5. Tipikus hibák a szerelés során

- A motoráramkörre 30 mA-es FI-relét tesznek, ami téves kioldást okoz.
- A felvonó vezérlését és a motort közös megszakítóról táplálják, így a vezérlés hibája a motort is kikapcsolja.
- A tartalék betápnál nincs reteszelés, így a két forrás párhuzamosan kerülhet.

35.3.8. Tipikus hibák

1. **FI-relé a motoráramkörben.** A felvonó motor vagy frekvenciaváltó szivárgási árama miatt a 30 mA-es FI-relé állandóan kiold. Helyes gyakorlat: a motoráramkört ne 30 mA-es FI-relével, hanem a gyártói ajánlás szerinti hibavédelmi megoldással védjük; a 30 mA-es FI-t a dugalj- és világítási körökhöz használjuk.

2. **Nem szelektív védelem.** A főmegszakító és a leágazó kismegszakítók azonos kioldási karakterisztikájúak, ezért hiba esetén a főmegszakító is leold. Helyes gyakorlat: a kiválasztásnál a gyártói szelektivitási táblázatot kell alkalmazni, és lehetőleg a főmegszakítót nagyobb névleges áramúra, késleltetett kioldásúra választani.

3. **A tartalék betáp reteszelésének hiánya.** Ha az ATS vagy a kontaktor nincs reteszelve, a két betáplálás párhuzamos kapcsolása rövidzárlatot okoz. Helyes gyakorlat: mechanikus és villamos reteszelést egyaránt kiépíteni.

4. **A karbantartási dugalj FI-védelmének hiánya.** Ha a karbantartási dugalj FI-védelme hiányzik, a munkavégzéskor áramütés veszélye áll fenn. A felvonó szabvány a karbantartási dugaljat kifejezetten 30 mA-es FI-védelemmel írja elő.

35.3.9. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A felvonó motoráramkörét mindig 30 mA-es FI-relével kell védeni. Indokold.
2. Miért nem szabad a felvonó biztonsági áramkörét a motoráramkörrel közös megszakítóról táplálni?
3. Sorolj fel legalább három állandó üzemű fogyasztótípust, és mondd meg, miért igényelnek redundáns betáplálást.
4. Egy 5,5 kW-os, 400 V-os, $\cos\varphi = 0{,}80$, $\eta = 0{,}85$ felvonómotor névleges áramát számítsd ki.
5. Mi a feladata az ATS-nek, és miért kell reteszelni?
6. Milyen FI-relé kialakítást javasolsz egy szerverterem elosztójában a téves kioldások elkerülésére?

35.3.10. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a felvonó-elosztót és az állandó üzemű fogyasztót.

2. feladat (A). Számítsd ki egy 11 kW-os, 400 V-os, $\cos\varphi = 0{,}85$, $\eta = 0{,}90$ motor névleges áramát, és válassz kismegszakító karakterisztikát.

3. feladat (B). Egy szerverterem 30 kVA összteljesítményű, $\cos\varphi = 0{,}95$. A terhelés 70%-a UPS-ről táplált. A UPS hatásfoka 94%. Mekkora a UPS bemeneti árama 230 V egyfázisú betáplálásnál? A 80 A-es betápláló kismegszakító elegendő-e?

4. feladat (B). Rajzolj le egy felvonóelosztót egyvonalas kapcsolási rajzban, ahol a motor, a vezérlés, a fülkevilágítás és a gépházvilágítás külön áramkörön kap tápot, a karbantartási dugalj 30 mA-es FI-vel, a motor D karakterisztikájú megszakítóval védett. (Szöveges leírás vagy diagram típusú ábra.)

5. feladat (C). Egy állandó üzemű elosztóban hálózatkiesés után, amikor a tartalék generátor táplál, a szervereket tápláló 30 mA-es FI-relék tévesen kioldanak. Milyen hibát feltételezel, milyen mérésekkel ellenőrzöd, és mi a helyes megoldás?

6. feladat (D). Egy meglévő felvonóelosztóban a havi ellenőrzés során a gépház karbantartási dugaljának FI-reléje a próbagombra nem old ki. Ismertesd a hibakeresés lépéseit a feszültségmentesítéstől a javításig.

35.3.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A motoráramkör szivárgóárama (különösen frekvenciaváltónál) gyakran a 30 mA-es RCD küszöbe közelébe vagy fölé kerül; a hibavédelmet elsősorban a PE-folytonosság és az önműködő lekapcsolás adja, az RCD kiegészítő védelem (típusa a váltótól függ).
2. Mert a biztonsági lánc (ajtóreteszek, sebességhatároló, végálláskapcsolók) önálló, felügyelt áramkör: ha a motoráramkör zárlata a közös megszakítót oldaná, a biztonsági lánc felügyelete is kiesne, és a hibajelzés elveszne; a lánc táplálását a felvonó gyártója és szerelője a szabvány szerint külön alakítja ki (ellenőrizendő: MSZ EN 81-20). A biztonsági lánc megszakadása mindig a hajtás leállítását okozza.
3. Például szerverterem, hűtőkamra, tűzjelző és biztonsági világítás: kiesésük adatvesztést, áruromlást vagy biztonsági kockázatot okoz, ezért tartalék betáp vagy szünetmentes ellátás kell.
4. $I_n = 5500/(\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0{,}80\cdot 0{,}85) \approx 11{,}7\,\text{A}$.
5. Az ATS (automatikus átkapcsoló) a hálózat kiesésekor a tartalék forrásra kapcsol; reteszelni kell, hogy a két forrás ne kapcsolódhasson párhuzamosan (visszatáplálás).
6. A szervereket nagyobb küszöbű (pl. 300 mA) szelektív RCD-re, több RCD-re szétosztva, a munkavédelmi dugaljakat 30 mA-es RCD-re kell kötni (a szivárgóáramokat előbb mérve).

1. feladat megoldása. A felvonó-elosztó a felvonó-berendezés céljára kialakított, elkülönített villamos elosztó, amely a betáptól a motor, a vezérlés, a fülkevilágítás és a gépházi segédáramkörök megtáplálásáig terjed. Az állandó üzemű fogyasztó olyan berendezés, amelynek üzeme folyamatos, illetve kiesése üzemzavart, adatvesztést vagy biztonsági kockázatot okoz.

2. feladat megoldása. A névleges áram:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_v\,\cos\varphi\,\eta} = \frac{11000\,\text{W}}{\sqrt{3}\cdot 400\,\text{V}\cdot 0{,}85\cdot 0{,}90}$$

$$\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0{,}85\cdot 0{,}90 = 1{,}732\cdot 400\cdot 0{,}85\cdot 0{,}90 \approx 529{,}9$$

$$I_n \approx \frac{11000}{529{,}9} \approx 20{,}8\,\text{A}$$

A motor indítási árama nagy, ezért D25-ös kismegszakítót vagy motorvédő kapcsolót választunk.

3. feladat megoldása. Kritikus teljesítmény:

$$S_{krit} = 0{,}7\cdot 30\,\text{kVA} = 21\,\text{kVA}$$

A UPS hatásos bemenő teljesítménye:

$$P_{be} = \frac{21\cdot 0{,}95}{0{,}94} \approx \frac{19{,}95}{0{,}94} \approx 21{,}22\,\text{kW}$$

Bemeneti áram:

$$I_{be} = \frac{21220\,\text{W}}{230\cdot 0{,}95} \approx \frac{21220}{218{,}5} \approx 97{,}1\,\text{A}$$

A 80 A-es kismegszakító nem elegendő, legalább 100 A-es betáplálás szükséges, és a gyártói ajánlást ellenőrizni kell.

4. feladat megoldása. A kapcsolási rajz: a betáp a reteszelt Q3 átkapcsolón át a gyűjtősínre kerül. A gyűjtősínről a lakatolható főkapcsolón át indul (1) a motor – D karakterisztikájú megszakító, és (2) a vezérlés – C karakterisztikájú megszakító; a főkapcsolótól függetlenül, közvetlenül a sínről indul (3) a fülke-/aknavilágítás és a karbantartási dugalj – B karakterisztika és 30 mA FI, valamint (4) a gépházvilágítás – B karakterisztika és 30 mA FI (ellenőrizendő: MSZ EN 81-20). A FI-relék a világítási és dugaljkörökben vannak.

5. feladat megoldása. A szivárgóáram nem függ attól, hogy hálózatról vagy generátorról megy a táplálás, ezért ha a kioldás csak generátoros üzemben jelentkezik, először a csillagpont-földelést és az N-vezető átkapcsolását vizsgáljuk: háromsarkú ATS esetén a generátor saját N–PE kötése párhuzamos utat hoz létre, az N-áram egy része a PE-n tér vissza, és az RCD kiold. Ellenőrzés: áramfogóval az N- és PE-áram mérése generátoros üzemben. Megoldás: négysarkú (az N-t is kapcsoló) átkapcsoló vagy a földelési koncepció javítása (tervezői feladat) **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-55/-5-56, gyártói ajánlás)**. Ha ez nem ok, a szerver tápegységek szivárgási áramainak összegződése is lehet a háttérben: szivárgási árammérővel (vagy differenciáláram-mérővel) mérjük az egyes áramkörök szivárgási áramát, majd a szerverek áramköreit nagyobb (pl. 300 mA) szelektív FI-relére, a karbantartási dugaljakat továbbra is 30 mA-es FI-re kell kötni. A szelektivitást így helyre lehet állítani.

6. feladat megoldása. A hibakeresés lépései: (1) Jogosult személy megfelelő mérési kategóriájú (CAT III) műszerrel és a mérési előírások szerint megállapítja, van-e feszültség az RCD bemenetén (a próbagomb csak feszültség alatt álló RCD-n működik); ha nincs, a hiba a betáplálásban van. (2) Ha van, és a próbagombra nem old: az RCD-t RCD-vizsgálóval $I_{\Delta n}$-nél is megvizsgáljuk; ha így sem old, az RCD hibás. (3) Csere: feszültségmentesítés az öt biztonsági szabály szerint, az RCD cseréje azonos típusra (30 mA, megfelelő típus és névleges áram). (4) Visszakapcsolás után a kioldási időt és áramot RCD-vizsgálóval mérjük, és jegyzőkönyvezzük. A javítás során a FI-relé típusát és névleges áramát az áramköri követelményekhez illeszteni.

35.3.12. Rövid összefoglaló

A felvonó- és állandó üzemű fogyasztók elosztói speciális követelményeket támasztanak. A felvonó elosztója külön betáplálást, zárható főkapcsolót, szelektív túláramvédelmet és a motor, vezérlés, világítás, dugalj áramkörök elkülönítését igényli. A motoráramkört általában D karakterisztikájú megszakítóval vagy motorvédő kapcsolóval, a világítási és dugaljköröket B karakterisztikával és 30 mA-es FI-relével kell ellátni; a biztonsági áramkört a felvonó-szerelő köti. Az állandó üzemű fogyasztóknál redundáns betáplálás, automatikus átkapcsoló, UPS vagy tartalék generátor szükséges; a szelektivitás és a szivárgási áramok miatt a FI-relék kiválasztása kritikus. Az üzemeltetés része a rendszeres ellenőrzés, a FI-teszt és a tartalék betáp próbája. A karbantartás elhanyagolása téves kioldáshoz, sőt áramütéshez vezethet. A következő alfejezetben a vezérlőberendezések informatikai hálózatait és a HMI-t tárgyaljuk, amelyek a felvonó- és állandó üzemű elosztók épületautomatikai csatlakozásaként jelennek meg.

35.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet az MSZ EN 81 sorozatra (felvonók; ellenőrizendő: MSZ EN 81-20/-50 aktuális kiadása), az MSZ HD 60364 sorozatra, az MSZ EN 61439 és MSZ EN 60947 sorozatra, az MSZ EN 62040 (UPS) szabványra, valamint a hatályos OTSZ-re és az MSZ EN 1838-ra támaszkodik, továbbá a felvonó-, UPS- és ATS-gyártók dokumentációira. Minden szabványszám, szakaszszám és határérték: (ellenőrizendő: aktuális kiadás). A példaértékek oktatási célúak, nem helyettesítik a

gyártói dokumentációt és a hatósági előírásokat; a felvonó biztonsági áramköreit a felvonó-szerelő alakítja ki.

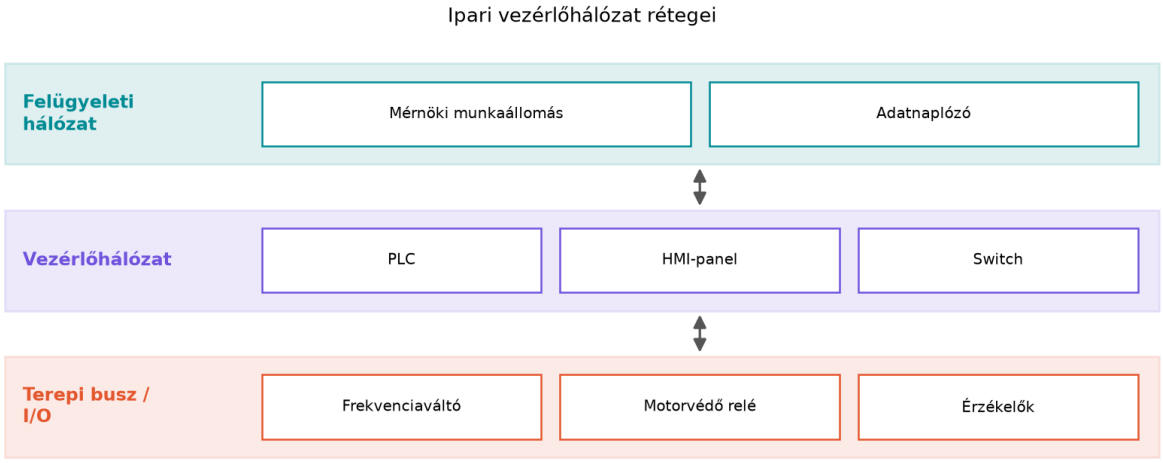
35.4. Vezérlőberendezések informatikai hálózatai és HMI

35.4.1. Motiváció: miért kell értened az ipari hálózatokhoz?

Egy csomagológép villamos szerelőjeként egyszer azt látod, hogy a gép vezérlőszekrényében nemcsak mágneskapcsolók és motorvédő kapcsolók vannak, hanem egy PLC, egy érintőképernyős HMI-panel és egy switch, amelyből sárga Ethernet-kábelek indulnak a frekvenciaváltókhoz. A megrendelő arra kér, hogy kapcsold be az új HMI-t, és kösd rá a meglévő vezérlésre, hogy a kezelő a panelról lássa a hőmérséklet-riasztásokat. Ha a hálózatot „fekete dobozként” kezeled, nem tudod megállapítani, miért nem jelenik meg a kép, vagy miért szakad meg a kommunikáció egy földelési hiba miatt. Ez az alfejezet azt tanítja meg, hogy a vezérlőberendezések informatikai hálózatát is ugyanolyan szerelői fegyelemmel kezeld, mint az erősáramú részeket: megfelelő kábelezéssel, árnyékolással, címzéssel és dokumentálással.

35.4.2. Szemléletes kép: egy kis ipari vezérlőhálózat

Egy tipikus gépi vezérlésben a berendezések három rétegbe rendeződnek. Legalul a terepi eszközök (frekvenciaváltók, motorvédő relék, szenzorok) vannak, felettük a vezérlőhálózat (PLC, HMI, switch), legfelül pedig a felügyeleti réteg (mérnöki munkaállomás, adatnaplózó). Az alábbi rétegábra ezt a felépítést mutatja:



35.6. ábra. Ipari vezérlőhálózat rétegei - Szemléltető topológia fentről lefelé: felügyeleti réteg, vezérlőhálózat, terepi eszközök. Az adat felfelé, a parancs lefelé halad.

A rajz azt hangsúlyozza, hogy a HMI nem közvetlenül a terepi eszközökhöz csatlakozik, hanem a PLC-n keresztül éri el az adatokat. A PLC gyűjti az állapotjeleket, a HMI pedig megjeleníti azokat, illetve parancsokat küld vissza. A rétegek közötti nyilak azt is mutatják, hogy az adat felfelé áramlik, a beavatkozó jel pedig lefelé.

35.4.3. Definíciók, protokollok és alapfogalmak

Definíció. Az **ipari kommunikációs hálózat** olyan adatátviteli rendszer, amely vezérlőberendezések (PLC-k, HMI-k, frekvenciaváltók, intelligens védelmek) között továbbít mérési, állapot- és parancsadatokat. Az ipari hálózat célja, hogy a vezetékek számát csökkentse, a diagnosztikát gyorsabbá tegye, és a termelési adatokat felügyeleti rendszerekbe juttassa el.

Definíció. A **HMI** (Human–Machine Interface, magyarul ember–gép kapcsolat) olyan kezelőfelület, amelyen a gépkezelő látja az üzemállapotot, riasztásokat kezel, paramétereket állít, valamint nyugtázhat és naplózhat eseményeket. A HMI lehet egyszerű szöveges kijelző, érintőképernyős panel vagy számítógépen futó felügyeleti képernyő.

Az ipari hálózatokban a protokoll határozza meg, hogy az eszközök milyen formátumban és milyen sorrendben cserélnek adatot. A leggyakoribb ipari megoldások:

- **Modbus RTU** – soros, RS-485 vonalon futó, mester–szolga elvű protokoll; egyszerű, nyílt, ezért kis- és közepes rendszerekben elterjedt. A címzés 1–247 tartományban szokásos, az adatcsere regisztercímekkel történik.
- **Modbus TCP** – ugyanaz a logikai címzés, de Ethernet-hálózaton, TCP/IP keretben. Ipari switchekkel egyszerűen csatlakoztatható a PLC-hez és a HMI-hez.
- **Profinet** – ipari Ethernet-alapú protokoll, amely a PROFIBUS utódjaként terjedt el; ciklikus valós idejű adatcserét és diagnosztikát is biztosít. **(ellenőrizendő: a konkrét verziót a gyártói dokumentáció szerint)**
- **EtherNet/IP** – az ODVA által gondozott ipari Ethernet-protokoll, amely a CIP protokollt használja; a magyarországi gyakorlatban elsősorban amerikai gyártók eszközeinél találkozunk vele.
- **EtherCAT** – nagy sebességű, determinisztikus ipari Ethernet-rendszer, elsősorban mozgásvezérlésben és gyors I/O-rendszerekben. Ezt a könyv nem tárgyalja részletesen, de a kábelezési és földelési alapelvek hasonlóak.

Szabály. A protokoll kiválasztását nem a szerelőnek kell eldöntenie, hanem a tervezőnek vagy a gép gyártójának. A szerelő feladata a kiválasztott protokollhoz tartozó kábelezés, csatlakozók, lezárások és földelés pontos kivitelezése, valamint a beüzemelés utáni dokumentálás.

A hálózat tervezett sebessége és a kábelhossz a gyártói adatlapon szerepel; például a 100 Mbit/s-os Ethernetnél a réz szegmens legfeljebb 100 m, a Modbus RTU-nál a maximális hossz a sebességtől függ, tipikusan 1200 m lassú sebességnél **(ellenőrizendő: az aktuális gyártói adatok szerint)**. A szerelő ezeket az értékeket nem tervezési előírásként, hanem a helyszíni ellenőrzés támpontjaként használja.

35.4.4. Kábelezés, csatlakozók és árnyékolás

Az ipari hálózat megbízhatóságát legtöbbször a kábelezés minősége dönti el. A hálózati kábel nem „gyengeáramú, tehát mindegy”; a rossz árnyékolás vagy a hibás földelés a frekvenciaváltók és motorok zavarai miatt kommunikációs hibákat okoz.

Ethernet-kábelezés. A gépi vezérlésben legalább Cat 5e, jobb esetben Cat 6 vagy Cat 6a kábelt használnak. A csatlakozó általában RJ45 (8P8C), de a rezgésnek kitett gépeken gyakran M12, D-kódolású, 4 pólusú ipari csatlakozó. A kábel lehet UTP (árnyékolatlan), FTP (fóliázott) vagy STP (páronként és összesen is árnyékolt). Ipari környezetben UTP-t csak nagyon tiszta, zavarszegény szekrényen belül szabad használni; a szekrények közötti szakaszokon FTP vagy STP a jó választás. Az árnyékolás bekötését a protokoll szerelési irányelve és a gépgyártó határozza meg. Ipari Ethernetnél (pl. PROFINET) az árnyékolást jellemzően mindkét végén, kis impedanciájú

(360°-os) csatlakozással kötjük be, és a szekrények között potenciálkiegyenlítő vezetőt húzunk, hogy az árnyékoláson ne folyjon kiegyenlítő áram; alacsony frekvenciás analóg jeleknél (0–10 V, 4–20 mA) gyakori az egyvégű bekötés **(ellenőrizendő: PROFINET/PROFIBUS szerelési irányelv, gépgyártói földelési utasítás)**.

Soros kábelezés (RS-485 / Modbus RTU). Itt csavart érpárt és közös jel-vonatkoztatási (GND) vezetőt használnak. Az RS-485 vonal két adatvezetője A és B jelű; a vonal mindkét fizikai végére a gyártó által előírt lezáró ellenállást (tipikusan 120 Ω) kell bekötni. A lezárás hiánya reflexiót okoz, ezért a kommunikáció időnként megszakad, vagy rossz keretek érkeznek. A soros vonal (RS-485) árnyékolásának bekötése is a gyártói utasítás szerint történik; egyvégű vagy mindkét végű bekötésnél a potenciálkiegyenlítésről és a földhurok elkerüléséről gondoskodni kell.

Táp- és jelkábel szétválasztása. Szabály. Az ipari hálózati kábeleket a motorvezetékektől és a frekvenciaváltó kimeneti kábeleitől elkülönítve kell vezetni. Ha a jelkábel és az erősáramú kábel azonos kábeltálcában fut, legalább a gyártói vagy szabványos elkülönítési távolságot (példaként a Motorvédelmek, lágyindítók és frekvenciaváltók az elosztóban alfejezetben a vezérlőkábelre 30 cm) meg kell tartani, vagy a kettő közé földelt fém elválasztólapot kell tenni. A kereszteződéseknél a jelkábel ne feküdjön hosszan a motorvezeték mellé. Az MSZ EN 60204-1 gépi berendezésekre vonatkozó szabvány is megköveteli a feszültségkategóriák szerinti elkülönítést, de a pontos távolságokat a gyártói és üzembe helyezési utasítás adja meg **(ellenőrizendő: aktuális szabvány és gyártói adatlap)**.

35.4.5. HMI: kezelőpanel, riasztások és adatnaplózás

A HMI-t a vezérlőszekrény elejére vagy a gép kezelőpultjára szerelik. A panel hátlapján jellemzően 24 V DC tápfeszültség-, Ethernet- és esetenként soros kommunikációs csatlakozó, valamint USB- vagy SD-kártyanyílás található. A beépítésnél az előlapi védettség szokásos értéke IP65, a hátlapé IP20; ezt a szekrény kialakításánál figyelembe kell venni.

A HMI feladatai:

- **Állapotjelzés:** motor be/ki, frekvenciaváltó hiba, nyomás, hőmérséklet, működési óraszám.
- **Beavatkozás:** indítás, leállás, alapjel-állítás, kézi/automata üzemmód váltás.
- **Riasztáskezelés:** a riasztás megjelenítése, nyugtázása, okának jelzése, a nyugtázott esemény naplózása.
- **Adatnaplózás:** az események időbélyeggel történő tárolása, például CSV-fájlban vagy hálózati adatbázisban.

A HMI a PLC-vel kommunikál, ezért a panelban nem a fizikai kapocsszámokat, hanem a PLC-változók címét kell megadni. Például egy Modbus TCP-s HMI-n a `%MW10` regiszter jelentheti a vízhőmérsékletet, az `%M100` pedig a „szivattyú túlmelegedés” riasztást. A változó-összerendelést a HMI fejlesztőkörnyezetében kell elvégezni, amelyet a gyártó biztosít **(ellenőrizendő: a konkrét változócímek a PLC programjából)**.

Példa – hőmérséklet-riasztás bekötése. Legyen egy PLC, amely a 0. analóg bemenetéről olvassa a szivattyú hőmérsékletét. A PLC programja a mért értéket a `%MW10` regiszterbe írja, és ha az érték 80 °C fölé emelkedik, az `%M100` riasztásbitet 1-be állítja. A HMI-t úgy konfigurálják, hogy:

1. a `%MW10` regisztert egy numerikus mező jelenítse meg „Vízhőmérséklet” címen,
2. az `%M100` bithez egy piros jelzőlámpa és egy „Szivattyú túlmelegedés” szöveg tartozzon,
3. a bekövetkezés időbélyegét a riasztási napló tárolja.

A szerelő feladata nem a program megírása, hanem a fizikai bekötés és a kommunikáció ellenőrzése. Ha a HMI nem mutat értéket, először a tápellátást, a kábelt, a csatlakozót és az IP-címet kell ellenőrizni, nem a PLC-programot.

35.4.6. Kiberbiztonság alapjai az ipari hálózatokban

Egy gép hálózata ma már nemcsak a gép, hanem a gyár informatikai rendszerének része is: egy gondatlanul bekötött eszköz vagy egy ismeretlen USB-s adathordozó leállíthatja a termelést. A szerelő feladata nem a teljes informatikai védelem kialakítása, hanem az, hogy a saját munkájával ne gyengítse, hanem erősítse azt.

- **Fizikai hozzáférés.** A hálózati eszközöket (switch, PLC, HMI) zárható szekrényben kell elhelyezni; a nem használt switch-portokat le kell zárni (portdugó, letiltás), mert egy szabadon hagyott port idegen eszköz csatlakoztatását teszi lehetővé.
- **Hálózati szegmentálás.** A gépi (vezérlési) hálózatot el kell választani az irodai hálózattól és az internettől: külön alhálózat vagy VLAN, tűzfal vagy ipari átjáró a szegmensek között; csak a szükséges forgalom engedélyezett (zónák és átjárók elve; ellenőrizendő: az MSZ EN IEC 62443 sorozat).
- **Alapértelmezett jelszavak cseréje.** A HMI-n, a PLC-n, a switchen és a frekvenciaváltón a gyári felhasználónevet és jelszót át kell állítani, és a jelszót a gépgyártó vagy az üzemeltető szabálya szerint kell kezelni.
- **Távoli hozzáférés.** Csak engedélyezett, naplózott csatornán (pl. VPN), az üzemeltető jóváhagyásával; a szerelő nem hoz létre saját, ellenőrizetlen távoli elérést.
- **Adathordozók.** USB- és SD-kártyát csak az üzemeltető szabályai szerint, ellenőrzött eszközzel szabad csatlakoztatni.
- **A szerelő szerepe.** Nem köt be saját, nem engedélyezett eszközt (pl. magáncélú routert), és dokumentálja az általa beállított IP-címeket, portokat és jelszókezelési megállapodást.

Szabály. A gép hálózatán csak az üzemeltető által jóváhagyott eszköz és beállítás megengedett; jelszavakat nem hagyunk gyári értéken, és nem írjuk fel a szekrényre. **(ellenőrizendő: az üzemeltető informatikai/ipari kiberbiztonsági szabályzata)**

35.4.7. Szabvány és összefüggések

Szabvány. A gépek villamos berendezéseire az **MSZ EN 60204-1** vonatkozik, amely a gépi vezérlések tápellátásán, védelmein és vezetékezésén túl a kommunikációs kábelezés elkülönítésére, az árnyékolások földelésére és az érintésvédelemre is ad előírásokat. A konkrét kivitelezési szabályokat mindig a gép gyártójának dokumentációja és a hatályos szabványkiadás szerint kell alkalmazni **(ellenőrizendő: aktuális MSZ EN 60204-1 kiadás és gyártói utasítás)**. Az irodai hálózatoknál használt MSZ EN 50173 jellegű strukturált kábelezési előírások ipari műhelyben csak kiindulási pontok; a gépi hálózatokra a gyártói specifikáció a mérvadó.

Továbbvitt eredmény. Az itt bemutatott rétegek, a Modbus-címzés és a HMI-változók fogalma a korábbi PLC-alapok és ipari vezérlés alfejezetre épül, és a Gyakorlati vizsgafeladatok és hibakeresés, értékelési szempontok alfejezetben is visszatér, amikor egy adott HMI-kép alapján kell hibát feltárni.

35.4.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy élelmiszerüzemi szállítószalag vezérlőszekrényébe új HMI-panelt szereltek. A panel a gyári háttérvilágítással bekapcsolt, de a kezelő nem látta a PLC adatait. A szerelő először a kábelt vizsgálta: a két eszköz között Cat 5e FTP kábelt húztak, a csatlakozó RJ45 volt. A multiméteres folytonosságvizsgálat rendben volt. Ezután a hálózati beállításokat nézte: a HMI IP-címe `192.168.0.10`, a PLC-é `192.168.0.20`, a maszk mindkettőnél `255.255.255.0`. A ping a HMI-ből a PLC-re nem válaszolt. A kapcsolószekrényben kiderült, hogy a HMI Ethernet-kábele egy menedzselt switch olyan portjába csatlakozott, amely a gépi hálózattól eltérő VLAN-ba volt konfigurálva (pl. az irodai hálózat VLAN-jába) **(ellenőrizendő: a konkrét switch-beállítás)**. Miután a portot a gépi VLAN-hoz rendelték (vagy a kábelt a gépi VLAN egyik portjára tették), a kapcsolat felépült, és a HMI megjelenítette a motoráramokat. A tanulság: a hálózati hibák egy része nem kábel-, hanem konfigurációs hiba, de a szerelőnek a fizikai rétegtől a címzésig végig kell tudni járni a láncot.

35.4.9. Gyakorlati útmutató: HMI-panel bekötése és indítása

Cél. HMI-panel fizikai bekötése egy PLC-hez Ethernet- vagy Modbus RTU-kapcsolattal, a tápfeszültség és a kommunikáció ellenőrzése.

Eszközök és anyagok. HMI-panel, PLC, 24 V DC tápegység, Ethernet- vagy Modbus RTU-kábel, RJ45/M12 csatlakozó, egalizáló/földelő vezeték, multiméter, csavarhúzó, kábelkés, feszültségmentesítési eszközök. A beállításhoz laptop és a gyártói program.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Hálózati feszültségű betáp esetén a munkát csak jogosult, arra képesített személy végezheti.

Öt biztonsági szabály a szerelés előtt.

1. **Lekapcsolás** – kapcsold le a vezérlőszekrény betáplálását és a törpefeszültségű tápegység primer oldalát.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás** – a kapcsolót lakatold le vagy helyezz el figyelmeztető táblát.
3. **Feszültségmentesség megállapítása** – a hálózati oldalon (betáplálás, tápegység primer kapcsai) kétpólusú feszültségvizsgálóval (MSZ EN 61243-3, ellenőrizendő: aktuális kiadás) minden pólus között és a PE felé, a vizsgáló előtte és utána történő kipróbálásával; a törpefeszültségű tápegység kimenetén multiméterrel is.
4. **Földelés és rövidre zárás** – ha a hálózati oldalon szükséges, a vonatkozó előírások szerint.
5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése** – takard le vagy kerítsd el a közeli feszültség alatti kapcsokat.

Lépések.

1. Szereld a HMI-panelt az ajtóba vagy a pultba a gyártói kivágási méret szerint; ügyelj a tömítésre, hogy a homlokoldali IP-védettség megmaradjon.
2. Kösd be a HMI tápellátását. A legtöbb ipari panel 24 V DC-t használ; a **+** és **−** jelölést pontosan követve csavaros kapcsokkal rögzítsd a vezetékeket. A védőföldelő kapocshoz a gyártó utasítása szerint csatlakoztasd a zöld-sárga védővezetőt.
3. Készítsd el a kommunikációs kábelt. Ethernet esetén a T568B színkód szerint krimpelj vagy gyári patch-kábelt használj; ipari M12-csatlakozónál a gyártói bekötési rajzot kövesd. Modbus RTU esetén csavart érpárt és közös GND-t köss, a vonal végére helyezd fel a lezáró ellenállást.

4. Húzd a kábelt a vezérlőszekrényben lehetőleg külön a motor- és tápfeszültségű vezetékektől; ha közös csatornában kell haladnia, használj árnyékolt kábelt és tartsd a lehető legnagyobb távolságot.
5. Kösd be az árnyékolást a szekrény földelési pontjára a gépgyártó és a protokoll szerelési irányelve szerint (egy vagy két végén, potenciálkiegyenlítéssel – ellenőrizendő: gyártói utasítás).
6. Ellenőrizd a folytonosságot multiméterrel: az RJ45 lábkiosztása mindkét végén azonos legyen, szakadás vagy zárlat ne legyen.
7. Kapcsold be a törpefeszültségű tápegységet. Mérj a HMI tápkapcsain: várt érték 24 V DC ± tolerancia **(ellenőrizendő: a gyártói adatlap szerint)**.
8. Állítsd be a HMI hálózati paramétereit a gyártói programból vagy a panel menüjéből: például fix IP-cím `192.168.0.10`, maszk `255.255.255.0`. A PLC címe legyen ugyanabban az alhálózatban (például `192.168.0.20`), de ne ütközzön más eszközzel.
9. Teszteld a kapcsolatot: a HMI diagnosztikai oldalán ellenőrizd, hogy a PLC elérhető-e; Modbus TCP esetén egy register- vagy bitcímet olvass ki próbaként.
10. Próbáld ki a HMI-képernyőt: jelenjen meg egy érték, és váltson a riasztás. A nyugtázást és a naplózást is próbáld ki, majd a beállításokat mentsd el.

Ellenőrzési pontok. A tápkapocs feszültsége a névleges értéken belül van; a folytonosság rendben; a ping vagy a protokoll-teszt sikeres; a HMI legalább egy PLC-változót valósághűen mutat; a riasztás nyugtázása működik.

Tipikus hibák. Az árnyékolás bekötése nem a gyártói irányelv szerinti (pl. potenciálkiegyenlítő vezető nélkül, kétvégű bekötésnél kiegyenlítő áram folyik rajta); a táp- és jelkábel azonos kötegelésben halad; az IP-cím más eszközzel ütközik vagy más alhálózatban van; Modbus RTU-nál hiányzik a lezáró ellenállás; a HMI táp polaritása fel van cserélve.

Dokumentálás. Jegyezd fel a HMI és PLC IP-címét, maszkját, a protokoll típusát, a Modbus-címeket, a kábel típusát, hosszát és az árnyékolás földelési pontját. Ezt a későbbi hibakeresésnél és felülvizsgálatnál is használni fogják.

35.4.10. Tipikus hibák

1. **Árnyékolás hibás földelése.** Sok szerelő az irányelv ismerete nélkül köti be az árnyékolást. Kétvégű bekötésnél potenciálkiegyenlítő vezető nélkül a szekrények közötti kiegyenlítő áram az árnyékoláson folyik, és kommunikációs hibákban jelenik meg; egyvégű bekötés nagyfrekvenciás zavar ellen kevésbé hatásos. A gyártó és a protokoll szerelési irányelvét kell követni.

2. **Táp- és jelkábel közös csatornában.** A frekvenciaváltó kimeneti kábele nagy kapcsolási feszültségcsúcsokat sugároz. Ha a Modbus- vagy Ethernet-kábel hosszan mellette halad, a jelátvitel hibássá válik. A helyes gyakorlat a szétválasztott kábelút vagy az erős árnyékolás.

3. **IP-cím- vagy maszkhiba.** A HMI és a PLC nem éri el egymást, ha a címük más alhálózatban van, vagy ha a cím ütközik egy másik eszközzel. A beüzemelés előtt a helyi hálózati tervből kell kikerülni a szabad címeket, és a beállítást dokumentálni.

4. **Modbus lezáró ellenállás hiánya.** A hosszabb RS-485-vonalon a hiányzó lezárás reflexiót okoz, ezért a kommunikáció időszakosan megszakad. A lezáró ellenállást a fizikai vonal két végére, a gyártó értékével (tipikusan 120 Ω) kell bekötni, nem minden résztvevőre.

35.4.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a HMI közvetlenül a frekvenciaváltó analóg kimenetét olvassa, és nincs szükség PLC-re? Indokold.
2. Mi a különbség a Modbus RTU és a Modbus TCP között a fizikai közeg szempontjából?
3. Mikor kötjük az árnyékolást egy, és mikor két végén, és mi akadályozza meg a kiegyenlítő áramot?
4. Egy HMI IP-címe `192.168.10.20`, maszkja `255.255.255.0`. Milyen hálózati címen van, és melyik broadcast-cím tartozik hozzá?
5. Sorold fel a HMI három alapfeladatát.
6. Milyen mérési ellenőrzést végzel el a HMI bekapcsolása előtt?
7. Sorolj fel három alapvető kiberbiztonsági intézkedést egy gép hálózatán!

35.4.12. Feladatok

1. feladat (A). Írd le, mit jelent a HMI kifejezés, és adj meg három jellemző feladatát.

2. feladat (A). Egy PLC és egy HMI Etherneten kommunikál. A PLC címe `192.168.10.200`, a maszk `255.255.255.0`. Ellenőrizd, hogy a HMI `192.168.10.50` címe ugyanabban az alhálózatban van-e. Add meg a hálózati címet és a broadcast-címet.

3. feladat (B). Rajzold le szövegesen egy Modbus RTU-vonal bekötését három eszközzel: PLC, HMI és egy frekvenciaváltó. Hol helyezkednek el a lezáró ellenállások, és mi kerül a közös GND-re?

4. feladat (B). Egy HMI nem mutatja a PLC `%MW10` regiszterét. Sorolj fel négy ellenőrzési lépést a fizikai rétegtől a protokollig.

5. feladat (C). Egy műhelyben a vezérlőszekrénybe új Cat 6 FTP-kábelt húztak a switch és a HMI közé, de a kábel a frekvenciaváltó kimeneti kábeleivel azonos kábeltálcában halad 20 méteren át. A HMI időnként eldobja a kapcsolatot. Milyen okot gyanítasz, és mit javasolsz?

6. feladat (D). A gyakorlati útmutató alapján bekapcsoltál egy HMI-t. A tápkapcson 23,8 V DC-t mérsz. Az Ethernet-kábel folytonossága rendben. A PLC IP-címe `192.168.0.20`, a HMI-é `192.168.0.100`, a maszk `255.255.255.0`. A HMI „PLC nem elérhető” hibát ír. Mi a következő ellenőrzési lépés, és milyen eredményt vársz?

35.4.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok.

1. Nem. A HMI általában a PLC-n keresztül kommunikál; a PLC olvassa a frekvenciaváltó állapotát, és a HMI a PLC változóit jeleníti meg.
2. A Modbus RTU soros RS-485-ön fut, csavart érpáron, mester–szolga jelleggel. A Modbus TCP Etherneten, TCP/IP-hálózaton, switchekkel.
3. Az irányelv és a gépgyártó határozza meg: ipari Ethernetnél jellemzően mindkét végén (360°-os), potenciálkiegyenlítő vezetővel, hogy az árnyékoláson ne folyjon kiegyenlítő áram; alacsony frekvenciás analóg jeleknél gyakori az egyvégű bekötés (ellenőrizendő: gyártói utasítás).
4. Hálózati cím: `192.168.10.0`, broadcast: `192.168.10.255`.
5. Állapotjelzés, beavatkozás, riasztáskezelés és adatnaplózás.
6. Feszültségmentesség-ellenőrzés és a bekötött táp polaritásának, valamint a folytonosságnak a mérése, mielőtt feszültséget kapcsolsz.

7. Például: zárható szekrény és lezárt, nem használt portok; a gépi hálózat szegmentálása az irodai hálózattól (VLAN/tűzfal); az alapértelmezett jelszavak cseréje; engedélyezett, naplózott távoli hozzáférés.

1. feladat megoldása (A). A HMI betűszó: Human–Machine Interface, ember–gép kapcsolat. Feladatai: a gépállapot kijelzése, kezelői beavatkozások fogadása, riasztások megjelenítése és nyugtázása, események időbélyeges naplózása.

2. feladat megoldása (A). Mindkét eszköz maszkja `255.255.255.0`, tehát `/24` alhálózat. A hálózati cím `192.168.10.0`, a broadcast `192.168.10.255`. A HMI `192.168.10.50` és a PLC `192.168.10.200` is ebben a tartományban van, tehát ugyanabban az alhálózatban vannak. Ha az IP-k nem ütköznek más eszközzel, a kapcsolat fizikai hibától eltekintve lehetséges.

3. feladat megoldása (B). A Modbus RTU-vonal szöveges bekötése: mindhárom eszköz A-kapcsát az A-érhez, B-kapcsát a B-érhez kötjük. A közös GND-t mindegyik eszköznél össze kell kötni, hogy az A/B jeleknek legyen közös referencia. A lezáró ellenállások a fizikai vonal két végén helyezkednek el, tehát a PLC-nél és a frekvenciaváltónál, tipikusan 120 Ω értékkel. A HMI-re, ha a vonal közepén van, nem kell lezáró ellenállás. Az árnyékolást egy ponton, a gyártó szerint földelve kötjük.

4. feladat megoldása (B). Ellenőrzési lépések:
1. HMI tápellátása: 24 V DC jelen van-e, polaritás helyes.
2. Kommunikációs kábel: folytonosság, csatlakozók, árnyékolás.
3. IP-címek és maszkok: HMI és PLC ugyanabban az alhálózatban, nincs ütközés.
4. Protokollbeállítások: Modbus TCP esetén a portszám, RTU esetén a sebesség, paritás és a címek; valamint a PLC-program valóban írja a `%MW10` regisztert.

5. feladat megoldása (C). A valószínű ok elektromágneses zavar: a frekvenciaváltó kimeneti kábele kapcsolási zavart sugároz, amely az árnyékolás ellenére bekeveredik a hálózati kábelbe. Javaslat: a hálózati kábelt másik tálcába vagy attól legalább a gyártó által előírt távolságra kell helyezni; ha nem lehetséges, használjanak erősebb árnyékolású kábelt, fém elválasztólapot, és az árnyékolást a gyártói és protokoll-irányelv szerint – ipari Ethernetnél jellemzően mindkét végén, 360°-os csatlakozással, a szekrények között potenciálkiegyenlítő vezetővel – kössék be (ellenőrizendő: PROFINET szerelési irányelv, gyártói előírás). A gyártói és szabványos távolságokat ellenőrizni kell **(ellenőrizendő: gyártói előírás)**.

6. feladat megoldása (D). A táp és a kábel rendben van, a címek is megfelelő alhálózatban vannak. A következő lépés a hálózati elérés ellenőrzése: a HMI diagnosztikai oldaláról (vagy a switchre kötött laptopról) pingeld a PLC-t. Ha nem válaszol, ellenőrizd, hogy a két eszköz portja ugyanabban a VLAN-ban van-e a menedzselt switchen, és nincs-e címütközés. Ha a ping átmegy, de a HMI mégsem lát adatot, protokollszinten is ellenőrizz: a megfelelő portra (Modbus TCP: 502) indított kapcsolat létrejön-e, és a PLC kommunikációs beállításai (IP-cím, egységazonosító, regiszterkiosztás) egyeznek-e a HMI-ben beállítottakkal. Várt eredmény: a ping és a protokollszintű kérés is eléri a PLC-t, és a PLC válaszol.

35.4.14. Rövid összefoglaló

Az ipari vezérlőberendezések informatikai hálózata a PLC, a HMI és az intelligens terepi eszközök közötti adatcserét szolgálja. A leggyakoribb protokollok a Modbus RTU/TCP, a Profinet és az EtherNet/IP; a szerelő feladata a protokollhoz tartozó kábelezés, csatlakozók, lezárások és árnyékolás pontos kivitelezése. Az Ethernet-hálózatban Cat 5e vagy jobb kábelt, RJ45 vagy M12 csatlakozót használunk; az RS-485-ös Modbus RTU-nál csavart érpárt, közös GND-t és a vonal két végén lezáró ellenállást kell kötni. Az árnyékolás bekötését a protokoll szerelési irányelve szerint végezzük, szükség esetén potenciálkiegyenlítéssel. A HMI a PLC-vel kommunikál,

megjeleníti az állapotokat, kezeli a riasztásokat és naplózza az eseményeket. A kiberbiztonság alapja – a „Kiberbiztonság alapjai az ipari hálózatokban” szakaszban leírtak szerint – a fizikai hozzáférések korlátozása, a hálózati szegmentálás, az erős jelszavak és az ismeretlen hálózati eszközök csatlakoztatásának tiltása. **Továbbvitt eredmény.** Az ipari hálózati rétegek, az árnyékolási és földelési szabályok, valamint a HMI-változók címzése a korábbi PLC-alapok és ipari vezérlés alfejezetre épülnek, és a Gyakorlati vizsgafeladatok és hibakeresés, értékelési szempontok alfejezetben a hibakeresés és a vizsgafelkészülés során használhatók fel. Hálózati feszültségű részt érintő munkát csak jogosult személy végezhet; az öt biztonsági szabályt mindig be kell tartani.

35.4.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet az MSZ EN 60204-1 (gépek villamos berendezése), az MSZ EN IEC 62443 sorozat (ipari kiberbiztonság), az MSZ EN 50173 (strukturált kábelezés) szabványra, a PROFINET/PROFIBUS szerelési irányelvekre, a Modbus-specifikációra és a PLC-, HMI- és switchgyártók dokumentációjára támaszkodik. A kábelhosszak, az árnyékolás bekötési módja, az előlapi/hátlapi IP-védettség és a változócímek gyártó- és projektfüggők (ellenőrizendő: aktuális kiadás, gyártói utasítás).

36 Meddőteljesítmény, UPS és energiaellátás

36.1. Fázisjavítás méretezése

36.1.1. Motiváció és szerelési helyzet

Egy ipari csarnokban a főelosztóban a lakatfogóval azt látod, hogy a motoros fogyasztók összárama jelentősen nagyobb, mint amit a hatásos teljesítményük indokolna. A hálózati mérőhelyen a meddőteljesítmény-számláló is forog, vagy a digitális fogyasztásmérő meddőenergia-értéket is rögzít. A megrendelő számlája nő, a vezetékek melegszenek, a feszültségesés a világítási körben már érezhető. A villanyszerelő feladata ilyenkor a teljesítménytényező megmérése és a fázisjavítás megtervezése, méretezése.

A meddőteljesítmény nem hoz létre hasznos munkát, mégis áramot keringet a vezetőkben. A fázisjavítás célja, hogy ezt a felesleges áramot helyben, az induktív fogyasztó közelében termelt meddő teljesítménnyel ellensúlyozzuk. A leggyakoribb megoldás a párhuzamosan kapcsolt kondenzátortelep, amely kapacitív meddőteljesítményt termel. A méretezés egy egyszerű trigonometrikus összefüggésre vezet vissza, de a kivitelezésnél a kondenzátorok védelmére, kisütésére és a hálózati rezonancia veszélyére is figyelni kell.

36.1.2. A meddőteljesítmény és a teljesítménytényező

A fázisjavítás méretezésének alapja a teljesítmény-háromszög. Induktív jellegű fogyasztónál – például aszinkron motornál, transzformátornál, hagyományos fénycsöves világításnál – az áram késik a feszültséghez képest, ezért a hálózatból felvett látszólagos teljesítmény két összetevőre bontható:

- **hatásos teljesítmény** $P = S\cos\varphi$, mértékegysége watt (W), kilowatt (kW),
- **meddőteljesítmény** $Q = S\sin\varphi$, mértékegysége var, kilovar (kvar).

A három mennyiség derékszögű háromszöget alkot:

$$S^2 = P^2 + Q^2,$$

{1}

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

{2}

A **teljesítménytényező** a hatásos és a látszólagos teljesítmény aránya:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}.$$

{3}

Rossz teljesítménytényező esetén ugyanakkora hatásos teljesítményhez nagyobb áram tartozik, mert

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}\,U_v} = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_v\,\cos\varphi}.$$

{4}

Ezért a meddőteljesítmény növeli a vezetékek melegedését, a feszültségesést, a transzformátor és a kismegszakító terhelését, valamint a hálózati veszteségeket.

Példa. Egy motorcsoport felvett hatásos teljesítménye $P = 30\,\mathrm{kW}$ (nem a tengelyteljesítmény, hanem a hálózatból felvett érték), $\cos\varphi_1 = 0{,}75$. A felvett látszólagos teljesítmény:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi_1} = \frac{30\,\mathrm{kW}}{0{,}75} = 40\,\mathrm{kVA}.$$

A meddőteljesítmény:

$$Q_1 = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{40^2 - 30^2} = \sqrt{1600 - 900} = \sqrt{700} \approx 26{,}5\,\mathrm{kvar}.$$

Ez a 26,5 kvar meddőteljesítmény meddő áramot jelent, amely a hatásos teljesítményhez nem járul hozzá, de a vezetéket melegíti (I^2R veszteség). A fázisjavítás ezt a meddőt csökkenti (a cél $\cos\varphi$-től függően nem feltétlenül nullára).

36.1.3. A szükséges kompenzáló teljesítmény levezetése

A fázisjavítást általában egy adott **cél teljesítménytényező** elérésére méretezzük, amelyet a hálózati engedélyes vagy az üzemeltetési szempontok határoznak meg. Magyarországon a közcélú elosztóhálózaton a kívánatos $\cos\varphi_2$ gyakran 0,9–0,95 közötti érték **(ellenőrizendő: a helyi elosztói szabályzat pontos követelménye)**. A fázisjavító kondenzátortelepnek annyi meddőteljesítményt kell termelnie, hogy a fogyasztó által felvett meddőteljesítmény a régebbi Q_1 értékről az új Q_2 értékre csökkenjen.

Kiindulásként a hatásos teljesítmény P a kompenzálás során változatlan marad. A kezdeti meddőteljesítmény:

$$Q_1 = P\tan\varphi_1,$$

{5}

ahol $\tan\varphi_1$ a kezdeti $\cos\varphi_1$-hez tartozó tangens érték, és $\varphi_1 = \arccos(\cos\varphi_1)$. A cél meddőteljesítmény:

$$Q_2 = P\tan\varphi_2,$$

{6}

ahol $\tan\varphi_2$ a cél $\cos\varphi_2$-höz tartozó tangens. A kondenzátortelep szükséges meddőteljesítménye a két meddőteljesítmény különbsége:

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = P\tan\varphi_1 - P\tan\varphi_2 = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)\,.$$

{7}

Ez a fázisjavítás méretezésének alapképlete. A kompenzáló kondenzátor **meddőteljesítményt ad le**, tehát a hálózat felől nézve csökkenti a felvett meddőt.

Számítás. Folytassuk a fenti motorcsoport példáját. A kezdeti $\cos\varphi_1 = 0{,}75$, ebből

$$\varphi_1 = \arccos(0{,}75) \approx 41{,}41^\circ, \quad \tan\varphi_1 \approx 0{,}882.$$

Cél: $\cos\varphi_2 = 0{,}95$, tehát

$$\varphi_2 = \arccos(0{,}95) \approx 18{,}19^\circ, \quad \tan\varphi_2 \approx 0{,}329.$$

A szükséges kondenzátor meddőteljesítmény:

$$Q_C = 30\,\mathrm{kW} \cdot (0{,}882 - 0{,}329) = 30\,\mathrm{kW} \cdot 0{,}553 \approx 16{,}6\,\mathrm{kvar}.$$

A motorcsoporthoz (csoportos vagy központi kompenzálással) tehát körülbelül 16,6 kvar névleges teljesítményű kondenzátortelepet kell választani. Ha egyetlen motor kapcsaira kötnénk (egyedi kompenzálás), a kondenzátor nem lehet nagyobb a motor üresjárási meddőjének kb. 90%-ánál (lásd lent), ezért ott kisebb egységet választunk, és a maradékot központi telep fedezi. A gyakorlatban a legközelebbi szabványos értéket, például 17,5 kvar-t **(ellenőrizendő: a gyártó katalógusában elérhető lépcsőméret)** alkalmazzuk.

A levezetés lényege: P változatlan, ezért a meddő csak a $\tan\varphi$ változásával arányosan változik.

Megjegyzés. A $\tan\varphi$ érték helyett sok katalógusban táblázatos „k” szorzót adnak meg, amely a $(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$ különbséget tartalmazza. A képlet azonban mindig a fenti alakú; a táblázat csupán a trigonometrikus számítás megkönnyítését szolgálja.

36.1.4. Egyedi, csoportos és központi kompenzálás

A kompenzáló kondenzátorokat háromféle módon lehet elhelyezni, a fogyasztó jellegétől és a hálózat topológiájától függően.

Egyedi kompenzálás. A kondenzátortelep közvetlenül az induktív fogyasztó – leggyakrabban motor – kapcsaihoz csatlakozik. Előnye, hogy a meddőteljesítményt éppen ott termeli, ahol keletkezik, ezért a motor és a kondenzátor közötti vezetékben nem folyik felesleges meddő áram. Hátránya, hogy minden motorhoz külön kondenzátor szükséges. A kondenzátor a motorral együtt kapcsol le, és a kifutó motor a kapcsaira kötött kondenzátorral öngerjesztett generátorként működhet: a lekapcsolt kapcsokon túlfeszültség jelenhet meg, ami érintési és szigetelési veszélyt jelent. Ezért egyedi kompenzálásnál a kondenzátor meddőteljesítményét a motor üresjárási meddőfelvétele alá méretezzük (jellemzően annak kb. 90%-ára) **(ellenőrizendő: a motor- és a kondenzátorgyártó adata; a gyakorlatban gyakran a motor névleges meddőteljesítményének 25–40%-át választják)**. A méretezéshez a motor felvett hatásos teljesítményét ($P_1 = P_2/\eta$) és a mért üresjárási meddőt használjuk, nem a tengelyteljesítményt.

Csoportos kompenzálás. Néhány, közös leágazáson lévő induktív fogyasztóhoz egyetlen kondenzátortelepet kapcsolunk. A meddőteljesítményt a csoport együttes igényére méretezzük, és a kondenzátortelepet a csoport elosztójában helyezzük el. Így a fővezetékben csökken a meddő áram, de a csoporton belüli egyes motor-vezetékekben még folyik.

Központi kompenzálás. A kondenzátortelep a főelosztóban vagy az alállomásban van, és a teljes üzemi fogyasztás meddőteljesítményét kompenzálja. Előnye, hogy egyetlen teleppel az egész üzem teljesítménytényezője javítható, és a telep jól felügyelhető. Hátránya, hogy a meddő áram a fogyasztók felé tovább folyik, tehát a belső hálózatot tovább terheli a meddő. Központi kompenzálásnál a telep általában több lépcsőből áll, és egy szabályozó a mindenkori meddőigényhez igazítja a bekapcsolt fokozatok számát.

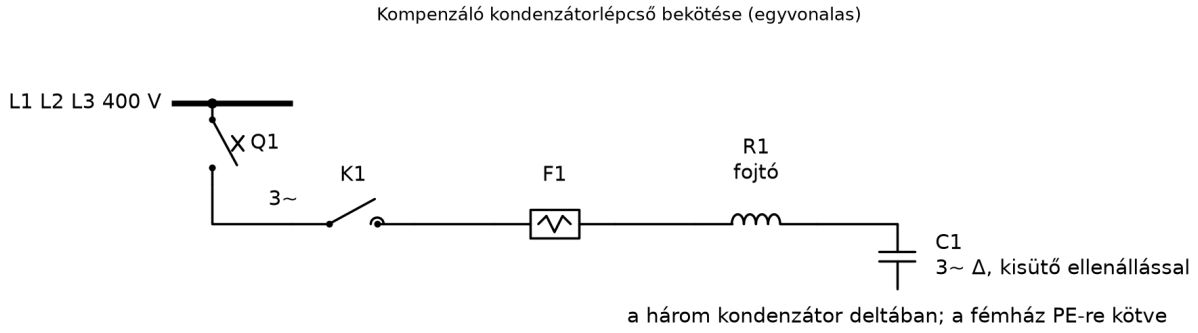
Méretezési elv. A szükséges Q_C értéket mindig a mért vagy számított tényleges üzemi adatokból kell meghatározni. Egyetlen pillanatnyi mérés félrevezető lehet, mert a fogyasztók ki-be kapcsolása miatt a meddőigény időben változik. A gyakorlatban a méretezéshez a legnagyobb várható hatásos terhelést és a hozzá tartozó legrosszabb $\cos\varphi$-t veszik figyelembe, vagy mérési jegyzőkönyvet készítenek egy jellemző üzemidőszakról.

36.1.5. A kompenzáló kondenzátortelep felépítése és védelme

A fázisjavító kondenzátortelep nem csupán egy kondenzátor, hanem egy kapcsoló- és védőelemekkel ellátott készülék. A telep fő részei:

- **Kondenzátorok**: fémfóliás vagy fémezett polipropilén szigetelésű, háromfázisú kivitelű egységek. Névleges feszültségük legalább a hálózati feszültség, de ha fojtótekercset is alkalmaznak, a kondenzátor feszültsége nagyobb, ezért a katalógusban feltüntetett értéket kell választani.
- **Fojtótekercs (fojtós)**: soros induktivitás, amely a kondenzátorral rezonanciakört alkot, és a harmonikusok elleni védelmet szolgálja. A fojtás mértéke általában 5, 7 vagy 14% a rezonanciafrekvencia elhangolására **(ellenőrizendő: a gyártó által javasolt fojtási arány)**.
- **Túláram-védelem**: kismegszakító vagy olvadóbiztosító, amely a kondenzátortelepet a rövidzárlat és a tartós túláram ellen védi. A kondenzátorok bekapcsolási árama nagy lehet, ezért a védelmet a gyártói ajánlás szerint kell kiválasztani.
- **Kisütő ellenállások**: a kondenzátorokban tárolt villamos energiát a lekapcsolás után meghatározott időn belül ki kell sütni. A kisfeszültségű fázisjavító kondenzátorok termékszabványa (MSZ EN 60831-1, illetve utódja, **ellenőrizendő: a hatályos kiadás**) szerint a kondenzátor feszültségének a lekapcsolás után megadott időn belül biztonságos szintre kell csökkennie; a szokásos érték hozzávetőleg 3 perc alatt 75 V alá **(ellenőrizendő: a szabvány aktuális értéke és a gyártói adatlap; a korábbi „1 perc, 50 V” adat nem megerősített)**. A beavatkozás előtt a maradékfeszültséget mindig mérni kell. A kisütő ellenállásokat általában a kondenzátor egységekbe építik be.
- **Kapcsolókészülék**: mágneskapcsoló vagy terheléskapcsoló, amely a kompenzáló lépcsőket ki- és bekapcsolja. A kondenzátorok kapcsolására alkalmas mágneskapcsolókat használnak, mert a bekapcsolási áramlökés a normál mágneskapcsolók élettartamát csökkenti.
- **Szabályozó**: központi kompenzálásnál egy meddőteljesítmény-szabályozó méri a hálózat $\cos\varphi$-jét, és a beépített lépcsőkből annyit kapcsol be, amennyi a kívánt érték eléréséhez szükséges.

Kapcsolási rajz (circuit diagram). Az alábbi egyszerűsített háromfázisú rajz egy kondenzátorlépcső bekötését mutatja.



36.1. ábra. Kompenzáló kondenzátorlépcső bekötése (egyvonalas) - Egyszerűsített egyvonalas háromfázisú rajz (a vonal a három fázisvezetőt jelzi, 3~): a 400 V-os gyűjtősínről Q1 kismegszakító, K1 kondenzátorkapcsoló mágneskapcsoló, F1 hővédelem, R1 fojtó és C1 háromfázisú, delta-kapcsolású kondenzátoregység beépített kisütő ellenállással.

Ábraértelmezés. A rajz a 400 V-os gyűjtősíntől balról jobbra haladva mutatja az energia útját: a $Q1$ kismegszakító védi a leágazást, a $K1$ mágneskapcsoló végzi a be- és kikapcsolást, az $F1$ hővédelem a túlterhelés ellen óv, az $R1$ fojtó a harmonikus áramokat korlátozza, míg a háromfázisú, delta-kapcsolású $C1$ kondenzátoregység termeli a meddőteljesítményt. A kisütő ellenállások a kondenzátorral párhuzamosan vannak beépítve, és a kikapcsolás után automatikusan kisütik a tárolt energiát.

36.1.6. Rezonancia-veszély és harmonikusok

A fázisjavító kondenzátortelep megváltoztatja a hálózat frekvenciafüggő impedanciáját. A hálózatban mindig vannak induktív elemek (transzformátorok, motorok, kábelek reaktanciája) és kapacitív elemek (a kondenzátortelep). A kondenzátortelep és a hálózat (főként a transzformátor) induktivitása a harmonikus áramot termelő fogyasztók – frekvenciaváltók, kapcsolóüzemű tápegységek, ívhegesztők – felől nézve **párhuzamos rezonanciakört** alkot. A rezonanciafrekvencián a kör impedanciája nagyon nagy, ezért már kis harmonikus áram is nagy harmonikus feszültséget, a kondenzátor és a hálózat között pedig felerősödött köráramot okoz. (A **soros rezonancia** – a felső hálózat feszültség-harmonikusai a transzformátoron és a telepen át – a másik veszélyforma.) Ez túláramot, túlfeszültséget, a kondenzátorok és fojtók melegedését, valamint a védelmek indokolatlan kioldását okozhatja.

A rezonanciafrekvencia közelítően a hálózati zárlati teljesítmény és a kondenzátortelep teljesítményének arányából számítható:

$$f_r \approx f_1 \sqrt{\frac{S_{SC}}{Q_C}},$$

{8}

ahol f_r a párhuzamos rezonancia frekvenciája, $f_1 = 50\,\mathrm{Hz}$ a hálózati alapfrekvencia, S_{SC} a zárlati teljesítmény a kondenzátortelep csatlakozási pontján, Q_C pedig a telep névleges meddőteljesítménye **(ellenőrizendő: a képlet pontos alakja és az alkalmazási feltételek a vonatkozó szabványban)**. Ha a rezonanciafrekvencia valamelyik jellemző harmonikus (pl. 5., 7., 11.) közelébe esik, a rendszer felerősíti az adott felharmonikust.

Számítás. Egy 630 kVA-es, $u_k = 6\,\%$-os transzformátor kapcsain a zárlati teljesítmény közelítően $S_{SC} \approx 630\,\text{kVA}/0{,}06 = 10{,}5\,\text{MVA}$. Fojtatlan, $Q_C = 100\,\text{kvar}$-os telepnél $f_r \approx 50\,\text{Hz} \cdot \sqrt{10\,500/100} \approx 512\,\text{Hz}$, vagyis kb. a 10. harmonikus, a veszélyes 11. harmonikus (550 Hz) közelében. A hálózati előtét-impedanciát elhanyagoltuk, a számítás szemléltető **(ellenőrizendő: a képlet alkalmazási feltételei)**.

A fojtótekercs ezt a rezonanciát hangolja el: soros induktivitást ad a kondenzátorhoz, így a rezonanciafrekvencia a kívánt harmonikus alá csökken. A fojtó és a kondenzátor soros rezonanciája $f_r = f_1/\sqrt{p}$, ahol p a fojtási arány (a fojtó és a kondenzátor reaktanciájának hányadosa az alapharmonikuson). Például $p = 0{,}07$ (7%-os fojtás) esetén $f_r = 50\,\text{Hz}/\sqrt{0{,}07} \approx 189\,\text{Hz}$, ami a 3. és 5. harmonikus közé esik (a 3,8-szoros alapfrekvencia), így az 5. harmonikus felül már nem rezonál **(ellenőrizendő: a gyártó által megadott fojtási arány)**. A fojtatlan rendszer rezonanciafrekvenciája gyakran a 7. vagy 11. harmonikus közelébe esik, ami veszélyes.

Tilos fojtatlan kondenzátortelepet olyan hálózatra kapcsolni, ahol jelentős harmonikus áram van, anélkül hogy a rezonanciaviszonyokat ellenőriznénk. Ha a mérés szerint a hálózat feszültségtorzulása meghaladja a megengedett értéket, fojtott kompenzálást kell alkalmazni.

36.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy üzemben a gyártósor frekvenciaváltós hajtásokkal bővült. A korábban jól működő, fojtás nélküli kondenzátortelep ezután egyre melegebb lett, és a lépcsők biztosítói időnként kioldottak. **Mérés:** a hálózatminőség-mérő a feszültség THD-jét és az 5., 7. harmonikus áramot növekedettnek mutatta; a (8) képlet szerinti rezonanciafrekvencia a 7. harmonikus közelébe esett. **Tanulság:** a rezonanciafrekvenciát (a (8) képlet szerint) a telep és a hálózat adja, és a 7. harmonikus közelében már a bővítés előtt is ott volt; a bővítés azt a harmonikus áramot hozta be, amely ezt a rezonanciát gerjeszti – nem a kondenzátor hibája. **Megoldás:** a telepet fojtott kivitelűre cserélték (a gyártói rendszerkönyv szerint, egységes fojtási aránnyal), majd a mérést megismételték **(a tényleges értékek helyszíni mérésből származnak, itt szemléltetők)**.

36.1.8. Gyakorlati útmutató: kondenzátortelep kiválasztása és bekötése

A gyakorlati munka során a fázisjavítást a következő lépésekben végezzük. **Biztonsági korlát.** A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Cél. A fogyasztói berendezés teljesítménytényezőjének javítása a megadott értékre kondenzátorteleppel.

Eszközök és anyagok. Lakatfogó multiméter, feszültségmérő, teljesítményelemző vagy hálózatminőség-mérő, a meglévő elosztó egyvonalas rajza, kondenzátortelep a méretezett névleges feszültséggel és teljesítménnyel, kismegszakító, mágneskapcsoló, hővédelem, fojtótekercs (ha szükséges), vezetékek, érvéghüvelyek, szerszámok.

Eljárás.

1. **Mérés a meglévő állapotról (jogosult személy, üzem közben).** A meglévő üzemállapotot feszültség alatt, megfelelő CAT-kategóriájú teljesítményelemzővel jogosult személy méri; a tanuló csak megfigyeli, vagy a jegyzőkönyv adatait használja. Mérd meg a fogyasztó hatásos teljesítményét P, látszólagos teljesítményét S és a $\cos\varphi$ értékét; jegyezd fel a hálózati feszültséget és az áramokat.
2. **Célmeghatározás.** Határozd meg a kívánt $\cos\varphi_2$-t. Ha a hálózati engedélyes előírása nem ismert, konzultálj a tervezővel vagy az üzemeltetővel.

3. **Számítás.** Számítsd ki a szükséges Q_C értéket a (7) képlettel: $Q_C = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$. A $\tan\varphi$ értékeket a $\cos\varphi$ értékekből $\tan\varphi = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi}$ összefüggéssel vagy számológép trigonometrikus függvényeivel kapod.
4. **Kiválasztás.** Válaszd ki a katalógusból a legalább ekkora névleges meddőteljesítményű kondenzátortelepet vagy lépcsőt. Ellenőrizd a névleges feszültséget: fojtott alkalmazásnál a kondenzátor feszültsége magasabb legyen a gyártó ajánlása szerint.
5. **Feszültségmentesítés az öt biztonsági szabály szerint.** (a) Lekapcsolás: kapcsold le a főkapcsolót vagy a leágazást. (b) Visszakapcsolás elleni biztosítás (zárolás, tiltótábla). (c) A feszültségmentesség ellenőrzése fázisok között és fázis–védővezető között. (d) Földelés és rövidre zárás a munkahely mindkét oldalán, ahol a szabályzat előírja. (e) A szomszédos, feszültség alatt maradó részek lefedése vagy elkerítése. Meglévő kondenzátortelepnél ezután várd ki a gyártó által megadott kisütési időt, majd **a kondenzátorkapcsokon is mérd meg a maradékfeszültséget**; csak ezután nyúlj hozzájuk.
6. **Bekötés.** A kiválasztott telepnek megfelelően kösd be a Q1 kismegszakítót, a K1 mágneskapcsolót, az F1 hővédelmet, az R1 fojtót és a C1 kondenzátort a kapcsolási rajz szerint. A kisütő ellenállásokat a kondenzátoregységbe való beépítés szerint kezeld; ha nem beépített, akkor a gyártói utasítás szerint külön kell bekötni.
7. **A biztonsági intézkedések megszüntetése és üzembe helyezés.** Távolítsd el a földelést és a rövidzárat, a lefedéseket, majd a zárolást, a hatályos szabály szerint, jogosult személy engedélyével. Kapcsold be a kompenzálást, majd mérd újra a hálózati $\cos\varphi$-t (jogosult személy, üzem közben). Ellenőrizd, hogy az érték a cél körüli sávban van, és hogy a kondenzátor árama nem haladja meg a névleges értéket.
8. **Dokumentálás.** Készíts jegyzőkönyvet a mért értékekről, a beépített eszközökről és a beállításokról. Frissítsd az egyvonalas rajzot.

Ellenőrzési pontok. A kondenzátortelep bekapcsolása után rövid időn belül a $\cos\varphi$ mérhetően nő; a hálózati áram csökken; a kondenzátor hőmérséklete normál üzemben a gyártói határ alatt marad; a védelmek nem oldanak ki.

36.1.9. Tipikus hibák

1. Túlkompenzálás. Ha a kondenzátor teljesítménye nagyobb a szükségesnél, a rendszer kapacitívvá válik: a meddőteljesítmény előjelet vált, és a túlkompenzálás mértékével a (kapacitív) $\cos\varphi$ ismét romlik – például a 30 kW-os példán 40 kvar-ral $\cos\varphi \approx 0{,}91$ kapacitív. Ez feszültségnövekedést okozhat, és a hálózati engedélyes is kifogásolhatja. **Helyes gyakorlat:** a telep méretezését pontosan kell elvégezni, és a bekapcsolt lépcsőket a mért érték alapján kell szabályozni.

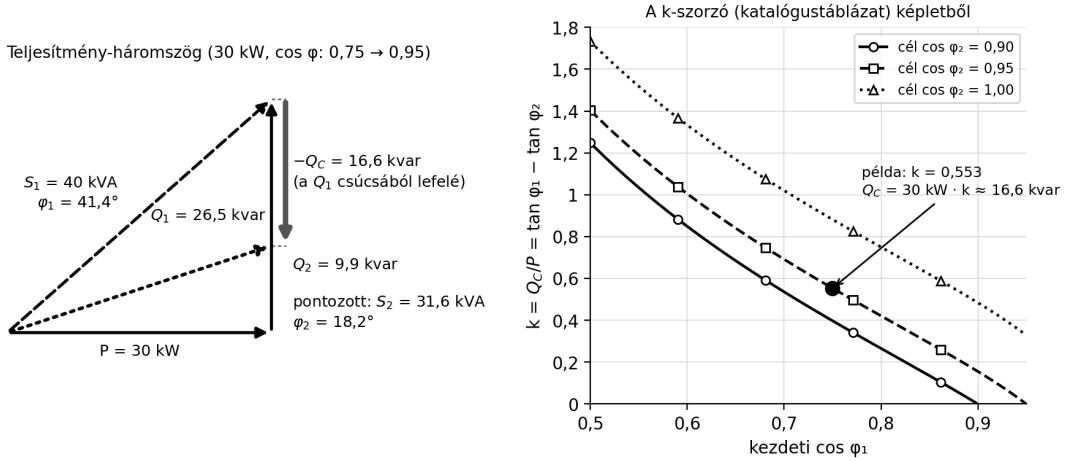
2. A rezonancia figyelmen kívül hagyása. Fojtatlan kondenzátortelepet olyan hálózatra szerelnek, ahol frekvenciaváltók vagy más nemlineáris fogyasztók működnek. A kialakuló rezonancia túláramot és a kondenzátor tönkremenetelét okozza. **Helyes gyakorlat:** harmonikus mérés, rezonanciavizsgálat, szükség esetén fojtott kompenzálás.

3. A kisütés elhagyása. A kondenzátortelep lekapcsolása után a kondenzátorban töltés marad, amely érintésre veszélyes. Ha a kisütő ellenállás hiányzik vagy meghibásodott, a szerelő áramütést szenvedhet a karbantartás során. **Helyes gyakorlat:** mindig ellenőrizni kell a kisütő ellenállások meglétét és állapotát, és a beavatkozás előtt a kondenzátor feszültségét mérni kell.

4. Fojtó nélküli bővítés vagy rossz fojtási arány. Fojtott telephez fojtatlan lépcsőt kapcsolnak párhuzamosan, vagy eltérő fojtási arányú lépcsőket kevernek; a fojtatlan lépcső elhangolja a rendszert, és a rezonancia visszatér. **Helyes gyakorlat:** egy telepen belül azonos fojtási arány, a gyártói rendszerkönyv szerint.

36.1.10. Interaktív kalkulátor (szemléltetés)

A fejezethez tartozó interaktív kalkulátor segítségével kipróbálhatod a fázisjavítás méretezését: megadod a hatásos teljesítményt P, a kezdeti $\cos\varphi_1$-et és a cél $\cos\varphi_2$-t, a kalkulátor pedig kiszámítja a szükséges Q_C meddőteljesítményt, valamint a háromfázisú delta-kapcsolású kondenzátortelep egyes fázisainak kapacitását. A kalkulátorban csúszkával állítod P-t (1–200 kW), $\cos\varphi_1$-et (0,5–0,95), $\cos\varphi_2$-t (0,85–1,0) és a lépcsőméretet (2,5/5/10/12,5 kvar); kiírja Q_1-et, Q_2-t, Q_C-t, a szükséges lépcsőszámot, az elért $\cos\varphi$-t, az áramcsökkenést és a C_Δ kapacitást, és figyelmeztet a túlkompenzálásra. A statikus tartalék ábra a fejezet 30 kW-os példájának teljesítmény-háromszögét mutatja a kompenzálás előtt és után, valamint a katalógusok k-szorzóját képletből számolva.



36.2. ábra. Teljesítmény-háromszög a fázisjavítás előtt és után a 30 kW-os példával ($\cos\varphi$: 0,75 $\to$ 0,95), és a $k = \tan\varphi_1 - \tan\varphi_2$ szorzó görbéi

Ábraértelmezés. A kompenzálás előtti háromszögben $P = 30$ kW a vízszintes oldal, $Q_1 \approx 26{,}5$ kvar a függőleges oldal, $S_1 = 40$ kVA az átfogó. A kondenzátor meddője a Q_1 csúcsából lefelé mutató $-Q_C \approx 16{,}6$ kvar vektor, így a maradék meddő $Q_2 = Q_1 - Q_C \approx 9{,}9$ kvar, és az új látszólagos teljesítmény $S_2 \approx 31{,}6$ kVA rövidebb, mint S_1 ($\varphi_1 \approx 41{,}4^\circ \to \varphi_2 \approx 18{,}2^\circ$). Az interaktív ábrán a $\cos\varphi_2$ és a lépcsőméret csúszkájával változtathatod a kompenzálás mértékét, és a háromszög folyamatosan frissül.

36.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a fázisjavítás növeli a hálózatból felvett hatásos teljesítményt? Indokold!
2. Egy fogyasztó $\cos\varphi_1 = 0{,}7$ értékkel 20 kW hatásos teljesítményt fogyaszt. Mennyi a meddőteljesítménye?
3. Miért veszélyes a fojtatlan kondenzátortelep harmonikus terhelésű hálózaton?
4. Mi a szerepe a kisütő ellenállásnak a kondenzátortelepben?
5. Mi a különbség az egyedi és a központi kompenzálás között?

36.1.12. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld a teljesítménytényezőt, és írd fel a szükséges kompenzáló meddőteljesítmény képletét a kezdeti és cél $\cos\varphi$ értékekkel.

2. feladat (A). Egy 15 kW-os, $\cos\varphi_1 = 0{,}65$ értékű fogyasztót szeretnénk $\cos\varphi_2 = 0{,}95$-re javítani. Számítsd ki a szükséges kondenzátor meddőteljesítményt.

3. feladat (B). Egy üzemben a mért értékek: $P = 80\,\text{kW}$, $S = 100\,\text{kVA}$. A cél $\cos\varphi_2 = 0{,}92$. Határozd meg a szükséges Q_C-t, és válassz a gyakorlatban kapható 5 kvar-os lépcsőkből annyit, hogy a cél elérhető legyen.

4. feladat (B). Háromfázisú, 400 V-os hálózaton delta kapcsolású kondenzátortelepet alkalmazunk. Mekkora az egyes fáziskondenzátorok kapacitása, ha a telep névleges meddőteljesítménye 25 kvar?

5. feladat (C). Egy motortelepítésnél a motor indításakor a $\cos\varphi$ 0,4-re csökken, üzemi állapotban 0,8. A motor felvett hatásos teljesítménye üzemben 22 kW. Hogyan döntöd el, hogy egyedi vagy csoportos kompenzálást alkalmazz? Számítsd ki mindkét állapotra a meddőigényt, és elemezd a kondenzátor méretezésének dilemmáját.

6. feladat (D). Egy üzemben a fázisjavító telep be van szerelve, de a hálózati $\cos\varphi$ továbbra is 0,8 alatt marad, és a kondenzátorok gyakran túlmelegszenek. Sorolj fel legalább három lehetséges okot, és add meg a hibakeresés lépéseit.

36.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok.

1. Hamis: a fázisjavítás a hatásos teljesítményt P nem változtatja, csak a meddőteljesítményt Q és a látszólagos teljesítményt S (így az áramot) csökkenti.
2. $\tan\varphi = \sqrt{1-0{,}7^2}/0{,}7 \approx 1{,}020$, tehát $Q = 20\,\text{kW}\cdot 1{,}020 \approx 20{,}4\,\text{kvar}$.
3. Harmonikus áramot termelő fogyasztók mellett a kondenzátor a hálózat induktivitásával párhuzamos rezonanciába kerülhet, ami a harmonikus feszültséget és a köráramot felerősíti: túláram, a kondenzátor melegedése, védelmek indokolatlan kioldása.
4. A lekapcsolás után biztonságos szintre süti ki a kondenzátorban tárolt töltést; ez nem helyettesíti a maradékfeszültség mérését a beavatkozás előtt.
5. Egyedi: a fogyasztó kapcsainál, a betápláló vezetéket is tehermentesíti; központi: a főelosztóban, szabályozott lépcsőkkel, a belső hálózatot nem tehermentesíti.

1. feladat (A). A teljesítménytényező a hatásos és a látszólagos teljesítmény aránya: $\cos\varphi = P/S$. A szükséges kompenzáló meddőteljesítmény $Q_C = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$, ahol $\varphi_1 = \arccos(\cos\varphi_1)$ és $\varphi_2 = \arccos(\cos\varphi_2)$.

2. feladat (A). Kezdeti $\cos\varphi_1 = 0{,}65$, $\tan\varphi_1 \approx 1{,}169$; cél $\cos\varphi_2 = 0{,}95$, $\tan\varphi_2 \approx 0{,}329$. Így

$$Q_C = 15\,\text{kW}\cdot(1{,}169 - 0{,}329) = 15\cdot 0{,}84 = 12{,}6\,\text{kvar}.$$

3. feladat (B). Kezdeti $\cos\varphi_1 = P/S = 80/100 = 0{,}8$, tehát $\tan\varphi_1 = 0{,}75$. Cél $\cos\varphi_2 = 0{,}92$, ekkor $\tan\varphi_2 \approx 0{,}426$. A szükséges $Q_C = 80\,\text{kW}\cdot(0{,}75 - 0{,}426) = 80\cdot 0{,}324 = 25{,}9\,\text{kvar}$. 5 kvar-os lépcsőkből 6 darabot kell beépíteni, ami 30 kvar-t ad. Ellenőrzés: 5 lépcsővel (25 kvar) $Q_2 = 60 - 25 = 35\,\text{kvar}$, $\cos\varphi = 80/\sqrt{80^2+35^2} \approx 0{,}916 < 0{,}92$, ez nem elég; 6 lépcsővel (30 kvar) $Q_2 = 30\,\text{kvar}$, $\cos\varphi = 80/\sqrt{80^2+30^2} \approx 0{,}936 \geq 0{,}92$. A cél tehát elérhető, de a szabályozó csak a szükséges lépcsőket kapcsolja be.

4. feladat (B). Delta kapcsolásnál a fáziskondenzátorok feszültsége a vonali feszültség $U_v = 400\,\text{V}$. A telep meddőteljesítménye $Q_C = 3\,\omega\,C_\Delta\,U_v^2$, ahol $\omega = 2\pi f = 2\pi\cdot 50\,\text{Hz} = 314\,\text{rad/s}$. Ebből

$$C_\Delta = \frac{Q_C}{3\,\omega\,U_v^2} = \frac{25\,000\,\text{var}}{3 \cdot 314 \cdot 400^2\,\text{V}^2} \approx \frac{25000}{3 \cdot 314 \cdot 160000} \approx 1{,}66 \times 10^{-4}\,\text{F} = 166\,\mu\text{F}.$$

Tehát minden fáziskondenzátor kb. 166 µF kapacitású.

5. feladat (C). Adott: a motor felvett hatásos teljesítménye üzemben $P_1 = 22\,\text{kW}$, $\cos\varphi = 0{,}8$; indításkor $\cos\varphi = 0{,}4$. Üzemi állapot: $\tan\varphi = 0{,}75$, $Q = 22 \cdot 0{,}75 = 16{,}5\,\text{kvar}$. Indítási állapot: $\tan\varphi = \frac{\sqrt{1-0{,}4^2}}{0{,}4} \approx 2{,}291$; ha a felvett hatásos teljesítményt ugyanennek vesszük, $Q \approx 22 \cdot 2{,}291 \approx 50{,}4\,\text{kvar}$ – de ez csak minőségi összehasonlítás, mert indításkor a felvett hatásos teljesítmény sem névleges. A dilemma: az indítási meddőre méretezett kondenzátor üzem közben, és főleg a motor lekapcsolása után (kifutás közben) túlkompenzálna, és öngerjesztés miatt túlfeszültséget hozhat a motorkapcsokon. Ezért egyedi kompenzálásnál az egyedi kompenzálásról szóló szakasz szerint a kondenzátort a motor üresjárási meddőfelvétele alá méretezzük (kb. 90%-ára, ellenőrizendő: motorgyártói adat; a gyakorlatban gyakran a névleges meddő 25–40%-a), a maradék meddőt pedig központi, lépcsős kompenzálás fedezi. Csoportos kompenzálás akkor jó választás, ha több, közös leágazáson lévő motor együtt jár, és a csoport együttes üzemi meddőjét a közös telep fedezi.

6. feladat (D). Lehetséges okok és hibakeresési lépések: – A kondenzátortelep lépcsői nem kapcsolódnak be, mert a szabályozó hibás vagy rosszul van paraméterezve. Ellenőrizni kell a szabályozó beállításait, a beavatkozó mágneskapcsolókat és a vezérlést. – A kondenzátorok fojtás nélküliek, és harmonikus rezonancia lép fel. Mérni kell a feszültség- és áramfelharmonikusokat; ha magas, fojtott telepre kell cserélni. – A kondenzátor névleges feszültsége kisebb a hálózaténál vagy a fojtás miatt megemelkedett feszültségnél, ezért túlterhelődik. Ellenőrizni kell a típust és a feszültségértéket. – A lépcsők túl nagyok, ezért a szabályozó nem tudja a cél $\cos\varphi$-t pontosan tartani, és egy-egy lépcső bekapcsolásakor túlkompenzálás jön létre. Kisebb lépcsőket kell választani. Hibakeresési sorrend: 1. Üzem közbeni mérés jogosult személlyel, a kijelölt mérési kategóriájú műszerrel: $\cos\varphi$, lépcsőáramok, feszültség- és áram-THD, 5. és 7. harmonikus; a szabályozó kijelzésének és beállításainak leolvasása. 2. A lépcsők kézi kapcsolása a szabályozóról (jogosult személy, a zárt szekrény kezelőszerveiről), és a lépcsőáram mérése. 3. Ha szerelési beavatkozás kell: feszültségmentesítés az öt szabály szerint (lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése kétpólusú vizsgálóval, földelés és rövidre zárás, szomszédos részek lefedése), a kisütési idő kivárása, majd a maradékfeszültség mérése a kondenzátorkapcsokon. 4. Szemrevételezés (duzzadt egység, elszíneződött kapocs), a típus- és feszültségadat ellenőrzése. 5. Javítás után ismételt mérés és dokumentálás.

36.1.14. Rövid összefoglaló

A fázisjavítás célja, hogy a fogyasztói berendezés teljesítménytényezőjét a lehető legkisebb beruházással és veszteséggel javítsuk. A kompenzáló kondenzátortelep szükséges meddőteljesítménye $Q_C = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$, ahol P a hatásos teljesítmény, φ_1 a kezdeti, φ_2 a cél fázisszög. A kompenzálás lehet egyedi (a fogyasztó közvetlen közelében), csoportos vagy központi (a főelosztóban). A kondenzátortelep fő részei a kondenzátor, a fojtótekercs, a túláramvédelem, a kapcsolókészülék és a kisütő ellenállás. A fojtatlan kondenzátortelep rezonanciába kerülhet a hálózat induktivitásával, és a harmonikus áramokat felerősítheti; ezért harmonikus terhelésű hálózaton fojtott kompenzálást kell alkalmazni. A kisütő ellenállás a kondenzátorokban tárolt energiát lekapcsolás után biztonságos szintre csökkenti. A méretezésnél mindig a tényleges üzemi mérésből kell kiindulni, és kerülni kell a túlkompenzálást. **Továbbvitt eredmény.** A kompenzáló kondenzátortelep által szolgáltatott meddőteljesítmény, valamint a teljesítmény-háromszögek kezelése közvetlenül hasznosul a Szünetmentes áramforrások, aggregátorok és akkumulátorok

alfejezetben, ahol a tartalék energiaforrásokból táplált fogyasztói hálózatok teljesítményviszonyait kell megérteni.

36.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

A szövegben hivatkozott szabványok: MSZ EN 60831 (kondenzátorok, ellenőrizendő), MSZ HD 60364 (szerelési szabályok), a hálózati engedélyes követelményei. A konkrét szabványszámok, a fojtási arányok, a rezonanciafrekvencia-képlet és a kisütési időhatár ellenőrzendők. A kitűzött számítási értékek szemléltető jellegűek, a tényleges méretezésnél mindig a hatályos szabvány és a gyártói adatlap a mérvadó.

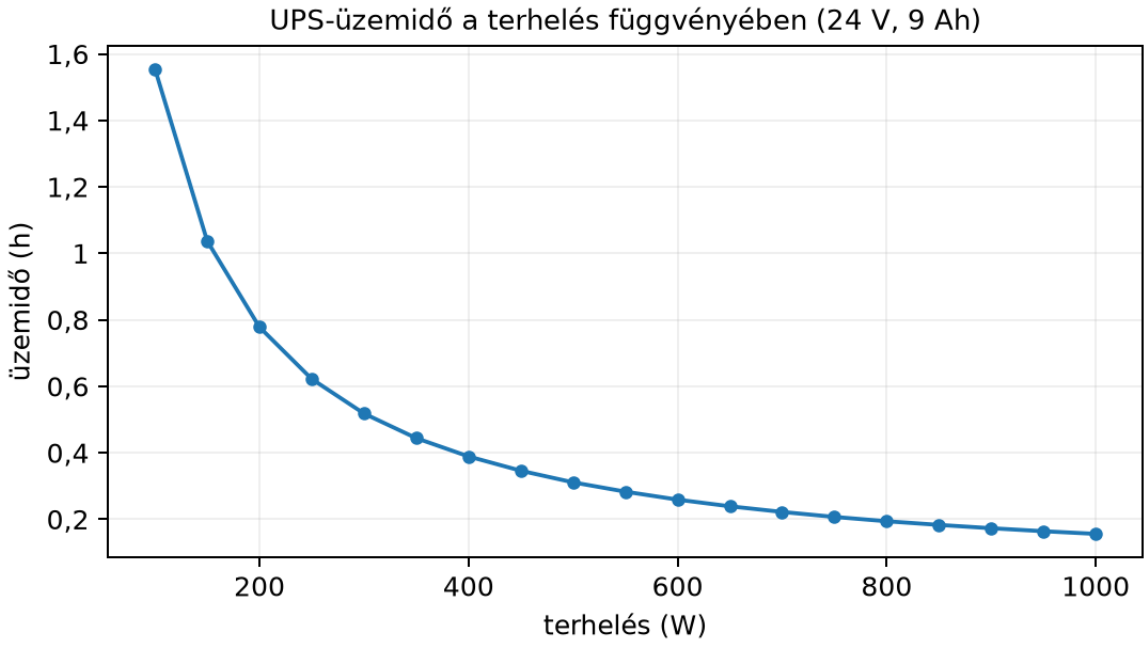
36.2. Szünetmentes áramforrások, aggregátorok és akkumulátorok

36.2.1. Motiváció

Egy kisebb ipari üzem irodájában a szerelő azt a feladatot kapja, hogy a szerver és az adatmentő rendszer mellé szünetmentes tápegységet (UPS) telepítsen, mert a környéken gyakoriak a rövid, néhány másodperces hálózati feszültségkimaradások. A karbantartó műhelyben emellett egy dízelaggregátort is üzemeltetnek, amely áramszünet esetén át kell, hogy vegye a fontos fogyasztók ellátását. A szerelőnek nem elég csak bekötnie a készülékeket: tudnia kell, milyen UPS típus illik az adott fogyasztóhoz, mekkora akkumulátor szükséges a kívánt üzemidőhöz, és hogyan kell reteszelni az aggregátor átkapcsolóját, hogy soha ne kerülhessen össze a hálózattal. Ez az alfejezet ezt a három területet tanítja meg: a szünetmentes áramforrásokat, az akkumulátorok méretezését és az aggregátoros betáplálás átkapcsolását.

36.2.2. Szemléletes kép

Egy kis irodai UPS dobozán a következő adatok szerepelnek: bemenet 230 V, 50 Hz; kimenet 230 V, 650 VA / 390 W; akkumulátor 12 V, 9 Ah, ólom-savas. A hálózati feszültség kiesésekor a készülék egy rövid kattanással átkapcsol belső akkumulátoros üzemre, és a számítógép tovább működik. Ha viszont a szerelő rosszul választ UPS-t, az átkapcsolás alatt a számítógép újraindul, vagy a túl nagy terhelés miatt az akkumulátor néhány másodperc alatt lemerül, és az adatmentés meghiúsul. A következő ábra egy ilyen méretezési helyzetet mutat, de már egy nagyobb, 24 V-os, 9 Ah-s akkumulátorú UPS-re – ugyanarra, amellyel a fejezet számpéldái is számolnak –: adott akkumulátor-energiánál hogyan csökken az elérhető üzemidő a terhelés növelésével (100–1000 W). A dobozon látott 12 V-os, 390 W-os kis UPS ennél kisebb: tárolt hasznos energiája fele akkora ($12 \cdot 9 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}9 \approx 77{,}8\,\text{Wh}$, 300 W-on kb. 16 perc), és 390 W fölött már túlterhelt.



36.3. ábra. UPS-üzemidő a terhelés függvényében (24 V, 9 Ah) - Képletből számolt, szemléltető értékek 50 W-os lépésközzel: ólom-savas akkumulátor, U_akk = 24 V, C = 9 Ah, mélykisülési tényező 0,8, inverter hatásfok 0,9; $t = U \cdot C \cdot DOD \cdot \eta / P$ (hiperbola). A nagy kisütőáram miatti kapacitáscsökkenést nem tartalmazza.

Az ábra számszerűen is mutatja: ha a terhelést 100 W-ról 1000 W-ra növeljük, az üzemidő 1,55 óráról körülbelül 9 percre csökken ugyanazzal az akkumulátorral.

36.2.3. Definíciók, alapfogalmak és UPS-típusok

Definíció. A szünetmentes áramforrás (uninterruptible power supply, UPS) olyan villamos készülék vagy berendezés, amely a hálózati feszültség kiesése, jelentős eltérése vagy megszakadása esetén a hozzá csatlakoztatott fogyasztókat energiaforrásból – jellemzően akkumulátorból – tovább táplálja, és ezzel megakadályozza az üzemzavart, adatvesztést vagy folyamatleállást.

Definíció. Az átkapcsolási idő az az időtartam, amely a hálózati feszültség meghibásodásának érzékelésétől a fogyasztó akkumulátoros ellátásának megkezdéséig eltelik. Minél rövidebb ez az idő, annál kisebb a fogyasztó működésében bekövetkező zavar.

A UPS-eket a fogyasztó szempontjából lényeges működési mód szerint három alapvető csoportba soroljuk: offline, line-interaktív és online. A megnevezés nem a minőség, hanem a bemeneti áram útjának és a feszültségkezelésnek a jellegére utal.

Offline (standby) UPS. Normál üzemben a fogyasztó közvetlenül, gyakorlatilag a hálózatról kapja a feszültséget; az akkumulátortöltő a belső akkumulátort karbantartó töltéssel tölti. Hálózati feszültségkimaradáskor a készülék érzékelője kapcsol, és az inverter az akkumulátorból állítja elő a kimeneti feszültséget. Az átkapcsolási idő tipikusan néhány milliszekundum, ezért irodai számítógéphez, kisméretű hálózati eszközhöz, kijelzőhöz általában elegendő. Hátránya, hogy a feszültség-ingadozásokat, gyors tranziens zavarokat normál üzemben nem szabályozza, legfeljebb szűrőelemekkel csökkenti.

Line-interaktív UPS. Normál üzemben a fogyasztó a hálózatra csatlakozik, de egy fokozat-kapcsolós feszültségszabályozó (AVR) a bemenő feszültség csökkenése vagy emelkedése esetén

korrigálja a kimenő feszültséget, ezért kisebb ingadozásoknál nem kell átkapcsolni akkumulátoros üzemre. Feszültségkimaradáskor az inverterrel ellátott akkumulátor veszi át a terhelést. Az átkapcsolási idő szintén rövid, de a feszültségszabályozás miatt jobb minőségű ellátást ad, mint az offline típus. Gyakori választás irodai szerverek, kasszarendszerek, hálózati kapcsolók, kisebb vezérlők mellé.

Online (dupla konverziós) UPS. A hálózati feszültséget az egyenirányító folyamatosan egyenárammá alakítja, az egyenáramú köztes körről tölti az akkumulátort, és az inverter folyamatosan állítja elő a kimeneti váltakozó feszültséget. A fogyasztó tehát normál üzemben is az inverterről kapja a feszültséget, ezért hálózati kimaradáskor nincs átkapcsolási idő, a kimenet zavartalan marad. Ez a legjobb minőségű megoldás, de a kétszeres energiaátalakítás miatt magasabb a vesztesége és az ára. Kritikus orvosi, kórházi, adatközponti, biztonsági berendezéseknél, hálózati frekvencia- vagy feszültségproblémák esetén ezt a típust alkalmazzák.

Összefoglaló összehasonlítás. Az offline a legegyszerűbb és legolcsóbb, de csak feszültségkimaradásra reagál, és átkapcsolási ideje van. A line-interaktív a kismértékű feszültség-ingadozásokat is szabályozza. Az online típus a bemeneti hálózat zavaraitól gyakorlatilag teljesen független kimenő feszültséget biztosít, de nagyobb a fogyasztása és melegedése.

36.2.4. Akkumulátorok és üzemidő számítása

Definíció. Az akkumulátor kapacitása (C) azt a töltésmennyiséget adja meg, amelyet a feltöltött akkumulátor meghatározott feltételek között leadni képes. Mértékegysége az amperóra (Ah), kisebb egységeknél milliamperóra (mAh). Egy 9 Ah kapacitású akkumulátor elvileg 9 A áramot 1 órán át, vagy 1 A áramot 9 órán át tudna leadni.

A gyakorlatban két tényezőt mindig figyelembe kell venni:

- **Mélykisülési tényező (DOD, depth of discharge).** Az ólom-savas akkumulátorokat nem szabad teljesen kisütni, mert az élettartamuk jelentősen csökken. A gyártók gyakran a kapacitás 50–80%-ának felhasználását engedik meg rendszeres üzemben. A DOD tehát azt mutatja meg, hogy a névleges kapacitás mekkora hányadát használjuk ki.
- **Inverter hatásfoka (η_inv).** Az akkumulátor egyenfeszültségű energiáját az inverter alakítja a fogyasztó számára szükséges váltakozó feszültséggé. A hatásfok jellemzően 0,85–0,95, vagyis a bemenő egyenáramú teljesítmény 5–15%-a hővé válik.

Összefüggés. Az akkumulátorban tárolt, a fogyasztó rendelkezésére álló energia:

$$W_{\text{terh}} = U_{\text{akk}} \cdot C \cdot \text{DOD} \cdot \eta_{\text{inv}},$$

ahol U_{akk} az akkumulátor névleges feszültsége voltban, C a kapacitás amperórában, W_{terh} pedig a kimenő váltakozó áramú oldalon hasznosítható energia wattórában (Wh). A kifejezés abból indul ki, hogy az akkumulátor tárolt energiája $U_{\text{akk}} \cdot C$, ezt csökkenti a mélykisülési tényező és az inverter hatásfoka.

Az üzemidő állandó terhelés mellett:

$$t = \frac{W_{\text{terh}}}{P_{\text{terh}}} = \frac{U_{\text{akk}} \cdot C \cdot \text{DOD} \cdot \eta_{\text{inv}}}{P_{\text{terh}}},$$

ahol P_{terh} a fogyasztó hatásos teljesítménye wattban, az eredményül kapott t pedig órában értendő.

Példa. Egy UPS akkumulátorfeszültsége 24 V, kapacitása 9 Ah, a megengedett mélykisülés 80%, az inverter hatásfoka 90%. A tárolt hasznos energia:

$$W_{\text{terh}} = 24\,\text{V} \cdot 9\,\text{Ah} \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}9 = 155{,}5\,\text{Wh}.$$

Ha a terhelés 300 W, az üzemidő:

$$t = \frac{155{,}5\,\text{Wh}}{300\,\text{W}} = 0{,}518\,\text{h} \approx 31\,\text{min}.$$

Figyelem. Az ólom-savas akkumulátorok kapacitása nagy kisütőáramnál kisebb, mint a katalógusban megadott névleges érték (a gyártók általában 10 vagy 20 órás kisütésre adják meg a kapacitást). Ezért a fenti képlet közelítő értéket ad; a pontos méretezéshez a gyártói kisütési táblázatot kell használni. **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**

Li-ion akkumulátorok. A modern UPS-ekben egyre gyakrabban lítium-ion (Li-ion) vagy lítium-vasfoszfát (LiFePO_4) akkumulátorokat alkalmaznak. Előnyük a kisebb tömeg és méret, a nagyobb ciklusélettartam, a kisebb önkisülés, valamint az, hogy jobban tűrik a nagyobb kisütőáramokat. Hátrányuk a magasabb ár, és az, hogy a töltést és kisütést elektronikusan, cellaszinten is felügyelni kell; a túltöltés, mélykisülés vagy hőmérséklet-túllépés tüzet vagy robbanást okozhat. A beépített akkumulátorkezelő rendszer (BMS) ezt a védelmet látja el.

Szabvány. A szünetmentes áramforrásokkal és azok akkumulátoraival szembeni követelményeket az MSZ EN 62040 sorozat tárgyalja (ellenőrizendő: a pontos szabványszám és kiadás). A biztonsági táplálás kialakítására, például a biztonsági világításnál, az MSZ HD 60364 sorozat vonatkozó részei és a tűzvédelmi előírások adnak követelményeket. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás, biztonsági táplálásra vonatkozó előírások)**

36.2.5. Kidolgozott példa: UPS kiválasztása és üzemidő számítása

Számítás. Egy kisebb irodai szerverterembe olyan UPS-t kell választani, amely a következő fogyasztókat látja el: szerver 450 W, hálózati kapcsoló 50 W, mentőegység 70 W. A fogyasztók együttes hatásos teljesítménye:

$$P_{\text{terh}} = 450\,\text{W} + 50\,\text{W} + 70\,\text{W} = 570\,\text{W}.$$

A UPS kimeneti teljesítményadatait látszólagos teljesítményben (VA) és hatásos teljesítményben (W) adják meg. Ha a választott készülék 1000 VA, és a megadott teljesítménytényezője $\cos\varphi_{\text{UPS}} = 0{,}8$, akkor a leadható hatásos teljesítmény:

$$P_{\text{UPS}} = S \cdot \cos\varphi = 1000\,\text{VA} \cdot 0{,}8 = 800\,\text{W}.$$

Mivel $800\ \text{W} > 570\ \text{W}$, a készülék teljesítménye megfelelő. A terhelési arány:

$$\frac{P_{\text{terh}}}{P_{\text{UPS}}} = \frac{570\,\text{W}}{800\,\text{W}} = 0{,}7125 \approx 71\%.$$

Ez jellemzően kedvező tartomány, mert a UPS kihasználtsága nem túl alacsony, de marad tartalék.

Az UPS beépített akkumulátora 24 V, 9 Ah, a mélykisülési tényező 0,8, az inverter hatásfoka 0,9. A hasznos energia:

$$W_{\text{terh}} = 24\,\text{V} \cdot 9\,\text{Ah} \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}9 = 155{,}5\,\text{Wh}.$$

Az üzemidő:

$$t = \frac{155{,}5\,\text{Wh}}{570\,\text{W}} = 0{,}273\,\text{h} \approx 16{,}4\,\text{min}.$$

Tehát a képlet szerint kb. 16 perc adódik; ez felső becslés. Ilyen nagy kisütőáramnál ($\approx 26\,\text{A}$, a 9 Ah-s akkumulátorra kb. 3C) a gyártói kisütési táblázat ennél kevesebbet, jellemzően kb. 9–10 percet ad **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**, ezért a leállítási időt a táblázatból ellenőrizzük. Ha ennél hosszabb üzemidő kell, nagyobb kapacitású külső akkumulátor modult kell csatlakoztatni.

Számítás. A tervező azt kéri, hogy ugyanennél a 570 W-os terhelésnél legalább 2 óra üzemidő álljon rendelkezésre. Mekkora akkumulátor-kapacitás szükséges, ha az akkumulátorfeszültség 48 V, a DOD továbbra is 0,8, az inverter hatásfoka 0,9? A kiinduló képletből a kapacitást kifejezve:

$$C = \frac{P_{\text{terh}} \cdot t}{U_{\text{akk}} \cdot \text{DOD} \cdot \eta_{\text{inv}}} = \frac{570\,\text{W} \cdot 2\,\text{h}}{48\,\text{V} \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}9}.$$

A számláló 1140 Wh, a nevező 34,56 V, így:

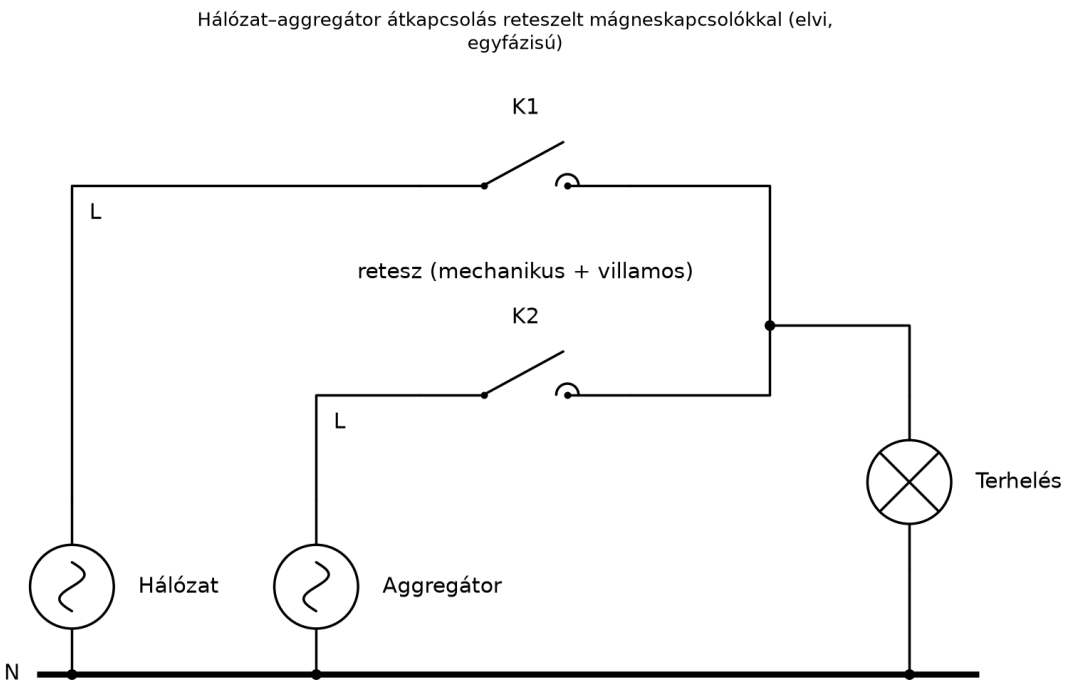
$$C \approx 33{,}0\,\text{Ah}.$$

A gyakorlatban felfelé kerekítve például 40 Ah kapacitású akkumulátorcsomagot választanánk, és a gyártói kisütési görbe alapján ellenőriznénk a tényleges üzemidőt. ∎

36.2.6. Aggregátor és hálózati átkapcsoló (ATS)

Definíció. Az automatikus átkapcsoló (automatic transfer switch, ATS) olyan kapcsolókészülék vagy berendezés, amely a hálózati feszültség kiesésekor a fogyasztót automatikusan átkapcsolja a tartalék energiaforrásra – például dízelaggregátorra –, és a hálózat visszatérésekor visszakapcsolja arra.

A legegyszerűbb elvi kapcsolásban két mágneskapcsoló vagy motoros megszakító kimenete egy közös csomópontra fut, és innen táplálja a terhelést: az egyik a hálózati oldalról, a másik az aggregátor oldalról. A két kapcsoló egyszerre soha nem lehet bekapcsolva, mert akkor a hálózat és a generátor összekapcsolódna. Ez rendkívül veszélyes: a generátor visszatáplálhat a hálózatba, hálózat-visszatéréskor a feszültségkülönbség hatalmas áramlökést és súlyos gépsérülést okozhat, valamint a szigetüzemi generátor nem szinkronizált a hálózattal.



36.4. ábra. Hálózat–aggregátor átkapcsolás reteszelt mágneskapcsolókkal (elvi, egyfázisú) - K1 a hálózati, K2 az aggregátoros mágneskapcsoló (alapállapotban mindkettő nyitva). A két kimenet a ponttal jelölt közös csomópontban találkozik, és innen táplálja a terhelést; a forrásoknak és a terhelésnek közös az N-vezetője. Mivel a két ág ugyanarra a csomópontra fut, K1 és K2 egyszerre soha nem zárhat: mechanikus és villamos reteszelés kell. Egyszerűsített elvi rajz: a védelmek, a PE, a vezérlés és a nullavezető kapcsolása (négypólusú átkapcsoló) nincs feltüntetve.

Szabály. Az átkapcsoló kapcsolóit reteszelni kell: mechanikusan, hogy a két főérintkező egyszerre ne tudjon bekapcsolni, és elektromosan, hogy a vezérlésben a másik kapcsoló segédérintkezője megakadályozza az egyidejű behúzást. Háromfázisú rendszerben a fázissorrendet is ellenőrizni kell, mert a motorok forgásiránya a fázissorrendtől függ.

Szabály. Generátoros üzemben is teljesülnie kell a hibavédelem feltételeinek: a generátor kis zárlati árama miatt a kioldási feltételt (hurokimpedancia, kioldási idő) generátoros táplálásra külön kell ellenőrizni. El kell dönteni, hogy az átkapcsoló a nullavezetőt is kapcsolja-e (négypólusú átkapcsolás, 4P) vagy csak a fázisvezetőket (3P), és hogy hol van a generátoroldali N–PE kötés: ettől függ a hibavédelem és az áram-védőkapcsoló (RCD) helyes működése, valamint a visszatáplálás elleni védelem. A fenti elvi rajz közös N-vezetőt mutat, ezért ez egyszerűsített szemléltetés, nem kivitelezési minta **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364 vonatkozó része a tartalék- és szigetüzemi betáplálásról, a generátor gyártói előírása és a hálózati engedélyes követelményei)**.

Összefüggés. Az aggregátor kiválasztásánál a hálózati oldalról ismert fogyasztói teljesítményt legalább a berendezés látszólagos teljesítmény-igénye szerint kell méretezni:

$$S_{\text{terh}} = \frac{P_{\text{terh}}}{\cos \varphi_{\text{terh}}}.$$

Ha például a fontos fogyasztók hatásos teljesítménye 12 kW, és a teljesítménytényező 0,85, akkor:

$$S_{\text{terh}} = \frac{12\,\text{kW}}{0{,}85} = 14{,}1\,\text{kVA}.$$

A gyakorlatban ennél nagyobb, például 20 kVA névleges teljesítményű aggregátort választanak, hogy a motorindítási áramlökések, a klimatikus viszonyok és a későbbi bővítés is beleférjenek. A generátor rövid idejű túlterhelhetőségét a gyártói adatlap alapján kell ellenőrizni. **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**

Továbbvitt eredmény. A szinkron generátor hálózatra kapcsolásakor a Hálózatra kapcsolás, V-görbe, fázisjavítás és aggregátor alfejezetben megismert négy feltételt is figyelembe kell venni, ha a generátort szinkronozva, hálózattal párhuzamosan szeretnék üzemeltetni. A gyakorlati aggregátoros tartalékbetáplálásnál azonban az ATS segítségével szigetüzemi, reteszelt átkapcsolást alkalmaznak, így a szinkronozás feltételei nem lépnek fel.

36.2.7. Karbantartás és biztonság

Az UPS és az aggregátoros betáplálás megbízhatósága csak rendszeres karbantartással tartható fenn. Az akkumulátorok az élettartamuk során fokozatosan veszítenek kapacitásukból, ezért az üzemidőt időszakosan ellenőrizni kell. Az ólom-savas akkumulátoroknál a töltőfeszültséget, a cellák feszültségkiegyenlítettségét és a hőmérsékletet kell mérni. A Li-ion rendszereknél a beépített BMS adatait lehet kiolvasni.

Biztonsági figyelmeztetések.

- **Tilos** az UPS akkumulátorának sarkait közvetlenül, szigeteletlen szerszámmal megérinteni. Az egyenáramú oldal feszültsége – egyes nagyobb készülékeknél 200 V felett – szintén életveszélyes lehet.
- **Tilos** a zárlatos akkumulátort, a megduzzadt, szivárgó vagy túlhevült cellát tovább üzemeltetni. A sérült akkumulátor tüzet vagy vegyi égési sérülést okozhat.
- **Tilos** a hálózati feszültségű betáplálást feszültségmentesítés nélkül megbontani.
- Az aggregátor üzemeltetésekor gondoskodni kell a füstgáz elvezetéséről, a megfelelő szellőzésről, a tűzveszélyes anyagok távoltartásáról és a rendszeres próbaindításról.

Szabvány. Az épületbe szerelt aggregátoros betáplálásra az MSZ HD 60364 sorozat áramfejlesztő egységekről és a biztonsági célú ellátásról szóló részei, az automatikus átkapcsoló készülékre az MSZ EN 60947-6-1 (átkapcsoló berendezések), valamint a generátor gyártójának előírásai vonatkoznak **(ellenőrizendő: a 60364 részeinek pontos száma és hatályos kiadása)**. Az MSZ EN 60204-1 (gépek villamos berendezése) csak akkor kerül elő, ha az aggregátor egy gép villamos berendezésének része. A visszatáplálás elleni védelmet és a hálózati elosztóval való együttműködést a hálózati engedélyes csatlakozási feltételei is szabályozzák. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás, hálózati engedélyes előírásai)**

36.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy raktárépületben a biztonsági rendszer, a tűzjelző és a beléptető kapu ellátására line-interaktív UPS-t szereltek. A korábbi offline UPS két év után többször is újraindította a betáplált vezérlőt, mert a hálózati feszültség gyakran 190 V alá esett, és az egyszerű UPS ezt nem tudta kezelni. A csere után a line-interaktív készülék a feszültségszabályozóval korrigálta a bemenő ingadozást, így akkumulátoros üzem nélkül is stabil kimenetet adott. A szerelő a telepítéskor a védővezető (PE)

bekötését is ellenőrizte, mert PE nélkül a UPS fémháza testzárlatkor feszültség alá kerülhet, és a hibavédelem nem működik. A hálózati oldali biztosítékot a gyártó által előírt értékre választotta, és a kimeneti oldalt külön kismegszakítóval védte.

36.2.9. Gyakorlati útmutató: kis UPS akkumulátorának cseréje és próbája

Cél. UPS belső akkumulátorának cseréje vagy állapotfelmérése, valamint a készülék üzemi próbája.

Eszközök, anyagok: szigetelt kéziszerszám, feszültségmérő, árammérő lakatfogó, csavarhúzó, megfelelő pótakkumulátor, gyártói dokumentáció, védőkesztyű, védőszemüveg.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A készülék belsejében lévő egyenáramú kör és a hálózati oldal is feszültség alatt lehet, ezért minden munkát csak a gyártói utasítás és a munkavédelmi előírások szerint szabad végezni.

Az öt biztonsági szabály lépései:

1. **Lekapcsolás.** Előbb állítsd le a UPS-t a kezelőszervvel (inverter KI), majd húzd ki a hálózati csatlakozót vagy nyisd a leválasztót, és válaszd le a kimeneti fogyasztókat. Figyelem: a UPS rendeltetése, hogy a hálózat kiesése után is 230 V-ot adjon, ezért a kimenet és a belső kör az akkumulátorról a leválasztásig feszültség alatt maradhat.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás.** A leválasztó kapcsolót reteszeld vagy a csatlakozódugót zárd el, hogy senki ne tudja visszakapcsolni.
3. **Feszültségmentesség ellenőrzése.** Mérőműszerrel (megfelelő CAT-kategória, mérés előtti műszerellenőrzés) győződj meg arról, hogy a bemeneti ÉS a kimeneti kapcsokon sincs feszültség. A belső akkumulátorkör a leválasztásig feszültség alatt van, ezért a fedél kinyitása után szigetelt szerszámmal dolgozz, és elsőként az akkumulátort válaszd le, majd a kondenzátorok kisülését is mérd meg.
4. **Földelés és rövidre zárás.** A gyártói utasítás szerint járj el, ha a munkavégzéshez szükséges; kis kapacitású akkumulátoros készülékeknél a gyakorlatban a feszültségmentesítés és a kapocsleválasztás a jellemző.
5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése.** Ha a munkahelyen más feszültség alatti áramkörök is vannak, azokat szigetelőlemezzel takard le.

A cseréhez használt számozott lépések:

1. Nyisd ki a gyártó által megengedett módon a UPS akkumulátortartó fedelét.
2. Az akkumulátor csatlakozóját óvatosan húzd le, először a negatív, majd a pozitív pólust válaszd le.
3. Mérjük meg a régi akkumulátor üresjárási feszültségét. Egy 12 V-os ólom-savas akkumulátor teljesen feltöltve kb. 12,7–12,9 V, egy 24 V-os akkucsomag 25,4–25,8 V körüli feszültséget mutat; ha jelentősen alacsonyabb, az akkumulátor lemerült vagy hibás.
4. Helyezd be a megfelelő típusú, polaritáshelyes új akkumulátort, és csatlakoztasd először a pozitív, majd a negatív pólust.
5. Zárd a fedelet, majd csatlakoztasd a UPS-t a hálózathoz, és ellenőrizd, hogy a töltésjelző működik.
6. Végezz próbát: a hálózati leválasztóval szakítsd meg a bemenő táplálást, és figyeld meg, hogy a terhelés feszültség alatt marad-e. Az üzemidőt a várható terheléssel hasonlítsd össze.
7. Dokumentáld a csere dátumát, a régi és új akkumulátor adatait, valamint a mért üresjárási feszültséget.

Ellenőrzési pontok. Hálózatról leválasztott állapotban a bemeneti kapcsokon a feszültség 0 V; az új akkumulátor feszültsége a gyártói tartományban van; a próbaüzemben a terhelés nem szakad meg, és az UPS nem jelez hibát.

36.2.10. Tipikus hibák

1. **Túlméretezett terhelés.** A szerelő csak a VA-értéket nézi, és figyelmen kívül hagyja a hatásos teljesítmény-korlátot. Egy 1000 VA-es UPS $\cos\varphi = 0{,}7$ mellett csak 700 W-ot adhat le; ha a terhelés 750 W, a készülék túlterhelődik. Helyes gyakorlat: mindkét adatot ellenőrizni, és a hatásos terhelést a $P_{\text{UPS}} = S \cdot \cos\varphi$ képlettel számítani.
2. **Nincs reteszelés az átkapcsolónál.** Ha az ATS két mágneskapcsolója közül mindkettő behúzhat, a hálózat és a generátor összekapcsolódik. A visszatáplálás a hálózati elosztóban dolgozó szerelőt is veszélyezteti, és súlyos gépsérülést okoz. Helyes gyakorlat: mechanikus és elektromos reteszelés együtt.
3. **Mélykisütés.** Az ólom-savas akkumulátort többször teljesen kisütik, majd hetekig lemerült állapotban hagyják. A kapacitása hamar lecsökken, és az UPS a próbán csak néhány másodpercig üzemel. Helyes gyakorlat: a gyártó által megadott mélykisülési határt betartani, az akkumulátort feltöltve tárolni, rendszeresen (a gyártó előírása szerinti időközönként) tesztelni, és a gyártó által megadott élettartam végén cserélni (a csere gyakorisága típusfüggő, ellenőrizendő: gyártói adatlap).
4. **A fázissorrend figyelmen kívül hagyása.** Háromfázisú motorokat tartalmazó rendszernél az aggregátoros átkapcsolás után a motorok forgásiránya megfordul, ha a fázissorrend eltér. Helyes gyakorlat: átkapcsolás után fázissorrend-mérővel ellenőrizni, és szükség esetén az aggregátor csatlakoztatását a fázissorrendnek megfelelően kialakítani.

36.2.11. Önellenőrzés

1. Mi a különbség az offline és az online UPS átkapcsolási idejében?
2. Egy UPS akkumulátorának feszültsége 48 V, kapacitása 20 Ah, DOD 0,8, inverter hatásfoka 0,9. Mekkora hasznos energia érhető el a fogyasztó oldalán?
3. Miért kell reteszelni az aggregátoros átkapcsoló két kapcsolóját?
4. Igaz vagy hamis: a Li-ion akkumulátorokat bármilyen mélyen le lehet sütni, mert a BMS megvédi őket, ezért a méretezésnél nem kell DOD-ot figyelembe venni. Indokold!
5. Egy UPS terhelése 600 W, a készülék 1500 VA / 1200 W-os. Hány százalékos a hatásos terhelési arány?

36.2.12. Feladatok

1. feladat (A) Sorold fel a három UPS-típus nevét, és mindegyikhez írj egy-egy jellemző alkalmazási példát.

2. feladat (A) Egy UPS kimeneti adatai: 2000 VA, $\cos\varphi = 0{,}9$. Mekkora a leadható hatásos teljesítmény?

3. feladat (B) Egy 36 V-os, 15 Ah-s ólom akkumulátorral rendelkező UPS-t 450 W-os terheléssel használunk. A DOD = 0,8, az inverter hatásfoka 0,88. Számítsd ki az elérhető üzemidőt percben.

4. feladat (B) Háromfázisú, fontos fogyasztók hatásos teljesítménye 8 kW, teljesítménytényezője 0,8. Mekkora minimális látszólagos teljesítményű aggregátort válassz, ha legalább 20% tartalékot akarsz? A számítást indokold.

5. feladat (C) Egy ATS átkapcsolóval rendelkező elosztóban a hálózati mágneskapcsoló K1 segédérintkezője NC (zárt) érintkezővel van beépítve, és a generátoros mágneskapcsoló K2 vezérlőkörébe van bekötve. Magyarázd el, hogyan akadályozza meg ez az elektromos reteszelés a két kapcsoló egyidejű behúzását, és miért kell emellett mechanikus reteszt is alkalmazni.

6. feladat (D) Egy karbantartás során a szerelő azt méri, hogy a 24 V-os UPS akkumulátorcsomagjának üresjárási feszültsége 21,8 V. A terhelés 500 W, a katalógus szerint 24 V, 12 Ah akkumulátorral a készülék 15 percig üzemel. A szerelő elvégzi a próbát, és a készülék 3 perc után kikapcsol. Mi a feltételezhető hiba, milyen méréssel igazolnád, és mi a javítás?

36.2.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok.

1. Az offline UPS normál üzemben a hálózatról táplálja a fogyasztót, és feszültségkimaradáskor néhány milliszekundumos átkapcsolással lép működésbe. Az online UPS az inverterről folyamatosan táplálja a fogyasztót, ezért nincs érzékelhető átkapcsolási idő.
2. $W_{\text{terh}} = 48 \cdot 20 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}9 = 691{,}2\,\text{Wh}$.
3. Mert ha mindkét kapcsoló egyszerre behúz, a hálózat és a generátor összekapcsolódik. Ez visszatáplálást, rövidzárlati áramot, gépsérülést és balesetveszélyt okoz.
4. Hamis. A BMS véd a veszélyes határértékek túllépése ellen, de a gyakorlati üzemidő számításánál a kivehető kapacitást a gyártó által engedélyezett mélykisülési tényezővel kell csökkenteni, és a BMS is korlátozza a kisütést.
5. $P_{\text{terh}}/P_{\text{UPS}} = 600/1200 = 0{,}5 = 50\%$.

1. feladat (A) Offline (standby): kisebb irodai számítógép, otthoni periféria, játékkonzol. Line-interaktív: szerver, kasszarendszer, hálózati kapcsoló, biztonsági kamera. Online (dupla konverziós): kritikus orvosi berendezés, adatközpont, folyamatirányító szerver, ahol a feszültségkimaradás sem engedhető meg.

2. feladat (A) $P_{\text{UPS}} = 2000 \cdot 0{,}9 = 1800\,\text{W}$.

3. feladat (B) A hasznos energia:

$$W_{\text{terh}} = 36 \cdot 15 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}88 = 380{,}16\,\text{Wh}.$$

Az üzemidő:

$$t = \frac{380{,}16\,\text{Wh}}{450\,\text{W}} = 0{,}845\,\text{h} \approx 50{,}7\,\text{min}.$$

4. feladat (B) A fogyasztók látszólagos teljesítménye:

$$S_{\text{terh}} = \frac{8\,\text{kW}}{0{,}8} = 10\,\text{kVA}.$$

20% tartalékkal:

$$S_{\text{agg}} = 10 \cdot 1{,}2 = 12\,\text{kVA}.$$

Tehát legalább 12 kVA-es aggregátort választunk, a gyakorlatban pedig a motorindítási áramlökések miatt a gyártói adatlapon ellenőrizzük a dinamikus terhelhetőséget.

5. feladat (C) Az elektromos reteszelésben K1 NC segédérintkezője sorba van kötve K2 tekercsének vezérlőkörével. Ha K1 behúz, az NC érintkezője nyit, így K2 tekercse nem kaphat feszültséget. Hasonlóan K2 NC segédérintkezője K1 vezérlését tiltja. Ez megakadályozza az egyidejű behúzást, de ha az NC érintkező hegesztett, elakadt vagy a vezérlés hibás, a reteszelés meghiúsulhat. A mechanikus retesz a két főérintkezőt fizikailag is megakadályozza abban, hogy egyszerre zárjanak, így a hibától függetlenül is véd.

6. feladat (D) A 21,8 V üresjárási feszültség egy 24 V-os, 12 cellás ólom-savas akkucsomagnál erősen lemerült vagy hibás állapotot jelez: teljesen feltöltve, nyugalmi állapotban kb. 25,4–25,8 V (2,12–2,15 V/cella) várható; a 21,8 V kb. 1,82 V/cella, ami mélykisülést vagy cellazárlatot jelez **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**. A próba során a 3 perc utáni kikapcsolás azt mutatja, hogy a kapacitás gyakorlatilag összeomlott. A mérési igazoláshoz a terhelést leválasztva meg kell mérni az akkumulátor feszültségét, majd a feltöltési ciklus után terheléses kapacitásmérést kell végezni. A katalógus 15 perce kisebb, mint a képlet 24,9 perce ($24 \cdot 12 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}9/500 \approx 0{,}415\,\mathrm{h}$), mert nagy kisütőáramnál a kivehető kapacitás csökken – ez nem hiba. A javítás: az akkumulátorcsomag cseréje, a töltő feszültségének ellenőrzése, és a hőmérséklet, valamint a korábbi mélykisülések dokumentálása.

36.2.14. Rövid összefoglaló

A szünetmentes áramforrás (UPS) a hálózati feszültség kiesésekor a fogyasztót tovább táplálja, így megelőzi az adatvesztést és a folyamatleállást. Három alapvető típusa van: offline (standby), line-interaktív és online (dupla konverziós). Az offline UPS átkapcsolási idővel dolgozik, a line-interaktív a feszültség-ingadozást is szabályozza, az online típus folyamatosan inverterről táplál, ezért nincs értékelhető átkapcsolási idő. Az akkumulátoros üzemidőt a $W_{\mathrm{terh}} = U_{\mathrm{akk}} \cdot C \cdot \mathrm{DOD} \cdot \eta_{\mathrm{inv}}$ képletből, majd a $t = W_{\mathrm{terh}}/P_{\mathrm{terh}}$ összefüggésből lehet közelítőleg meghatározni. Az ólom-savas akkumulátor mélykisülését kerülni kell, a Li-ion rendszereknél a BMS védelmet nyújt, de a kapacitásadatokat a gyártó adatlapján kell ellenőrizni. Aggregátoros betáplálásnál automatikus átkapcsoló (ATS) választja ki a hálózati vagy generátoros oldalt; a két kapcsoló reteszelése kötelező, hogy a hálózat és a generátor soha ne kapcsolódjon össze. **Továbbvitt eredmény.** A szünetmentes áramforrást a Napelemes rendszerek és háztartási méretű kiserőmű alfejezet is használja, mert a biztonsági világítás és egyes kritikus fogyasztók ellátása UPS-sel és tartalékbetáplálással egészülhet ki; az ottani rendszertervezésnél az itt megismert UPS-típusok és üzemidő-számítás képezik az alapot. A munkavégzés során minden hálózati feszültségű részt az öt biztonsági szabály szerint kell feszültségmentesíteni, és az egyenáramú akkumulátoros oldalt is feszültség alatt lévő, veszélyes körként kell kezelni.

36.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

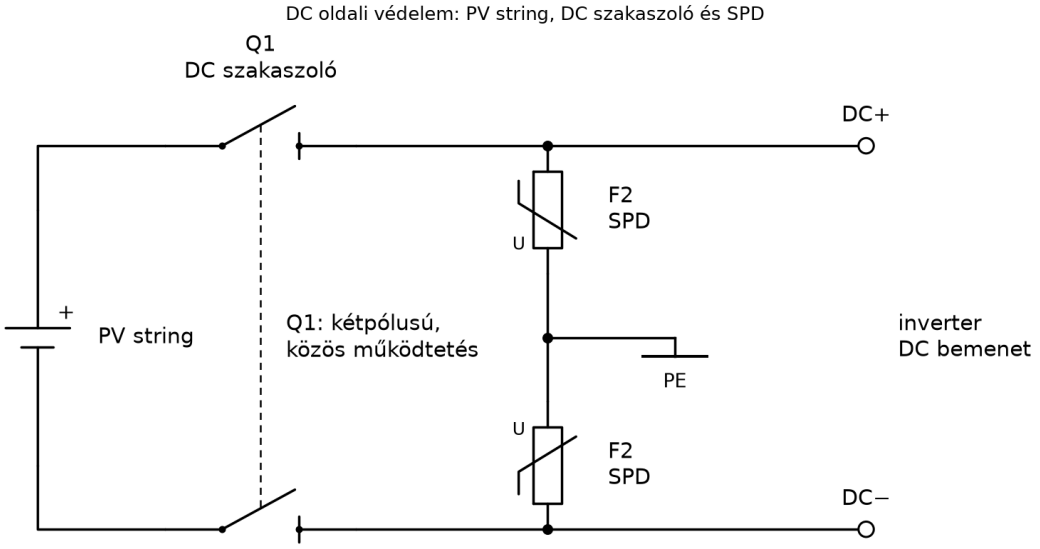
A leírt UPS-típusok, az akkumulátor-energiaszámítás és az ATS reteszelés elve a klasszikus villamosipari ismereteken alapul. A szabványok – MSZ EN 62040 sorozat, MSZ HD 60364 sorozat, MSZ EN 60947-6-1 (az MSZ EN 60204-1 csak gépbe épített aggregátornál) – pontos szakaszait, az akkumulátorokra vonatkozó kapacitásadatokat, a mélykisülési tényezőket és az átkapcsolási időket a kiadás előtt ellenőrizni kell. A gyártói adatlapokon szereplő katalógusértékek, az aggregátor dinamikus terhelhetősége és a hálózati engedélyes aktuális csatlakozási előírásai szintén ellenőrzendők. **(ellenőrizendő: szabványok, gyártói adatlapok, hálózati engedélyes előírásai)**

36.3. Napelemes rendszerek és háztartási méretű kiserőmű

A napelemes rendszerrel elsőként általában akkor találkozik a szerelő, amikor egy családi ház villamos felújítása során az ügyfél azt kéri, hogy „napelemet is szeretne, és a többlettermelést adja el a hálózatba”. Ebben a helyzetben nem elég csak a paneleket felrakni: a rendszer egyenáramú (DC) oldala, az inverter, a váltakozó áramú (AC) oldali védelem és a hálózati csatlakozás mind együtt határozza meg, hogy a berendezés biztonságos, szabályos és hosszú távon üzemképes lesz-e. A háztartási méretű kiserőmű (HMKE) ma már nem kuriózum, hanem a villanyszerelői munka rendszeres része, ezért a napelemes rendszerek felépítését, védelmeit és a csatlakozási lépéseket ugyanúgy ismerni kell, mint egy lakáselosztó vagy egy motorvezérlés kapcsolását.

36.3.1. Szemléletes kép: a rendszer blokkvázlata

Egy napelemes kiserőmű legalapvetőbb láncolata a következő: a napelemmodulok soros füzérét (string) az egyenáramú oldalra csatlakoztatják, ahol egy DC szakaszoló, túlfeszültség-védelmi eszköz (SPD) és a megfelelően méretezett DC kábel biztosítja a védelmet. Ezután következik az inverter, amely a DC energiát a hálózattal kompatibilis, 230/400 V-os váltakozó árammá alakítja. Az inverter AC oldalán túláramvédelem, esetleg áram-védőkapcsoló (RCD) és egy hálózati csatlakozópont található, majd a mérőhelyről a termelés a közcélú hálózatba táplálható vissza. Az alábbi kapcsolási rajz a DC oldali védelmi elemek egy lehetséges elrendezését mutatja:



36.5. ábra. DC oldali védelem: PV string, DC szakaszoló és SPD - Szemléltető kapcsolási rajz alapállapotban (a szakaszoló nyitva): a PV string pozitív (+) és negatív (−) vezetője a kétpólusú, közös működtetésű Q1 DC szakaszolón át fut az inverter DC bemenetére; az SPD (F2) mindkét pólusról a PE felé vezet le (Y-kapcsolás egyszerűsítve), az inverter közelében.

A rajz lényege, hogy a napelem string mindkét vezetője (+ és −) a kétpólusú DC szakaszolón át jut az inverter DC bemenetére, és a szakaszoló után, az inverter oldalán mindkét pólusról SPD vezeti le a túlfeszültséget a védővezető felé. Az SPD-t a Túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD): típusok és beépítés alfejezetben megismert elvek szerint kell bekötni: minél rövidebb vezetékkel, a védendő eszköz (inverter) közelében.

36.3.2. Napelemmodul, string és a soros-párhuzamos kapcsolás

Definíció. A **napelemmodul** (köznyelvben napelem panel) több napelemcellából sorba kapcsolt, időjárásálló tokozású egység, amely a beeső napsugárzást egyenárammá alakítja. A modul adattáblája megadja a jellemző munkaponti feszültséget (U_{mpp}), a munkaponti áramot (I_{mpp}), az üresjárási feszültséget (U_{oc}) és a rövidzárási áramot (I_{sc}). A magyar gyakorlatban a modulok tipikus U_{mpp} értéke 30–40 V, I_{mpp} értéke 8–12 A a teljesítményosztálytól függően – de a pontos értéket mindig a gyártói adatlap határozza meg.

Definíció. A **string** (soros füzér) több napelemmodul sorba kapcsolásából jön létre. Soros kapcsoláskor a feszültségek összeadódnak, az áram pedig közös marad. Egy string tehát nagyobb egyenfeszültséget ad, ami csökkenti a vezetékben fellépő feszültségesés arányát, és lehetővé teszi az inverter hatékonyabb működését.

Összefüggés. Soros kapcsolás (string):

$$U_{\text{string}} = n \cdot U_{\text{mpp}}, \qquad I_{\text{string}} = I_{\text{mpp}},$$

ahol n a modulok száma a stringben. Párhuzamos kapcsoláskor (több string egy DC gyűjtőre):

$$U_{\text{tömb}} = U_{\text{string}}, \qquad I_{\text{tömb}} = m \cdot I_{\text{string}},$$

ahol m a párhuzamos stringek száma. A teljes DC teljesítmény közelítőleg:

$$P_{\text{DC}} \approx U_{\text{tömb}} \cdot I_{\text{tömb}}.$$

A „közelítőleg” azért fontos, mert a modulok hőmérséklettől, besugárzástól, árnyékolástól függően eltérhetnek a munkaponti adatoktól.

Példa. Egy modul adatai: $U_{\text{mpp}} = 36\,\text{V}$, $I_{\text{mpp}} = 10\,\text{A}$. Ha 10 modult sorba kötünk, a string feszültsége $10 \cdot 36 = 360\,\text{V}$, árama 10 A, teljesítménye 3600 W.

Példa. Ha két ugyanilyen stringet párhuzamosan kapcsolunk, a tömb feszültsége 360 V, árama $2 \cdot 10 = 20\,\text{A}$, teljesítménye 7200 W.

Figyelem. A párhuzamos stringek árama nem feltétlenül pontosan egyenlő: ha az egyik modul árnyékba kerül, vagy a kábelezés ellenállása eltér, a stringek áramai különbözők lesznek: a közös feszültséget az MPPT állítja be, az áramokat a stringek saját állapota határozza meg, és hibás stringbe a többi visszaáramot is hajthat. A tervezéskor ezért a legrosszabb esetet is figyelembe kell venni. A párhuzamos stringekhez ezért gyakran külön biztosítót vagy DC szakaszolót építenek be, hogy egy hibás ág leválasztható legyen.

36.3.3. MPPT: a maximális teljesítménypont követése

Definíció. Az **MPPT** (Maximum Power Point Tracking, maximális teljesítménypont követés) az inverter beépített szabályozó algoritmusa, amely folyamatosan változtatja a napelem tömbről felvett áramot úgy, hogy a $P = U \cdot I$ teljesítmény mindig a lehető legnagyobb legyen. A napelem karakterisztikája nem lineáris: adott besugárzásnál és hőmérsékletnél van egy olyan feszültség–áram munkapont, ahol a teljesítmény maximális. Az MPPT ezt a pontot keresi meg, és tartja fenn.

Számítás. Ha egy napelem string feszültsége az MPPT működése közben $U_{\text{string}} = 355\,\text{V}$, árama $I_{\text{string}} = 9{,}8\,\text{A}$, akkor a DC teljesítmény:

$$P_{\text{DC}} = 355\,\text{V} \cdot 9{,}8\,\text{A} = 3479\,\text{W}.$$

Ha ugyanezt a stringet nem az optimális ponton terhelnénk, például $U = 300\,\mathrm{V}$-on, ahol az áram már csak kevéssel nagyobb, kb. 10,2 A, a teljesítmény $P \approx 3060\,\mathrm{W}$; $U = 390\,\mathrm{V}$-on pedig az áram kb. 6 A-re esik, így $P \approx 2340\,\mathrm{W}$ lenne. A teljesítmény mindkét irányban kisebb a 3479 W-nál (szemléltető értékek). Ez mutatja, miért nem mindegy, hogy az inverter MPPT-je a megfelelő tartományban dolgozik-e.

Szabály. Az inverter adatlapja megadja az MPPT feszültségtartományát, például $200 \ldots 500\,\mathrm{V}$, és a névleges DC teljesítményét. A string feszültségének hideg, erős napsütéses időben növekvő üresjárási feszültséggel is a megengedett maximum alatt kell maradnia, meleg időben pedig a legalacsonyabb munkaponti feszültségnek a tartományon belül kell lennie. A pontos méretezéshez az inverter gyártójának méretező programját vagy a hatályos szabvány szerinti eljárást kell használni. **(ellenőrizendő: aktuális gyártói és szabványi előírások)**

Gyakorlati szabály. A gyakorlatban a stringeket úgy méretezik, hogy a sorba kötött modulok száma alapján a minimális és maximális feszültség az inverter MPPT ablakán belül maradjon. Például ha a modul $U_{\mathrm{mpp}} = 36\,\mathrm{V}$ és az inverter tartománya $200 \ldots 500\,\mathrm{V}$, akkor a darabszámot a felső határnál a hideg időben megnövekvő üresjárási feszültségből kell számolni. Ha $U_{\mathrm{oc}} = 43\,\mathrm{V}$, a hidegtényező +15% és az inverter legnagyobb DC bemeneti feszültsége 500 V, akkor $n_{\max} = 500/(43 \cdot 1{,}15) \approx 10{,}1 \to 10$ modul. Az alsó határnál meleg időben a munkaponti feszültség csökken (-15%): $n_{\min} = 200/(36 \cdot 0{,}85) \approx 6{,}5 \to 7$ modul. Tehát 7–10 modul köthető sorba. Az U_{oc}-t az inverter legnagyobb DC bemeneti feszültségével, az U_{mpp}-t az MPPT-ablakkal kell összevetni **(ellenőrizendő: a gyártói méretezőprogram és adatlap)**.

36.3.4. Inverterek: hálózatra tápláló és hibrid típusok

Definíció. A **hálózatra tápláló inverter** (grid-tie inverter) a napelemekből érkező egyenáramot a közcélú hálózattal szinkronizált, 230/400 V, 50 Hz váltakozó árammá alakítja. A kimenete csak akkor aktív, ha a hálózati feszültség jelen van; hálózatkimaradáskor a szabványos hálózatra tápláló inverter lekapcsol, hogy ne tápláljon a szigetüzemben maradt hálózatrészre.

Definíció. A **hibrid inverter** (hibrid rendszer) a hálózatra táplálás mellett akkumulátoros energiatárolást is kezel, és egyes típusok szünetmentes kimenetet is biztosítanak. A hibrid rendszer lehetővé teszi, hogy a napelemekkel megtermelt energiát helyben tárolják, és később, például éjszaka vagy hálózatkimaradáskor használják fel. A hibrid inverter tehát egyesíti a hálózati invertert, az akkumulátortöltőt és gyakran a szigetüzemi invertert is.

Összefüggés. Az inverter hatásfoka:

$$\eta = \frac{P_{\mathrm{AC}}}{P_{\mathrm{DC}}},$$

ahol P_{AC} a leadott váltakozó áramú teljesítmény, P_{DC} a felvett egyenáramú teljesítmény. A modern inverterek hatásfoka jellemzően 95–98% közötti, a pontos érték gyártói adat.

Példa. Ha egy inverter DC oldalon 6000 W teljesítményt vesz fel, és a hatásfoka 97%, akkor az AC teljesítmény:

$$P_{\mathrm{AC}} = 0{,}97 \cdot 6000\,\mathrm{W} = 5820\,\mathrm{W}.$$

Hálózati visszahatás. A hálózatra tápláló inverter a hálózati feszültséget követi, és az áramot a hálózati szinuszhoz igazítva táplálja vissza. Ezért a kimeneti teljesítménytényezője közel 1, és a hálózati oldalon a termelés a fogyasztásmérőn át a közcélú hálózatba áramlik. A visszatáplálás iránya, nagysága és a mérőhely kialakítása a hálózati engedélyes előírásaitól függ, ezért a pontos csatlakozási feltételeket mindig a helyi elosztó társasággal kell egyeztetni. **(ellenőrizendő: aktuális hálózati csatlakozási szabályok)**

36.3.5. Egyenáramú oldali védelem

A DC oldalon a legfontosabb védelmi feladatok: a túláramvédelem, a leválasztás lehetősége, a túlfeszültség-védelem és a tűzvédelem. A DC oldal speciális, mert az egyenáramú ív nehezebben oltható el, mint a váltakozó áramú.

DC szakaszoló. A DC szakaszoló (leválasztó kapcsoló) arra szolgál, hogy a napelem stringet az invertertől leválasszuk, például szerelés vagy hibaelhárítás közben. A DC szakaszolót a string és az inverter közé kell beépíteni, és olyan típusú legyen, amely a DC feszültség és áram megszakítására alkalmas. A kapcsolónak terhelés alatt is meg kell tudnia szakítani az egyenáramot, ezért DC-re minősített, ívoltó kamrás készüléket kell választani.

Figyelem. A napelemmodul fény hatására mindig feszültséget termel: a DC szakaszoló nyitása után is feszültség alatt marad a string kábelezése a modulokig (a példák szerint több száz volt egyenfeszültség, életveszélyes). A string oldali munkát ezért feszültség alatti környezetként kell kezelni (szigetelt szerszám, védőfelszerelés, csak jogosult személy). A csatlakozót csak a DC szakaszoló nyitása és a string áramának nullára csökkenése (DC lakatfogóval mérve) után szabad bontani; **terhelés alatt MC4 csatlakozót bontani tilos** (egyenáramú ív, tűzveszély).

SPD a DC oldalon. Az inverter DC bemenetét túlfeszültség-védelmi eszközzel (SPD) kell védeni. A napelemes rendszereknél az SPD-t a DC szakaszoló után, az inverter közelében kell elhelyezni. Típusa a villámvédelmi zóna besorolástól függ: gyakran T2-es (II. osztályú) SPD-t alkalmaznak, de ha a napelemtábla villámvédelmi zóna határán van, akkor T1-es vagy kombinált T1+T2 is szóba jöhet. A pontos típusválasztás a villámvédelmi kockázatelemzés eredményétől függ. **(ellenőrizendő: aktuális MSZ EN 62305 és a PV-túlfeszültségvédőkre vonatkozó MSZ EN 61643-31 szerinti előírások)**

DC túláramvédelem. A napelemmodulok rövidzárási árama (I_{sc}) korlátozott, de párhuzamos stringek esetén a hibás stringet a többi string visszatáplálhatja, ezért a gyártók gyakran stringenkénti DC biztosítót vagy DC kismegszakítót írnak elő. A DC kismegszakító kiválasztásakor a névleges feszültségnek meg kell haladnia a string maximális üresjárási feszültségét, a megszakítóképességnek pedig a lehetséges rövidzárási áramot. A háztartási méretű rendszereknél a stringek száma általában kicsi, így a DC túláramvédelem nem mindig kötelező, de ha a párhuzamos stringek száma meghaladja a gyártói ajánlást, akkor be kell építeni.

Tűzvédelem. A napelemes rendszerek DC oldalán keletkező ív vagy forrópont tüzet okozhat. Ezért a DC kábelezésnél csak lángálló, UV-álló, napelemes célra minősített kábelt szabad használni, és a csatlakozókat (általában MC4 típusú) hibátlan, gyártói szerszámmal préselt kivitelben kell alkalmazni. A tetőn futó kábeleket mechanikailag védeni kell, és a tetőáttöréseket tűzgátló tömítéssel kell ellátni. A napelemes rendszer tűzvédelmi követelményeit a hatályos tűzvédelmi szabályozás és a gyártói előírások együttesen határozzák meg. **(ellenőrizendő: OTSZ és gyártói előírások)**

36.3.6. DC-oldali kábelezés

Definíció. A **DC főkábel** az inverter és a napelemtábla közötti vezeték. A feszültségesés számítása ugyanúgy történik, mint a Feszültségesés és a vezeték méretezése alfejezetben, de DC esetén a hossz az oda-vissza vezeték hosszát jelenti.

Összefüggés. Egyenáramú körben a feszültségesés:

$$\Delta U = I \cdot R = I \cdot \frac{\rho \cdot l}{A},$$

ahol l az oda-vissza vezeték teljes hossza, A a vezető keresztmetszete, ρ a vezető anyagának fajlagos ellenállása (rézre kb. $0{,}0175\,\Omega\cdot\mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$). A feszültségesés százalékban:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_{\text{string}}}\cdot 100\%.$$

Számítás. Egy string árama 10 A, a DC kábel teljes hossza oda-vissza 20 m, réz, keresztmetszet $4\,\mathrm{mm}^2$. Az ellenállás:

$$R = \frac{0{,}0175\cdot 20}{4} = 0{,}0875\,\Omega.$$

A feszültségesés:

$$\Delta U = 10\,\mathrm{A}\cdot 0{,}0875\,\Omega = 0{,}875\,\mathrm{V}.$$

A string feszültsége 360 V, így:

$$\varepsilon = \frac{0{,}875}{360}\cdot 100\% \approx 0{,}24\%.$$

Ez jóval a jellemzően megengedett 1–2% alatt van, tehát a $4\,\mathrm{mm}^2$ elegendő. Ha a távolság nagyobb, a keresztmetszetet növelni kell.

Figyelem. A DC kábel polaritását egyértelműen jelölni kell, mert a felcserélt polaritás tönkreteheti az invertert. A pozitív és negatív vezetőt lehetőleg külön, de azonos hosszúságú, csavart vagy párhuzamosan vezetett kábellel kell szerelni, és az érvéghüvelyeket, illetve a napelemes csatlakozókat csak az arra való szerszámmal szabad préselni.

36.3.7. Háztartási méretű kiserőmű csatlakozása és mérés

Definíció. A **háztartási méretű kiserőmű (HMKE)** olyan, a fogyasztási helyen létesített napelemes rendszer, amelynek névleges teljesítménye a hatályos szabályozás szerint meghatározott határ alatt van (jelenleg jellemzően 50 kVA alatt, de a pontos határérték időben változhat). A HMKE a fogyasztásmérő után, a ház belső hálózatához csatlakozik, és a megtermelt energiát elsősorban helyben használja fel; a többletet a hálózatba táplálhatja vissza.

A csatlakozás lépései. A HMKE hálózati csatlakoztatása Magyarországon a hálózati engedélyes (elosztó társaság) előírásai szerint történik. A folyamat tipikus lépései: 1. Igénybejelentés a helyi elosztó társaságnál a tervezett HMKE műszaki adataival. 2. A csatlakozási feltételek megismerése: teljesítménykorlát, mérőhely kialakítás, visszatáplálás engedélyezése. 3. A mérőhely átalakítása: a meglévő fogyasztásmérőt általában kétirányú (import/export) mérésre alkalmas okos mérőre cserélik, vagy külön termelésmérőt szerelnek fel. 4. A napelemes rendszert a belső hálózathoz csatlakoztatják, a szükséges védelmekkel. 5. Az elosztó társaság vagy a szerelő által végzett műszaki ellenőrzés, majd üzembe helyezés. 6. A rendszer regisztrálása, a termelés elszámolásának beállítása.

A pontos eljárás, a szükséges dokumentumok és a határidők időben változhatnak, ezért a szerelőnek mindig a hatályos jogszabályokat és az elosztói üzletszabályzatot kell követnie. **(ellenőrizendő: aktuális MEKH és elosztói előírások)**

Figyelem. A HMKE hálózati csatlakoztatása hálózati feszültségű munkát jelent, ezért **biztonsági korlát**: a feladatot csak jogosult, arra képesített személy végezheti, a hatályos előírások szerint. A tanuló ezt önállóan nem gyakorolhatja; a gyakorlati oktatás tanműhelyi környezetben vagy oktató felügyeletével történhet. Minden szerelési lépés előtt a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát kell alkalmazni.

36.3.8. Szabványi követelmények

Szabvány. A napelemes rendszerekre vonatkozó legfontosabb magyar/európai szabványok: - **MSZ HD 60364-7-712**: kisfeszültségű villamos berendezések – napelemes (PV) táprendszerekre vonatkozó követelmények. Ez az épületvillamossági alapelv kiegészítése a PV-rendszerek DC és AC oldalára. - **MSZ EN 62109**: a PV-rendszerekben használt inverterek biztonsági követelményei. - **MSZ EN 62446**: napelemes rendszerek dokumentációja, kivitelezése és ellenőrzése; tartalmazza a DC oldali mérések és a rendszerátadás követelményeit. - **MSZ EN 61643-31**: napelemes (PV) rendszerek egyenáramú oldali túlfeszültség-védelmi eszközei; a korábban használt EN 50539-11 helyébe lépett **(ellenőrizendő: a hatályos kiadás és a kiválasztásra vonatkozó CLC/TS 61643-32)**.

AC oldali RCD. Az inverter AC oldali áram-védőkapcsolójának (RCD) típusát az inverter gyártói nyilatkozata határozza meg; ha az inverter nem zárja ki az egyenáramú hibaáramot, B típusú RCD szükséges **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-712 és a gyártói adatlap)**. **Tűzeseti lekapcsolás.** Épületen elhelyezett PV-rendszernél a tűzoltói beavatkozást segítő DC lekapcsolás követelménye a hazai tűzvédelmi előírásokból adódhat **(ellenőrizendő: OTSZ és a napelemes rendszerekre vonatkozó tűzvédelmi műszaki irányelv)**.

A fenti szabványszámok irányadóak, de az aktuális kiadásokat, a magyar nyelvű változatokat és a hatályos jogszabályi hivatkozásokat a tervezés és kivitelezés előtt ellenőrizni kell. A szabványok pontos szakaszait itt nem idézem; a tanulási értékű határértékeket a szövegben jelöltem.

36.3.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy családi ház napelemes rendszerénél az ügyfél azt tapasztalta, hogy a termelés jelentősen elmarad a várttól. A jogosult szerelő a diagnózis során (üzem közben, megfelelő CAT-kategóriájú, DC-re méretezett műszerrel) a következőket mérte: - A DC string feszültsége üresjárásban $U_{\mathrm{oc}} = 380\,\mathrm{V}$, ami megfelelt a vártnak. - Terhelés alatt a string feszültsége 300 V volt, ami az üresjárási érték kb. 0,79-szerese, tehát önmagában normális (terhelés alatt jellemzően $U \approx 0{,}75 \ldots 0{,}8 \cdot U_{\mathrm{oc}}$ **(ellenőrizendő: modul adatlap)**). A hibára az utal, hogy az áram csak 5 A volt a hasonló besugárzás mellett várt kb. 9 A helyett, így a DC teljesítmény $300\,\mathrm{V} \cdot 5\,\mathrm{A} = 1500\,\mathrm{W}$ a várható kb. 2700 W helyett. - A hőkamerás vizsgálat az egyik DC csatlakozónál (MC4) a környezeténél jóval melegebb pontot mutatott, a mérés a csatlakozó két oldala között kb. 1,2 V feszültségesést adott.

A két tünetet külön kell választani. A felére csökkent áram (9 A helyett 5 A) oka nem a csatlakozó: 5 A-nél az 1,2 V esés a 300 V-os stringfeszültségnek csak 0,4 %-a, ez a termeléskiesést nem magyarázza. A modulonkénti üresjárásifeszültség-méréssel (jogosult személy, megfelelő műszerrel) az egyik modulnál kb. harmadával kisebb értéket kaptak, ami hibás (rövidre zárt) bypass-diódát vagy sérülést jelezhet – az viszont nem az áramot, hanem a feszültséget csökkenti (kb. egy almodulnyival). A string áramának felezését soros kapcsolásban a leggyengébb modul árama magyarázza: a hőkamerás és I–U-görbe vizsgálat (terhelés alatt) cellarepedést vagy forró cellát, a tartós árnyék vagy szennyeződés ugyanígy korlátozza az egész string áramát; a modulonkénti üresjárási feszültség ezt nem mutatja ki. Emellett a hőkamera egy rosszul préselt MC4 csatlakozót is megtalált: 1,2 V esés 5 A-nél $R = 1{,}2/5 = 0{,}24\,\Omega$ átmeneti ellenállást és $P = 1{,}2 \cdot 5 = 6\,\mathrm{W}$ disszipációt jelent egy parányi érintkezőn. Egy jól préselt csatlakozón a feszültségesés ezredvolt nagyságrendű, ezért ez a hiba nem a termeléskiesés, hanem a helyi forrópont és a tűzveszély miatt sürgős (teljes napsütésben, nagyobb áramnál a disszipáció még nagyobb). A javítást jogosult személy végezte: **a DC oldal fény alatt nem feszültségmentesíthető**, ezért a csatlakozót csak az inverter DC szakaszolójának nyitása és a string áramának nullára csökkenése (DC lakatfogóval mérve) után, feszültség alatti munkára előírt védelemmel bontotta, majd a

hibás csatlakozót kicserélte és gyári szerszámmal újrapréselte. Az eset tanulsága: a DC oldali csatlakozók minősége életveszélyes hibaforrás lehet, ezért átadás előtt a rendszert hőkamerával is ellenőrizni kell **(a számok szemléltetők, nem mért adatok)**.

36.3.10. Tipikus hibák

1. **AC kismegszakító használata a DC oldalon.** Az AC kismegszakító nem alkalmas egyenáram megszakítására, mert az ív nem alszik ki a nullátmenetnél. A DC oldalon csak DC-re minősített leválasztót vagy biztosítót szabad alkalmazni.
2. **A string feszültségének rossz méretezése.** Ha hideg időben az üresjárási feszültség meghaladja az inverter maximális DC bemeneti feszültségét, az inverter tönkremehet. A méretezésnél a legalacsonyabb várható hőmérsékletre is számolni kell.
3. **Az SPD elhagyása vagy rossz bekötése.** A napelemes rendszer DC oldala különösen kitett a közvetett villámcsapásból származó túlfeszültségnek. Az SPD nélkül az inverter és a modulok védtelenek, a hosszú bekötővezeték pedig lerontja a védelmet.
4. **A mérőhely és a csatlakozási engedély figyelmen kívül hagyása.** Ha a HMKE-t az elosztó engedélye nélkül, nem megfelelő mérővel csatlakoztatják, az üzemeltetés jogszabályba ütközik, és a visszatáplálás elszámolása sem működik. A szerelőnek ismernie kell a helyi csatlakozási feltételeket.

36.3.11. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A napelemmodulok sorba kapcsolásakor az áram összeadódik. (Indokold.)
2. **Számolás.** Egy modul $U_{\text{mpp}} = 34\,\text{V}$, $I_{\text{mpp}} = 9\,\text{A}$. Mennyi egy 12 modulból álló string feszültsége, árama és teljesítménye?
3. **Mire való az MPPT?** Fogalmazd meg egy mondatban.
4. **Mi a különbség a hálózatra tápláló és a hibrid inverter között?**
5. **Miért kell DC szakaszoló a napelemes rendszerben?**
6. **Milyen védelmi eszközt kell beépíteni a DC oldalon a túlfeszültség ellen?**

A válaszok a Megoldások elején, „Önellenőrzés – válaszok” alcím alatt találhatók.

36.3.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorolj fel legalább három olyan elemet, amely egy hálózatra tápláló napelemes rendszerben a DC oldalon található, és röviden írd le a feladatukat.

2. feladat (A). Számítsd ki a napelem tömb DC teljesítményét, ha a string feszültsége 320 V és a tömb árama 15 A. Az inverter hatásfoka 96%; mennyi az AC oldali leadott teljesítmény?

3. feladat (B). Egy napelemes rendszerben a DC kábel hossza oda-vissza 30 m, réz, keresztmetszete $6\,\text{mm}^2$. A string árama 11 A, feszültsége 400 V. Számítsd ki a feszültségesést voltban és százalékban! ($\rho_{\text{Cu}} = 0{,}0175\,\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

4. feladat (B). Rajzold le (vagy írd le) egy HMKE egyvonalas kapcsolását a napelem stringtől a hálózati csatlakozásig, feltüntetve a DC szakaszolót, az SPD-t, az invertert, az AC oldali védelmet és a mérőhelyet.

5. feladat (C). Egy inverter MPPT tartománya $250\,\ldots\,500\,\text{V}$. A napelem modul $U_{\text{mpp}} = 38\,\text{V}$, üresjárási feszültsége $U_{\text{oc}} = 45\,\text{V}$, és a legalacsonyabb várható hőmérsékleten a feszültség 20%-kal megnő; meleg időben a munkaponti feszültség 15%-kal csökken. Az inverter legnagyobb DC

bemeneti feszültsége (és az MPPT felső határa) 500 V. Hány modult köthetsz sorba, hogy a string feszültsége minden üzemállapotban az MPPT tartományon belül maradjon? Indokold a minimális és a maximális modulszámot is.

6. feladat (D). Egy napelemes rendszer hibakeresése során azt tapasztalod, hogy az inverter nem táplál vissza, a DC feszültség a bemeneten 200 V alatt van, pedig a string üresjárási feszültsége 400 V. Sorold fel a lehetséges okokat, és írd le, milyen mérésekkel különítenéd el ezeket! (Az AC oldalon az öt biztonsági szabályt alkalmazd; a DC oldali string fény alatt feszültség alatt marad, ezért ott csak jogosult személy dolgozhat.)

36.3.13. Megoldások

36.3.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Soros kapcsoláskor a feszültségek adódnak össze, az áram közös marad. Párhuzamos kapcsoláskor az áramok adódnak össze.
2. $U_{\text{string}} = 12 \cdot 34 = 408\,\text{V}$, $I_{\text{string}} = 9\,\text{A}$, $P = 408 \cdot 9 = 3672\,\text{W}$.
3. Az MPPT egy szabályozó algoritmus, amely a napelem tömb munkapontját úgy állítja be, hogy a leadott DC teljesítmény mindig maximális legyen.
4. A hálózatra tápláló inverter csak a hálózat jelenlétében működik, és energiát táplál a hálózatba. A hibrid inverter ezen felül akkumulátort is kezel, és gyakran szigetüzemi kimenetet is biztosít.
5. A DC szakaszoló lehetővé teszi a napelem string leválasztását az invertertől szerelés, hibaelhárítás vagy vészhelyzet esetén.
6. SPD-t (túlfeszültség-védelmi eszközt), amely a DC oldali túlfeszültséget a föld felé vezeti le.

36.3.13.2. Feladatok megoldása

1. feladat. A DC oldalon található elemek: - **Napelemmodulok** (stringben sorba kapcsolva): a napsugárzást egyenárammá alakítják. - **DC szakaszoló**: a napelem string leválasztására szolgál, hogy az inverter a stringről leválasztható legyen (a string kábelezése fény alatt feszültség alatt marad). - **SPD**: a túlfeszültségeket levezeti, védi az invertert és a modulokat. - **DC kábelek és csatlakozók**: az energia szállítása a moduloktól az inverterig. - Esetleg **string biztosítók**: párhuzamos stringek esetén a hibás ág leválasztására.

2. feladat. Adott: $U_{\text{DC}} = 320\,\text{V}$, $I_{\text{DC}} = 15\,\text{A}$, $\eta = 96\% = 0{,}96$. Keresett: P_{DC} és P_{AC}. Képlet: $P_{\text{DC}} = U_{\text{DC}} \cdot I_{\text{DC}}$, $P_{\text{AC}} = \eta \cdot P_{\text{DC}}$. Behelyettesítés:

$$P_{\text{DC}} = 320\,\text{V} \cdot 15\,\text{A} = 4800\,\text{W}.$$

$$P_{\text{AC}} = 0{,}96 \cdot 4800 = 4608\,\text{W}.$$

Ellenőrzés: a hatásfok közel 1, ezért az AC teljesítmény kicsivel kisebb, mint a DC – reális.

3. feladat. Adott: $l = 30\,\text{m}$, $A = 6\,\text{mm}^2$, $I = 11\,\text{A}$, $U = 400\,\text{V}$, $\rho = 0{,}0175\,\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$. Keresett: ΔU és ε. Képlet: $\Delta U = I \cdot \frac{\rho \cdot l}{A}$, $\varepsilon = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\%$. Számítás:

$$R = \frac{0{,}0175 \cdot 30}{6} = 0{,}0875\,\Omega.$$

$$\Delta U = 11 \cdot 0{,}0875 = 0{,}9625 \approx 0{,}96\,\text{V}.$$

$$\varepsilon = \frac{0{,}96}{400} \cdot 100\% = 0{,}24\%.$$

Ellenőrzés: a feszültségesés kicsi, mert a kábel rövid és a keresztmetszete megfelelő.

4. feladat. A HMKE egyvonalas kapcsolása:

```
PV string (napelem modulok sorba)
        |
   DC szakaszoló
        |
   SPD -> PE
        |
   Inverter (DC/AC)
        |
   AC túláramvédelem (kismegszakító) + RCD, ha az inverter adatlapja előírja
        |
   Hálózati csatlakozópont
        |
   Mérőhely (kétirányú mérő)
        |
   Közcélú hálózat (elosztó)
```

A rajzon a DC oldal szakaszolója és SPD-je, az inverter, majd az AC oldali megszakító és a mérőhely szerepel.

5. feladat. Adott: $U_{\text{mpp}} = 38\,\text{V}$, $U_{\text{oc}} = 45\,\text{V}$, hideg időben a feszültség 20%-kal nő, MPPT tartomány $250\,...\,500\,\text{V}$. Keresett: a sorba köthető modulok minimális és maximális száma. A maximális feszültség hideg időben az üresjárási feszültségből számítva:

$$U_{\text{max, modul}} = 45\,\text{V} \cdot 1{,}20 = 54\,\text{V}.$$

Ahhoz, hogy a maximális feszültség ne haladja meg az 500 V-ot:

$$n_{\text{max}} = \frac{500}{54} \approx 9{,}26 \Rightarrow 9 \text{ modul}.$$

A minimális feszültség meleg időben a munkaponti feszültségből számítható; a feladatszövegben megadott 15%-os csökkenéssel:

$$U_{\text{min, modul}} = 38\,\text{V} \cdot 0{,}85 = 32{,}3\,\text{V}.$$

Ahhoz, hogy a minimális feszültség ne menjen az MPPT alsó határa alá:

$$n_{\text{min}} = \frac{250}{32{,}3} \approx 7{,}74 \Rightarrow 8 \text{ modul}.$$

Tehát 8 vagy 9 modul köthető sorba. (Itt az MPPT felső határa és az inverter legnagyobb DC bemeneti feszültsége egybeesik, 500 V; általában a hideg U_{oc}-t az utóbbival kell összevetni.) A maximális modulszámot az üresjárási feszültség hidegben korlátozza, a minimálisat a meleg munkaponti feszültség. A pontos érték a modul hőmérsékleti együtthatóitól függ, ezért a gyártói adatlapot mindig ellenőrizni kell.

6. feladat. A tünet: az inverter nem táplál vissza, a DC bemeneti feszültség 200 V alatt van, holott a string üresjárási feszültsége 400 V.

Mivel az inverter nem táplál, a string áram nélkül, közel üresjárásban van; ilyenkor átmeneti ellenállás vagy árnyék nem okozhat ekkora feszültségkülönbséget. A tipikus okok: (a) a stringben egy vagy több modul kiesik vagy rövidre záródik (rövidre zárt bypass-dióda), így a string eredő üresjárási feszültsége eleve kisebb; (b) szigetelési hiba (földzárlat) vagy bekötési hiba (rossz polaritás, kihagyott modul, elvált csatlakozó); (c) az inverter MPPT-je vagy bemeneti fokozata hibás, ezért a bemeneti feszültség nem a string értékét mutatja; (d) az árnyék csak akkor számít,

ha az inverter már terheli a stringet (akkor az áramot csökkenti, és a munkaponti feszültséget is elmozdíthatja).

Hibakeresési lépések (jogosult személy végzi, CAT III 1000 V DC-re alkalmas műszerrel; az AC oldalon az öt biztonsági szabály szerint, a DC oldalon pedig a fény alatti feszültség figyelembevételével): 1. **Leválasztás és biztonság.** Az AC oldalon az öt szabály szerint: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése kétpólusú vizsgálóval, földelés és rövidre zárás (ha az előírás megköveteli), szomszédos részek lefedése. A DC szakaszoló nyitása után is a string és a modulok fény alatt feszültség alatt maradnak, ezért a DC oldalon csak jogosult személy dolgozhat, feszültség alatti munkára előírt védelemmel; a csatlakozókat terhelés alatt nem bontjuk. 2. **Üresjárási feszültség modulonként és stringenként** (jogosult személy, DC-re méretezett, megfelelő CAT-kategóriájú műszerrel): a lényegesen kisebb értékű modul hibás (bypass-dióda, sérülés). 3. **Szigetelési ellenállás és földzárlat** vizsgálata a DC oldalon a gyártói és szabványos eljárás szerint (MSZ EN 62446-1, ellenőrizendő: aktuális kiadás); polaritás és bekötés ellenőrzése. 4. **Hőkamera** a modulokon és csatlakozókon (hibás dióda, forró csatlakozó); a csatlakozók átmeneti ellenállását terhelés alatt, feszültségeséssel ítéljük meg. 5. **Árnyékolás, szennyezés, repedés** szemrevételezése. 6. Ha minden DC oldali elem rendben van, az inverter bemenetét a gyártói útmutató szerint vizsgáljuk (hibanapló).

A hiba elhárítása után a rendszert újra be kell mérni, és a javítást dokumentálni kell.

36.3.14. Rövid összefoglaló

A napelemes rendszer a napelemmodulok soros füzéréből (string), a DC oldali védelmi elemekből (DC szakaszoló, SPD, szükség esetén string biztosítók), az inverterből és az AC oldali túláramvédelemből, valamint a hálózati csatlakozásból és a mérőhelyből áll. A modulok sorba kapcsolásakor a feszültség összeadódik, párhuzamos kapcsoláskor az áram. Az MPPT az inverter szabályozó algoritmusa, amely a maximális teljesítményű munkapontot tartja. A hálózatra tápláló inverter csak hálózat jelenlétében működik, a hibrid inverter akkumulátort is kezel. A DC oldalon a leválasztásra DC szakaszoló, túlfeszültség ellen SPD szolgál; a DC kábelezésnél a feszültségesést ellenőrizni kell. A háztartási méretű kiserőmű csatlakoztatása a hálózati engedélyes előírásai szerint történik, jellemzően kétirányú mérő felszerelésével. A rendszer tervezésekor és kivitelezésekor a hatályos szabványokat (MSZ HD 60364-7-712, MSZ EN 62109, MSZ EN 62446, MSZ EN 61643-31; ellenőrizendő: aktuális szám és kiadás) és a gyártói adatlapokat kell követni. A DC oldali hibák, különösen a rossz csatlakozók, tüzet okozhatnak, ezért a szerelést gondosan, hőkamerás ellenőrzéssel kell végezni. Ezzel a villamos energiát termelő és tároló rendszerek tárgyalása lezárul; az UPS-t és az automatikus átkapcsolást a Szünetmentes áramforrások, aggregátorok és akkumulátorok alfejezet tárgyalta, a következő rész az ipari elektronikával folytatódik.

36.3.15. Források és ellenőrzési hiányok

A szövegben hivatkozott szabványok – MSZ HD 60364-7-712, MSZ EN 62109, MSZ EN 62446, MSZ EN 61643-31 – aktuális kiadásait, valamint a háztartási méretű kiserőművekre vonatkozó magyar jogszabályokat, a hálózati csatlakozási feltételeket és a mérőhely-kialakítási előírásokat a kiadás előtt ellenőrizni kell. A napelemmodulokra és inverterekre megadott feszültség-, áram- és hatásfokértékek tanulási példák, a pontos értékek a gyártói adatlapokból származnak. Az MPPT tartományra, a feszültségesésre és a DC védelemre adott számértékek szemléltető jellegűek; a tervezéshez a hatályos szabványok és a gyártói méretező programok használandók. A tűzvédelmi követelmények és a DC oldali kábelezés részletei az OTSZ és a vonatkozó tűzvédelmi műszaki irányelvek szerint ellenőrizendők.

VIII. RÉSZ – Ipari elektronika

37 Félvezetők

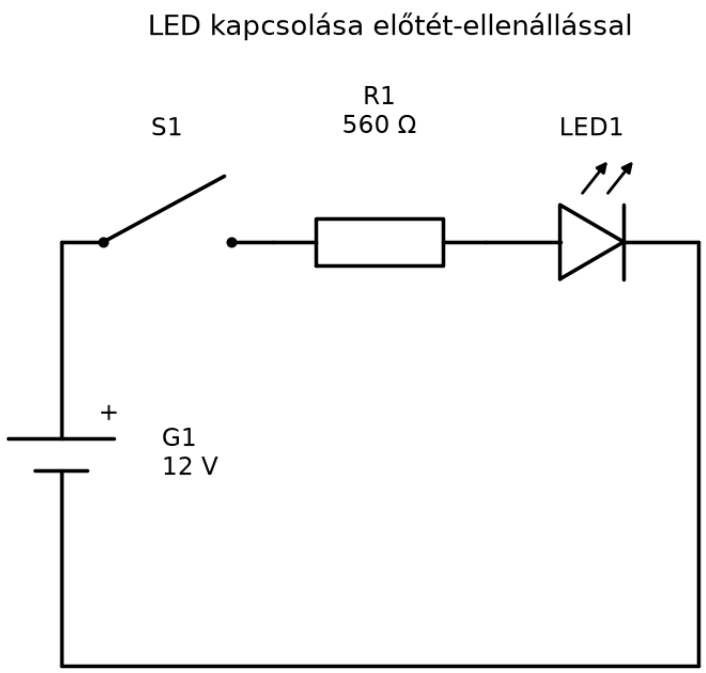
37.1. Félvezető anyagok, dióda, LED és Zener-dióda

37.1.1. Miért kell a diódát ismerned?

A dióda a villamosipar legkisebb, mégis az egyik legfontosabb „szelepe”. Ha LED-es jelzőlámpát szerelsz be, ha relé tekercsét vezérled, ha hálózati tápegységet javítasz, vagy ha egy motor vezérlésében szabadonfutó diódát keresel, mindig ugyanazzal a kérdéssel találkozol: merre engedi az áramot a dióda, és mekkora feszültségesést okoz közben. A rosszul bekötött vagy alulméretezett dióda egy kapcsolásban túlmelegedést, tönkremenő félvezetőt vagy akár a vezérlő tranzisztor károsodását is okozhatja. Ebben az alfejezetben a félvezető anyagok és a PN-átmenet viselkedéséből indulunk ki, majd eljutunk a dióda karakterisztikájáig és a gyakorlatban előforduló speciális diódafajtákig.

37.1.2. Szemléletes kép: LED és előtét-ellenállás

Vegyünk egy gyakori szerelői helyzetet: egy 12 V-os egyenáramú tápegységről szeretnél egy piros LED-et üzemeltetni. A LED is dióda, ezért csak egy irányban világít, és nyitóirányban a feszültségesése jellemzően 2 V körül van. Ha közvetlenül a 12 V-ra kötnéd, a maradék feszültség miatt akkora áram folyna át rajta, hogy a LED azonnal tönkremenne. Ezért kell vele sorba kötni egy előtét-ellenállást, amely az áramot a biztonságos értékre korlátozza.



37.1. ábra. LED kapcsolása előtét-ellenállással - Egyszerű egyenáramú áramkör: 12 V-os tápegység, kapcsoló, előtét-ellenállás és LED soros kapcsolása.

Az ábra egy teljesen hétköznapi kapcsolást mutat: a tápegység pozitív sarkától a kapcsolón, az előtét-ellenálláson és a LED-en keresztül jutunk vissza a negatív sarokhoz. A LED mellett a rajzjelben a háromszög az áram irányát jelzi. A dióda tehát nem passzív alkatrész, hanem egyirányú vezetőként viselkedik, és ezt a viselkedést a félvezető anyagok tulajdonságai határozzák meg.

37.1.3. Félvezető anyagok és szennyezés

A félvezető anyagok – a gyakorlatban szinte mindig szilícium, régebben germánium – a vezetők és a szigetelők közötti átmenetet képviselik. Tiszta, úgynevezett intrinsic szilíciumban minden atom négy vegyértékelektronnal kapcsolódik a szomszédjaihoz, így szobahőmérsékleten alig vannak szabad töltéshordozók. A hőmozgás hatására azonban kis számú elektron kiszakadhat a kötésből, és maga után egy pozitív töltésű „lyukat” hagy. Ez a lyuk úgy viselkedik, mint egy pozitív töltéshordozó, mert a szomszédos elektronok átugorhatnak bele, így a lyuk maga is vándorol.

Definíció. A félvezető anyag olyan kristályos anyag, amelynek vezetőképessége a vezetők és a szigetelők közé esik, és amelynek töltéshordozó-száma szándékos szennyezéssel nagyságrendekkel megnövelhető.

A szennyezés (adagolás, dópolás) két alapvető félvezető típust hoz létre:

- **N típusú félvezető:** öt vegyértékelektronos donor atomot (pl. foszfor, arzén) adnak a szilíciumhoz. A donor atom egy elektronja nem vesz részt a kristálykötésben, ezért könnyen

szabaddá válik. Az N rétegben a többségi töltéshordozók az elektronok, a kisebbségiek a lyukak.
- **P típusú félvezető:** három vegyértékelektronos akceptor atomot (pl. bór, alumínium) adnak hozzá. Az akceptor atomnak hiányzik egy elektronja, ezért lyuk jön létre. A P rétegben a többségi töltéshordozók a lyukak, a kisebbségiek az elektronok.

Önmagában az N vagy P típusú anyag még nem dióda; ahhoz a két réteget egymással érintkezésbe kell hozni.

37.1.4. A PN-átmenet

Ha egy P és egy N típusú félvezető réteget egymás mellé helyezünk, akkor a határfelületen a többségi töltéshordozók diffúziója indul meg: a lyukak az N oldalra, az elektronok a P oldalra vándorolnak. A határ közelében azonban a donor- és akceptor-ionok visszamaradnak, és egy töltésszegény, úgynevezett kiürített réteg alakul ki. Ebben a rétegben beépített elektromos tér jön létre, amely a további diffúziót megakadályozza. A beépített feszültség szilíciumnál körülbelül 0,7 V, germániumnál körülbelül 0,3 V.

Definíció. A PN-átmenet a P és N típusú félvezető réteg közötti határfelület, amelyet kiürített réteg és beépített potenciálgát jellemez. Ez az átmenet adja a dióda egyirányú vezetési tulajdonságát.

A PN-átmenet viselkedése a rákapcsolt feszültség polaritásától függ:

- **Nyitóirány:** a külső feszültség pozitív sarkát a P oldalra, negatív sarkát az N oldalra kapcsoljuk. Ez csökkenti a potenciálgátat, a többségi töltéshordozók át tudnak lépni, és nagy áram folyik. A szükséges nyitófeszültség szilíciumnál körülbelül 0,6–0,7 V.
- **Záróirány:** a polaritást megfordítjuk. A potenciálgát megnő, a többségi töltéshordozók nem tudnak átjutni, így csak nagyon kicsi záróirányú áram folyik, amit a kisebbségi töltéshordozók hoznak létre. A Shockley-modell szerint ez $-I_S$ (a példában 10^{-14} A); a valós záróáramot a felületi szivárgás és a töltéshordozó-generálás nagyságrendekkel nagyobbra növeli: kisjelű szilíciumdiódánál nA-es, teljesítménydiódánál µA-es nagyságrendű, és a hőmérséklettel gyorsan nő **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**. Ha a zárófeszültséget túl nagyra növeljük, a dióda letörhet, és hirtelen nagy áram folyhat.

37.1.5. A dióda karakterisztikája

A dióda áram-feszültség karakterisztikáját a Shockley-egyenlet írja le:

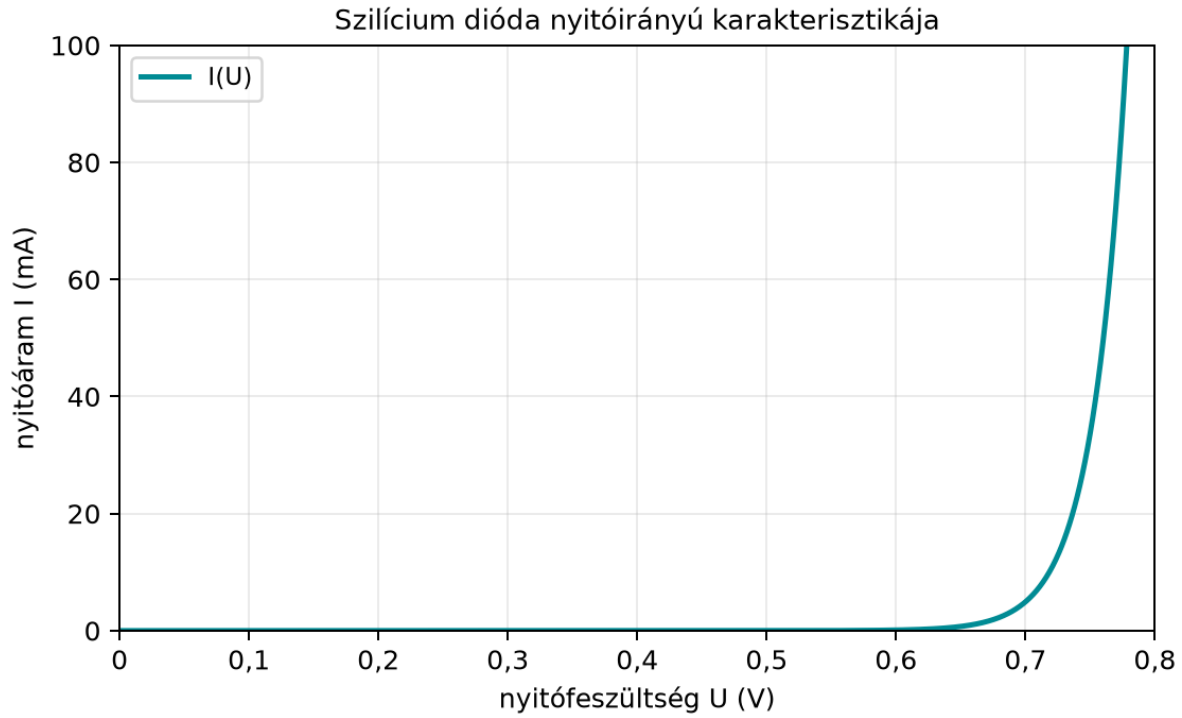
$$I = I_S \left(e^{\frac{U}{n U_T}} - 1 \right),$$

ahol I_S a telítési áram (jellemzően 10^{-15}–10^{-12} A szilícium diódánál), n az ideálissági tényező (jellemzően 1–2), és $U_T = \frac{kT}{q} \approx 26\,\text{mV}$ szobahőmérsékleten a termikus feszültség. A képletből látszik, hogy a nyitóirányú áram exponenciálisan nő a feszültséggel, míg záróirányban az áram gyakorlatilag $-I_S$ értékhez tart.

A gyakorlati számításokban azonban nem az exponenciális egyenletet használjuk, hanem egy egyszerűsített modellt:

Szabály. Egyszerűsített diódamodell: nyitóirányban a szilícium dióda feszültségesése körülbelül 0,7 V, záróirányban a dióda szakadásként viselkedik (ideális esetben $I = 0$). Ez a modell elegendő a legtöbb szerelői méretezéshez.

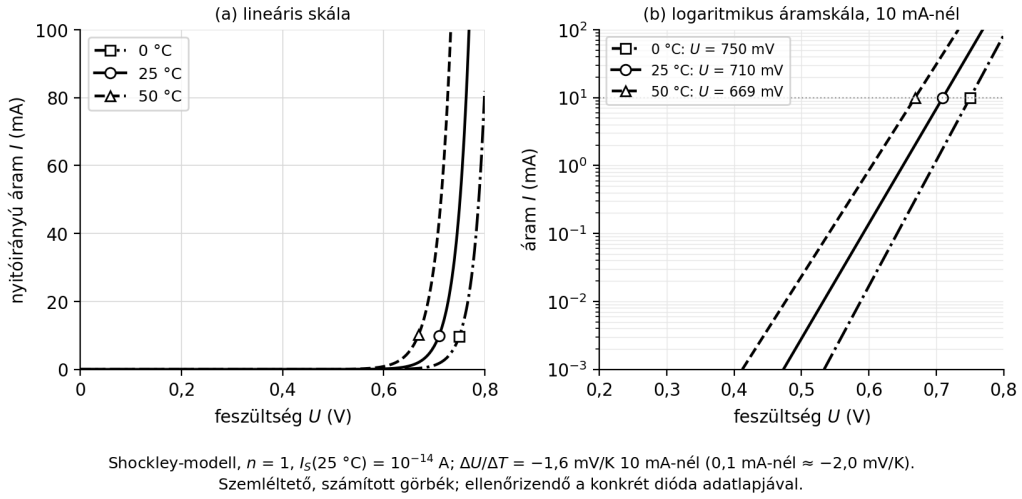
A közelítés azonban csak akkor érvényes, ha a dióda a specifikált tartományban működik. Az alábbi ábra a valós nyitóirányú karakterisztikát mutatja.



37.2. ábra. Szilícium dióda nyitóirányú karakterisztikája - Szemléltető, Shockley-egyenletből számolt görbe: I_S = 10^{-14} A, n = 1, U_T = 26 mV (az áram mA-ben). A záróirányú áram (a modellben −I_S, a valóságban kisjelű diódánál nA-es nagyságrendű) ezen a skálán nem látható.

Az ábra azt mutatja, hogy 0,6 V alatt alig folyik áram (0,65 V-nál is csak kb. 0,7 mA), majd kb. 0,7 V fölött az áram meredeken emelkedik: 0,75 V-nál már kb. 34 mA. A záróirányú áram olyan kicsi, hogy ezen a lineáris skálán nem látszik; a valóságban nA–µA nagyságrendű (a Shockley-modell $-I_S$ értéke ennél is kisebb).

Interaktív ábra. Az alábbi interaktív diódamodell-kalkulátorban csúszkával állítható a hőmérséklet, a telítési áram I_S és a munkaponti áram; a kiírt $\Delta U/\Delta T$ így a munkaponti áram függvényében is leolvasható. A görbe azonnal frissül, így látható, hogyan tolódik a nyitófeszültség a hőmérséklet növelésekor körülbelül $-1{,}5 \ldots -2{,}5\,\mathrm{mV/K}$ meredekséggel (ökölszabály: kb. $-2\,\mathrm{mV/K}$). A hőfoktényező a munkaponti áramtól is függ: nagyobb áramnál kisebb abszolút értékű – a modellben 0,1 mA-nél kb. −2,0, 10 mA-nél kb. $-1{,}6\,\mathrm{mV/K}$. A pontos értéket az adatlap adja. A statikus tartalék ábra három hőmérsékleti görbét mutat ugyanazon a koordináta-rendszerben.



37.3. ábra. Dióda nyitóirányú karakterisztikája három hőmérsékleten

A hőmérsékletfüggés azért fontos, mert melegedő kapcsolószekrényben a dióda nyitófeszültsége csökken, és ugyanahhoz az áramhoz kisebb feszültség elegendő. A LED-eknél ez a hatás a színérzetet is befolyásolhatja, a Zener-diódánál pedig a referenciafeszültség stabilitását.

37.1.6. Katalógusadatok és határok

A dióda kiválasztásakor a következő katalógusadatokat kell ellenőrizni:

- I_F **(forward current, nyitóirányú átlagáram):** a dióda tartósan megengedett nyitóirányú árama, pl. 1 A.
- U_F **(forward voltage):** a nyitóirányú feszültségesés adott áramnál, pl. 0,7 V / 1 A.
- U_R **vagy** V_{RRM} **(reverse voltage):** a dióda tartósan megengedett záróirányú feszültsége, pl. 400 V. Ezt soha nem szabad túllépni.
- I_R **(reverse current):** a záróirányú szivárgási áram, tipikusan nA–µA nagyságrendű.
- P_{tot} **vagy** P_D**:** a megengedett teljes disszipáció, amelyből a maximális I_F is adódik.
- I_{FSM}**:** a nem ismétlődő csúcsáram rövid idejű túlterhelés esetén.
- t_{rr} **(reverse recovery time):** a dióda kapcsolási ideje, amely gyors kapcsolású áramkörökben, pl. kapcsolóüzemű tápegységekben lényeges.

Ezek az értékek mindig a konkrét gyártói adatlapról olvasandók le; a fenti számok csak jellemző példák.

37.1.7. Zener-dióda

A Zener-dióda olyan szilícium dióda, amelyet arra terveztek, hogy záróirányú letörésben üzemeljen. A letörési feszültség, azaz a Zener-feszültség U_Z, jól meghatározott és a gyártás során beállítható. Ha a Zener-diódán a záróirányú feszültség eléri U_Z-t, akkor a feszültség a továbbiakban alig nő, miközben az áram széles tartományban változik. Így a Zener-dióda egyszerű feszültségstabilizátorként használható.

Szabály. A Zener-dióda feszültségstabilizátorként záróirányban üzemel. A terheléssel párhuzamosan kötjük, és egy soros előtét-ellenállással korlátozzuk az áramot. A bemeneti feszültségnek mindig nagyobbnak kell lennie U_Z-nél.

A Zener-stabilizátor méretezésénél figyelembe kell venni a minimális Zener-áramot, amely a stabilizáláshoz szükséges, és a maximális áramot, amelyet a terhelés lekapcsolásakor kap.

37.1.8. LED

A LED (light-emitting diode, fénykibocsátó dióda) olyan PN-átmenet, amely nyitóirányú áram hatására fényt bocsát ki. Az elektronok és lyukak rekombinációja során felszabaduló energia fotonok formájában távozik. A kibocsátott fény színét a félvezető anyag sávszerkezete határozza meg; ez egyben a nyitófeszültséget is befolyásolja:

- piros LED: $U_F \approx 1{,}8$–$2{,}2\,\mathrm{V}$,
- zöld/sárga LED: $U_F \approx 2{,}0$–$2{,}4\,\mathrm{V}$,
- kék/fehér LED: $U_F \approx 3{,}0$–$3{,}4\,\mathrm{V}$.

A LED áramát mindig korlátozni kell, mert a nyitófeszültség felett az áram exponenciálisan nő. A megengedett áram általában 2–20 mA jelző LED-eknél, de nagy teljesítményű LED-eknél ennél sokkal nagyobb is lehet. Az áramkorlátozásra soros előtét-ellenállást vagy áramgenerátoros meghajtót használunk.

37.1.9. Fotodióda

A fotodióda olyan PN-átmenet, amelyet úgy alakítottak ki, hogy a rá eső fény hatására töltéshordozók keletkezzenek, és így fotóáram folyjon. A fotodióda jellemzően záróirányban üzemel, mert így a fény hatására a záróirányú áram arányos a megvilágítással. Felhasználják fényérzékelésre, optikai kommunikációra, fénykapukban és távirányító vevőkben.

37.1.10. Kidolgozott példák: LED-előtét és Zener-stabilizátor

1. példa (LED-előtét). *Adott:* $U_{be} = 12\,\mathrm{V}$, $U_F = 2{,}0\,\mathrm{V}$, $R = 560\,\Omega$. *Keresett:* a LED árama és az ellenállás teljesítménye. *Képlet:* $I = (U_{be} - U_F)/R$, $P_R = (U_{be} - U_F)\cdot I$. *Behelyettesítés:*

$$I = \frac{12\,\mathrm{V} - 2{,}0\,\mathrm{V}}{560\,\Omega} \approx 17{,}9\,\mathrm{mA}, \quad P_R = 10\,\mathrm{V}\cdot 17{,}9\,\mathrm{mA} \approx 0{,}18\,\mathrm{W}.$$

Ellenőrzés: az áram a kisjelű LED-ek szokásos 10–20 mA-es tartományában van (ellenőrizendő: LED adatlap); az ellenállás legalább 0,25 W-os legyen, célszerűen tartalékkal (0,5 W).

2. példa (Zener-stabilizátor). *Adott:* $U_{be} = 12\,\mathrm{V}$, $U_Z = 5{,}1\,\mathrm{V}$, terhelőáram $I_L = 20\,\mathrm{mA}$, minimális Zener-áram $I_{Z,\min} = 5\,\mathrm{mA}$. *Keresett:* az előtét-ellenállás és a teljesítmények. *Képletek:* $R = (U_{be} - U_Z)/(I_L + I_{Z,\min})$, $P_{Z,\max} = U_Z \cdot I_R$ (a terhelés lekapcsolásakor a teljes ellenállásáram a Zeneren folyik), $P_R = (U_{be} - U_Z)^2/R$. *Behelyettesítés:*

$$R = \frac{12\,\mathrm{V} - 5{,}1\,\mathrm{V}}{20\,\mathrm{mA} + 5\,\mathrm{mA}} = 276\,\Omega \to 270\,\Omega \text{ (szabványos sorozatérték)},$$

$$I_R = \frac{6{,}9\,\mathrm{V}}{270\,\Omega} \approx 25{,}6\,\mathrm{mA}, \quad P_{Z,\max} = 5{,}1\,\mathrm{V}\cdot 25{,}6\,\mathrm{mA} \approx 0{,}13\,\mathrm{W}, \quad P_R = \frac{6{,}9^2}{270} \approx 0{,}18\,\mathrm{W}.$$

Ellenőrzés: terheléssel a Zener árama $25{,}6 - 20 = 5{,}6\,\mathrm{mA} \geq I_{Z,\min}$; a Zeneren és az ellenálláson is tartalékot adó (pl. 0,5 W-os) alkatrész kell.

37.1.11. Szabadonfutó dióda

A szabadonfutó dióda (freewheeling diode, közismert nevén védődióda) olyan dióda, amelyet induktív terheléssel – relé tekercsével, mágneskapcsolóval, motor tekercsével – párhuzamosan, záróirányban kötünk be. Egyenáramú kapcsolásban a tekercs áramának hirtelen megszakításakor nagy önindukciós feszültségcsúcs keletkezik, amely a kapcsolótranzisztort tönkreteheti. A szabadonfutó dióda biztosítja, hogy a tekercs árama a diódán keresztül lassan lecsenghessen: a kapcsolótranzisztoron a feszültség a tápfeszültség plusz kb. 0,7 V-ra korlátozódik, a tekercsen pedig kb. 0,7 V fordított feszültség áll.

Megjegyzés. A szabadonfutó dióda lassítja a tekercs áramának lecsengését, így a mágneskapcsoló később enged el. Ahol ez gond (a főérintkezők ívelése, gyors leválasztás), dióda + Zener-dióda, varisztor vagy RC-tag, illetve a gyártó által ajánlott védőmodul használatos **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.

Szabály. A szabadonfutó diódát úgy kell bekötni, hogy normál üzemben záróirányú legyen: katódja a tápfeszültség pozitív oldalára, anódja a negatív oldalára kerül. A dióda zárófeszültségének nagyobbnak kell lennie a tápfeszültségnél.

37.1.12. Valós életbeli alkalmazás

Egy 24 V DC mágneskapcsoló tekercsét PLC tranzisztoros kimenete vezérelte. A kapcsolás jól működött, amikor a tekercset meghúztuk, de a kikapcsolás pillanatában a PLC kimeneti tranzisztora idővel rendszeresen tönkrement. A szerelő megmérte a kapcsoló tekercsén a kikapcsolási feszültségcsúcsot: a 24 V-os tápfeszültség helyett több száz voltos negatív tüskét látott. A hiba oka az volt, hogy nem volt szabadonfutó dióda a tekercs kapcsaival párhuzamosan. A javítás során egy 1 A-es, 100 V zárófeszültségű diódát kötöttek a tekercsre, katódját a pozitív kapocsra. Ezután a feszültségcsúcs megszűnt, és a tranzisztor sem ment tönkre. A tanulság: egyenáramú induktív terhelés kapcsolásánál a szabadonfutó dióda nem kényelmi kiegészítő, hanem alapvető védelem.

37.1.13. Tipikus hibák

1. **LED bekötése előtét-ellenállás nélkül.** Ilyenkor a LED-en átfolyó áramot csak a forrás belső ellenállása és a LED dinamikus ellenállása korlátozza, ami rendszerint sokszorosa a megengedett 20 mA-nek. A LED túlmelegszik, fénye kialszik, a tokozás megfeketedhet. Helyes gyakorlat: mindig méretezni kell a soros ellenállást.
2. **Zener-dióda nyitóirányú használata feszültségstabilizálásra.** A Zener-dióda stabilizáló hatása a záróirányú letörésben van; nyitóirányban csak 0,7 V-ot ejt, mint egy közönséges dióda. Ha valaki 10 V stabilizálására köti be nyitóirányban, a kimeneten csak 0,7 V-ot kap. Helyes: a katalógus szerinti U_Z-nek megfelelő Zener-diódát záróirányban, a terheléssel párhuzamosan és soros előtét-ellenállással kell kötni.
3. **Szabadonfutó dióda fordított bekötése.** Ha a diódát a relé tekercsével párhuzamosan nyitóirányban kötjük be, akkor a dióda normál üzemben rövidre zárja a tekercset, a relé nem húz meg, és a dióda vagy a tápegység tönkre mehet. A dióda katódját mindig a pozitív tápfeszültségű csomópontra kell kötni.
4. **Az előtét-ellenállás teljesítményének alulméretezése.** A LED áramkörben az ellenálláson disszipált teljesítmény $P = I^2R$ vagy $P = (U_t - U_F)^2/R$. Ha a számított 0,25 W helyett 0,125 W-os ellenállást építünk be, az ellenállás túlmelegszik, elszenesedhet, és

a kapcsolás meghibásodik. Mindig a számított teljesítménynél nagyobb terhelhetőségű alkatrészt válasszunk.

37.1.14. Önellenőrzés

1. A szilícium dióda nyitóirányú feszültségesése jellemzően 0,7 V. Igaz vagy hamis? Indokold!
2. Miért kell egy LED-nek soros előtét-ellenállás?
3. Milyen polaritással kell bekötni a szabadonfutó diódát egy relé tekercsével párhuzamosan? Rajzold le a kapcsolást.
4. Számítsd ki az áramot, ha 9 V tápfeszültségről, 3,2 V nyitófeszültségű kék LED-et 330 Ω-os ellenálláson keresztül üzemeltetsz.
5. Mi a Zener-dióda szerepe, és milyen irányban kell üzemeltetni?
6. Melyik diódafajta használható fényérzékelésre?

37.1.15. Feladatok

1. feladat (A)
Fogalmazd meg röviden, mi a PN-átmenet és mi a kiürített réteg szerepe a dióda működésében!

2. feladat (A)
Számítsd ki az előtét-ellenállás értékét, ha egy 5 V-os egyenáramú tápegységről piros LED-et üzemeltetünk, amelynek nyitófeszültsége 1,9 V, megengedett árama 20 mA. Add meg a szabványos E12 sor szerinti legközelebbi ellenállásértéket is!

3. feladat (B)
Rajzold le (szövegesen írd le) egy 24 V DC relé tekercsének tranzisztoros vezérlését szabadonfutó diódával. Jelöld a dióda anódját és katódját, és indokold, miért így kell bekötni!

4. feladat (B)
Egy Zener-stabilizátor bemeneti feszültsége 15 V, a Zener-feszültség 9 V, a terhelőáram 30 mA. A Zener-dióda minimális árama 10 mA. Határozd meg a soros előtét-ellenállás értékét, és számold ki a Zener-diódán fellépő maximális teljesítményt, ha a terhelés lekapcsolásakor a teljes áram a Zener-diódán folyik!

5. feladat (C)
Egy jelzőlámpában három fehér LED-et kötünk sorba 24 V egyenáramú tápfeszültségre. Mindegyik LED nyitófeszültsége 3,0 V, a megengedett áram 10 mA. Számítsd ki az előtét-ellenállás értékét és teljesítményét! Ellenőrizd, hogy a választott ellenállás nem haladja-e meg a 0,25 W-os terhelhetőséget!

6. feladat (D)
Egy DC mágneskapcsoló vezérlése tranzisztorral többször is meghibásodott: a tranzisztor kikapcsoláskor tönkrement. A kapcsolásban nincs szabadonfutó dióda. Magyarázd el, mi okozza a tranzisztor tönkremenetelét, és hogyan javítanád a hibát! Milyen paraméterekkel választanál diódát?

Megjegyzés a továbbvitt eredményhez. A 3. és 6. feladat a szabadonfutó dióda és a tranzisztoros kapcsolás összefüggését gyakorolja, ami közvetlenül előkészíti a Tranzisztorok és kapcsoló üzem alfejezetet.

37.1.16. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A szilícium dióda nyitóirányú feszültségesése a gyakorlatban 0,6–0,7 V körüli. Germániumnál ez 0,3 V.
2. A LED árama a nyitófeszültség felett exponenciálisan nő, ezért az áramot külső ellenállással kell korlátozni a megengedett értékre.
3. A szabadonfutó diódát záróirányban kell a tekercs kapcsaira kötni: anód a tekercs negatív, katód a pozitív kapcsára. Normál üzemben a dióda nem vezet; kikapcsoláskor a tekercsben folyó áram a diódán keresztül zárul, a tekercsen a fordított feszültség kb. 0,7 V-ra, a kapcsolótranzisztoron a feszültség a tápfeszültség + 0,7 V-ra korlátozódik. (A dióda lassítja az elengedést; mágneskapcsolónál emiatt dióda + Zener, varisztor vagy RC-tag is használatos.)
4. $I = \frac{U_t - U_F}{R} = \frac{9\,\mathrm{V} - 3{,}2\,\mathrm{V}}{330\,\Omega} = \frac{5{,}8\,\mathrm{V}}{330\,\Omega} = 0{,}0176\,\mathrm{A} = 17{,}6\,\mathrm{mA}$.
5. A Zener-dióda feszültségstabilizálásra való, záróirányú letörésben kell üzemeltetni.
6. A fotodióda alkalmas fényérzékelésre, mert a megvilágítás hatására záróirányú árama arányosan megnő.

1. feladat megoldása
A PN-átmenet a P és N típusú félvezető réteg közötti határfelület. A határon a többségi töltéshordozók diffúziója révén kiürített réteg alakul ki, amelyben beépített elektromos tér hoz létre potenciálgátat. Ez a gát akadályozza meg a töltéshordozók szabad áramlását, és ez adja a dióda egyirányú vezetését.

2. feladat megoldása
Adott: $U_t = 5\,\mathrm{V}$, $U_F = 1{,}9\,\mathrm{V}$, $I_F = 20\,\mathrm{mA} = 0{,}020\,\mathrm{A}$.
Keresett: R.
Képlet: $R = \frac{U_t - U_F}{I_F}$.
Behelyettesítés: $R = \frac{5\,\mathrm{V} - 1{,}9\,\mathrm{V}}{0{,}020\,\mathrm{A}} = \frac{3{,}1\,\mathrm{V}}{0{,}020\,\mathrm{A}} = 155\,\Omega$.
Az E12 sorban a legközelebbi nagyobb érték 180 Ω (a kisebb 150 Ω adna 20,7 mA-t, ami kissé túllépné a megengedettet). Ellenőrzés 180 Ω-mal: $I = \frac{3{,}1\,\mathrm{V}}{180\,\Omega} = 0{,}0172\,\mathrm{A} = 17{,}2\,\mathrm{mA}$, ami biztonságos.

3. feladat megoldása
A kapcsolás: a 24 V pozitív sarkáról a relé tekercsének egyik kapcsára, a másik kapcsáról a tranzisztor kollektorára, a tranzisztor emitteréről a negatív sarkra. A szabadonfutó diódát a tekercs kapcsaival párhuzamosan úgy kell kötni, hogy katódja a pozitív oldali kapocshoz, anódja a negatív oldali kapocshoz kerüljön. Normál üzemben a dióda záróirányú, ezért nem vezet. Kikapcsoláskor a tekercs önindukciós feszültsége olyan polaritású, hogy a dióda nyitóirányúvá válik, és a tekercs árama a diódán keresztül lecsenghet, így a feszültségcsúcs nem károsítja a tranzisztort.

4. feladat megoldása
Adott: $U_{be} = 15\,\mathrm{V}$, $U_Z = 9\,\mathrm{V}$, $I_L = 30\,\mathrm{mA}$, $I_{Z,\min} = 10\,\mathrm{mA}$.
Keresett: R és $P_{Z,\max}$.
Összáram: $I_{\text{össz}} = I_L + I_{Z,\min} = 30\,\mathrm{mA} + 10\,\mathrm{mA} = 40\,\mathrm{mA} = 0{,}040\,\mathrm{A}$.
Előtét-ellenállás: $R = \frac{U_{be} - U_Z}{I_{\text{össz}}} = \frac{15\,\mathrm{V} - 9\,\mathrm{V}}{0{,}040\,\mathrm{A}} = \frac{6\,\mathrm{V}}{0{,}040\,\mathrm{A}} = 150\,\Omega$.
Maximális Zener-áram terhelés lekapcsolásakor éppen $I_{Z,\max} = 40\,\mathrm{mA}$.
Maximális teljesítmény: $P_{Z,\max} = U_Z \cdot I_{Z,\max} = 9\,\mathrm{V} \cdot 0{,}040\,\mathrm{A} = 0{,}36\,\mathrm{W}$. Válasszunk legalább 0,5 W-os Zener-diódát.

5. feladat megoldása
Adott: $U_t = 24\,\mathrm{V}$, három LED sorba kötve, mindegyik $U_F = 3{,}0\,\mathrm{V}$, $I_F = 10\,\mathrm{mA} = 0{,}010\,\mathrm{A}$.

Összes nyitófeszültség: $U_{F,\text{összes}} = 3 \times 3{,}0\,\text{V} = 9{,}0\,\text{V}$.
Ellenálláson eső feszültség: $U_R = 24\,\text{V} - 9{,}0\,\text{V} = 15\,\text{V}$.
Előtét-ellenállás: $R = \frac{U_R}{I_F} = \frac{15\,\text{V}}{0{,}010\,\text{A}} = 1500\,\Omega = 1{,}5\,\text{k}\Omega$.
Teljesítmény az ellenálláson: $P_R = U_R \cdot I_F = 15\,\text{V} \cdot 0{,}010\,\text{A} = 0{,}15\,\text{W}$.
Ez kisebb, mint 0,25 W, így egy 0,25 W-os 1,5 kΩ-os ellenállás megfelel. (A gyakorlatban 1,5 kΩ vagy 1,6 kΩ választható; 1,5 kΩ-nál az áram pontosan 10 mA.)

6. feladat megoldása
A hiba oka: a mágneskapcsoló tekercse induktivitás, ezért áramának hirtelen megszakításakor az önindukció miatt nagy feszültségcsúcs keletkezik, amely a kapcsoló tranzisztor kollektor–emitter feszültségét meghaladja, és a tranzisztort tönkreteszi. Javítás: a tekercs kapcsaival párhuzamosan szabadonfutó diódát kell kötni, katódjával a tápfeszültség pozitív oldalára. A dióda záróirányú feszültségének nagyobbnak kell lennie a tápfeszültségnél (pl. 24 V-os rendszernél legalább 50–100 V), nyitóáramának pedig el kell bírnia legalább a tekercs üzemi áramát. Ekkor kikapcsoláskor a tekercs árama a diódán keresztül lassan cseng le, és a tranzisztor védve marad. Ez a feladat a tranzisztor kapcsoló üzemmódjának megértését készíti elő.

37.1.17. Rövid összefoglaló

A félvezető anyagokban szennyezéssel N típusú (elektron-többségi) és P típusú (lyuk-többségi) rétegek hozhatók létre. A P és N réteg határán kialakuló PN-átmenet a dióda alapja: nyitóirányban 0,6–0,7 V szilícium feszültségeséssel áramot vezet, záróirányban gyakorlatilag szakadásként viselkedik. A dióda karakterisztikáját a Shockley-egyenlet $I = I_S(e^{U/(nU_T)} - 1)$ írja le, de a gyakorlati méretezéshez az egyszerűsített modellt használjuk. A Zener-dióda záróirányú letörésben stabilizál feszültséget, a LED nyitóirányú áram hatására fényt bocsát ki, a fotodióda fény hatására áramot ad, a szabadonfutó dióda pedig az induktív terhelések kikapcsolási feszültségcsúcsait vezeti le. LED előtét-ellenállása $R = (U_t - U_F)/I_F$ alapján számítható, és mindig ellenőrizni kell az ellenállás teljesítményét. **Továbbvitt eredmény.** A dióda egyirányú vezetése, a PN-átmenet és a szabadonfutó dióda alkalmazása közvetlenül megalapozza a Tranzisztorok és kapcsoló üzem alfejezetet, ahol a PN-átmenetek kombinációjával felépülő bipoláris tranzisztor működését vizsgáljuk.

37.1.18. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezetben leírt félvezető-fizikai alapok, a Shockley-egyenlet, az egyszerűsített diódamodell és a LED-előtét számítása az elektrotechnika klasszikus, stabil ismeretei. A Zener- és LED-jellemzők (nyitófeszültség, teljesítmény) gyártófüggők; az itt megadott értékek jellemző példák, pontos adatokat a gyártói adatlapról kell leolvasni. A szabványos E12 sor ellenállásértékeit az IEC 60063 szerint célszerű ellenőrizni. A szabadonfutó dióda zárófeszültség-megválasztása a kapcsolás feszültségszintjétől függ, ezért a konkrét kiválasztást mindig a gyártói adatlap és a kapcsolási feszültség alapján kell elvégezni.

37.2. Tranzisztorok és kapcsoló üzem

37.2.1. Motiváció: miért kell a tranzisztor a szerelőnek?

Egy PLC kimenete vagy egy mikrovezérlős vezérlőpanel általában néhány tíz milliampert tud kiadni, miközben a mágneskapcsoló, relé, izzó vagy szelep sokszor ennél lényegesen nagyobb áramot igényel. Ha a szerelő a PLC-kimenetet közvetlenül terheli, a kimenet meghibásodhat. A

tranzisztor ezt a problémát úgy oldja meg, hogy kis vezérlőárammal vagy kis vezérlőfeszültséggel nagyobb terhelőáramot kapcsol. A villanyszerelői gyakorlatban tehát a tranzisztort legtöbbször **kapcsolóként** használjuk, nem hangerősítőként. Ugyanakkor a helyes kapcsolóüzemhez ismerni kell a tranzisztor erősítő jellegét, mert csak akkor tudjuk biztosan kinyitni vagy lezárni.

37.2.2. Szemléletes kép: egy árammal vagy feszültséggel vezérelt kapcsoló

A legegyszerűbb hasonlat: a bipoláris tranzisztor egy olyan kapcsoló, amelyet **bázisárammal** vezérelnek, míg a MOSFET egy olyan kapcsoló, amelyet a **kapura adott feszültség** vezérel. A kapcsolóüzemű tranzisztor lényege, hogy vagy teljesen lezárt, vagy teljesen kinyitott állapotban van. A közbülső, részben vezető állapotban a tranzisztoron jelentős feszültség és áram egyszerre eshet, ami felesleges melegedést okoz.

A következő rajz egy NPN tranzisztorral meghajtott relét mutat. A Q1 tranzisztor szabványos rajzjellel szerepel, de kapcsolóüzemben vezérelt kapcsolóként működik: a teljes fizikai belső felépítésnél itt fontosabb a kapcsolási szerep. A K1 relétekerccsel párhuzamosan kötött V1 dióda a kikapcsoláskor fellépő induktív feszültséglöketet vezeti le.

37.4. ábra. NPN tranzisztor relé meghajtása kapcsolóüzemben - A Q1 NPN tranzisztor szabványos rajzjellel (B bázis, C kollektor, E emitter; az emitternyíl az áramirányt mutatja). Ha az S1 zár, az R1 ellenálláson és a B–E átmeneten át bázisáram folyik a 0 V felé, a C–E szakasz bezár, és a K1 tekercs áramot kap (+24 V → K1 → Q1 C–E → 0 V). A V1 szabadonfutó dióda záróirányban áll (katódja a +24 V-on), és a kikapcsoláskor fellépő induktív feszültséglöketet vezeti le. Alapállapot: S1 és Q1 nyitva.

A rajz működése: ha az S1 kapcsoló bezár, a bázisköri áram folyik Q1 bázis-emitter körén keresztül. Q1 ekkor kinyit (vezet), telítésbe kerül, a kollektor-emitter feszültsége kicsi lesz, és a K1 relétekercccsel soros kör zárul. A relé meghúz, a főáramköri érintkezői pedig kapcsolják a tényleges fogyasztót.

37.2.3. A bipoláris tranzisztor felépítése és áramai

Definíció. A bipoláris tranzisztor (bipolar junction transistor, BJT) háromrétegű, két PN-átmenetet tartalmazó félvezető eszköz. NPN tranzisztor esetén két N-típusú réteg között egy vékony P-típusú bázisréteg van, PNP tranzisztornál a rétegsorrend fordított. A három kivezetés neve: **kollektor** (C), **bázis** (B) és **emitter** (E).

NPN tranzisztorban a kollektoráram a kollektorból az emitter felé folyik, a bázisáram a bázisból az emitter felé folyik. PNP tranzisztorban az áramirányok megfordulnak. A szerelői gyakorlatban a kapcsolások többsége NPN tranzisztort használ, mert azt a pozitív tápfeszültséghez képest a negatív ágban, azaz „lent” egyszerű bekapcsolni.

Összefüggés. A bipoláris tranzisztor nagyjelű, egyenáramú erősítési tényezője:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

ahol I_C a kollektoráram, I_B pedig a bázisáram. Egy másik, ritkábban használt tényező:

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

A két tényező kapcsolata:

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

Az emitteráram a két áram összege:

$$I_E = I_C + I_B$$

Szilíciumtranzisztornál a nyitott bázis-emitter átmeneten közelítőleg:

$$U_{BE} \approx 0{,}6 \ldots 0{,}7\,\mathrm{V}$$

Ez azért fontos a szerelőnek, mert a bázisköri ellenállás számításakor a vezérlőfeszültségből ezt le kell vonni.

Példa. Ha egy NPN tranzisztor kollektorárama $I_C = 100\,\mathrm{mA}$, bázisárama pedig $I_B = 1\,\mathrm{mA}$, akkor az erősítési tényező:

$$\beta = \frac{100\,\mathrm{mA}}{1\,\mathrm{mA}} = 100$$

Ez azt jelenti, hogy a kollektoráram ebben a munkapontban százszorosa a bázisáramnak.

A β gyártási szórással, hőmérséklettel és kollektorárammal változik. Egy adott típusnál a gyártó általában minimum és maximum értéket is megad. A kapcsolóüzemi méretezésnél mindig a **legkisebb garantált** erősítési tényezőt kell használni, mert azzal a legnagyobb bázisáramot kapjuk, és így a tranzisztor biztosan telítésbe kerül. A pontos értéket a gyártói adatlap tartalmazza **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.

37.2.4. Alapkapcsolások és munkapont

A tranzisztor három kivezetéséből az egyik a bemeneti és kimeneti kör közös pontja. A gyakorlatban három alapkapcsolást különböztetünk meg:

- **Közös emitteres kapcsolás.** A bemenet a bázis, a kimenet a kollektor, a közös pont az emitter. A feszültségerősítés nagy, a kimeneti jel pedig fázisfordított: ha a bázisfeszültség nő, a kollektorfeszültség csökken. A kapcsolóüzemű relémeghajtás leggyakrabban ilyen.
- **Közös kollektoros kapcsolás** (emitterkövető). A bemenet a bázis, a kimenet az emitter, a közös pont a kollektor. Feszültségerősítése közel egységnyi, az emitterfeszültség a bázisfeszültséget követi. Jó jelpufferelésre, de a relémeghajtásnál kevésbé előnyös, mert a tranzisztoron a tápfeszültség és a terhelés feszültsége közötti különbség nagyobb lehet.
- **Közös bázisú kapcsolás.** A bemenet az emitter, a kimenet a kollektor, a közös pont a bázis. Különösen nagyfrekvenciás áramkörökben használják, az energiaellátási szerelői munkában ritka.

A **munkapont** azt az egyenfeszültségű és egyenáramú állapotot jelenti, amely körül a tranzisztor egy erősítőben működik. A munkapontot a munkaponti kollektorárammal I_{CQ} és a munkaponti kollektor-emitter feszültséggel U_{CEQ} adjuk meg. A kapcsolóüzemben viszont a tranzisztort nem ebben a közbülső tartományban akarjuk tartani, hanem csak a **záró** és a **telítési** állapot között mozgatjuk.

A kollektorköri ellenállással terhelt közös emitteres fokozat egyenáramú munkapontját a terhelő egyenes írja le. Ha a kollektorkor tápfeszültsége U_T, a kollektor-ellenállás pedig R_C, akkor:

$$U_T = U_{CE} + I_C R_C$$

Ebből a kollektoráram:

$$I_C = \frac{U_T - U_{CE}}{R_C}$$

Ez az egyenlet a rajzon egy egyenest ad. A munkapont ezen az egyenesen helyezkedik el. Kapcsolóüzemben a Q1 lezárt állapotban az egyenes alsó végpontjában, telítésben az egyenes felső, bal oldali tartományában van.

37.2.5. A tranzisztor mint kapcsoló: bekapcsolás (telítés), lezárás, meghajtás

A tranzisztoros relémeghajtásnál a kollektoráramot a terhelés határozza meg. Ha például a relé tekercse 24 V-on 60 mA-t vesz fel, akkor a tranzisztornak ezt a 60 mA-t kell kapcsolnia. Ahhoz, hogy a tranzisztor biztosan telítésbe kerüljön, a bázisáramnak legalább akkorának kell lennie, mint:

$$I_{B,\min} = \frac{I_C}{\beta_{\min}}$$

A gyakorlatban ennél nagyobb bázisáramot állítunk be, hogy a tranzisztor biztosan telítésbe kerüljön. A túlvezérlési tényezőt k-val jelölve:

$$I_B = k \cdot \frac{I_C}{\beta_{\min}}$$

ahol k tipikusan 2–5 közötti érték. A telítési állapotban a kollektor-emitter feszültség kicsi, szilícium-kisteljesítményű tranzisztoroknál jellemzően:

$$U_{CE,\text{sat}} \approx 0{,}1 \ldots 0{,}3\,\text{V}$$

Ez az érték is típusfüggő, ezért a konkrét adatot a gyártói adatlapból kell venni **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.

Ha a tranzisztor jól telítésbe került, a rajta disszipált teljesítmény:

$$P_C = U_{CE,\text{sat}} \cdot I_C$$

Ez általában kicsi. Ha viszont a bázisáram kevés, a tranzisztor a részben vezető, aktív tartományban marad, a kollektor-emitter feszültsége nagyobb lesz, és a teljesítményveszteség megnő. Például 60 mA kollektoráramnál 0,2 V telítési feszültséggel a veszteség:

$$P_C = 0{,}2\,\text{V} \cdot 0{,}06\,\text{A} = 12\,\text{mW}$$

Ha viszont a tranzisztor aktív tartományban marad, és a kollektor-emitter feszültség 5 V lenne, akkor:

$$P_C = 5\,\text{V} \cdot 0{,}06\,\text{A} = 300\,\text{mW}$$

Ez egy kisteljesítményű tokozásnál már jelentős melegedést okozhat. Ezért a kapcsolóüzemben a cél a határozott lezárás és a határozott telítés.

37.2.6. Kidolgozott példa: bázisellenállás méretezése relé vezérléséhez

Adott:
- $U_{vez} = 5\,\text{V}$ vezérlőfeszültség, például PLC vagy mikrovezérlő kimenete;
- relétekercs: $U_{\text{relé}} = 24\,\text{V}$, $I_{\text{relé}} = 60\,\text{mA}$;
- tranzisztor legkisebb erősítési tényezője $\beta_{\text{min}} = 100$;
- nyitott bázis-emitter feszültség $U_{BE} \approx 0{,}7\,\text{V}$;
- túlvezérlési tényező $k = 3$.

Keresett: a bázisköri ellenállás R_B értéke.

Számítás:

$$I_C = 60\,\text{mA}$$

$$I_{B,\text{min}} = \frac{I_C}{\beta_{\text{min}}} = \frac{60\,\text{mA}}{100} = 0{,}6\,\text{mA}$$

A biztos telítéshez:

$$I_B = k \cdot I_{B,\text{min}} = 3 \cdot 0{,}6\,\text{mA} = 1{,}8\,\text{mA}$$

A bázisköri ellenállás:

$$R_B = \frac{U_{vez} - U_{BE}}{I_B} = \frac{5\,\mathrm{V} - 0{,}7\,\mathrm{V}}{1{,}8\,\mathrm{mA}}$$

$$R_B = \frac{4{,}3\,\mathrm{V}}{0{,}0018\,\mathrm{A}} \approx 2390\,\Omega$$

A legközelebbi E12-es szabványos érték $2{,}2\,\mathrm{k\Omega}$ vagy $2{,}7\,\mathrm{k\Omega}$. Szabványos értékkel a kisebb ellenállás nagyobb bázisáramot ad, tehát $2{,}2\,\mathrm{k\Omega}$ választása biztonságosabb.

Ellenőrzés: $R_B = 2{,}2\,\mathrm{k\Omega}$ esetén a tényleges bázisáram:

$$I_B = \frac{4{,}3\,\mathrm{V}}{2200\,\Omega} \approx 1{,}95\,\mathrm{mA}$$

Ezzel a $\beta_{\min}$ mellett is garantáltan kapcsolható (telítésben tartható) legnagyobb kollektoráram:

$$I_{C,\max} = \beta_{\min} I_B = 100 \cdot 1{,}95\,\mathrm{mA} = 195\,\mathrm{mA}$$

Ez nagyobb, mint a relé $60\,\mathrm{mA}$-es árama, tehát a tranzisztor biztosan telítésbe kerül. A bázisellenállás teljesítménye:

$$P_{RB} = I_B^2 R_B = (0{,}00195\,\mathrm{A})^2 \cdot 2200\,\Omega \approx 8{,}4\,\mathrm{mW}$$

Ez egy hagyományos $0{,}25\,\mathrm{W}$-os ellenállással bőven megfelel. ∎

37.2.7. Második számítás: 24 V-os vezérlőjellel

Ugyanezt a relét sokszor nem 5 V-os elektronika, hanem 24 V-os vezérlőjel hajtja meg. Ilyenkor a bázisellenállás nagyobb lesz, mert a vezérlőfeszültségből ugyanúgy le kell vonni a $0{,}7\,\mathrm{V}$ bázis-emitter feszültséget.

Adott:
- $U_{vez} = 24\,\mathrm{V}$;
- $U_{BE} = 0{,}7\,\mathrm{V}$;
- cél: $I_B = 3\,\mathrm{mA}$, hogy a tranzisztor határozottan telítsen;
- $I_C = 60\,\mathrm{mA}$, $\beta_{\min} = 100$.

Számítás.

$$R_B = \frac{24\,\mathrm{V} - 0{,}7\,\mathrm{V}}{3\,\mathrm{mA}} = \frac{23{,}3\,\mathrm{V}}{0{,}003\,\mathrm{A}} \approx 7767\,\Omega$$

Szabványos E12-es érték: $6{,}8\,\mathrm{k\Omega}$ (a 37.2.6 szabálya szerint a kisebb érték nagyobb bázisáramot ad, ezért biztonságosabb).

Ellenőrzés: $6{,}8\,\mathrm{k\Omega}$ ellenállással:

$$I_B = \frac{23{,}3\,\mathrm{V}}{6800\,\Omega} \approx 3{,}43\,\mathrm{mA}$$

A $\beta_{\min}$ mellett kapcsolható kollektoráram:

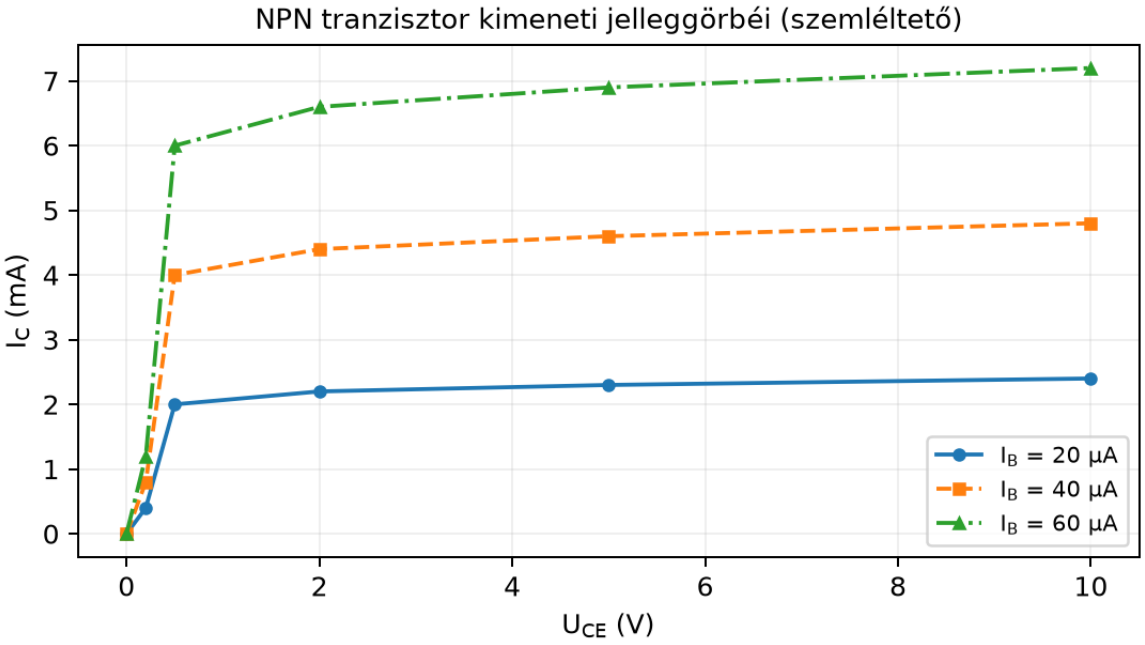
$$I_{C,\max} = 100 \cdot 3{,}43\,\text{mA} \approx 343\,\text{mA}$$

Ez is bőven elegendő a 60 mA-es relétekercshez. A bázisellenállás itt egy 0,25 W-os alkatrész lehet, mert a rajta disszipált teljesítmény:

$$P_{RB} = (0{,}00343\,\text{A})^2 \cdot 6800\,\Omega \approx 80\,\text{mW}$$

37.2.8. A kimeneti jelleggörbék és a munkapont

Az NPN tranzisztor kimeneti jelleggörbéje a kollektoráramot mutatja a kollektor-emitter feszültség függvényében, különböző bázisáramok mellett. A görbék bal oldali, meredek szakasza a telítési tartomány, ahol a kollektoráram erősen függ a kollektor-emitter feszültségtől. A jobb oldali, közel vízszintes szakasz az aktív tartomány, ahol a kollektoráram elsősorban a bázisáramtól függ.



37.5. ábra. NPN tranzisztor kimeneti jelleggörbéi (szemléltető) - Tipikus, kis jelű NPN tranzisztorra jellemző, szemléltető katalógusjellegű adatsor; a tényleges görbét mindig a gyártói adatlap adja meg. A bal oldali meredek rész a telítési tartomány, a jobb oldali közel vízszintes tartomány az aktív tartomány.

Az ábrán látható, hogy minél nagyobb a bázisáram, annál magasabban fut a kimeneti görbe. Az ábra egy kisjelű tranzisztor görbéit mutatja (néhány mA); a 60 mA-es relémeghajtásnál ugyanez a kép érvényes nagyobb áramléptékben: olyan bázisáramot kell választani, amelynek görbéje a telítési tartományban is eléri a 60 mA-t. A méretezésnél ezért használjuk a $\beta_{\min}$ értékét, és adunk túlvezérlést.

37.2.9. MOSFET alapok és relémeghajtás

Definíció. A MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) unipoláris, feszültségvezérelt tranzisztor. Az N-csatornás MOSFET drain (D), gate (G) és source (S) kivezetéssel rendelkezik. A gate és a csatorna között szigetelő oxidréteg van, ezért a kapu egyenfeszültség hatására gyakorlatilag nem vesz fel folyamatos áramot.

N-csatornás MOSFET akkor kezd vezetni, ha a gate-source feszültség meghaladja a küszöbfeszültséget:

$$U_{GS} > U_{GS,\mathrm{th}}$$

(Angol adatlapokon V_{GS}, $V_{GS(th)}$ néven szerepel.)

A küszöbfeszültség típustól függően néhány tized volttól több voltig terjedhet. A szerelői gyakorlatban ezért **logikai szintű MOSFET**-et kell választani, ha 3,3 V-os vagy 5 V-os mikrovezérlő közvetlenül hajtja. A pontos küszöbfeszültséget a gyártói adatlap tartalmazza **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.

A MOSFET bekapcsolt állapotában a drain-source ellenállás $R_{DS,\mathrm{on}}$ kicsi, jellemzően néhány tíz milliohm. A vezetési veszteség:

$$P_D = I_D^2 \cdot R_{DS,\mathrm{on}}$$

Egy relé vagy mágnesszelep meghajtásánál az N-csatornás MOSFET-et a terhelés alsó, negatív oldalába kötik, a source-ot a negatív tápfeszültségre, a drain-t a terhelés másik végére. A gate-en soros ellenállást és egy kapu-lezáró ellenállást szokás alkalmazni. A gate-soros ellenállás a nagy kapacitív töltőáramot és az esetleges nagyfrekvenciás berezgést csillapítja. A lezáró ellenállás pedig gondoskodik arról, hogy a vezérlőjel hiányában a gate ne lebegjen.

A MOSFET statikus vezérléséhez gyakorlatilag nincs szükség teljesítményt adó kapuáramra, csak a be- és kikapcsolás során kell feltölteni a gate-kapacitást. A szükséges átlagos kaputöltő áram nagyságrendileg:

$$I_g \approx \frac{Q_g}{t_{\mathrm{kapcs}}}$$

ahol Q_g a gyártó által megadott összes kaputöltés, t_{kapcs} pedig a kívánt kapcsolási idő. A konkrét értékeket mindig a gyártói adatlap szerint kell ellenőrizni **(ellenőrizendő: MOSFET adatlap)**.

37.2.10. Szabványos jelölés és a rajz olvasata

A rajzokon a bipoláris tranzisztort a bázisra merőleges vastag vonallal és a kollektor–emitter közötti vezetési vonallal jelölik, az emitternél nyíl mutatja az áramirányt. A MOSFET jele a gate szigetelését külön jelölt negyedik réteggel mutatja. A bekötésnél a jelképekből viszont nem a tok lábkiosztása derül ki, ezért a tényleges kivezetéseket mindig a tok adatlapjáról kell leolvasni.

A relémeghajtó kapcsoláson a tranzisztor kollektora vagy drainje a terhelés alsó ágába kerül, a terhelés másik vége a pozitív tápfeszültségre csatlakozik. A bázisköri ellenállás a vezérlőfeszültség és a tranzisztor közé kerül. A soros vezérlőkapcsoló, nyomógomb vagy PLC-kimenet ezt a bázisköri áramkört kapcsolja.

37.2.11. Továbbvitt eredmény

Továbbvitt eredmény. A tranzisztoros meghajtás, a bázisellenállás méretezése és a telítéses kapcsolóüzem itt bemutatott módszere kell a Hő-, fény- és feszültségfüggő elemek és érzékelők alfejezethez, ahol a hőmérséklet-, fény- vagy feszültségfüggő elemek jelét tranzisztoros fokozattal alakítjuk át relé vagy jelzőlámpa működtetésére.

37.2.12. Valós életbeli alkalmazás

Egy vezérlőszekrényben a PLC 24 V-os kimenete egy mágneskapcsoló tekercsét akarta vezérelni. A tekercs árama 250 mA volt, a PLC-kimenet viszont csak 100 mA-t tudott volna szolgáltatni. A szerelő először egy kis NPN tranzisztoros meghajtópanelt épített be, de a bázisellenállást elhagyta. A PLC-kimenet a bázis-emitter diódán keresztül gyakorlatilag rövidre záródott a 0 V-os (negatív) sínre: a kimenet feszültsége kb. 0,7 V-ra esett, az áramot csak a kimenet belső korlátozása szabta meg, a kimenet túlterhelődött, a tranzisztor is melegedett, és a meghajtás néhány kapcsolás után bizonytalanul működött.

A javítás során a szerelő az adott tranzisztor adatlapjából kikeresett $\beta_{\min}$ értéket, a tekercsáramból meghatározta a szükséges bázisáramot, és megfelelő bázisellenállást épített be ($\beta_{\min} = 100$ és $k = 3$ mellett $I_B = 3 \cdot 250\,\text{mA}/100 = 7{,}5\,\text{mA}$, $R_B \approx (24 - 0{,}7)\,\text{V}/7{,}5\,\text{mA} \approx 3{,}1\,\text{k}\Omega$, a kerekített szabványos érték $2{,}7\,\text{k}\Omega$; szemléltető $\beta_{\min}$ **(ellenőrizendő: a tranzisztor adatlapja)**). A kollektoráramot a mágneskapcsoló tekercsével sorba kötötte, a védődiódát pedig a tekercscsel párhuzamosan úgy, hogy a katód a pozitív tápfeszültség felé essen. A próba után a tranzisztor hideg maradt, a PLC-kimenet terhelése pedig kb. 8–9 mA volt, jóval a 100 mA-es határ alatt.

Biztonsági korlát. Ipari vezérlőszekrényben a 24 V-os elektronika mellett gyakran 230/400 V-os hálózati feszültségű részek is vannak. Az ilyen munkát csak jogosult személy végezheti, feszültségmentesítés és a munkavégzési szabályok betartása mellett. A tanuló 230/400 V-os hálózaton önállóan ne gyakoroljon.

37.2.13. Tipikus hibák

1. hiba: a bázisellenállás elhagyása.
A PLC vagy mikrovezérlő kimenete 24 V vagy 5 V feszültségű, a nyitott bázis-emitter átmenet viszont csak kb. 0,7 V-ot enged. Elmaradó ellenállásnál a vezérlőáramot csak a kimenet belső ellenállása korlátozza, ami túlterhelést és tönkremenetelt okoz.

2. hiba: a védődióda elhagyása.
A relétekercs induktivitás. Amikor a tranzisztor lezár, a tekercs árama hirtelen meg akar szűnni, és a tekercsen a tápfeszültségnél jóval nagyobb feszültség indukálódik. Ez a tranzisztort átütheti. A tekercscel ellentétes irányú, párhuzamos dióda ezt a feszültséget levezeti.

3. hiba: a tranzisztort a részben vezető tartományban használják.
Ha a bázisáram túl kicsi, a tranzisztor nem telít, a kollektor-emitter feszültség nagy marad, és a tranzisztor melegszik. Ilyenkor a bázisellenállást kisebbre kell választani, vagy a bázisáramot más módon növelni.

4. hiba: MOSFET-nél a lebegő gate.
Ha a gate nem kap határozott lezáró feszültséget, a szigetelt kapu feszültsége zajtól, statikus feltöltődéstől változhat, és a MOSFET véletlenszerűen bekapcsolhat. A gate-re nagy ellenállású, néhány tíz kilohmos lezáró ellenállást kell tenni a source felé.

37.2.14. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy egy NPN tranzisztor telítéséhez a bázisáramot elegendő pontosan β-val kiszámolni, és a túlvezérlés felesleges?

2. Miért kell a relétekerccsel párhuzamosan diódát kötni a tranzisztoros meghajtásban?

3. Számítsa ki a bázisáramot, ha a bázisellenállás 1,5 kΩ, a vezérlőfeszültség 5 V, és $U_{BE} = 0{,}7\,\text{V}$!

4. Melyik alapkapcsolás ad fázisfordított kimeneti jelet?

5. Mi a különbség a bipoláris tranzisztor és a MOSFET vezérlése között?

37.2.15. Feladatok

1. feladat (A)
Nevezze meg a bipoláris tranzisztor három kivezetését, és írja fel a kollektoráram, bázisáram és emitteráram közötti áramegyenletet!

2. feladat (A)
Egy tranzisztor bázisárama 0,4 mA, kollektorárama 120 mA. Mekkora a β erősítési tényező?

3. feladat (B)
Méretezzen bázisellenállást NPN tranzisztoros relémeghajtáshoz!
Adott: $U_{vez} = 5\,\text{V}$, $U_{BE} = 0{,}7\,\text{V}$, reléáram 120 mA, $\beta_{\min} = 120$, túlvezérlési tényező $k = 4$.
Határozza meg a szükséges bázisáramot, az ellenállást, és válasszon E12-es szabványos értéket! Ellenőrizze a telítést!

4. feladat (B)
A kapcsolási rajzon az NPN tranzisztor kollektora a relétekercs alsó végére, emittere a negatív tápfeszültségre csatlakozik. A tekercscsel párhuzamos dióda katódja a pozitív tápfeszültséghez kapcsolódik. Mi történik az S1 vezérlőkapcsoló nyitásakor, és miért védi a dióda a tranzisztort?

5. feladat (C)
Egy szerelő a relétekercset közvetlenül a PLC 24 V-os kimenetére kötötte. A PLC-kimenet legfeljebb 100 mA-t bír, a relétekercs árama 250 mA. Mi a hiba? Rajzolja le szavakkal vagy kapcsolási vázlattal a helyes, tranzisztoros meghajtást!

6. feladat (D)
Egy NPN tranzisztoros relémeghajtásnál a tápfeszültség 24 V, a relétekercs ellenállása 400 Ω. A tranzisztor kollektor-emitter feszültségét megmérve bekapcsolt vezérlésnél 8 V-ot kapunk. A relé nem húz meg. Mi lehet a hiba? Milyen ellenőrző mérést végezne, és mi a várható jó érték?

37.2.16. Megoldások

37.2.16.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A β értéke gyártási szórással, hőmérséklettel és munkaponttal változik. A megbízható kapcsolóüzemhez a $\beta_{\min}$ értéket kell alapul venni, és a bázisáramot túlvezérléssel kell növelni.

2. A relétekercs induktív terhelés. Kikapcsoláskor az induktivitás a tranzisztorra veszélyes feszültséglöketet hoz létre. A párhuzamos védődióda ezt a feszültséget korlátozza, és a tekercsáramnak zárt kört ad, amelyben az lecseng.

3. $I_B = \frac{5\,\mathrm{V} - 0{,}7\,\mathrm{V}}{1500\,\Omega} \approx 2{,}87\,\mathrm{mA}$.

4. A közös emitteres kapcsolás ad fázisfordított jelet: ha a bázisfeszültség nő, a kollektorfeszültség csökken.

5. A bipoláris tranzisztor áramvezérelt: a bázisáram szabályozza a kollektoráramot. A MOSFET feszültségvezérelt: a gate-source feszültség nyitja vagy zárja a csatornát, a gate statikus árama gyakorlatilag nulla.

37.2.16.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A)
A három kivezetés: kollektor (C), bázis (B), emitter (E). Az áramegyenlet:

$$I_E = I_C + I_B$$

NPN tranzisztornál I_C a kollektorból az emitter felé, I_B a bázisból az emitter felé folyik.

2. feladat (A)
Adott: $I_C = 120\,\mathrm{mA}$, $I_B = 0{,}4\,\mathrm{mA}$.
A β erősítési tényező:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{120\,\mathrm{mA}}{0{,}4\,\mathrm{mA}} = 300$$

3. feladat (B)
Adott:
- $U_{vez} = 5\,\mathrm{V}$;
- $U_{BE} = 0{,}7\,\mathrm{V}$;
- $I_C = 120\,\mathrm{mA}$;
- $\beta_{\min} = 120$;
- $k = 4$.

Keresett: I_B és R_B.

Számítás:

$$I_{B,\min} = \frac{120\,\mathrm{mA}}{120} = 1\,\mathrm{mA}$$

$$I_B = 4 \cdot 1\,\mathrm{mA} = 4\,\mathrm{mA}$$

$$R_B = \frac{5\,\mathrm{V} - 0{,}7\,\mathrm{V}}{4\,\mathrm{mA}} = \frac{4{,}3\,\mathrm{V}}{0{,}004\,\mathrm{A}} = 1075\,\Omega$$

E12-es értékből az $1\,\mathrm{k}\Omega$ választása biztonságos. Ezzel:

$$I_B = \frac{4{,}3\,\mathrm{V}}{1000\,\Omega} = 4{,}3\,\mathrm{mA}$$

Ezzel a $\beta_{\min}$ mellett is garantáltan kapcsolható (telítésben tartható) legnagyobb kollektoráram:

$$I_{C,\max} = 120 \cdot 4{,}3\,\mathrm{mA} = 516\,\mathrm{mA}$$

Ez jelentősen nagyobb, mint a relé 120 mA-es árama, tehát a tranzisztor telítésbe kerül. ∎

4. feladat (B)
Amikor az S1 vezérlőkapcsoló nyit, a bázisáram megszűnik, ezért a tranzisztor lezár. A relétekercs áramának hirtelen megszakadását az induktivitás akadályozná, és a tekercsben a tápfeszültségnél nagyobb ellenfeszültség indukálódna. Ez a feszültség a tranzisztor kollektor-emitter irányban átütheti, vagy a kollektorfeszültséget veszélyes nagyságúra emelheti. A dióda kikapcsoláskor nyitóirányba kerül, mert a tekercs feszültsége a pozitív tápfeszültséghez képest ellentétes, és a tekercs árama a diódán át zárt körben folyik tovább, majd lecseng. Így a kollektorfeszültség legfeljebb a tápfeszültség + a dióda nyitófeszültsége, kb. $24\,\mathrm{V} + 0{,}7\,\mathrm{V} \approx 24{,}7\,\mathrm{V}$ lesz.

5. feladat (C)
A PLC-kimenet nem méretezett 250 mA-re, ezért a közvetlen bekötés túlterheli és tönkreteheti. Helyes megoldás, ha a PLC-kimenet csak a tranzisztor bázisát vezérli, a relétekercs pedig a tranzisztor kollektorával sorba kapcsolva a tápfeszültségre kerül. A báziskörbe megfelelő ellenállást kell méretezni, a relétekerccsel párhuzamosan pedig védődiódát kell kötni. Áramirányok: a tekercs felső vége a pozitív tápfeszültségre, az alsó vége a tranzisztor kollektorára, a tranzisztor emittere a negatív tápfeszültségre, a PLC-kimenet a bázisellenálláson át a bázisra csatlakozik.

6. feladat (D)
A tápfeszültség 24 V, a mért kollektor-emitter feszültség 8 V, ezért a relétekerccsel soros tranzisztor nem telít, hanem az aktív tartományban van. A hiba leggyakoribb oka a túl kicsi bázisáram, például rosszul méretezett vagy szakadt bázisellenállás, illetve hiányos vezérlőjel. Jól telített tranzisztornál a kollektor-emitter feszültségnek jóval kisebbnek, jellemzően $0{,}1 \ldots 0{,}3\,\mathrm{V}$ nagyságrendűnek kellene lennie. Ellenőrző mérésként meg kell mérni a bázisellenállást, a bázisáramot vagy a bázisoldali vezérlőfeszültséget, valamint a tranzisztor diódavizsgálatát. A jó mérési eredmény: a bázis-emitter nyitófeszültség kb. $0{,}6 \ldots 0{,}7\,\mathrm{V}$, a bekapcsolt tranzisztor kollektor-emitter feszültsége pedig közel telítési érték.

Számítás. Hibás állapotban a tekercsen $24 - 8 = 16\,\mathrm{V}$ esik, így $I_C = 16\,\mathrm{V}/400\,\Omega = 40\,\mathrm{mA}$ (a névleges $24\,\mathrm{V}/400\,\Omega = 60\,\mathrm{mA}$), a tranzisztor teljesítménye $P = 8\,\mathrm{V} \cdot 40\,\mathrm{mA} = 0{,}32\,\mathrm{W}$ – kis tokban jelentős melegedés; a relé a névleges feszültségének csak 67%-át kapja, ezért tipikusan nem húz meg **(ellenőrizendő: a relé adatlapja szerinti meghúzási feszültség)**. Jól telített állapotban $U_{CE} \approx 0{,}1 \ldots 0{,}3\,\mathrm{V}$, $I_C \approx 59 \ldots 60\,\mathrm{mA}$, $P_C \approx 0{,}2\,\mathrm{V} \cdot 60\,\mathrm{mA} = 12\,\mathrm{mW}$. A szükséges bázisáram $\beta_{\min} = 100$ és túlhajtási tényező $k = 3$ mellett $I_B = k \cdot I_C/\beta_{\min} = 3 \cdot 60\,\mathrm{mA}/100 = 1{,}8\,\mathrm{mA}$; a mért bázisáram ennél jóval kisebb lesz (pl. $0{,}4\,\mathrm{mA} \rightarrow I_C \approx 100 \cdot 0{,}4 = 40\,\mathrm{mA}$, aktív tartomány) – ez egyezik a számított 40 mA-rel.

37.2.17. Rövid összefoglaló

A bipoláris tranzisztor áramvezérelt félvezető eszköz: a bázisáram szabályozza a kollektoráramot. A nagyjelű erősítési tényező $\beta = I_C/I_B$, az emitteráram pedig $I_E = I_C + I_B$. Kapcsolóüzemben a tranzisztort lezárt és telített állapot között működtetjük. Telítéshez a bázisáramnak nagyobbnak kell lennie, mint $I_C/\beta_{\min}$, ezért túlvezérlést alkalmazunk. A bázisellenállást a vezérlőfeszültség és

a nyitott tranzisztor $U_{BE} \approx 0{,}7\,\mathrm{V}$ feszültsége közötti különbségből számítjuk úgy, hogy a kívánt bázisáramot megkapjuk.

A MOSFET feszültségvezérelt tranzisztor: a gate-source feszültség haladja meg a küszöbfeszültséget, a statikus kapuáram gyakorlatilag nulla, bekapcsolt állapotban a veszteséget $R_{DS,\mathrm{on}}$ határozza meg. Relémeghajtásnál a terhelést a tranzisztor alsó ágába kötik, és a tekercscsel párhuzamos védődiódát kell alkalmazni az induktív feszültséglöket ellen. A tranzisztoros meghajtás alapjait a későbbi érzékelős kapcsolások is használják.

37.3. Hő-, fény- és feszültségfüggő elemek és érzékelők

37.3.1. Motiváció: amikor a villamosnak látnia kell a hőt, a fényt és a túlfeszültséget

Egy vezérlőelektronika, egy motorvédő relé vagy egy intelligens kapcsolószekrény nem tud „nézelődni”: csak feszültséget és áramot ismer. Ahhoz, hogy a gép ne égjen le, hogy a lámpa este magától bekapcsoljon, vagy hogy egy zivatar ne tegye tönkre a napelemes invertert, olyan alkatrészek kellenek, amelyek a fizikai környezet hatására megváltoztatják az elektromos tulajdonságaikat. Ebben az alfejezetben a hő-, fény- és feszültségfüggő félvezetőkből készült érzékelőket és védelmi elemeket ismerjük meg, és megtanuljuk őket úgy bekötni, hogy a jelüket egy PLC-bemenet, egy mikrokontroller vagy egy kapcsolóáramkör közvetlenül értelmezni tudja.

37.3.2. Szemléletes kép: a motortekercs hőőre és az alkonykapcsoló

Képzelj el két mindennapi helyzetet. Az elsőben egy háromfázisú aszinkronmotor tekercsébe ágyazva egy apró érzékelő (PTC), amelynek kivezetései a kapocsdobozba futnak, figyeli a tekercs hőmérsékletét; ha a motor túlmelegszik, a PTC-t figyelő termisztoros motorvédő relé leold (bontja a mágneskapcsoló vezérlőkörét), és nem engedi leégni a szigetelést. A másodikban egy kültéri lámpa kapcsolószekrényében van egy kicsi, sötét lencséjű alkatrész: amikor lemegy a nap, ez az alkatrész érzékeli, hogy már nincs elég fény, és bekapcsolja a mágneskapcsolót. Előbbiben termisztor, utóbbiban fotóellenállás dolgozik. Mindkettő közös elve: a környezeti hatás átalakítása ellenállás-változássá, majd feszültségváltozássá.

37.3.3. Definíciók és szabályok: hő-, fény- és feszültségfüggő elemek

Ebben a részben három nagy családot tárgyalunk: a hőmérsékletfüggő termisztorokat, a fényérzékelőket és a feszültségfüggő varisztort.

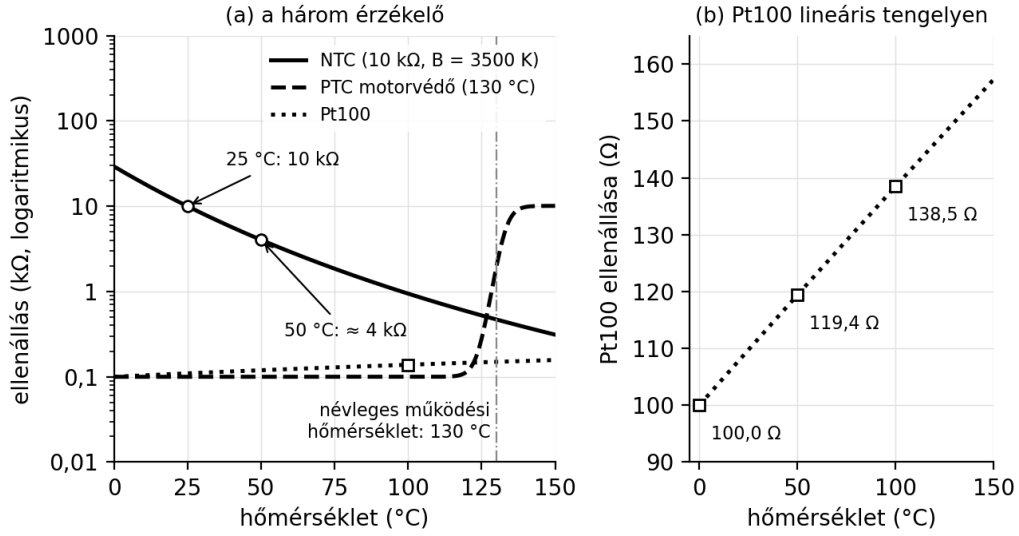
37.3.3.1. Termisztorok: NTC, PTC és Pt100

Definíció. A **termisztor** olyan félvezető-alapú hőmérséklet-érzékelő, amelynek ellenállása a hőmérséklet hatására nagymértékben, általában nemlineárisan változik.

- **NTC (Negative Temperature Coefficient)**: ellenállása a hőmérséklet növekedésével csökken. Jó hőmérsékletmérésre, bekapcsolási áramlökés korlátozására (pl. tápegységekben, frekvenciaváltók DC-körében), és egyszerű hővédelmi érzékelésre.
- **PTC (Positive Temperature Coefficient)**: ellenállása egy küszöbhőmérsékletig alig változik, majd hirtelen, több nagyságrenddel megnő. Motorvédelemre, önregeneráló túláramvédelemre és fűtőelemként is használatos.

- **Pt100**: nem termisztor, hanem platinaszálas vagy vékonyréteg-ellenállás, amely 0 °C-on pontosan 100 Ω ellenállású. Az iparban ez a leggyakoribb precíziós hőmérséklet-érzékelő, mert viselkedése szabványosított, lineáris és pontosan ismert.

Szabály. Minden termisztornál az első kérdés az üzemi hőmérséklet-tartomány és a tűrés. A Pt100-at akkor választjuk, ha a szabályozáshoz pontosan kell a hőmérséklet; az NTC-t akkor, ha olcsón, gyorsan kell nagyon érzékeny jelet; a PTC-t pedig akkor, ha éles küszöb kell, ami felett "kikapcsol" az áramkör.



37.6. ábra. Az NTC, a PTC és a Pt100 ellenállása a hőmérséklet függvényében: (a) logaritmikus ellenállástengelyen mindhárom érzékelő, (b) a Pt100 lineáris tengelyen ohmban

Az ábra számított jelleggörbéket mutat: az NTC (25 °C-on 10 kΩ, B = 3500 K) ellenállása 50 °C-on kb. 4 kΩ-ra csökken; a motorvédő PTC hidegen kb. 100 Ω, a névleges működési hőmérséklete (itt 130 °C) körül néhány fok alatt több kΩ-ra ugrik; a Pt100 0 °C-on 100 Ω, 50 °C-on 119,4 Ω, 100 °C-on 138,5 Ω. Az NTC és a PTC görbéje szemléltető, konkrét alkatrésznél a gyártói adatlap érvényes. A HTML-kiadásban a hőmérséklet csúszkával állítható, és az oldal mindhárom ellenállást, valamint az 5 V-os, 10 kΩ-os osztó kimenő feszültségét is kiírja.

37.3.3.2. Fényfüggő elemek: fotóellenállás és fototranzisztor

Definíció. A **fotóellenállás (LDR – Light Dependent Resistor)** olyan fényérzékeny ellenállás, amelynek ellenállása sötétben nagy (jellemzően több MΩ), erős megvilágításban kicsiny (akár néhány száz Ω). Anyaga általában kadmium-szulfid (CdS). Az LDR folytonos analóg jelet ad, amivel folytonos fényerőváltozást érzékelhetünk, például alkonykapcsolóban.

Definíció. A **fototranzisztor** olyan bipoláris tranzisztor, amelynek bázisát nem árammal, hanem fénnyel vezéreljük. Az optocsatoló vevő oldalán, fénysorompókban és inkrementális jeladókban használják, mert gyorsabban reagál, mint az LDR, de jellemzően "van fény / nincs fény" logikai jelet ad erősítéssel.

37.3.3.3. Varisztor, a feszültségfüggő ellenállás

Definíció. A **varisztor (VDR – Voltage Dependent Resistor)** olyan fém-oxid (többnyire cink-oxid) alapú, szimmetrikus félvezető ellenállás, amelynek ellenállása a kapocsfeszültség növe-

kedésével hirtelen lecsökken. A varisztor a túlfeszültség-védelem (SPD) alapvető építőköve: a védendő fogyasztóval párhuzamosan kötik, és amikor a feszültség meghaladja a varisztorra megadott küszöbértéket, a varisztor levezeti a túlfeszültség áramát, korlátozza a kapocsfeszültséget, majd a zavar elmúltával visszatér a nagy ellenállású állapotba.

Szabvány. A varisztoros túlfeszültség-védelmi készülékek kiválasztását és beépítését Magyarországon a túlfeszültség-védelemre vonatkozó szabványi környezet (pl. MSZ EN 62305 sorozat és az SPD-kre vonatkozó vizsgálati szabványok – MSZ EN 61643) és a hibavédelmi szabvány (MSZ HD 60364 sorozat) követelményei határozzák meg. A konkrét típusra, feszültségszintre és beépítési helyre vonatkozó paramétereket az aktuális gyártói adatlap és a mérnöki méretezés rögzíti. **(ellenőrizendő: az aktuális MSZ EN/HD kiadások pontos számai)**

37.3.4. Feszültségosztó, a leggyakoribb érzékelő-kapcsolás

Az NTC, PTC, Pt100 vagy LDR ellenállását nem közvetlenül mérjük a vezérlőben; a legtöbbször egy feszültségosztót építünk, és a kimenő feszültséget vezetjük egy analóg bemenetre (PLC, mikrokontroller).

Definíció. A **feszültségosztó** két vagy több sorba kapcsolt ellenállás, amelynek a középső pontján a bemeneti feszültség arányosan kisebb része jelenik meg. A legegyszerűbb, két ellenállásos osztónál:

$$U_{ki} = U_{be} \cdot \frac{R_{\text{alsó}}}{R_{\text{felső}} + R_{\text{alsó}}}$$

Ha a felső ellenállás az érzékelő, például NTC, akkor a kimenet a hőmérséklet növekedésével nő; ha az alsó ellenállás NTC, akkor a hőmérséklet növekedésével csökken (az alábbi rajz és a gyakorlati útmutató példája ez utóbbi). A gyakorlatban az alábbi kapcsolásban bemutatott módon egy fix ellenállással párosítjuk az érzékelőt.

37.7. ábra. NTC hőmérséklet-érzékelő feszültségosztó kapcsolásban - A feszültségosztó az NTC ellenállás-változását feszültségjellé alakítja. R1 a fix felső ellenállás (+5 V felől), R2 az alsó tag, az NTC termisztor. U_ki a két ellenállás közös pontja és a GND között mérhető.

Megjegyzés. A PTC, Pt100 és LDR ugyanilyen elven köthető. A Pt100-nál gyakran két-, három- vagy négyvezetékes mérést alkalmaznak, hogy a vezeték ellenállása ne hamisítsa meg a hőmérsékletet: kétvezetékes osztónál a hosszú vezeték ellenállása hozzáadódik a Pt100-hoz, ezért az ipari csatlakoztatásnál inkább 3- vagy 4-vezetékes mérőhíd vagy távadó használatos.

37.3.5. Kidolgozott példák: az érzékelőosztó kimenete

Számítás. NTC feszültségosztó kimenő feszültségének meghatározása.

Adott egy NTC termisztor, amelynek ellenállása 25 °C-on 10 kΩ, a fix ellenállás pedig 10 kΩ. A tápfeszültség 5 V. Keresett az osztó kimenő feszültsége 25 °C-on és 50 °C-on, ha az NTC ellenállása 50 °C-on 4 kΩ.

25 °C-on:

$$U_{ki,25} = 5\,\mathrm{V} \cdot \frac{R_{NTC}}{R_{fix} + R_{NTC}} = 5\,\mathrm{V} \cdot \frac{10\,\mathrm{k\Omega}}{10\,\mathrm{k\Omega} + 10\,\mathrm{k\Omega}} = 5\,\mathrm{V} \cdot 0{,}5 = 2{,}5\,\mathrm{V}.$$

50 °C-on:

$$U_{ki,50} = 5\,\mathrm{V} \cdot \frac{4\,\mathrm{k\Omega}}{10\,\mathrm{k\Omega} + 4\,\mathrm{k\Omega}} = 5\,\mathrm{V} \cdot \frac{4}{14} \approx 1{,}43\,\mathrm{V}.$$

Ellenőrzés. A kimenő feszültség a hőmérséklet növekedésével csökkent, ami NTC-nél helyes, mert az NTC ellenállása csökken. A kapott feszültség soha nem haladja meg az 5 V-ot, és sosem éri el a 0 V-ot, tehát a vezérlő analóg bemenetére biztonságosan köthető.

Számítás. LDR-es alkonyosztó kimenő feszültsége.

Adott egy LDR, amely nappali erős fénynél 1 kΩ, sötétben pedig 100 kΩ ellenállású. A feszültségosztóban az LDR az alsó tag, a felső fix ellenállás 10 kΩ, a tápfeszültség 12 V. Keresett a kimenő feszültség nappal és sötétben.

Nappal:

$$U_{ki,nappal} = 12\,\mathrm{V} \cdot \frac{1\,\mathrm{k\Omega}}{10\,\mathrm{k\Omega} + 1\,\mathrm{k\Omega}} = 12\,\mathrm{V} \cdot \frac{1}{11} \approx 1{,}09\,\mathrm{V}.$$

Sötétben:

$$U_{ki,\text{sötét}} = 12\,\mathrm{V} \cdot \frac{100\,\mathrm{k\Omega}}{10\,\mathrm{k\Omega} + 100\,\mathrm{k\Omega}} = 12\,\mathrm{V} \cdot \frac{100}{110} \approx 10{,}9\,\mathrm{V}.$$

Értelmezés. Ha egy PLC analóg bemenetét 0–10 V tartományra méretezték, ez a kapcsolás nem megfelelő, mert sötétben 10,9 V, ami túlvezérelné a bemenetet. Vagy 0–20 mA-es távadót, vagy más ellenállásarányt, vagy feszültségkorlátozást kellene választani. Ez a példa jól mutatja, hogy a szerelőnek mindig ismernie kell a fogadó bemenet engedélyezett tartományát.

37.3.6. A varisztor méretezése és biztonsági szerepe

Számítás. Varisztor névleges feszültségének kiválasztása hálózati csatlakozáshoz.

Adott egy 230 V effektív értékű, 50 Hz-es hálózat. A hálózati ciklikus feszültségingadozás 10 % lehet. Keresett az a minimális varisztorfeszültség, amely tartós üzemben még nem vezet.

A hálózati csúcsfeszültség:

$$U_{\text{csúcs}} = \sqrt{2} \cdot U_{eff} = 1{,}414 \cdot 230\,\mathrm{V} \approx 325\,\mathrm{V}.$$

A maximális tartós üzemi csúcsérték 10 % hálózati emelkedéssel:

$$U_{\text{csúcs},max} = 1{,}1 \cdot 325\,\mathrm{V} \approx 357{,}5\,\mathrm{V}.$$

A varisztor legnagyobb tartós AC üzemi feszültségének (U_c, effektív érték) meg kell haladnia a legnagyobb tartós hálózati feszültséget (230 V + 10% ≈ 253 V; jellemzően 275 V AC). Az 1 mA-es egyenáramú varisztorfeszültségnek pedig a hálózati csúcsérték (≈ 358 V) fölött kell lennie (jellemzően 430 V körül, 420–470 V). Az effektív U_c-t tehát az effektív, az egyenáramú varisztorfeszültséget a csúcsértékkel vetjük össze. **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**

Továbbvitt eredmény. A varisztor által levezetett túlfeszültség nemcsak az elektronikát, hanem a hálózati egyenirányítót, a tirisztort, IGBT-t és MOSFET-et is védi. Ezt a védelmi együttműködést az Erősáramú félvezetők: tirisztor, triac, IGBT, MOSFET alfejezetben fogjuk

látni: az erősáramú félvezető eszközök kiválasztásához mindig hozzátartozik az őket védő varisztor és NTC kiválasztása is.

37.3.7. Valós életbeli alkalmazás: túlmelegedés-védelem frekvenciaváltóban

Egy ipari frekvenciaváltó (VFD) egy 4 kW-os szellőzőmotort hajt. Nyári kánikulában a szekrény belső hőmérséklete megnövekszik. A VFD teljesítményelemei (diódahíd, DC-köri kondenzátor, IGBT) melegednek. A beépített NTC hőmérséklet-érzékelő folyamatosan méri a hűtőborda hőmérsékletét, és amikor az eléri a gyártó által megadott küszöbértéket, a VFD először csökkenti a kapcsolási frekvenciát és a kimenő teljesítményt, majd ha a hőmérséklet tovább nő, hibajelzést ad és lekapcsol. Az NTC jelét a vezérlőpanel feszültségosztóval dolgozza fel. Ugyanebben a VFD-ben a bemeneti kapcsokon egy hálózati varisztor és egy bekapcsolási áramlökést korlátozó NTC ül. A varisztor a hálózati túlfeszültséget fogja le, az NTC pedig a bekapcsoláskor feltöltődő kondenzátor áramlökését korlátozza. Ha a varisztor kiöregszik, a túlfeszültség tönkreteszi az IGBT-t; ha az NTC tönkremegy, a bekapcsolási áram veri szét a diódákat. A karbantartó villanyszerelő ezért nem elégszik meg azzal, hogy a VFD “hibát jelez”: a belső érzékelőket is ellenőrzi.

37.3.8. Gyakorlati útmutató: érzékelő bekötése egy PLC analóg bemenetére

Cél: NTC hőmérséklet-érzékelő feszültségosztóval történő bekötése, mérése és ellenőrzése.

Eszközök és anyagok: - NTC termisztor (pl. 10 kΩ, 25 °C) - 10 kΩ fémréteg fix ellenállás - 5 V stabilizált tápegység - multiméter, breadboard, PLC vagy mikrokontroller analóg bemenet - hőmérő, hőforrás (pl. kézmelegítő, kontrolláltan felmelegített víz)

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi, törpefeszültségű környezetre vonatkozik. A gyakorlatban azonban varisztoros, 230 V-os túlfeszültség-védelmet hálózati feszültségű munkavégzés keretében, feszültségmentesített állapotban kell beszerelni és bekötni; hálózati feszültségen önállóan ne végezz.

Az öt biztonsági szabály alkalmazása (230 V-os szerelésnél): 1. Hálózat lekapcsolása. 2. Visszakapcsolás elleni biztosítás. 3. Feszültségmentesség ellenőrzése a munkahelyen, minden pólus között (L–N, L–PE, N–PE), kétpólusú feszültségvizsgálóval (nem fázisceruzával, nem beépített kijelzővel), amelyet használat előtt és után ismert feszültségen kipróbálsz. 4. Földelés és rövidre zárás, ha szükséges. 5. Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.

Számozott lépések: 1. Építsd meg a fenti kapcsolási rajz szerinti feszültségosztót. 2. Helyezd el az NTC-t a mérendő közegben (pl. víz), és tedd mellé a referencia hőmérőt. 3. Kapcsold rá az 5 V-ot. 4. Mérd meg a kimenő feszültséget voltmérővel, miközben a hőmérsékletet fokozatosan változtatod. 5. Számítsd vissza az NTC ellenállását a mért feszültségből:

$$R_{NTC} = R_{fix} \cdot \frac{U_{ki}}{U_t - U_{ki}}$$

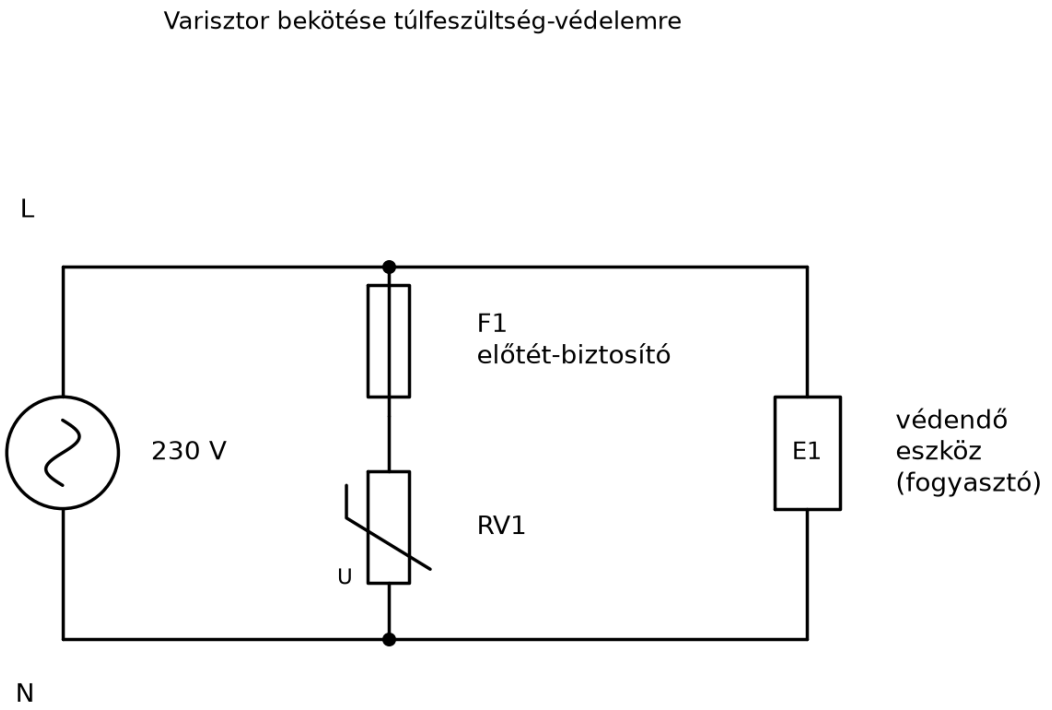
6. Hasonlítsd össze a visszaszámolt ellenállást a gyártói NTC-táblázattal. Az eltérés ne legyen nagyobb, mint a gyártói tűrés.
7. Dokumentáld a mért feszültségeket és hőmérsékleteket.

Ellenőrzési pontok: 25 °C-on (ha 10 kΩ-os NTC és 10 kΩ fix ellenállás van) a kimenet 2,5 V legyen. Melegítéskor a feszültség csökkenjen.

Tipikus hibák: - Az NTC-t és a fix ellenállást felcserélik; a kimeneti feszültség jellege megfordul. - Elfelejtik a fix ellenállást, és az NTC-t közvetlenül a tápegységre kötik: a kapcsain mindig a teljes tápfeszültség mérhető, a jel nem függ a hőmérséklettől (nincs osztó), és a megnőtt áram az NTC-t önmelegíti, ami a mérést is meghamisítja. - Hosszú vezetéken 2-vezetékes Pt100-at használnak: a vezeték ellenállása megemelkedik, és téves hőmérsékletet mérnek.

37.3.9. Varisztor bekötése túlfeszültség-védelemre

A varisztoros védelmet a fogyasztóval párhuzamosan, a fázis (L) és a nulla (N), illetve a fázis és a védővezető (PE) közé kötik. Az alábbi rajz a legegyszerűbb, egyfázisú hálózati elrendezést mutatja.



37.8. ábra. Varisztor bekötése túlfeszültség-védelemre - A varisztor (RV1) a védendő eszközzel (E1) párhuzamosan, a fázis (L) és a nullavezető (N) közé kerül, saját F1 előtét-biztosítóval (a beépített hőleválasztó a varisztortokban van). Túlfeszültség hatására vezetni kezd, levezeti a túlfeszültség áramát, és korlátozza a kapocsfeszültséget; ha a varisztor zárlatossá válik, F1 választja le, a védendő eszköz táplálása megmarad. A hálózati oldali alkalmazás szakképzett szerelőt igényel.

Figyelem. A varisztor nem regenerálódik korlátlanul. Minden levezetett túlfeszültség rontja az anyagát. Ha a varisztor túlzott túlfeszültséget kap, tönkremehet, sőt szélsőséges esetben felrobbanhat. Ezért a hálózati túlfeszültség-levezetőket mindig hőbiztosítékkal és megfelelő

rövidzárási védelemmel kell ellátni, és az épületvillamossági elosztóban a Túlfeszültség-védelmi eszközök (SPD): típusok és beépítés alfejezetben leírt koordináció szerint kell beépíteni.

37.3.10. Tipikus hibák

Hiba 1: Rossz PTC/NTC kiválasztása. A szerelő motorvédelemhez NTC-t használ PTC helyett, vagy fordítva. Az NTC folyamatosan csökkenő ellenállást ad, ami jó mérésre, de nem ad éles küszöböt a termisztoros motorvédő relének. A termisztoros védelem a hőkioldót (túlterhelésrelét) nem helyettesíti, hanem kiegészíti. A PTC ellenállása a küszöbhőmérsékleten hirtelen megugrik, ezért a leoldást pontosan jelzi. A kapcsolás nem működik, ha a két elemet felcserélik.

Hiba 2: A varisztor feszültségosztóként való felfogása. A varisztort a műszaki dokumentációban nem lehet úgy kezelni, mint egy egyszerű fix ellenállást. A hálózati feszültségen nyugalmi állapotban nagy ellenállású, de ha a kiválasztott feszültségszint túl alacsony, állandóan vezet, felmelegszik és tönkremegy. A varisztort a maximális hálózati feszültség fölé kell méretezni.

Hiba 3: Az analóg bemenet feszültségtartományának figyelmen kívül hagyása. A példában szereplő LDR-es osztó sötétben 10,9 V-ot ad, ami egy 0–10 V-os PLC-bemenetet tönkretehet. A szerelő megméri a kimenő feszültséget, de nem számol azzal, hogy a fényerő szélsőséges értékeinél az osztó túlvezérelheti a bemenetet.

37.3.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a Pt100 ellenállása 100 °C-on kisebb, mint 0 °C-on? Indokold!

2. Miért szükséges feszültségosztó egy NTC és egy PLC analóg bemenete közé?

3. Egy varisztor egy 230 V-os hálózati áramkörben párhuzamosan van kötve a fogyasztóval. Legalább mekkora legyen a varisztor megengedett feszültsége?

4. Mi a különbség az LDR és a fototranzisztor között?

5. Miért veszélyes túl alacsony feszültségű varisztort építeni hálózati körbe?

37.3.12. Feladatok

1. feladat (A). Írd le, mi a különbség az NTC és a PTC hőmérséklet-ellenállás jelleggörbéje között.

2. feladat (A). Nevezz meg két alkalmazást, ahol NTC-t használnak, és két alkalmazást, ahol PTC-t.

3. feladat (B). Egy NTC ellenállása 25 °C-on 47 kΩ, a fix ellenállás 100 kΩ, a tápfeszültség 24 V. Számold ki a kimenő feszültséget 25 °C-on, majd 80 °C-on, ha az NTC ellenállása 80 °C-on 5 kΩ.

4. feladat (B). Egy LDR-es alkonykapcsolóban a fix felső ellenállás 22 kΩ, a tápfeszültség 5 V. Az LDR alsó ellenállása nappal 2 kΩ, sötétben 500 kΩ. Mekkora a kimenő feszültség nappal és sötétben? Értelmezd a két értéket.

5. feladat (C). Egy ipari hűtőszekrényben Pt100 érzékelőt kétvezetékesen, 1 mA mérőárammal táplálunk; 0 °C-on 100 mV, 100 °C-on 138,5 mV jelenik meg. A PLC analóg bemenete 0 … 10 V. Miért nem köthető közvetlenül? Mit javasolsz?

6. feladat (D). Egy laborban megmérsz egy feszültségosztót: NTC alsó ellenállás, 10 kΩ fix felső, 5 V táp. Mért feszültség 2,3 V. Számítsd ki az NTC pillanatnyi ellenállását, és becsüld meg a hőmérsékletet, ha tudod, hogy az NTC 25 °C-on 10 kΩ és 60 °C-on 2 kΩ. Ellenőrizd a számítást, és írd le, hogyan ellenőriznéd a gyakorlatban.

37.3.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok: 1. Hamis: a fémek ellenállása hővel nő, tehát a Pt100 a 0 °C-os 100 Ω-ról növekszik; 100 °C-on jellemzően 138,5 Ω körül van. 2. A PLC analóg bemenete feszültséget mér, nem ellenállást; a feszültségosztó az érzékelő ellenállását feszültséggé alakítja. 3. U_c (effektív) $\geq 253\,\mathrm{V}$, jellemzően 275 V AC; az 1 mA-es egyenáramú varisztorfeszültség a kb. 358 V-os csúcsérték fölött, jellemzően $420 \ldots 470\,\mathrm{V}$ (ellenőrizendő: gyártói adatlap). 4. LDR folytonos, lassú; fototranzisztor gyors, logikai. 5. Mert a varisztor a normál hálózati feszültségen is vezetni kezd, tartós áramot vesz fel, felmelegszik, és végül tönkremegy vagy tüzet okozhat.

1. feladat megoldása. Az NTC ellenállása a hőmérséklet növekedésével csökken; a PTC ellenállása egy küszöbhőmérsékletig alig változik, majd hirtelen meredeken megnő.

2. feladat megoldása. NTC: hőmérsékletmérés; bekapcsolási áramlökések korlátozása tápegységekben vagy frekvenciaváltókban. PTC: motorvédelmi leoldás; önregeneráló túláram-biztosíték.

3. feladat megoldása.

25 °C-on:

$$U_{ki} = 24\,\mathrm{V} \cdot \frac{47\,\mathrm{k\Omega}}{100\,\mathrm{k\Omega} + 47\,\mathrm{k\Omega}} = 24\,\mathrm{V} \cdot \frac{47}{147} \approx 7{,}7\,\mathrm{V}.$$

80 °C-on:

$$U_{ki} = 24\,\mathrm{V} \cdot \frac{5\,\mathrm{k\Omega}}{100\,\mathrm{k\Omega} + 5\,\mathrm{k\Omega}} = 24\,\mathrm{V} \cdot \frac{5}{105} \approx 1{,}14\,\mathrm{V}.$$

Ellenőrzés: a feszültség csökken, ami NTC-nél helyes.

4. feladat megoldása.

Nappal:

$$U_{ki} = 5\,\mathrm{V} \cdot \frac{2\,\mathrm{k\Omega}}{22\,\mathrm{k\Omega} + 2\,\mathrm{k\Omega}} = 5\,\mathrm{V} \cdot \frac{2}{24} \approx 0{,}42\,\mathrm{V}.$$

Sötétben:

$$U_{ki} = 5\,\mathrm{V} \cdot \frac{500\,\mathrm{k\Omega}}{22\,\mathrm{k\Omega} + 500\,\mathrm{k\Omega}} = 5\,\mathrm{V} \cdot \frac{500}{522} \approx 4{,}79\,\mathrm{V}.$$

Nappal alacsony, sötétben magas feszültség jelenik meg; ez invertált jel, amit a PLC programjában figyelembe kell venni. A 0–5 V tartomány itt biztonságos, mert a maximum elvileg 5 V.

5. feladat megoldása. A jelváltozás $138{,}5 - 100 = 38{,}5\,\mathrm{mV}$, ami a 10 V-os bemeneti tartomány $38{,}5\,\mathrm{mV}/10\,\mathrm{V} \approx 0{,}4\%$-a: a PLC felbontása ehhez használhatatlanul durva, és a kétvezetékes bekötésnél a vezeték ellenállása is hibát ad. Javaslat: Pt100 mérőtávadó (3- vagy 4-vezetékes bekötéssel, kimenet $4 \ldots 20\,\mathrm{mA}$ vagy $0 \ldots 10\,\mathrm{V}$), a skálázást a PLC-ben végezzük **(ellenőrizendő: távadó és bemeneti kártya adatlapja)**.

6. feladat megoldása.

Képlet:

$$R_{NTC} = R_{fix} \cdot \frac{U_{ki}}{U_t - U_{ki}} = 10\,\text{k}\Omega \cdot \frac{2{,}3\,\text{V}}{5\,\text{V} - 2{,}3\,\text{V}} = 10\,\text{k}\Omega \cdot \frac{2{,}3}{2{,}7} \approx 8{,}52\,\text{k}\Omega.$$

Mivel az NTC ellenállása melegedéskor csökken, a 25 °C-on mért 10 kΩ-nál kisebb 8,52 kΩ a 25 °C-osnál valamivel **magasabb** hőmérsékletet jelent. A két adott pontból B-paraméteres közelítéssel: $B = \ln(10/2)/(1/298{,}15 - 1/333{,}15) \approx 4570\,\text{K}$, majd $1/T = 1/298{,}15\,\text{K} + \ln(8{,}52/10)/4570\,\text{K}$, ebből $T \approx 301\,\text{K} \approx 28\,^\circ\text{C}$ (pontosabban a gyártói R–T táblázatból; a lényeg: 25 °C fölött, kb. 27–29 °C). A gyakorlatban kalibráció: a mérőpontot ismert hőmérsékleten (pl. jég-víz 0 °C, forrásban lévő víz 100 °C) megmérjük, és a mért feszültséget a hőmérséklethez rendeljük.

37.3.14. Rövid összefoglaló

A hő-, fény- és feszültségfüggő elemek a félvezető-elektronika „érzékszervei”. Az NTC ellenállása a melegedéssel csökken, ezért hőmérsékletmérésre és bekapcsolási áramlökés korlátozására való; a PTC egy küszöb fölé érve hirtelen nagy ellenállású lesz, ezért motorvédelmi leoldásra és önregeneráló biztosítékként tökéletes. A Pt100 platinaszálas, szabványos ipari hőmérő. A fotóellenállást (LDR) a látható fény folytonos érzékelésére, a fototranzisztort gyors, digitális jellegű fénykapukban és optocsatolókban használjuk. A varisztor (VDR) feszültségfüggő ellenállás, amely a túlfeszültség levezetésére szolgál, ezért párhuzamosan kötik a védendő fogyasztóval. Mindegyik elem leggyakoribb bekötése a feszültségosztó, amelyben a kimenő feszültség a két ellenállás arányától függ: $U_{ki} = U_{be} \cdot \frac{R_{\text{alsó}}}{R_{\text{felső}} + R_{\text{alsó}}}$. Ha az érzékelő az alsó ellenállás, a kimenő feszültség az érzékelő ellenállásával együtt nő vagy csökken, de nem arányosan; a hőmérsékletet a PLC-ben táblázattal vagy képlettel kell visszaszámolni. A varisztor méretezésénél a legfontosabb, hogy legnagyobb tartós AC üzemi feszültsége (U_c, effektív) meghaladja a legnagyobb tartós hálózati effektív feszültséget, és az egyenáramú varisztorfeszültsége a hálózati csúcsérték fölött legyen, különben a varisztor normál üzem közben is vezetni kezd, felmelegszik és tönkremegy. Az Erősáramú félvezetők: tirisztor, triac, IGBT, MOSFET alfejezetben látni fogjuk, hogy ezek az elemek miként védik a tirisztort, triacot, IGBT-t és MOSFET-et: a varisztor a túlfeszültséget, az NTC a bekapcsolási áramlökést korlátozza, a PTC pedig a túlmelegedést gátolja. A gyakorlatban mindig ellenőrizni kell a csatlakoztatott vezérlő (PLC, mikrokontroller) analóg bemenetének megengedett feszültségtartományát, és a varisztoros, hálózati feszültségű munkát kizárólag feszültségmentesített állapotban szabad végezni.

37.4. Erősáramú félvezetők: tirisztor, triac, IGBT, MOSFET

37.4.1. Motiváció

A villamos hajtások és fogyasztók korszerű szabályozásában nem elég a mechanikus kapcsoló vagy a hagyományos mágneskapcsoló: a motor fordulatszámát fokozatmentesen kell változtatni, a fűtést zajtalanul kell szabályozni, vagy egy lámpa fényerejét kell finoman állítani. Egy 5,5 kW-os szellőzőmotornál vagy egy 2 kW-os izzószálnál nem használhatunk egyszerű ellenállásos fokozatkapcsolót, mert az óriási hőt termel, és nem szabályozható finoman. Az erősáramú félvezetők – a tirisztor, a triac, a MOSFET és az IGBT – elektronikus kapcsolóként másodpercenként akár ezerszer vagy százezerszer is képesek ki- és bekapcsolni a terhelést, miközben a vezérlésükhöz csak nagyon kis teljesítmény szükséges. Szerelőként ezeket az elemeket nem feltétlenül forrasztjuk,

hanem kész készülékekben – lágyindítóban, frekvenciaváltóban, fényerő-szabályozóban, szilárdtest-relében – találkozunk velük, és a bekötésükhöz, paraméterezésükhöz, valamint a hibakereséshez értenünk kell a működésüket.

37.4.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy hagyományos mágneskapcsolót: ha a tekercsére 24 V egyenfeszültséget adunk, a záróérintkezők mechanikusan összezáródnak, és a főáramkörben folyhat az áram. Ha a tekercs feszültségét megszüntetjük, a kapcsoló kinyit, és az áram megszakad. Az erősáramú félvezető kapcsoló ehhez hasonló, de nincs benne mozgó alkatrész: a kapcsolást a kristály belsejében lévő töltéshordozók vezérlik. A tirisztor olyan, mint egy reteszelő mágneskapcsoló, amely bekapcsolás után addig vezet, amíg a főáramkör áramát külsőleg meg nem szüntetik. A MOSFET és az IGBT ezzel szemben olyan, mint egy nagy frekvencián működő precíziós kapcsoló, amelynél a vezérlőelektródára (gate) adott feszültség határozza meg, hogy a főáramkör vezet-e.

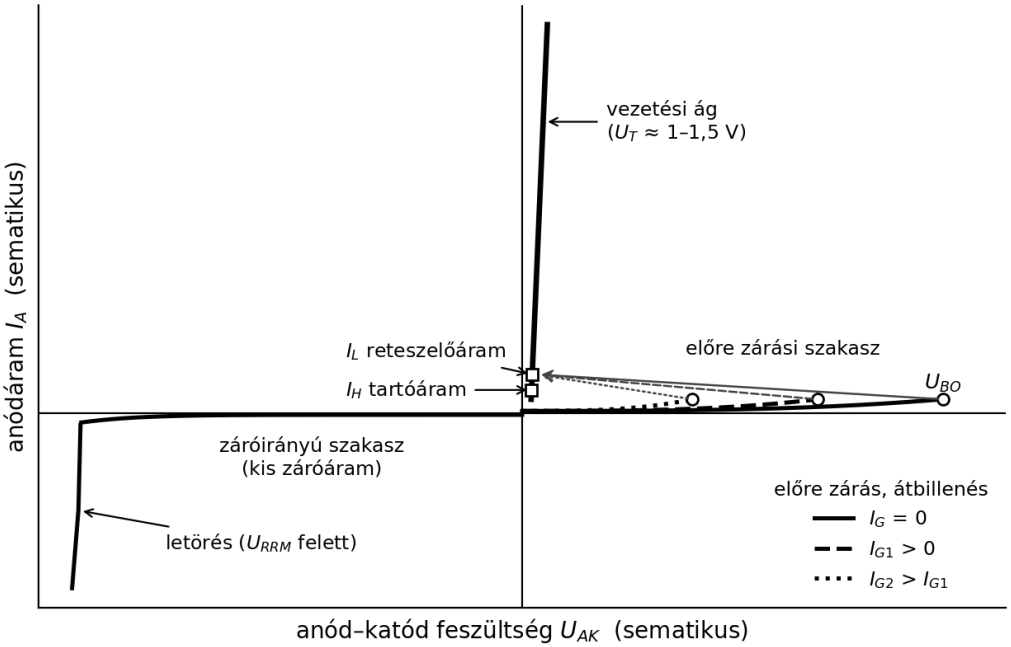
A leggyakoribb erősáramú félvezetők működését a következő szakaszok ábrái mutatják (a tirisztor jelleggörbéje és a triacos fényerő-szabályozó rajza), katalógusadataikat a „Jelleggörbék és katalógusadatok” szakasz foglalja össze: a tirisztor és a triac hálózati frekvencián (50 Hz) kapcsol, az IGBT és a MOSFET pedig nagyfrekvenciás, impulzusszélesség-modulált (PWM) jelekkel.

37.4.3. Erősáramú félvezetők alapfogalmai

37.4.3.1. Tirisztor (SCR) – működés, begyújtás, kioltás

A tirisztor (Silicon Controlled Rectifier, SCR) egy négyrétegű, p-n-p-n szerkezetű, három kivezetésű félvezető eszköz. Kivezetései: anód (A), katód (K) és vezérlőelektróda (gate, G). A tirisztor a hagyományos diódától abban különbözik, hogy pozitív anód-katód feszültségnél sem vezet mindaddig, amíg a gate-re pozitív gyújtóimpulzust nem adunk. A begyújtás után a tirisztor reteszelődik (bekapcsolt állapotban marad), és a gate-áram megszűnése után is addig vezet, amíg a főáram az anód és a katód között a tartóáram (holding current, I_H) alá nem csökken. Gyakran használt hasonlat: a tirisztor úgy viselkedik, mint egy ajtó, amelyet a gate kinyit, de amelyet csak a másik oldalról lehet bezárni – az áram megszüntetésével.

A tirisztor jelleggörbéje a következő ábrán látható: a pozitív anód-katód irányban a gate-impulzus előtt a tirisztor nagy impedanciával rendelkezik (nyitóirányú zárási, ún. előre zárási szakasz), a begyújtás után pedig a nyitóirányú karakterisztika meredeken zuhan, és nagyon kis feszültségeséssel vezet. A negatív irányban a tirisztor mindig zár, hacsak a feszültség a letörési feszültséget meg nem haladja (ezt az üzemi tartományban elkerüljük).



37.9. ábra. A tirisztor sematikus $I_A(U_{AK})$ jelleggörbéje: záróirányú szakasz letöréssel, előre zárási szakasz az átbillenési feszültségig ($I_G = 0$, illetve növekvő gate-árammal kisebb U_{BO}), vezetési ág I_H tartó- és I_L reteszelőárammal

Az ábra sematikus (nem katalógusadat): a harmadik síknegyedben a kis záróáram az U_{RRM} feletti letörésig; az első síknegyedben az előre zárási szakasz, amelyről a tirisztor az átbillenési feszültségnél (U_{BO}) a vezetési ágra ugrik – nagyobb gate-áramnál már kisebb anód–katód feszültségnél. A vezetési ágon kb. 1–1,5 V esik a tirisztoron, és az áram az I_H tartóáram alá csökkenve oltja ki. A HTML-kiadásban a gate-áram csúszkával állítható, és látszik, hogyan mozdul az átbillenési pont.

A tirisztor kioltása váltakozó áramú hálózatban a természetes kommutációval történik: amikor a feszültség félhulláma nullához közelít, a tirisztor árama a tartóáram (I_H) alá csökken, és ha a gate-re többé nem adunk impulzust a következő félhullámban, a tirisztor lezár. Egyenáramú körben a kioltáshoz külön oltókört kell alkalmazni (kényszerkommutáció), ami bonyolultabbá teszi az alkalmazást – ezért a tirisztort elsősorban hálózati frekvenciájú, váltakozó áramú áramkörökben használjuk.

Definíció. A tirisztor olyan háromkivezetésű, négyrétegű félvezető kapcsolóelem, amely pozitív anód-katód feszültségnél gate-impulzus hatására begyújtható, begyújtás után reteszelődik, és csak a főáram tartóáram alá csökkenésével oltható ki.

Szabály. A tirisztor begyújtásához a gate és a katód közé pozitív feszültségimpulzust kell adni, legalább a kapcsolási időre. A begyújtás feltétele a pozitív anód-katód feszültség és a megfelelő gate-áram.

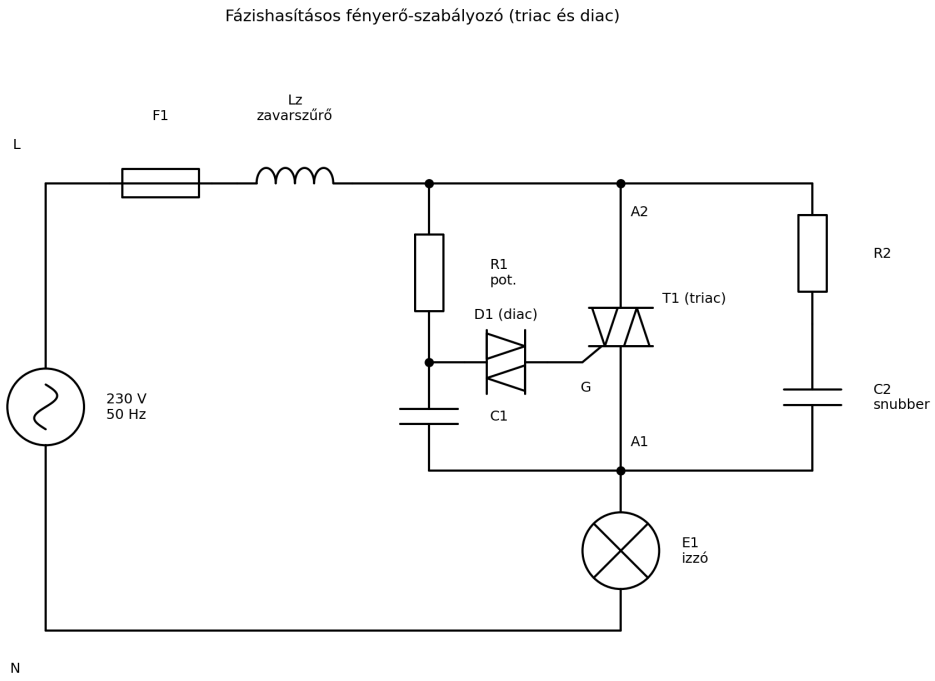
37.4.3.2. Triac – kétirányú tirisztor

A triac (TRIode for Alternating Current) két antipárhuzamosan kötött tirisztor egyetlen kristályban. Két főkivezetése az A1 (vagy MT1) és az A2 (vagy MT2), valamint a gate (G). A triac a váltakozó áram mindkét félhullámában képes begyújtható lenni, ezért az AC-szabályozások – például fényerő-szabályozó (dimmer), fűtésszabályozó, egyfázisú motorfordulatszám-szabályozó –

leggyakoribb eleme. A triac az A2 (MT2) és a gate polaritása szerint négy kvadránsban gyújtható. A négykvadránsos típusoknál a IV. kvadráns a legkevésbé érzékeny; a háromkvadránsos (snubber nélküli) típusok a IV. kvadránsban nem gyújthatók, ezért a vezérlést az I–II–III kvadránsra tervezzük **(ellenőrizendő: adatlap)**.

A triac alkalmazása a fázishasításos szabályozásban a legjellemzőbb. A fázishasításos fényerő-szabályozó működése: az RC-kör fáziskésleltetést hoz létre, és amikor a diac (kétirányú triggerdióda) átütési feszültségét eléri, a triac gate-jére gyújtóimpulzust ad. Az izzó fényerejét a begyújtási szög (α) határozza meg: minél később gyújtjuk be a triacot a félhullámban, annál kevesebb időn keresztül folyik áram, és annál kisebb az átlagos teljesítmény.

Az alábbi kapcsolási rajz egy egyszerű fázishasításos fényerő-szabályozót mutat. A potenciométer (R) és a kondenzátor (C) időállandót ad, a diac pedig a triac gate-jét vezérli.



37.10. ábra. Fázishasításos fényerő-szabályozó: L → F1 → Lz zavarszűrő → T1 triac (A2–A1) → E1 izzó → N; R1–C1 RC-tag a triaccal párhuzamosan, D1 diac az R1–C1 pontból a gate-re, R2–C2 snubber

A rajzon a triac a fázisvezetőben (L) van, az F1 biztosító és az izzó között, sorosan az izzóval; az izzó másik kivezetése a nullavezetőre (N) csatlakozik. A triac tehát nem az izzó és az N közé kerül: a kapcsolót (a szabályozó elemet) mindig a fázisvezetőbe kötjük. Az R1 potenciométer és a C1 kondenzátor soros RC-tagja a triac A2 és A1 kivezetése közé kerül; a C1 feszültsége a diacon (D1) át a triac gate-jére jut. Az R2–C2 soros tag a triacot védő snubber.

Megjegyzés. A rajzon T1 a triac, D1 a diac (kétirányú triggerdióda), `Lz` a zavarszűrő tekercs, az R2–C2 soros tag pedig a kapcsolási feszültségcsúcsokat csillapító snubber.

Szabály. A fázishasításos szabályozásnál a triacot a hálózati feszültség nullátmenetéhez képest szögben (α, 0°–180°) gyújtjuk. Az α növelésével a kimeneten megjelenő effektív feszültség csökken.

37.4.3.3. MOSFET és IGBT – nagyfrekvenciás teljesítménykapcsolók

A MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) olyan feszültségvezérelt, unipoláris tranzisztor, amelynél a gate és a source közé adott feszültség (U_{GS}) nyitja vagy zárja a csatornát a drain és a source között. Mivel a gate szinte ideális szigetelő, a MOSFET gate-árama közel nulla, a kapcsolási sebessége pedig nagyon nagy – akár több százezer kapcsolás másodpercenként. Az erősáramú MOSFET-eknek azonban a nagy feszültségeknél viszonylag nagy a bekapcsolási (csatorna) ellenállása, ami nagy áramoknál jelentős vezetési veszteséget okoz.

Az IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) egy hibrid elem: a vezérlése a MOSFET-hez hasonlóan feszültségvezérelt (gate-emitter, U_{GE}), a kimeneti része viszont bipoláris tranzisztorhoz hasonló kollektor-emitter áramúttal dolgozik. Az IGBT a MOSFET-hez képest nagyobb feszültségen és nagyobb áramon kapcsolható, és a vezetési feszültségesése telítéskor ($U_{CE(sat)}$) kisebb, viszont lassabb, mint a MOSFET. Ezért az IGBT a mai frekvenciaváltók, szünetmentes tápegységek és ipari inverterek alapvető kapcsolóeleme, a MOSFET pedig a gyors, kis és közepes teljesítményű tápegységekben, DC-DC átalakítókban és egyenáramú motorvezérlőkben gyakori.

Definíció. A MOSFET feszültségvezérelt, unipoláris félvezető kapcsoló, ahol a gate–source feszültség határozza meg a drain–source csatorna vezetését. Az IGBT feszültségvezérelt, bipoláris teljesítmény-félvezető, amely a MOSFET gyors vezérlését és a bipoláris tranzisztor nagy áramú kimenetét egyesíti.

37.4.4. Jelleggörbék és katalógusadatok

Az erősáramú félvezetők katalógusadatai a munkapont és a biztonságos üzem meghatározásához szükségesek. A főbb paraméterek:

- **Tirisztor:** U_{RRM} (ismétlődő záróirányú feszültség), U_{DRM} (ismétlődő nyitóirányú letiltási feszültség), $I_{T(RMS)}$ (megengedett effektív anódáram), I_{GT} (begyújtó gate-áram), V_{GT} (begyújtó gate-feszültség), I_H (tartóáram), t_q (kioltási idő).
- **Triac:** U_{DRM}/U_{RRM} (kétirányú letiltási feszültség), $I_{T(RMS)}$ (effektív áram), I_{GT}/kvadráns, dv/dt (kritikus feszültségmeredekség), di/dt (kritikus árammeredekség).
- **MOSFET:** U_{DSS} (drain-source letörési feszültség), I_D (drain-áram), $R_{DS(on)}$ (bekapcsolási ellenállás), $U_{GS(th)}$ (nyitási küszöbfeszültség), Q_G (teljes gate-töltés).
- **IGBT:** U_{CES} (kollektor-emitter letörési feszültség), I_C (kollektoráram), $U_{CE(sat)}$ (telítési feszültség), $U_{GE(th)}$ (nyitási küszöbfeszültség), Q_G (gate-töltés).

Szabály. A katalógusadatokat mindig az aktuális gyártói adatlapokból kell kiolvasni, és a tervezésnél a legrosszabb üzemállapotra (maximális feszültség, maximális áram, maximális melegedés) kell méretezni. A határértékek túllépése a félvezető azonnali tönkremeneteléhez vezet.

37.4.5. Veszteségek és hűtés

A félvezető kapcsolóban kétféle veszteség keletkezik:

1. **Vezetési veszteség (P_c):** az átfolyó áram és a nyitóirányú feszültségesés szorzata. MOSFET-nél $P_c = I_D^2 \cdot R_{DS(on)}$, IGBT-nél $P_c \approx I_C \cdot U_{CE(sat)}$.
2. **Kapcsolási veszteség (P_{sw}):** a be- és kikapcsolás során az áram és a feszültség együtt változik, ezért a kapcsolási energia (E_{on}, E_{off}) minden kapcsolásnál hővé alakul. A kapcsolási veszteség arányos a kapcsolási frekvenciával: $P_{sw} = (E_{on} + E_{off}) \cdot f_{sw}$.

A teljes veszteség: $P_{tot} = P_c + P_{sw}$. Az elem hatásos hűtését hűtőbordával és gyakran ventilátorral kell biztosítani. A hűtőborda méretezése a félvezető megengedett maximális réteghőmérséklete (jellemzően 150 °C a szilíciumnál, ellenőrizendő) és a környezeti hőmérséklet alapján történik. A gyakorlatban a hűtőborda méretét a gyártói diagramokból választjuk ki.

Szabály. Minden erősáramú félvezetőt a katalógusban megadott hőellenállás és maximális réteghőmérséklet figyelembevételével kell hűteni. A hűtőborda és a félvezető közé hővezető pasztát vagy szigetelő fóliát kell tenni, és a rögzítőcsavarokat az előírt nyomatékkal kell meghúzni.

37.4.6. Szabványi vonatkozások

Szabvány. A félvezetők katalógusadatai és vizsgálati módszerei a nemzetközi IEC (MSZ EN) 60747 sorozatba tartoznak, amely a félvezető eszközök általános követelményeit rögzíti (ellenőrizendő: pontos szám és hatályos kiadás). A frekvenciaváltókra a termékszabvány az MSZ EN 61800 sorozat (villamos biztonság: -5-1, EMC: -3), a lágyindítókra és félvezetős kontaktorokra (SSR) az MSZ EN 60947-4-2, illetve -4-3; a gépek villamos berendezéseire az MSZ EN 60204-1 vonatkozik. A felharmonikus-kibocsátás határértékei: MSZ EN 61000-3-2 (legfeljebb 16 A fázisáramú készülékek) és MSZ EN 61000-3-12 (16 A felett, 75 A-ig) (ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és alkalmazási tartomány).

37.4.7. Kidolgozott példák

1. példa (B) – Fázishasításos teljesítményszabályozás számítása.
Egy 230 V, 1 kW névleges teljesítményű izzószálas fűtőbetétet fázishasításos triackal szabályozunk. A begyújtási szög $\alpha = 45^\circ$. Becsüljük meg a kimeneti feszültség effektív értékét és a betét tényleges teljesítményét, ha a fűtőbetét ellenállása állandó!

Megoldás.
A fázishasításos, teljes hullámú szabályozásnál a kimeneti effektív feszültség ohmos terhelésnél pontosan:

$$U_{\text{out}} = U_{\text{in}} \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}.$$

Itt $U_{\text{in}} = 230\,\text{V}$ és $\alpha = 45^\circ = \pi/4$.
Behelyettesítve:

$$\frac{\alpha}{\pi} = \frac{45}{180} = 0{,}25, \quad \sin(2\alpha) = \sin(90^\circ) = 1.$$

$$U_{\text{out}} = 230\,\text{V} \cdot \sqrt{1 - 0{,}25 + \frac{1}{2\pi}} \approx 230\,\text{V} \cdot \sqrt{0{,}75 + 0{,}159} \approx 230\,\text{V} \cdot 0{,}9535 \approx 219{,}3\,\text{V}.$$

A betét ellenállása névlegesen: $R = U^2/P = 230^2/1000 \approx 52{,}9\,\Omega$.
A teljesítmény: $P_{\text{out}} = P_n \cdot (U_{\text{out}}/U_{\text{in}})^2 = 1000\,\text{W} \cdot 0{,}909 \approx 909\,\text{W}$.
(A valós érték kissé eltér: a triacon kb. 1 V esik, és az izzószál ellenállása a hőmérséklettel változik.)

2. példa (C) – IGBT teljesítményveszteség és hűtőborda.
Egy frekvenciaváltó kimeneti fokozatában egy IGBT félvezető $I_C = 40\,\text{A}$ áramot kapcsol,

$U_{CE(sat)} = 1{,}8\,\mathrm{V}$ telítési feszültséggel. A kapcsolási frekvencia $f_{sw} = 4\,\mathrm{kHz}$, a be- és kikapcsolási energia összege $E_{on} + E_{off} = 6\,\mathrm{mJ}$. A kitöltési tényező $D = 0{,}5$.
Számítsuk ki a vezetési, a kapcsolási és a teljes veszteséget, majd becsüljük meg a szükséges hűtőborda hőellenállását, ha a megengedett félvezető-réteghőmérséklet $T_j = 125\,^\circ\mathrm{C}$, a környezeti hőmérséklet $T_a = 40\,^\circ\mathrm{C}$, és a félvezető saját hőellenállása $R_{th(j-c)} = 0{,}4\,\mathrm{K/W}$!

Megoldás.
A vezetési veszteség a kitöltési tényezővel súlyozva:

$$P_c = I_C \cdot U_{CE(sat)} \cdot D = 40\,\mathrm{A} \cdot 1{,}8\,\mathrm{V} \cdot 0{,}5 = 36\,\mathrm{W}.$$

A kapcsolási veszteség:

$$P_{sw} = (E_{on} + E_{off}) \cdot f_{sw} = 6\,\mathrm{mJ} \cdot 4000\,\mathrm{Hz} = 24\,\mathrm{W}.$$

A teljes veszteség:

$$P_{tot} = 36\,\mathrm{W} + 24\,\mathrm{W} = 60\,\mathrm{W}.$$

A maximális hőmérséklet-különbség a réteg és a környezet között:

$$\Delta T = 125\,^\circ\mathrm{C} - 40\,^\circ\mathrm{C} = 85\,\mathrm{K}.$$

A teljes megengedett hőellenállás:

$$R_{th(total)} = \frac{\Delta T}{P_{tot}} = \frac{85}{60} \approx 1{,}42\,\mathrm{K/W}.$$

A hűtőborda és a félvezető közötti termikus ellenállás jellemzően 0,1–0,5 K/W (ellenőrizendő: gyártói adat). Tegyük fel, hogy a tok és a hűtőborda közötti hővezető réteg (paszta vagy szigetelőfólia) hőellenállása $R_{\mathrm{th(c\text{-}s)}} = 0{,}2\,\mathrm{K/W}$. Ekkor a hűtőborda maximális hőellenállása:

$$R_{th(sink)} = 1{,}42\,\mathrm{K/W} - 0{,}4\,\mathrm{K/W} - 0{,}2\,\mathrm{K/W} = 0{,}82\,\mathrm{K/W}.$$

Tehát olyan hűtőbordát kell választani, amelynek a hőellenállása legfeljebb 0,8 K/W.

37.4.8. Valós életbeli alkalmazás

Eset. Egy 7,5 kW-os háromfázisú szellőzőmotor közvetlen indításakor a védőkapcsoló időnként leoldott, és a mechanikus hajtás kardáncsuklója erősen kopott. A karbantartó villanyszerelő a direktkapcsolást egy háromfázisú lágyindítóra cserélte. A lágyindító minden fázisban két antipárhuzamos tirisztort tartalmazott, így a motor feszültségét a begyújtási szög fokozatos csökkentésével 0-ról a névleges értékre emelte. Az indítási áramlökés körülbelül a felére csökkent, a mechanikai rántás megszűnt, a hálózati feszültségletörés indításkor kisebb lett. Felfutás után az áthidaló mágneskapcsoló zár, a motor üzemi fogyasztása nem változott (a lágyindító nem energiatakarékossági eszköz, csak az indítást szelídíti). A szerelőnek a bekötés során figyelnie kellett a tirisztoros modul hűtőbordájára, a gyártó által előírt kábelezésre, valamint arra, hogy a vezérlőjelet vivő törpefeszültségű (például 24 V-os) jelkábelt ne vezesse a motor tápkábelével azonos kötegben, mert a felharmonikusok zavart okozhatnak a vezérlésben.

Tanulság. Az erősáramú félvezetős készülékek beüzemelésekor a készülék kapcsolási rajzát, a gyártói táp- és vezérlőkábel-ajánlást, valamint a szellőzést, hűtést mindig ellenőrizni kell, mert a tirisztoros/IGBT-s teljesítményfokozat melegedése és az elektromágneses zavarás sokkal jelentősebb, mint egy mágneskapcsolónál.

37.4.9. Tipikus hibák

1. **A tirisztort a gate-impulzus megszüntetésével akarják kikapcsolni.** A tirisztor reteszelődik; egyenáramú körben a gate-impulzus megszüntetése nem oltja ki, az áramot a főáramkörben kell a tartóáram alá csökkenteni. Váltakozó áramú körben ez a félhullám végén automatikusan megtörténik.
2. **A triac fényerő-szabályozót a nulla vezetőbe kötik.** A szabályozót mindig a fázisvezetőbe kell kötni, hogy a terhelés ne maradjon feszültség alatt kikapcsolt állapotban sem. A nulla felőli ki-be kapcsolás munkavédelmi szempontból tilos, és a szabályozó is hamis nullátmenetet érzékelhet.
3. **Az IGBT/MOSFET hűtőbordáját hővezető paszta nélkül szerelik fel.** A hőellenállás megnő, a félvezető túlmelegszik, és idő előtt tönkremegy. A hűtőborda felszerelésénél a gyártó által előírt nyomatékot és szigetelő alátétet kell használni.
4. **A MOSFET gate-jét hosszú, árnyékolatlan vezetékkel vezérlik.** A gate nagy bemeneti impedanciája miatt a kapcsolási zajok vagy statikus feltöltődés a gate-szigetelés átütését okozhatja. A gate-kört rövid, csavart érpárral vagy árnyékolt kábellel kell bekötni, és gyakran egy 10–100 Ω-os soros ellenállást kell beiktatni (ellenőrizendő: gyártói ajánlás).

37.4.10. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A tirisztor begyújtás után akkor is vezet, ha a gate-áramot megszüntetjük. Indokold!
2. Melyik két félvezető elem alkalmas váltakozó áramú fázishasításos szabályozásra, és mi a különbség a kapcsolási képességükben?
3. Egy MOSFET gate–source feszültsége $U_{GS} = 5\,\mathrm{V}$, a drain-áram $I_D = 10\,\mathrm{A}$, a csatorna ellenállása $R_{DS(on)} = 0{,}05\,\Omega$. Mennyi a vezetési veszteség?
4. Miért kell az IGBT-t nagyobb kapcsolási frekvenciánál jobban hűteni, mint ugyanakkora áramú, de kisebb frekvencián kapcsoló tirisztort?
5. Egy szilárdtestrelé (SSR) kimenetén a kikapcsolt állapotban is folyik néhány mA szivárgó áram. Ez melyik félvezető jellemzője, és miért lehet veszélyes?

37.4.11. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a tirisztor három kivezetését, és magyarázd el, mi a feltétele a begyújtásnak és a kioltásnak!

2. feladat (A). Mi a lényegi különbség a triac és a tirisztor között az áramvezetés irányát tekintve?

3. feladat (B). Egy fázishasításos fényerő-szabályozó $U_{\mathrm{in}} = 230\,\mathrm{V}$ hálózatról üzemel. A begyújtási szög $\alpha = 90^\circ$. Számítsd ki a terhelésen megjelenő effektív feszültséget a fenti képlettel, és hasonlítsd össze a teljes hullámú, $\alpha = 0^\circ$-os értékekkel!

4. feladat (B). Egy frekvenciaváltó IGBT fokozatában $I_C = 25\,\mathrm{A}$, $U_{CE(sat)} = 1{,}6\,\mathrm{V}$, a kitöltési tényező $D = 0{,}7$, a kapcsolási frekvencia $f_{sw} = 8\,\mathrm{kHz}$, a kapcsolási energia összege $E_{on} + E_{off} = 4\,\mathrm{mJ}$. Számítsd ki a vezetési, a kapcsolási és a teljes veszteséget!

5. feladat (C). Miért használnak egy modern, 90 kW-os ipari ventilátor fordulatszám-szabályozásához inkább IGBT-s frekvenciaváltót, mint tirisztoros fázishasításos szabályozót? Foglald össze a működési elv és a hálózati visszahatás szempontjából!

6. feladat (D). Egy villanyszerelő egy egyfázisú fűtőbetétet szilárdtestrelével (SSR) akar szabályozni. A relé kimenetén kikapcsolt állapotban 3 mA szivárgó áramot mér. A fűtőbetét 230 V, 500 W ($R \approx 106\ \Omega$). Számítsd ki a kikapcsolt állapotban a betéten disszipálódó szivárgási teljesítményt, és indokold, miért kell a szerelőnek leválasztó kapcsolót (szakaszolót, megszakítót) is beiktatnia a karbantartáshoz!

37.4.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igaz. A tirisztor reteszelődik, a gyújtás után a vezetést a főáram tartja fenn, a gate-áram megszűnése nem szakítja meg az áramot.
2. A tirisztor egyirányú, a triac kétirányú. A tirisztor egyirányú: a két félhullám szabályozásához két antipárhuzamosan kötött tirisztor kell; a triac egyetlen tokban mindkét irányban vezérelhető.
3. $P = I^2 R = 10^2 \cdot 0{,}05 = 5\,\mathrm{W}$.
4. Az IGBT-ben minden kapcsoláskor a kapcsolási energia hővé alakul. A kapcsolási veszteség a frekvenciával arányos: $P_{sw} = E_{sw} \cdot f$. A tirisztor csak 50 Hz-cel (vagy 100 Hz-cel) kapcsol, az IGBT pedig több kHz-cel, ezért utóbbinál a kapcsolási veszteség sokkal nagyobb.
5. A szilárdtestrelé kimenete rendszerint triac vagy tirisztor. A kikapcsolt állapotban a félvezető záróárama (szivárgó áram) néhány mA. Ez a terhelésen átfolyik, és hibavédelmi (régi szóval: érintésvédelmi) szempontból veszélyes lehet, mert a fogyasztó kapcsain zárlat nélkül is megjelenhet feszültség, ha a terhelést valaki a relé kimenete mögött megérinti.

Feladatok – válaszok

1. feladat. Anód (A), katód (K), gate (G). A begyújtás feltétele a pozitív anód-katód feszültség és a gate-re adott pozitív gyújtóimpulzus. A kioltás feltétele az anódáram tartóáram alá csökkenése.

2. feladat. A tirisztor csak pozitív anód-katód irányban vezet, a triac mindkét irányban, tehát a váltakozó áram mindkét félhullámában képes vezetni.

3. feladat.
$U_{\text{in}} = 230\,\mathrm{V}$, $\alpha = 90^\circ$.

$$U_{\text{out}} = 230 \cdot \sqrt{1 - \frac{90}{180} + \frac{\sin(180^\circ)}{2\pi}} = 230 \cdot \sqrt{1 - 0{,}5 + 0} = 230 \cdot \sqrt{0{,}5} \approx 162{,}6\,\mathrm{V}.$$

$\alpha = 0^\circ$-nál: $\sqrt{1 - 0 + 0} = 1$, tehát 230 V. A 90°-os begyújtásnál a terhelés effektív feszültsége a névleges 70,7%-a.

4. feladat.

$$P_c = I_C \cdot U_{CE(sat)} \cdot D = 25 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}7 = 28\,\mathrm{W}.$$

$$P_{sw} = 4\,\mathrm{mJ} \cdot 8000\,\mathrm{Hz} = 32\,\mathrm{W}.$$

$$P_{tot} = 28 + 32 = 60\,\mathrm{W}.$$

5. feladat.
A tirisztoros fázishasításos szabályozás a hálózati frekvencián (50 Hz) kapcsol, ezért a kimeneti feszültség hullámalakja erősen torz, sok alacsony frekvenciás felharmonikust termel, ami hálózati visszahatást, motorzúgást, rezgést és többletveszteséget okoz. A fázishasításos szabályozás ráadásul csak a feszültség csökkentésére alkalmas, a frekvencia állandó marad. Az IGBT-s frekvenciaváltó ezzel szemben a feszültséget és a frekvenciát együtt változtatja (U/f szabályozás), a kimeneti jel PWM-szinuszos, így a motor nyomatéka jobb, a hálózati felharmonikusok kisebbek, és a fordulatszám széles tartományban, folyamatosan szabályozható.

6. feladat.
A szivárgó áram: $I_s = 3\,\mathrm{mA} = 0{,}003\,\mathrm{A}$.
A betét szivárgási teljesítménye:

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{230^2}{500} \approx 105{,}8\,\Omega, \quad P_s = I_s^2 \cdot R = 0{,}003^2 \cdot 105{,}8 \approx 0{,}00095\,\mathrm{W} \approx 0{,}95\,\mathrm{mW}.$$

Ez a teljesítmény önmagában nem melegíti számottevően a betétet, viszont a kikapcsolt állapotban a betét kivezetésein megjelenő feszültség:

$$U_s = I_s \cdot R = 0{,}003 \cdot 105{,}8 \approx 0{,}32\,\mathrm{V}.$$

(Az SSR tényleges szivárgási teljesítménye ennél nagyobb is lehet, mert a triac záróárama feszültségfüggő.) A szivárgó áram miatt a fogyasztó kapcsai soha nem tekinthetők feszültségmentesnek: lekötött terhelésnél az SSR kimenete a szivárgóáram miatt közel a teljes hálózati feszültségre ($\approx$ 230 V a nullához képest) „feltöltődhet”, a félvezető nem biztosít galvanikus leválasztást, és zárlatosra is meghibásodhat. Ezért a karbantartáshoz a félvezető relé elé mindig be kell iktatni egy mechanikus leválasztó kapcsolót (szakaszolót, megszakítót), és csak annak lekapcsolása, visszakapcsolás elleni biztosítása és a feszültségmentesség ellenőrzése után szabad a fogyasztóhoz nyúlni.

37.4.13. Rövid összefoglaló

Az erősáramú félvezetők – a tirisztor, a triac, a MOSFET és az IGBT – a modern villamos hajtások és teljesítményszabályozók kapcsolóelemei. A tirisztor négyrétegű, reteszelő elem, amely pozitív anód-katód feszültségnél gate-impulzussal gyújtható, és a főáram tartóáram alá csökkenésével oltható ki. A triac két antipárhuzamos tirisztor egyetlen tokozásban, ezért a váltakozó áram mindkét félhullámában vezet. A fázishasításos szabályozás során a begyújtási szög (α) határozza meg a kimeneti effektív feszültséget; a fényerő-szabályozók és fűtésszabályozók alapelve ez. A MOSFET és az IGBT feszültségvezérelt, nagyfrekvenciás kapcsolók. A MOSFET gyors, kis ellenállású elem, az IGBT pedig nagy feszültségre és nagy áramra tervezett, a MOSFET vezérlését és a bipoláris tranzisztor kimenetét ötvözi. A kapcsolási veszteség a frekvenciával arányos, ezért a nagyfrekvenciás inverterek hűtése kritikus. A katalógusadatok – U_{RRM}, $U_{CE(sat)}$, $R_{DS(on)}$, I_{GT}, Q_G – a munkapont és a biztonságos üzem meghatározásához szükségesek. Ezt a tudást a következő, Egyenirányítók, szűrők, stabilizátorok, kapcsolóüzemű táp és PFC című alfejezetben használjuk fel, ahol a tápegységekben működő félvezető kapcsolásokat vizsgáljuk meg.

Továbbvitt eredmény. A tirisztor és a dióda működésének ismerete (begyújtás, tartóáram, kioltás) alapozza meg az Egyenirányítók, szűrők, stabilizátorok, kapcsolóüzemű táp és PFC alfejezetben az egyenirányító hidak és a kapcsolóüzemű tápegységek működésének megértését.

38 Tápegységek, analóg és digitális alapok

38.1. Egyenirányítók, szűrők, stabilizátorok, kapcsolóüzemű táp és PFC

38.1.1. Miért kell egy villanyszerelőnek ismernie a tápegységeket?

Egy LED-világítás driverét, egy telefon töltőjét vagy egy vezérlőszekrény 24 V-os tápegységét kinyitva ugyanazt a logikai láncot találjuk: a hálózati váltakozó feszültséget egyenirányítani kell, a lüktető egyenfeszültséget ki kell simítani, majd stabilizálni. Ha egy tápegység meghibásodik, a hiba sokszor az egyenirányító diódában, a pufferkondenzátorban vagy a kapcsolóüzemű fokozatban van. Az alfejezet célja, hogy a blokkvázlattól a kapcsolásokon át a méretezésig értse a tanuló, mi történik a készülékben, és hogyan lehet biztonságosan mérni, javítani.

38.1.2. A hálózati tápegység blokkvázlata

A klasszikus hálózati tápegység (lineáris táp) felépítése:

```
Hálózati  →  Transzformátor  →  Egyenirányító  →  Szűrő  →  Stabilizátor  →  Terhelés
230 V AC      (leválasztás,       (diódák)        (kondenzátor)  (lineáris vagy
               feszültségváltás)                                   kapcsolóüzemű)
```

A transzformátor a feszültség szintjét állítja be és galvanikusan leválasztja a hálózatot. Az egyenirányító a váltakozó feszültségből lüktető egyenfeszültséget állít elő, a szűrőkondenzátor ezt kisimítja, a stabilizátor pedig a terhelés és a hálózat változásai ellenére közel állandó kimeneti feszültséget tart. A kapcsolóüzemű tápegység ugyanezt a célt szolgálja, de a transzformátort nagyfrekvenciás kapcsolással és kisebb vasmaggal valósítja meg, ezért kisebb és jobb hatásfokú.

38.1.3. Egyenirányító kapcsolások

38.1.3.1. Egyutas (félhullámú) egyenirányító

Az egyutas kapcsolás egyetlen diódát tartalmaz a transzformátor szekunder tekercse és a terhelés között. A dióda csak a pozitív félperiódusban vezet, a negatívban lezár, így a kimeneten a szinuszjelnek csak a pozitív fele jelenik meg.

Az áramkört a következő kapcsolási rajz mutatja (T1 transzformátor, D1 dióda, C1 szűrőkondenzátor, R1 terhelés):

38.1. ábra. Egyutas egyenirányító szűrőkondenzátorral - A T1 transzformátor a 230 V-os hálózatot leválasztja és letranszformálja (a szekunder feszültség csúcsértéke a kidolgozott A) példában 24 V). A D1 dióda csak a pozitív félperiódusban vezet és tölti a C1 szűrőkondenzátort (2200 µF); a két töltés között C1 táplálja az R1 terhelést (az A) példában 1 A, kb. 19 Ω). A kondenzátor pozitív kivezetése a dióda katódja felőli oldalon van.

Definíció. Az egyutas egyenirányító olyan egyenirányító, amely a váltakozó feszültségnek csak az egyik félperiódusát engedi át, ezért a kimeneti áram mindig azonos irányú, de erősen lüktet. A kimeneti feszültség középértéke ohmos terhelésen, szűrőkondenzátor nélkül $U_{\mathrm{DC}} \approx \frac{U_{\mathrm{csúcs}}}{\pi}$ (szűrőkondenzátorral és kis terheléssel a kimenet közel $U_{\mathrm{csúcs}}$), ahol $U_{\mathrm{csúcs}}$ a szekunder feszültség csúcsértéke.

Előnye az egyszerűség, hátránya a rossz kihasználás és a nagy hullámosság. A transzformátor vasmagja egyenáramú előmágnesezést kaphat, ezért kisfeszültségű, kis áramú helyeken használjuk.

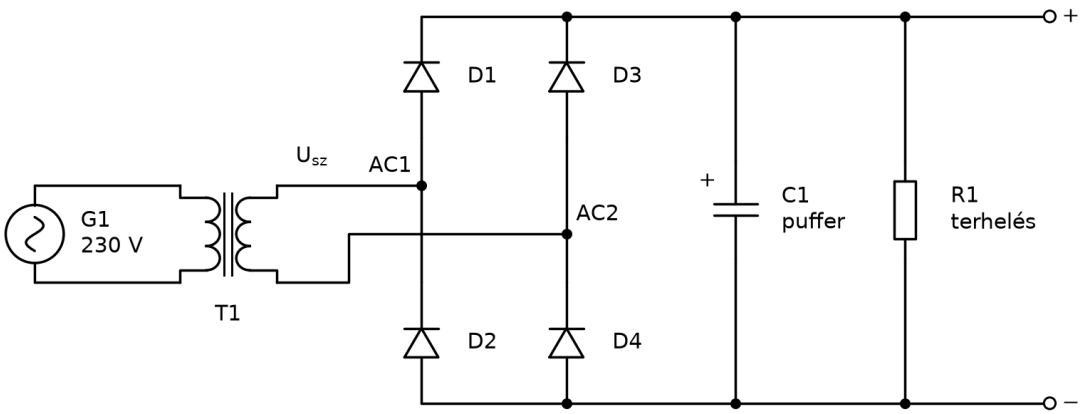
38.1.3.2. Kétutas (teljeshullámú) egyenirányítók

A teljeshullámú megoldás a szinusz mindkét félperiódusát kihasználja.

Középmegcsapolásos kétutas egyenirányító
A transzformátor szekunder tekercsének középmegcsapolása a közös ponthoz (0 V) csatlakozik, a két szélső kivezetésre egy-egy dióda kapcsolódik. A pozitív félperiódusban az egyik dióda vezet, a negatívban a másik, így a terhelésen mindig azonos irányú áram folyik.

Híd egyenirányító (Graetz-kapcsolás)
A négy diódából álló híd a leggyakoribb egyenirányító. A váltakozó feszültség a híd két szemközti pontjára csatlakozik, a kimenet a másik két pont. A pozitív félperiódusban két dióda vezet, a negatívban a másik kettő, így a terhelésen mindkét félperiódusban azonos irányú feszültség jelenik meg. A híd kimeneti csúcsfeszültsége közelítőleg $U_{\mathrm{csúcs}}$, a hullámossági alapharmonikus pedig kétszerese a hálózati frekvenciának (100 Hz).

A következő rajz a hidat a T1 transzformátorral, a C1 pufferkondenzátorral és az R1 terheléssel mutatja. A felső két dióda (D1, D3) katódja a + kimeneten, az alsó két dióda (D2, D4) anódja a − kimeneten találkozik; egy félperiódusban mindig egy átlós diódapár vezet (D1–D4, illetve D3–D2).



38.2. ábra. Híd egyenirányító (Graetz-kapcsolás) pufferkondenzátorral - Graetz-híd: ha AC1 a pozitívabb, D1 és D4 vezet; ha AC2, akkor D3 és D2. A + kimeneten D1 és D3 katódja, a − kimeneten D2 és D4 anódja találkozik, így az R1 terhelésen az áram iránya mindkét félperiódusban azonos. A C1 pufferkondenzátor + kivezetése a + kimenetre csatlakozik. Az AC2 vezeték pont nélküli keresztezése nem csatlakozás.

Definíció. A kétutas (teljeshullámú) egyenirányító az egyenirányítás során a váltakozó feszültség mindkét félperiódusát felhasználja. A kimeneti feszültség középértéke ohmos terhelésen, szűrőkondenzátor nélkül $U_{\mathrm{DC}} \approx \frac{2\,U_{\mathrm{csúcs}}}{\pi}$. Szűrőkondenzátorral és kis terheléssel a kimenet közel $U_{\mathrm{csúcs}}$ (lásd a Simítás szakaszt). A híd kapcsolás a négy dióda miatt nagyobb feszültségeséssel rendelkezik, de a transzformátor teljesítményét jobban kihasználja, mint a középmegcsapolásos változat.

38.1.3.3. Háromfázisú híd egyenirányító

Háromfázisú rendszerben hat diódát használó háromfázisú hidat alkalmaznak (B6 kapcsolás). A fázisfeszültségek közül mindig az a diódapár vezet, amely a legnagyobb vonali feszültségnek felel meg, így a kimeneti feszültség hullámossága sokkal kisebb, alapfrekvenciája 300 Hz ($6 \cdot 50$ Hz). A kimeneti középfeszültség közelítőleg $U_{\mathrm{DC}} \approx \frac{3\sqrt{3}}{\pi}\,U_{\mathrm{csúcs,fázis}} \approx 2{,}34\,U_{\mathrm{fázis,eff}}$ szinuszos táplálásnál. Ezt a kapcsolást ipari hajtások, frekvenciaváltók és nagyobb egyenáramú tápegységek bemenetén találjuk.

A háromfázisú híd előnye a kis hullámosság és a jó teljesítménytényező, hátránya a hat dióda és a bonyolultabb felépítés.

38.1.4. Simítás, hullámosság és szűrőkondenzátor

Az egyenirányító kimenete önmagában lüktet: az egyutasnál 50 Hz-es, a kétutasnál 100 Hz-es búgófeszültség jelenik meg. A terhelés számára általában simább egyenfeszültségre van szükség, ezért a kimenettel párhuzamosan szűrőkondenzátort kapcsolunk. A kondenzátor a diódák vezetési időszakában feltöltődik a csúcsfeszültségre, majd a diódák zárása után a terhelésen keresztül kisül.

Definíció. A hullámosság (búgófeszültség) a kimeneti feszültség váltakozó összetevője, amelyet csúcs-csúcs értékkel (ΔU) jellemzünk. Közelítő képlete terhelt kapcsolásban:

$$\Delta U \approx \frac{I_{\text{terhelés}}}{f_{\text{töltés}}\, C}$$

ahol $I_{\text{terhelés}}$ a terhelőáram, C a szűrőkondenzátor kapacitása, $f_{\text{töltés}}$ pedig a kondenzátor töltési frekvenciája (egyutasnál 50 Hz, hidas kétutasnál 100 Hz, háromfázisú hídnál 300 Hz).

A képletből látható: nagyobb terhelőáram vagy kisebb kapacitás növeli a hullámosságot. A szűrés akkor megfelelő, ha a hullámosság a terhelés által megengedett határon belül marad. A kimeneti középfeszültség jó közelítéssel:

$$U_{\text{DC}} \approx U_{\text{csúcs}} - \frac{\Delta U}{2}$$

Megjegyzés. A pontos hullámosság számításához figyelembe kell venni a diódák nyitóirányú feszültségesését (szilíciumdiódánál kb. 0,7 V, hídnál két dióda, tehát kb. 1,4 V) és a transzformátor belső ellenállását. A gyakorlatban a kondenzátor kapacitását úgy választjuk, hogy a hullámosság a kimeneti feszültség néhány százaléka legyen.

38.1.5. Lineáris stabilizátor

A szűrt egyenfeszültség még függ a hálózat ingadozásától és a terheléstől. A stabilizátor feladata, hogy a kimeneti feszültséget közel állandó értéken tartsa.

Definíció. A lineáris stabilizátor olyan feszültségstabilizáló áramkör, amely a bemeneti feszültség és a kimeneti feszültség különbségét egy soros szabályozóelemen (általában tranzisztoron) ejti le, és a kimeneti feszültséget visszacsatolással állandó értéken tartja. A bemeneti és kimeneti feszültség különbsége hővé alakul.

A legegyszerűbb lineáris stabilizátor egy Zener-dióda és egy soros ellenállás, de a gyakorlatban integrált áramköröket használunk: pl. a 78xx sorozat (pl. 7805, 7812) fix pozitív kimeneti feszültséget ad, a 79xx sorozat negatívat. Az IC tartalmazza a referenciafeszültséget, a hibajelerősítőt, a soros tranzisztort és a védelmeket (túláram, túlmelegedés).

Szabály. Lineáris stabilizátor használatakor a bemeneti feszültségnek legalább a kimeneti feszültségnél nagyobbnak kell lennie a katalógusban megadott minimális feszültségkülönbséggel (dropout feszültség). A disszipált teljesítmény:

$$P_{\text{veszteség}} = (U_{\text{be}} - U_{\text{ki}})\; I_{\text{ki}}$$

Ez melegedést okoz, ezért a stabilizátort megfelelő hűtőbordával kell ellátni. A hatásfok:

$$\eta = \frac{P_{\text{ki}}}{P_{\text{be}}} = \frac{U_{\text{ki}}\, I_{\text{ki}}}{U_{\text{be}}\, I_{\text{ki}}} = \frac{U_{\text{ki}}}{U_{\text{be}}}$$

ha a vezérlő áramfelvétele elhanyagolható. A lineáris stabilizátor hatásfoka annál rosszabb, minél nagyobb a bemeneti és kimeneti feszültség különbsége.

38.1.6. Kapcsolóüzemű tápegység (SMPS)

A lineáris stabilizátor hátránya a nagy veszteség. A kapcsolóüzemű tápegység (Switch Mode Power Supply, SMPS) a feszültség átalakítását nagyfrekvenciás kapcsolással, induktivitás vagy transzformátor energiájának periodikus felhalmozásával és leadásával végzi.

Definíció. A kapcsolóüzemű tápegység olyan egyenirányító–átalakító rendszer, amelyben egy kapcsolóelem (tranzisztor) nagy frekvencián (tipikusan 20 kHz–1 MHz) ki-be kapcsol, és a kimeneti feszültséget a kapcsolás kitöltési tényezőjének (PWM) szabályozásával állítja be. A nagyfrekvenciás üzem lehetővé teszi kis méretű induktivitás és transzformátor használatát, így a táp kisebb, könnyebb és jobb hatásfokú (jellemzően 80–95%).

A hálózati kapcsolóüzemű táp felépítése:

```
Hálózat → EMI szűrő → egyenirányító + pufferkondenzátor → nagyfrekvenciás
  230 V AC                                  (kb. 325 V DC)      kapcsolófokozat
        → transzformátor → kimeneti egyenirányító + szűrő → szabályozó visszacsatolás
```

A szabályozás a kimeneti feszültséget méri, és a kapcsoló tranzisztor bekapcsolási idejét változtatja (PWM). A fő kapcsoló topológiák:

- **Buck (feszültségcsökkentő, step-down):** csökkenti a feszültséget.
- **Boost (feszültségnövelő, step-up):** növeli a feszültséget.
- **Flyback:** galvanikusan leválasztott, transzformátoros topológia, a leggyakoribb kis teljesítményű hálózati tápegységben.
- **Forward:** szintén leválasztott, de a transzformátor közvetlenül adja át az energiát.

Összefüggés. A kapcsolóüzemű táp hatásfoka:

$$\eta = \frac{P_{\text{ki}}}{P_{\text{be}}}$$

ahol P_{ki} a kimeneti egyenáramú teljesítmény, P_{be} a hálózatból felvett hatásos teljesítmény. A veszteségek fő forrásai a kapcsolóelem kapcsolási vesztesége, a transzformátor és a diódák vesztesége.

Az SMPS előnye a kiváló hatásfok és a kis tömeg, hátránya a bonyolultság, az elektromágneses zavar (EMI) és a hálózati visszahatás, amit az aktív PFC oldhat meg.

Biztonsági korlát. A hálózati tápegység (SMPS) bontása és javítása hálózati feszültségű munka, ezért csak jogosult, arra képesített személy végezheti; a tanuló tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetben vagy oktató felügyeletével gyakorolhat. Bontás előtt alkalmazd az öt biztonsági szabályt: leválasztás a hálózatról, visszakapcsolás elleni biztosítás, a feszültségmentesség ellenőrzése, a szomszédos feszültség alatti részek lefedése (a földelés–rövidre zárás a készüléken belül nem értelmezhető, a helyette szükséges lépés a kisütés). **Figyelem.** A primer oldali pufferkondenzátor (kb. 325 V DC, aktív PFC-vel 380–400 V DC) a hálózat leválasztása után is veszélyes töltést tarthat: várd ki a gyártói kisütési időt, majd mérd meg a kondenzátor feszültségét (megfelelő CAT-kategóriájú műszer, megfelelő méréshatár); szükség esetén süsd ki megfelelő értékű és teljesítményű, szigetelt kisütő ellenálláson át (néhány kΩ), soha ne csavarhúzóval zárd rövidre. A primer oldal a hálózattal galvanikus kapcsolatban van: földelt oszcilloszkóppal csak leválasztó transzformátoron át vagy differenciálszondával mérj, különben a szonda földcsipesze zárlatot okozhat. **(ellenőrizendő: gyártói szervizutasítás)**

38.1.7. Teljesítménytényező és PFC

A hagyományos egyenirányító + pufferkondenzátor bemeneti fokozat csak a hálózati feszültség csúcsai közelében vesz fel áramot, ezért a hálózati áram nem szinuszos, hanem keskeny impulzusokból áll. Ez harmonikus áramokat okoz a hálózatban, rontja a teljesítménytényezőt, és a nulla- és fázisvezetőkben túlterhelést, a transzformátorokban melegedést okozhat.

Definíció. A teljesítménytényező (Power Factor, PF) a hatásos teljesítmény és a látszólagos teljesítmény hányadosa:

$$PF = \frac{P}{S}$$

Szinuszos feszültség és szinuszos áram esetén $PF = \cos\varphi$, ahol φ a fázisszög. Ha az áram nem szinuszos, akkor a PF kisebb lehet 1-nél a harmonikus torzítás miatt is:

$$PF = \frac{\cos\varphi}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

ahol THD_i az áram harmonikus torzítása. A hálózati egyenirányítós tápegységeknél $\cos\varphi \approx 1$, de a THD nagy, így a PF jellemzően 0,5–0,7.

Szabvány. Az elektronikus berendezések hálózati visszahatását az EMC szabványok korlátozzák. A hálózati áram harmonikus összetevőire vonatkozó határértékeket az MSZ EN 61000-3-2 szabvány írja elő ($\leq 16\,\mathrm{A}$ bemeneti áramú berendezésekre) **(ellenőrizendő: aktuális kiadás és határértékek)**. A nagyobb teljesítményű SMPS-ek ezért aktív teljesítménytényező-korrekciót (PFC) kapnak.

Definíció. Az aktív PFC egy olyan bemeneti fokozat, amely a hálózati áram felvételét úgy szabályozza, hogy az arányos legyen a hálózati feszültség pillanatértékével, így az áram szinuszos és fázisban van a feszültséggel. Ezáltal a teljesítménytényező közel 1 lesz, a harmonikus tartalom pedig a szabványos határ alá csökken.

Az aktív PFC gyakorlatban egy boost konvertert használ: a hálózati egyenirányító után egy induktivitás és egy kapcsoló tranzisztor áll, a szabályzó pedig a bemeneti áramot úgy alakítja, hogy az kövesse a hálózati feszültség alakját. A PFC a kimeneti pufferkondenzátor feszültségét a bemeneti csúcsfeszültség fölé emeli (jellemzően 380–400 V DC), így a következő DC-DC fokozat stabil tápfeszültséget kap.

Hálózati visszahatás. PFC nélküli SMPS-ek nagy csúcsáramú impulzusokat vesznek fel, ami feszültségtorzulást okozhat a hálózat belső impedanciáján. Ez zavarhatja a szomszédos berendezéseket, és a villamos hálózat üzemeltetőjének is problémát jelent. Az aktív PFC ezt a visszahatást minimalizálja.

38.1.8. Kidolgozott példák

Példa (A). Egyutas egyenirányító szűrőkondenzátorral. A transzformátor szekunder feszültségének csúcsértéke $U_{\text{csúcs}} = 24\,\mathrm{V}$, a terhelőáram $I = 1\,\mathrm{A}$, a szűrőkondenzátor $C = 2200\,\mu\mathrm{F}$, a töltési frekvencia $f = 50\,\mathrm{Hz}$.
Számítás. A hullámosság csúcs-csúcs értéke:

$$\Delta U = \frac{I}{fC} = \frac{1\,\mathrm{A}}{50\,\mathrm{Hz} \times 2200 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}} = \frac{1}{0{,}11} \approx 9{,}09\,\mathrm{V}$$

A kimeneti középfeszültség közelítőleg:

$$U_{\mathrm{DC}} \approx U_{\mathrm{csúcs}} - \frac{\Delta U}{2} = 24\,\mathrm{V} - \frac{9{,}09}{2}\,\mathrm{V} \approx 24 - 4{,}55 = 19{,}45\,\mathrm{V}$$

Figyelembe véve a dióda nyitóirányú feszültségesését (kb. 0,7 V), a tényleges kimenet kb. 18,7 V. **Ellenőrzés:** a hullámosság a kimeneti feszültség kb. 47 %-a (9,1 V/19,5 V), ami nagyon nagy; ilyenkor a $\Delta U \approx I/(fC)$ közelítés is csak durva becslés. A hullámosságot a kapacitás növelésével lehet csökkenteni (például $10\,000\,\mu$F-nál $\Delta U \approx 2\,\mathrm{V}$).

Példa (B). Hidas egyenirányító 230 V hálózatról. A hálózati csúcsfeszültség $U_{\mathrm{csúcs}} = 230\,\mathrm{V} \times \sqrt{2} \approx 325\,\mathrm{V}$. A szűrőkondenzátor $C = 470\,\mu\mathrm{F}$, a terhelőáram $I = 0{,}5\,\mathrm{A}$, a töltési frekvencia $f = 100\,\mathrm{Hz}$.
Számítás. A hullámosság:

$$\Delta U = \frac{0{,}5\,\mathrm{A}}{100\,\mathrm{Hz} \times 470 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}} = \frac{0{,}5}{0{,}047} \approx 10{,}64\,\mathrm{V}$$

A középfeszültség a diódák vesztesége nélkül:

$$U_{\mathrm{DC}} \approx 325\,\mathrm{V} - \frac{10{,}64}{2}\,\mathrm{V} \approx 319{,}7\,\mathrm{V}$$

A híd két diódáján eső kb. 1,4 V-ot levonva a kimenet kb. 318,3 V. **Ellenőrzés:** a hullámosság a kimeneti feszültség kb. 3 %-a, ami már elfogadható sok tápegység bemenetén.

Példa (C). Lineáris stabilizátor hatásfoka. Egy 7805-ös stabilizátor bemenete $U_{\mathrm{be}} = 12\,\mathrm{V}$, kimenete $U_{\mathrm{ki}} = 5\,\mathrm{V}$, terhelőárama $I = 1\,\mathrm{A}$.
Számítás. A veszteségi teljesítmény:

$$P_{\mathrm{veszteség}} = (12 - 5)\,\mathrm{V} \times 1\,\mathrm{A} = 7\,\mathrm{W}$$

A bemeneti teljesítmény:

$$P_{\mathrm{be}} = 12\,\mathrm{V} \times 1\,\mathrm{A} = 12\,\mathrm{W}$$

A hatásfok:

$$\eta = \frac{P_{\mathrm{ki}}}{P_{\mathrm{be}}} = \frac{5\,\mathrm{W}}{12\,\mathrm{W}} \approx 0{,}417 = 41{,}7\,\%$$

Ellenőrzés: a veszteség (7 W) jelentős, ezért a stabilizátor hűtőbordát igényel. Ha a bemenet közelítene a kimenethez (pl. 7 V), a hatásfok javulna: $5/7 \approx 71{,}4\,\%$.

Példa (D). Kapcsolóüzemű táp hatásfoka. Egy SMPS kimenete $U_{\mathrm{ki}} = 12\,\mathrm{V}$, $I_{\mathrm{ki}} = 5\,\mathrm{A}$, hatásfoka $\eta = 0{,}85$.
Számítás. A kimeneti teljesítmény:

$$P_{\mathrm{ki}} = 12\,\mathrm{V} \times 5\,\mathrm{A} = 60\,\mathrm{W}$$

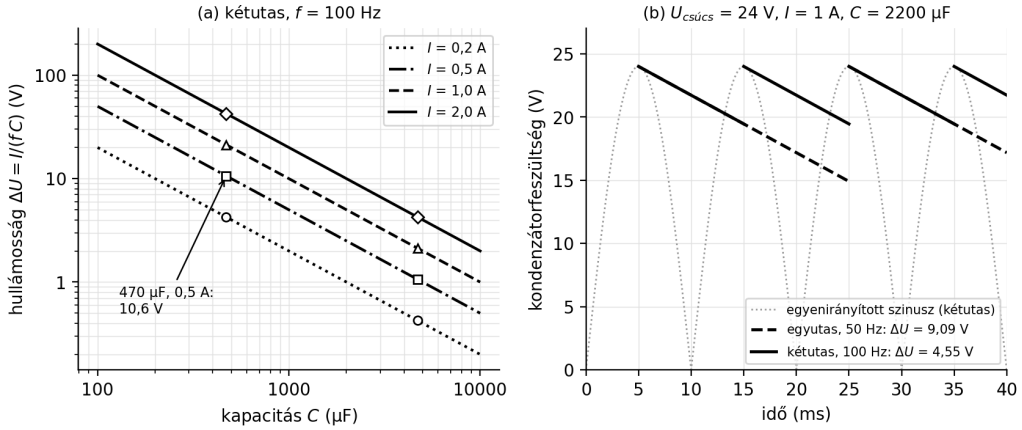
A bemeneti teljesítmény:

$$P_{\text{be}} = \frac{P_{\text{ki}}}{\eta} = \frac{60}{0{,}85} \approx 70{,}6\,\text{W}$$

A veszteség $70{,}6 - 60 = 10{,}6\,\text{W}$, ami jóval kisebb, mint egy lineáris stabilizátor ugyanilyen átalakításnál. **Ellenőrzés:** a hatásfok 85 % azt jelenti, hogy a felvett teljesítmény 15 %-a hővé alakul; ez a gyakorlatban jó érték, de a hűtésről itt is gondoskodni kell.

38.1.9. Ábra: a hullámosság és a szűrőkondenzátor kapcsolata

Az alábbi interaktív ábra segít megérteni a szűrőkondenzátor méretezését. Az ábra a kondenzátorfeszültséget mutatja az idő függvényében (fűrészfogas hullámosság az egyenirányított szinusz alatt, a közelítés $\Delta U \approx I/(f \cdot C)$). Az interaktív változatban a csúcsfeszültség, a terhelőáram, a kapacitás és a töltési frekvencia (50/100 Hz) állítható.



38.3. ábra. A szűrőkondenzátor hatása a hullámosságra

A statikus tartalék ábra leírása: a vízszintes tengelyen a kondenzátor kapacitása (µF), a függőleges tengelyen a hullámosság (V) látható; a görbék különböző terhelőáramokhoz tartoznak. A diagram a fenti képletből számolt, szemléltető értékeket mutat 100 Hz töltési frekvenciánál.

38.1.10. Valós életbeli alkalmazás

Egy ipari vezérlőszekrény 24 V-os tápegysége rendszeresen leállt. A karbantartó megmérte a kimeneti feszültséget: terhelés nélkül 24 V, terhelve viszont 12 V-ra esett, és a kimeneten erős búgás volt. A hibakeresés során kiderült, hogy a tápegység szűrőkondenzátora (pufferkondenzátor) elvesztette kapacitását – a kondenzátor kidudorodott, és a mért kapacitása a névleges töredéke volt. A kondenzátor cseréje után a feszültség stabil lett, a búgás megszűnt. A tanulság: a pufferkondenzátor öregedése fokozatosan növeli a hullámosságot és csökkenti a kimeneti feszültséget, ezért időszakos felülvizsgálatnál érdemes a kapacitást és az ESR-t ellenőrizni.

38.1.11. Tipikus hibák

1. **Polaritás tévesztés az elektrolitkondenzátornál.** Az elektrolitkondenzátor fordított bekötése robbanásszerű meghibásodáshoz vezethet. A pozitív lábat a magasabb potenciálra kell kötni.

2. **Túl kicsi szűrőkondenzátor választása.** Ha a hullámosság nagy, a terhelés (pl. erősítő, vezérlő) hibásan működhet, a stabilizátor bemeneti feszültsége a minimális érték alá eshet, és a kimeneten brumm jelenik meg.

3. **Lineáris stabilizátor hűtésének elhanyagolása.** A disszipált teljesítmény (U_be – U_ki) × I jelentős lehet; hűtőborda nélkül a stabilizátor túlmelegszik, és lekapcsol.

4. **PFC nélküli SMPS alkalmazása érzékeny hálózaton.** A nagy csúcstényezőjű áramfelvétel harmonikusokat kelt, amelyek zavarhatják a szomszédos készülékeket, és a hálózati előírásoknak sem felel meg.

5. **A pufferkondenzátor feszültségtűrésének alábecslése.** A hálózati egyenirányító után a csúcsfeszültség 325 V, ezért PFC nélküli tápban legalább 400 V névleges feszültségű kondenzátort kell használni, aktív PFC-s tápban (380–400 V DC busz) jellemzően 450 V-osat; cserénél mindig az eredetivel azonos vagy nagyobb névleges feszültségű típust válassz **(ellenőrizendő: gyártói szervizutasítás)**. A 250 V-os kondenzátor károsodik.

38.1.12. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a hidas egyenirányító kimeneti hullámossági alapharmonikusa 50 Hz? Indokolj!

2. Egy kétutas híd egyenirányító pufferkondenzátora 1000 µF, a terhelőáram 2 A. Közelítőleg mekkora a hullámosság csúcs-csúcs értéke?

3. Miért rosszabb a lineáris stabilizátor hatásfoka, ha a bemeneti feszültség sokkal nagyobb, mint a kimeneti?

4. Magyarázd meg egy mondatban, mit csinál az aktív PFC!

5. Mi a különbség a flyback és a buck topológia között?

6. Miért kell a pufferkondenzátort PFC nélküli, 230 V-os hálózati tápnál legalább 400 V-osra méretezni, és mekkora névleges feszültség kell aktív PFC-s tápban?

38.1.13. Feladatok

1. feladat (A). Egy egyutas egyenirányító terhelőárama 0,5 A, a szűrőkondenzátor 470 µF. Mennyi a hullámosság csúcs-csúcs értéke? A töltési frekvencia 50 Hz. Válaszd ki a helyes képletet, és számolj!

2. feladat (A). Rajzold le a híd egyenirányító kapcsolását, és jelöld a kimeneti polaritást!

3. feladat (B). Egy hálózati SMPS bemeneti pufferkondenzátora 330 µF, a terhelőáram 0,8 A, a híd egyenirányító töltési frekvenciája 100 Hz. Számítsd ki a hullámosságot és a kimeneti középfeszültséget a diódák feszültségesése nélkül, ha a hálózati csúcsfeszültség 325 V!

4. feladat (B). Egy 7812-es stabilizátor bemenete 18 V, kimenete 12 V, terhelőárama 0,8 A. Mekkora a disszipált teljesítmény és a hatásfok?

5. feladat (C). Egy kapcsolóüzemű tápegység kimeneti teljesítménye 90 W, hatásfoka 88 %. Mennyi a bemeneti teljesítmény és a veszteség? Ha a bemeneti feszültség 230 V és a teljesítménytényező PF = 0,65, mekkora a látszólagos teljesítmény és az effektív bemeneti áram? Miért fontos a PF javítása?

6. feladat (D). Egy LED-driver tápegység bemeneti fokozata híd egyenirányítóból és pufferkondenzátorból áll. A hálózati feszültség 230 V, 50 Hz. A terhelés 300 mA-t vesz fel 60 V DC mellett. A kapcsolóüzemű fokozat hatásfoka 90 %. Becsüld meg a bemeneti pufferkondenzátor minimális kapacitását, ha a hullámosság a 325 V-os csúcsfeszültség 10 %-ánál nem lehet nagyobb, és a LED áramának folytonosnak kell lennie! (Tételezz fel 100 Hz töltési frekvenciát, és hanyagold el a diódaveszteséget.)

38.1.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A hidas (kétutas) egyenirányító a hálózati feszültség mindkét félperiódusát egyenirányítja, ezért a búgófeszültség alapfrekvenciája a hálózati frekvencia kétszerese, 100 Hz.

2. $\Delta U = \frac{I}{fC} = \frac{2\,\mathrm{A}}{100\,\mathrm{Hz}\times 1000\cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}} = \frac{2}{0{,}1} = 20\,\mathrm{V}$.

3. Mert a bemeneti és kimeneti feszültség különbsége a soros tranzisztoron hővé alakul, tehát a veszteség $(U_{\mathrm{be}} - U_{\mathrm{ki}})I$, és minél nagyobb a különbség, annál több hő keletkezik.

4. Az aktív PFC a bemeneti áramot a hálózati feszültséggel arányos szinuszos alakra szabályozza, így a teljesítménytényező közel 1 lesz, a harmonikusok csökkennek.

5. A buck egy nem leválasztott, feszültségcsökkentő topológia; a flyback galvanikusan leválasztott, transzformátoros topológia, amely energiát tárol a vasmagban.

6. Mert a 230 V effektív hálózati feszültség csúcsértéke $230\sqrt{2} \approx 325\,\mathrm{V}$, és a kondenzátornak ezt a feszültséget plusz tartalékkal kell elviselnie, ezért PFC nélkül 400 V-os típus szükséges. Aktív PFC-vel a busz 380–400 V DC, ehhez tartalék nélkül a 400 V-os kondenzátor nem elég, ezért jellemzően 450 V-os típus kell **(ellenőrizendő: gyártói szervizutasítás)**.

1. feladat megoldása

Adott: $I = 0{,}5\,\mathrm{A}$, $C = 470\,\mu\mathrm{F}$, $f = 50\,\mathrm{Hz}$.
Keresett: ΔU.
Képlet: $\Delta U = \frac{I}{fC}$.
Behelyettesítés: $\Delta U = \frac{0{,}5}{50\times 470\cdot 10^{-6}} = \frac{0{,}5}{0{,}0235} \approx 21{,}3\,\mathrm{V}$.
Ellenőrzés: a hullámosság nagy, mert az egyutas kapcsolás lassan tölti a kondenzátort.

2. feladat megoldása

A helyes rajz a Kétutas egyenirányítók szakasz „Híd egyenirányító (Graetz-kapcsolás) pufferkondenzátorral” kapcsolási rajza; az alábbi betűjelek (AC1, AC2, D1–D4, +, −) azzal egyeznek, a kimeneti polaritást a rajz + és − kapcsa mutatja.

A híd (Graetz-kapcsolás) négy diódából áll; a két váltakozó áramú pontot AC1-gyel és AC2-vel jelöljük. A két váltakozó áramú pont közül mindkettőhöz egy dióda anódja (a + kimenet felé) és egy dióda katódja (a − kimenet felől) csatlakozik: AC1 → D1 anódja, D1 katódja → + kimenet; AC2 → D3 anódja, D3 katódja → + kimenet; a − kimenet → D2 anódja, D2 katódja → AC1; a − kimenet → D4 anódja, D4 katódja → AC2. A terhelés a + és a − kimenet közé kerül. A + kimeneten tehát két katód, a − kimeneten két anód találkozik. Ha AC1 pozitívabb, mint AC2, D1 és D4 vezet; ha AC2 a pozitív, D3 és D2 vezet. Mindkét félperiódusban a terhelésen az áram iránya ugyanaz, a pozitív pólus a katódok közös pontja.

3. feladat megoldása

Adott: $C = 330\,\mu\text{F}$, $I = 0{,}8\,\text{A}$, $f = 100\,\text{Hz}$, $U_{\text{csúcs}} = 325\,\text{V}$.
Keresett: ΔU, U_{DC}.
Képlet: $\Delta U = \frac{I}{fC}$, $U_{\text{DC}} \approx U_{\text{csúcs}} - \frac{\Delta U}{2}$.
Számítás:

$$\Delta U = \frac{0{,}8}{100 \times 330 \cdot 10^{-6}} = \frac{0{,}8}{0{,}033} \approx 24{,}2\,\text{V}$$

$$U_{\text{DC}} \approx 325 - \frac{24{,}2}{2} \approx 325 - 12{,}1 = 312{,}9\,\text{V}$$

Ellenőrzés: a hullámosság a csúcsfeszültség kb. 7 %-a, ami elfogadható, de a gyakorlatban a diódaveszteséget is le kell vonni.

4. feladat megoldása

Adott: $U_{\text{be}} = 18\,\text{V}$, $U_{\text{ki}} = 12\,\text{V}$, $I = 0{,}8\,\text{A}$.
Keresett: $P_{\text{veszteség}}$, η.
Számítás:

$$P_{\text{veszteség}} = (18 - 12)\,\text{V} \times 0{,}8\,\text{A} = 4{,}8\,\text{W}$$

$$P_{\text{be}} = 18\,\text{V} \times 0{,}8\,\text{A} = 14{,}4\,\text{W}$$

$$\eta = \frac{12\,\text{V} \times 0{,}8\,\text{A}}{14{,}4\,\text{W}} = \frac{9{,}6}{14{,}4} \approx 0{,}667 = 66{,}7\,\%$$

Ellenőrzés: a hatásfok 66,7 %, a veszteség 4,8 W, ami hűtőbordát igényel.

5. feladat megoldása

Adott: $P_{\text{ki}} = 90\,\text{W}$, $\eta = 0{,}88$, $U = 230\,\text{V}$, $PF = 0{,}65$.
Keresett: P_{be}, $P_{\text{veszteség}}$, S, I.
Számítás:

$$P_{\text{be}} = \frac{90}{0{,}88} \approx 102{,}3\,\text{W}$$

$$P_{\text{veszteség}} = 102{,}3 - 90 = 12{,}3\,\text{W}$$

A látszólagos teljesítmény:

$$S = \frac{P_{\text{be}}}{PF} = \frac{102{,}3}{0{,}65} \approx 157{,}4\,\text{VA}$$

Az effektív bemeneti áram:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{157{,}4}{230} \approx 0{,}684\,\text{A}$$

Ellenőrzés: ha a PF 1 lenne, az áram $102{,}3/230 = 0{,}445\,\text{A}$ lenne; a rossz PF miatt az áram nagyobb, ami a vezetékeket és a transzformátort jobban terheli. Ezért fontos a PFC.

6. feladat megoldása

Adott: $U_{\text{hálózat}} = 230\,\text{V}$, $f_{\text{töltés}} = 100\,\text{Hz}$, a LED oldali teljesítmény $P_{\text{LED}} = 60\,\text{V} \times 0{,}3\,\text{A} = 18\,\text{W}$, a kapcsolóüzemű fokozat hatásfoka $\eta = 0{,}9$.
Keresett: a bemeneti pufferkondenzátor minimális kapacitása, ha a hullámosság $\Delta U \leq 0{,}1 \times 325\,\text{V} = 32{,}5\,\text{V}$.
Számítás: A bemeneti egyenáramú teljesítmény a kapcsolóüzemű fokozat bemenete: $P_{\text{DC}} = P_{\text{LED}}/\eta = 18/0{,}9 = 20\,\text{W}$. A bemeneti egyenfeszültség közelítőleg $U_{\text{DC}} \approx 325\,\text{V}$, tehát a bemeneti áram $I_{\text{DC}} = P_{\text{DC}}/U_{\text{DC}} = 20/325 \approx 0{,}0615\,\text{A}$.
A hullámosság képlete: $\Delta U = \frac{I_{\text{DC}}}{fC}$. Ebből:

$$C = \frac{I_{\text{DC}}}{f\,\Delta U_{\max}} = \frac{0{,}0615}{100 \times 32{,}5} \approx \frac{0{,}0615}{3250} \approx 1{,}89 \cdot 10^{-5}\,\text{F} = 18{,}9\,\mu\text{F}$$

A gyakorlatban ennél jóval nagyobb kapacitást (pl. 100–220 µF) választanak, hogy a hullámosság kisebb, a táp stabilabb legyen, és a bekapcsolási áramlökést is kezelni tudja. **Ellenőrzés:** a számított érték minimális elméleti kapacitás; a valóságban a diódák vesztesége, a hálózati ingadozás és a csúcstényező miatt nagyobb tartalék szükséges.

38.1.15. Rövid összefoglaló

A hálózati tápegység blokkvázlata: transzformátor (opcionális), egyenirányító, szűrő, stabilizátor. Az egyutas egyenirányító csak az egyik félperiódust használja, a kétutas (híd) mindkettőt, a háromfázisú híd pedig hat diódával kis hullámosságú egyenfeszültséget ad. A szűrőkondenzátor a hullámosságot csökkenti: $\Delta U \approx I/(fC)$, ahol f a töltési frekvencia (50, 100 vagy 300 Hz). A lineáris stabilizátor a felesleges feszültséget hővé alakítja, hatásfoka $U_{\text{ki}}/U_{\text{be}}$; a kapcsolóüzemű tápegység nagyfrekvenciás kapcsolással 80–95 % hatásfokot ér el. A hálózati egyenirányítós bemenetek rossz teljesítménytényezővel és nagy harmonikus árammal rendelkeznek; az aktív PFC ezt a bemeneti áram szinuszos alakra szabályozásával javítja. A biztonságos méréshez mindig tartsuk be az öt biztonsági szabályt, különösen a pufferkondenzátor feszültségének ellenőrzésekor.

Továbbvitt eredmény. A szűrőkondenzátor méretezési képlete, a híd egyenirányító kimeneti feszültsége és a kapcsolóüzemű táp blokkvázlata közvetlenül használatos; az RC-szűrés és a hullámosság fogalma az Erősítők, műveleti erősítő és szűrők alfejezetben folytatódik.

38.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezetben használt hullámossági képlet, a kimeneti középfeszültség közelítései és a hatásfokszámítások a klasszikus elektronikai alapokból következnek. A kapcsolóüzemű tápegységek topológiái és az aktív PFC működése a gyártói alkalmazási jegyzetek és a tankönyvi irodalom szerint került bemutatásra. A hálózati harmonikus határértékekre vonatkozó MSZ EN 61000-3-2 szabvány pontos követelményeit és a 78xx stabilizátorok adatait a hatályos kiadás és a gyártói adatlapok alapján kell ellenőrizni **(ellenőrizendő: szabványkiadás, határértékek, IC paraméterek)**. Az interaktív ábra a fenti képletből számolt, szemléltető jellegű.

38.2. Erősítők, műveleti erősítő és szűrők

38.2.1. Motiváció

A gyakorló villanyszerelő gyakran találkozik olyan jellel, amely túl kicsi ahhoz, hogy közvetlenül egy relét, PLC-analóg bemenetet vagy kijelzőt vezéreljen. Például egy ellenállás-híd, egy termoelem vagy egy áramérzékelő sönt kimenete néhány millivolt vagy tizedvolt. Ugyanakkor a mérési környezetben zavarok, motorkapcsolások, frekvenciaváltók kapcsolási tranziensei vannak. Ilyenkor egy erősítő fokozza a hasznos jelet, egy szűrő pedig eltávolítja a zavaró frekvenciákat. Ez az alfejezet a leggyakrabban használt analóg építőköveket, a műveleti erősítőt és az RC-szűrőket tanítja meg.

38.2.2. Szemléletes kép

Képzeljük el: egy 0–10 V-os analóg bemenetű PLC-re egy nyomásérzékelő 0–100 mV-ot ad. Ha közvetlenül kötjük, a teljes mérési tartománynak csak 1%-át használjuk, és a zaj elmossa a jelet. A megoldás: egy nem invertáló erősítő, amely 100-szorosára erősíti a jelet, és egy aluláteresztő szűrő, amely levágja a 100 Hz fölötti zavarokat. Ebben az alfejezetben az erősítőt és a szűrőt kapcsoljuk össze.

38.2.3. Erősítés, decibel és frekvenciamenet

Definíció. A feszültségerősítés A_u a kimeneti feszültség és a bemeneti feszültség hányadosa: $A_u = U_{ki}/U_{be}$. Az áramerősítés $A_i = I_{ki}/I_{be}$, a teljesítményerősítés $A_p = P_{ki}/P_{be}$. (Itt U_{ki} és U_{be} rendszerint effektív vagy egyenfeszültség.)

Összefüggés. Decibelben kifejezve a feszültségerősítés: $A_{u,\mathrm{dB}} = 20\log_{10}|A_u|$. Teljesítményerősítés: $A_{p,\mathrm{dB}} = 10\log_{10} A_p$.

Példa. $A_u = 100$ esetén $20\log_{10} 100 = 40\,\mathrm{dB}$; $A_u = 0{,}1$ esetén $20\log_{10} 0{,}1 = -20\,\mathrm{dB}$.

A decibel azért hasznos, mert a nagy erősítéseket kompakt számokkal adja meg és szorzásból összeadást csinál: ha két fokozat erősítése 10 dB és 20 dB, az eredő 30 dB.

Frekvenciamenet. A valódi erősítő erősítése frekvenciafüggő. A frekvenciamenet az $A_u(f)$ függvény, gyakran Bode-diagramon ábrázolva: vízszintes tengely a frekvencia logaritmikus léptékben, függőleges a $20\log_{10}|A_u|$. Azt a frekvenciát, ahol az erősítés a középfrekvenciás értékhez képest $-3\,\mathrm{dB}$-t esik (azaz $1/\sqrt{2}$-szeresére csökken), vágási vagy törésponti frekvenciának nevezzük. Itt a kimeneti teljesítmény feleződik.

38.2.4. A műveleti erősítő alapelve

A műveleti erősítő (op-amp) egy nagy erősítésű, differenciális bemenetű, egyenfeszültséggel erősítő integrált áramkör. Ideális modellje: végtelen nyitott hurkú erősítés, végtelen bemeneti ellenállás, nulla kimeneti ellenállás, és a bemenetek nem vesznek fel áramot. A visszacsatolással (negatív visszacsatolás) az erősítést stabil, az ellenállások arányából meghatározott értékre állítjuk.

Törvény. Ideális műveleti erősítőnél negatív visszacsatolás mellett a két bemenet feszültsége egyenlővé válik („virtuális rövidzár”); az invertáló bemenetnél, ha a nem invertáló bemenet földre van kötve, a bemeneti pont „virtuális föld”, azaz a feszültsége 0 V, de nem folyik bele áram.

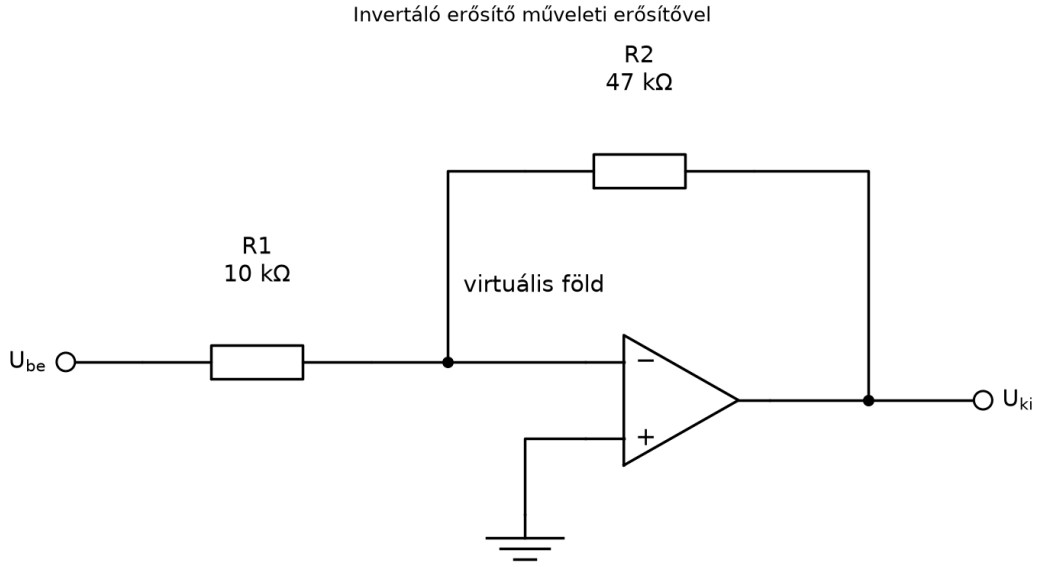
38.2.5. Invertáló erősítő

Kapcsolás. A jel az R_1 ellenálláson keresztül az invertáló bemenetre ($-$) jut; a kimenetről R_2 ellenállás ad visszacsatolást ugyanerre a pontra; a nem invertáló bemenet ($+$) földön van.

Összefüggés. $A_u = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = -\frac{R_2}{R_1}$, tehát $U_{ki} = -\frac{R_2}{R_1} U_{be}$. A bemeneti ellenállás R_1. A negatív előjel 180°-os fázisfordítást jelent.

Számítás. $U_{be} = 0{,}2\,\mathrm{V}$, $R_1 = 10\,\mathrm{k\Omega}$, $R_2 = 47\,\mathrm{k\Omega}$. $A_u = -47/10 = -4{,}7$. $U_{ki} = -4{,}7 \cdot 0{,}2 = -0{,}94\,\mathrm{V}$. Ha a tápfeszültség ± 15 V, a kimenet tartományban van.

A rajzon az R_2 a kimenetről visszacsatol az invertáló ($-$) bemenetre, a ($+$) bemenet a földön van; a ($-$) csomópont ezért virtuális föld, és a bemeneti ellenállás R_1.



38.4. ábra. Invertáló erősítő műveleti erősítővel - A jel az R1-en át az invertáló ($-$) bemenetre jut, az R2 a kimenetről ugyanerre a pontra csatol vissza; a nem invertáló ($+$) bemenet a földön van, ezért a ($-$) csomópont virtuális föld. A_u = $-$R2/R1 = $-47/10 = -4{,}7$. A feszültségek a földhöz képest értendők; a tápcsatlakozások nincsenek rajzolva.

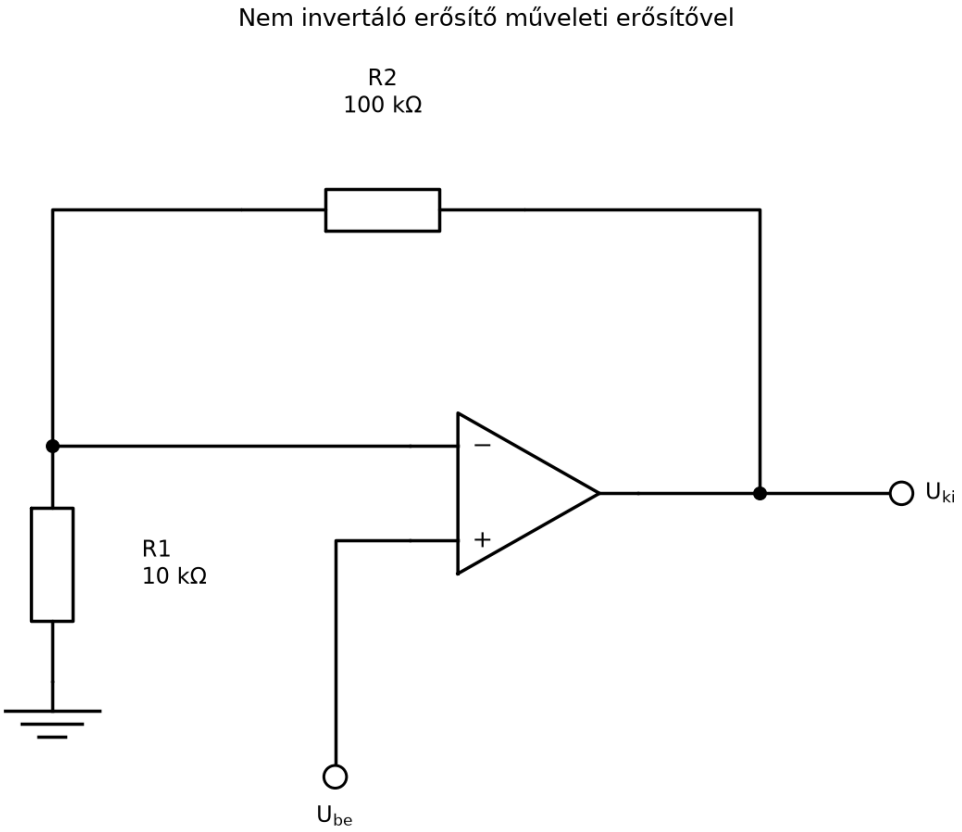
38.2.6. Nem invertáló erősítő

Kapcsolás. A jel a nem invertáló bemenetre (+) kerül. Az R_2 (visszacsatoló) ellenállás a kimenet és az invertáló bemenet között van, az R_1 az invertáló bemenetről a földre; az invertáló bemenet feszültségét az R_2–R_1 feszültségosztó adja a kimenetről. (Az invertáló erősítőnél is R_2 a visszacsatoló ellenállás.)

Összefüggés. $A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$, tehát $U_{ki} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_{be}$. A bemeneti ellenállás nagyon nagy (ideálisan végtelen).

Számítás. $U_{be} = 0{,}5\,\mathrm{V}$, $R_1 = 10\,\mathrm{k\Omega}$, $R_2 = 100\,\mathrm{k\Omega}$. $A_u = 1 + 100/10 = 11$. $U_{ki} = 11 \cdot 0{,}5 = 5{,}5\,\mathrm{V}$.

A rajzon a jel a (+) bemenetre jut; az R_2 itt is a kimenetről az invertáló (−) bemenetre csatol vissza, az R_1 pedig a (−) bemenetről a földre kötött, így a két ellenállás feszültségosztót alkot.



38.5. ábra. Nem invertáló erősítő műveleti erősítővel - A jel a nem invertáló (+) bemenetre jut; az R2 a kimenetről az invertáló (−) bemenetre csatol vissza, az R1 a (−) bemenetről a földre kötött. Az R2–R1 osztó a kimeneti feszültség R1/(R1+R2)-ed részét vezeti vissza, így A_u = 1 + R2/R1 = 1 + 100/10 = 11. A feszültségek a földhöz képest értendők; a tápcsatlakozások nincsenek rajzolva.

38.2.7. Komparátor

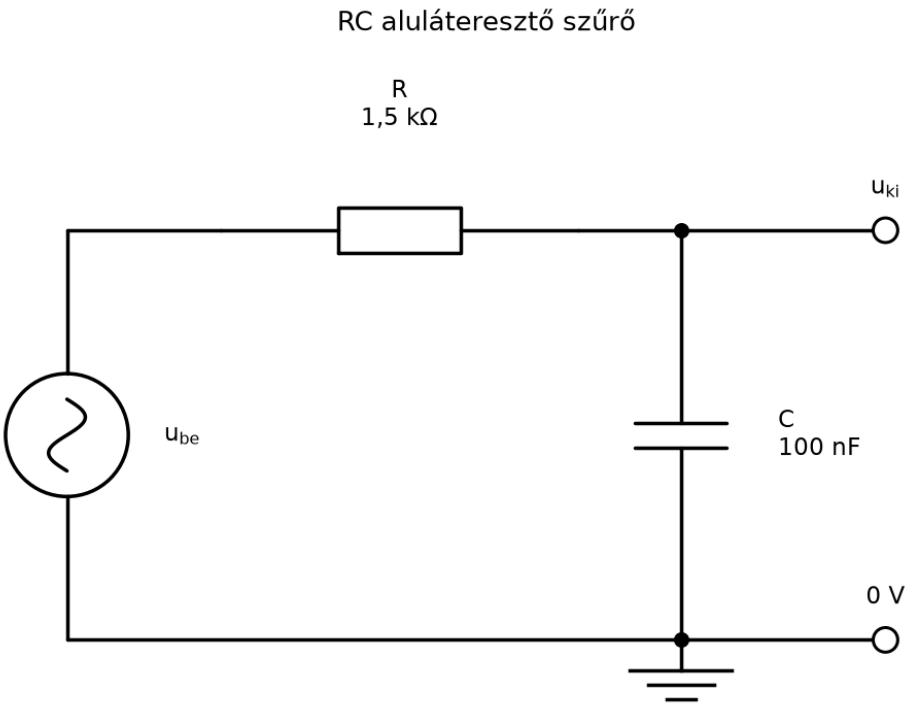
A komparátor nyitott hurkú műveleti erősítő, tehát nincs negatív visszacsatolás. A kimenet a bemenetek közötti feszültség előjelétől függ. Ha $U_+ > U_-$, a kimenet a pozitív tápfeszültség közelébe telítődik (például $\approx +12\,\mathrm{V}$); ha $U_+ < U_-$, a kimenet a negatív tápfeszültség közelébe telítődik (például $\approx -12\,\mathrm{V}$). Ha a tápfeszültség egyszeres (0 és 12 V), a kimenet vagy közel 0 V, vagy közel 12 V. Ezt használják küszöbérték-érzékelésre, például hőmérséklet-határ jelzésére.

A gyakorlati zajprobléma miatt a komparátort gyakran pozitív visszacsatolással, úgynevezett hiszterézissel (Schmitt-trigger) építik be, hogy a bemeneti jel lassú változása ne okozzon ideges, sokszori átbillenést. Ennek részletei meghaladják ezt az alfejezetet, de a fogalmat érdemes megjegyezni.

38.2.8. RC aluláteresztő szűrő

Egy ellenállásból és egy kondenzátorból álló feszültségosztó, ahol a kondenzátor reaktanciája frekvenciafüggő. Alacsony frekvencián a kondenzátor nagy impedanciájú, így a kimenet majdnem egyenlő a bemenettel; magas frekvencián a kondenzátor kis impedanciájú, a kimeneti feszültség csökken.

Kapcsolás. Soros R, a kondenzátor a kimenet és a föld között.



38.6. ábra. RC aluláteresztő szűrő - Bemeneti jel balról, kimeneti jel jobbra; a forrás, a kondenzátor és a kimenet alsó pontja a közös földön (0 V) van. A kondenzátor a nagy frekvenciájú jelet a földre vezeti. Szemléltető kapcsolási rajz.

Összefüggés. A vágási frekvencia: $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$. Az átviteli függvény nagysága:

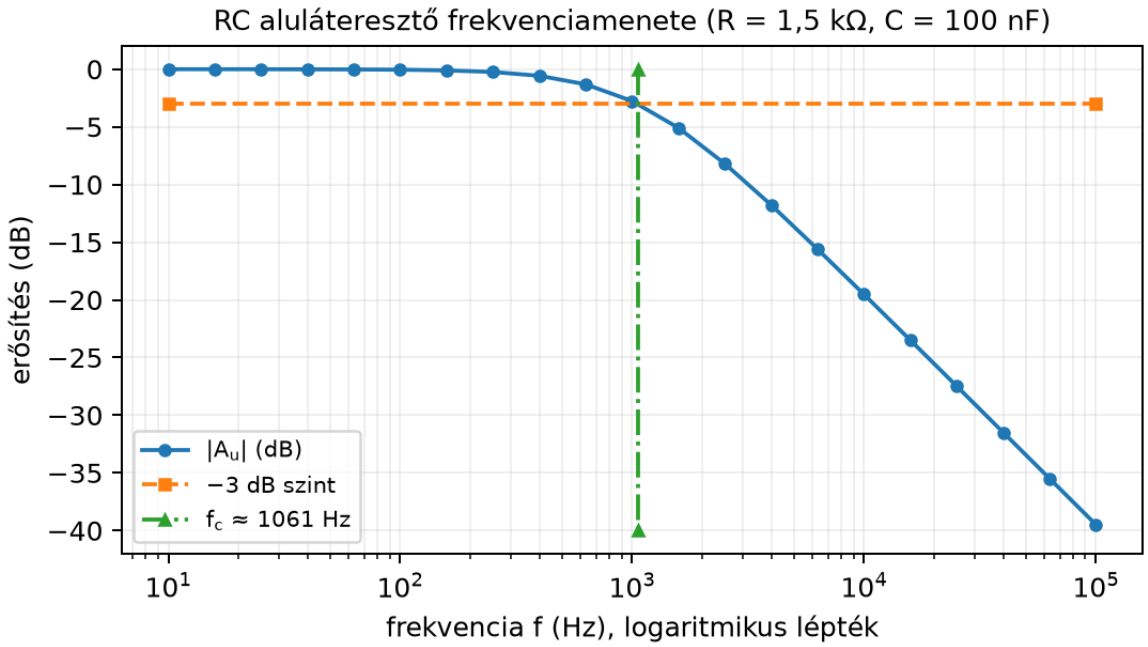
$$|A_u(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (f/f_c)^2}}$$

A $-3\,\mathrm{dB}$-es pont éppen f_c-nél van. A fázistolás f_c-nél -45°.

Számítás. $R = 1{,}5\,\mathrm{k\Omega}$, $C = 100\,\mathrm{nF}$.

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot 1500 \cdot 100 \times 10^{-9}} = \frac{1}{9{,}425 \times 10^{-4}} \approx 1061\,\mathrm{Hz} \approx 1{,}06\,\mathrm{kHz}.$$

Ha $f = 10{,}6\,\mathrm{kHz}$ (tízszeres), akkor $|A_u| \approx 1/\sqrt{1+100} \approx 0{,}0995$, azaz körülbelül $-20\,\mathrm{dB}$ csillapítás.



38.7. ábra. RC aluláteresztő frekvenciamenete (R = 1,5 kΩ, C = 100 nF) - Képletből számolt értékek: |A_u| = 1/√(1 + (f/f_c)²), f_c = 1/(2πRC) ≈ 1061 Hz. Logaritmikus frekvenciatengely (Bode-diagram): f_c-nél −3 dB, fölötte a görbe dekádonként 20 dB-t esik.

38.2.9. RC felüláteresztő szűrő

A kondenzátor a bemenettel sorban, az ellenállás a kimenet és a föld között. Alacsony frekvencián a kondenzátor nagy impedanciája miatt csillapít; magas frekvencián átenged. A vágási frekvencia ugyanaz: $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$. Az átvitel nagysága:

$$|A_u(f)| = \frac{f/f_c}{\sqrt{1 + (f/f_c)^2}}$$

Fázistolás: f_c-nél $+45^\circ$.

Példa. $R = 10\,\mathrm{k\Omega}$, $C = 10\,\mathrm{nF}$. $f_c = 1/(2\pi \cdot 10^4 \cdot 10^{-8}) \approx 1592\,\mathrm{Hz}$. Ez a 1,6 kHz-es felüláteresztő a hangfrekvenciás sáv alsó részét is erősen csillapítja (100 Hz-en kb. -24 dB), ezért csatolókondenzátornak rossz méretezés. Csatoláshoz például $R = 10\,\mathrm{k\Omega}$, $C = 1\,\mu\mathrm{F}$ való: $f_c \approx 16\,\mathrm{Hz}$, ami az egyenfeszültséget kiszűri, a hangfrekvenciás sávot pedig gyakorlatilag csillapítás nélkül átengedi.

38.2.10. Sáváteresztő szűrő egyszerű esetben

A gyakorlatban a sávszűrőt gyakran egy felüláteresztő és egy aluláteresztő fokozat egymás után kötésével valósítják meg. Ha f_L az alsó vágási frekvencia (felüláteresztő) és f_H a felső vágási frekvencia (aluláteresztő), a sávszélesség $B = f_H - f_L$. Ezt használják például audio rendszerekben, vivőfrekvenciás jeleknél, vagy rezgésérzékelőknél, amikor csak egy bizonyos frekvenciasáv érdekes.

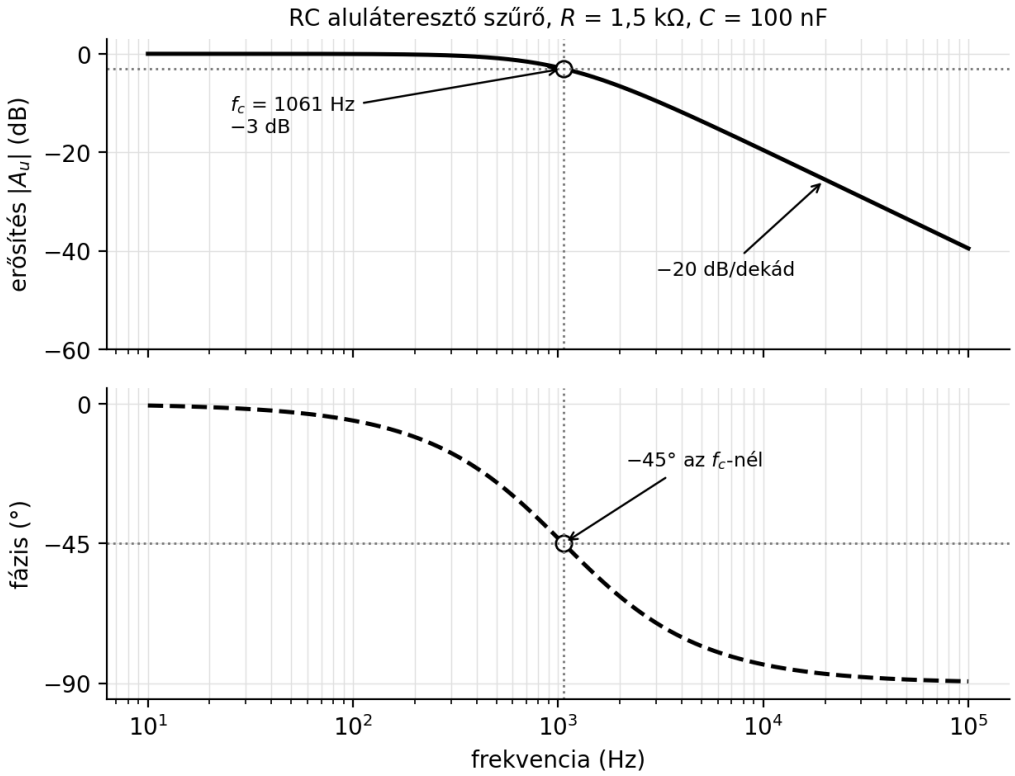
38.2.11. Szűrők a gyakorlatban: zavarszűrés, EMC

A villamos berendezéseknek a környezetből érkező zavarokat el kell viselniük, és nem zavarhatnak más berendezéseket. Ezt a területet elektromágneses összeférhetőségnek (EMC) nevezik. Az RC-szűrők a legegyszerűbb zavarszűrők: például egy érzékelő analóg kimenetén egy aluláteresztő tag levágja a frekvenciaváltó által kisugárzott nagyfrekvenciás zajt. A vágási frekvenciát a hasznos jel legnagyobb frekvenciája fölé, de a zavar frekvenciája alá kell választani. A gyakorlatban gyakran 10–100 Hz-es jelsávnál 1 kHz körüli vágási frekvencia elegendő, de ez mindig az alkalmazástól függ. A szűrőt a lehető legközelebb kell helyezni a mérendő készülék bemenetéhez, hogy a hosszú vezeték ne szedje össze a zavart.

Szabvány. Az EMC-követelményeket az MSZ EN 61000 sorozat, az ipari és lakossági környezetre vonatkozó szabványok tartalmazzák. A mérési és vezérlési berendezésekre vonatkozó részleteket az MSZ EN 61326 sorozat adja meg **(ellenőrizendő: az aktuális szabványkiadás és hatály)**.

38.2.12. Interaktív ábra

Az interaktív ábra lehetővé teszi, hogy a tanuló állítsa az R, C értékeket és a frekvenciát, és lássa az RC aluláteresztő frekvenciamenetét, valamint a -3 dB-es pontot. Statikus változat: egy frekvenciamenet-görbe, $R = 1{,}5\,\mathrm{k\Omega}$, $C = 100\,\mathrm{nF}$ értékkel, a vágási frekvencián jelölve.



38.8. ábra. RC aluláteresztő frekvenciamenet

38.2.13. Valós életbeli alkalmazás

Egy ipari hőmérsékletmérésnél Pt100 ellenállás-hőmérőt kötöttek egy analóg bemenetre. A mért hőmérséklet értéke folyamatosan ugrált, mert a közeli frekvenciaváltó kapcsolási tranziensei rákerültek a kábelre. A megoldás: a PLC analóg bemenete elé, a kapocslécmellé egy $R = 2{,}2\,\mathrm{k\Omega}$, $C = 1\,\mu\mathrm{F}$ aluláteresztő RC-szűrőt kötöttek, melynek vágási frekvenciája $f_c = 1/(2\pi RC) \approx 72\,\mathrm{Hz}$. Ez a hőmérsékletjel lassú (néhány Hz-es) változásait átengedi, a több kHz-es kapcsolási zavarokat pedig legalább 30 dB-lel csillapítja (4 kHz-en kb. $-35\,\mathrm{dB}$). **Tanulság:** a szűrő a fogadó oldalra kerül. A jeladó terhelhetőségét az adatlap szerint ellenőrizni kell **(ellenőrizendő)**. A PLC-beállításnál a mintavételezési időt is megnövelték, de a bemenetre kötött RC-tag önmagában stabil, zajmentes jelet adott.

Továbbvitt eredmény. Az erősítő alapkapcsolások, a decibel és az RC-szűrők vágási frekvenciájának ismerete szükséges a Logikai kapuk, számrendszerek és a relé helyett logika alfejezetben a jelintegritás, a zavarszűrés és a digitális áramkörök analóg peremfeltételeinek megértéséhez.

38.2.14. Tipikus hibák

1. **A műveleti erősítő tápfeszültségét elfelejtik bekötni.** Az op-amp nem működik nulla energiával; a kimenet nem fog a számított értékre állni. A kimeneti tartomány soha nem lépheti túl a tápfeszültséget.
2. **A visszacsatoló ellenállás rossz ágba kerül.** Ha például az invertáló erősítőben felcserélik a két bemenetet, az áramkör pozitív visszacsatolásúvá válik, és a kimenet a tápfeszültség valamelyik határára ül fel, nem erősít.

3. **A szűrő vágási frekvenciáját rosszul méretezik.** Ha az aluláteresztő vágási frekvenciát a hasznos jel frekvenciája alá választják, a hasznos jel is csillapodik. Például egy 1 kHz-es jelnél 100 Hz-es aluláteresztő szinte teljesen levágja a jelet.
4. **A szűrőt rossz helyre teszik.** Ha a szűrő a kábel elején van, a kábel továbbra is zavart szedhet össze; a szűrőt a fogadó oldal bemenetére kell tenni.

38.2.15. Önellenőrzés

1. Mekkora az erősítése dB-ben egy $A_u = 1000$ erősítőnek?
2. Invertáló erősítő $R_1 = 10\,\text{k}\Omega$, $R_2 = 220\,\text{k}\Omega$, bemenet 0,1 V. Mekkora a kimenet?
3. Egy RC aluláteresztő $R = 10\,\text{k}\Omega$, $C = 10\,\text{nF}$. Mekkora a vágási frekvencia?
4. Mi történik egy komparátor kimenetével, ha $U_+ = 2{,}4\,\text{V}$, $U_- = 2{,}5\,\text{V}$ és a pozitív tápfeszültség +12 V, negatív 0 V?
5. Miért használunk $-3\,\text{dB}$-es pontot a frekvenciamenet jellemzésére?
6. Mi a hiba: „Az RC felüláteresztő szűrő alacsony frekvencián átenged, magas frekvencián csillapít.”?

38.2.16. Feladatok

1. feladat (A) Nem invertáló erősítő: $R_1 = 2{,}2\,\text{k}\Omega$, $R_2 = 47\,\text{k}\Omega$, $U_{be} = 0{,}2\,\text{V}$. Számítsa ki az erősítést és a kimenetet.

2. feladat (A) Egy erősítő feszültségerősítése 50 dB. Mekkora ez lineáris arányban?

3. feladat (B) Aluláteresztő RC-szűrő: $R = 4{,}7\,\text{k}\Omega$, $C = 100\,\text{nF}$. Mekkora a vágási frekvencia? Mekkora a csillapítás dB-ben 10-szer nagyobb frekvencián?

4. feladat (B) Felüláteresztő RC-szűrő: $f_c = 16\,\text{kHz}$, $C = 1\,\text{nF}$. Mekkora R? Mekkora A_u nagysága 2-szeres vágási frekvencián?

5. feladat (C) Komparátor: a nem invertáló bemenet 2,5 V referencia (feszültségosztóval), az invertáló bemenetre háromszögjel 0–5 V között 100 Hz. A tápfeszültség +12 V/0 V. Írja le a kimenet időbeli alakját (egyszerűsítve, kapcsolási pontokkal).

6. feladat (D) Egy hőmérséklet-érzékelő kimenete 0–10 V, a hasznos jel legfeljebb 10 Hz. A környezetben 2 kHz-es zavar van. Válasszon ki egy RC aluláteresztő szűrőt, amely a 10 Hz-es jelet gyakorlatilag nem csillapítja (kevesebb, mint 0,1 dB), de a 2 kHz-es zavart legalább 20 dB-lel csökkenti. Ellenőrizze a feltételeket. (Segítség: használja a $|A_u| \approx 1/\sqrt{1 + (f/f_c)^2}$ képletet.)

38.2.17. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. $20 \log_{10} 1000 = 60\,\text{dB}$.
2. $A_u = -220/10 = -22$, $U_{ki} = -22 \cdot 0{,}1 = -2{,}2\,\text{V}$.
3. $f_c = 1/(2\pi \cdot 10^4 \cdot 10^{-8}) \approx 1592\,\text{Hz}$.
4. Mivel $U_+ < U_-$, a kimenet a negatív tápfeszültség, azaz 0 V közelébe kerül (ha a táp 0 V).
5. Mert ott a feszültségerősítés $1/\sqrt{2}$-szeresére csökken, a kimeneti teljesítmény pontosan a felére esik.
6. A felüláteresztő szűrő alacsony frekvencián csillapít, magas frekvencián átenged.

Feladatok megoldásai

1. $A_u = 1 + \frac{47}{2{,}2} = 1 + 21{,}36 \approx 22{,}4$, $U_{ki} = 22{,}4 \cdot 0{,}2 = 4{,}48\,\text{V}$.
2. $20 \log_{10} A_u = 50 \Rightarrow \log_{10} A_u = 2{,}5 \Rightarrow A_u = 10^{2{,}5} = \sqrt{10^5} \approx 316{,}2$.
3. $f_c = 1/(2\pi \cdot 4700 \cdot 100 \times 10^{-9}) \approx 338{,}6\,\text{Hz}$. 10-szeres frekvencián $|A_u| \approx 1/\sqrt{1+100} \approx 0{,}0995$, dB-ben $20 \log_{10} 0{,}0995 \approx -20{,}04\,\text{dB}$, tehát kb. $-20\,\text{dB}$.
4. $f_c = 1/(2\pi RC) \Rightarrow R = 1/(2\pi f_c C) = 1/(2\pi \cdot 16000 \cdot 1 \times 10^{-9}) \approx 9{,}947\,\text{k}\Omega \approx 10\,\text{k}\Omega$. Kétszeres vágási frekvencián: $|A_u| = \frac{f/f_c}{\sqrt{1+(f/f_c)^2}} = \frac{2}{\sqrt{1+4}} = 2/\sqrt{5} \approx 0{,}894$, tehát kb. $-0{,}97\,\text{dB}$ (nem -3 dB).
5. A (+) bemenet a 2,5 V-os referencia, a (−) bemenetre a háromszögjel kerül. A kimenet közel +12 V, amíg a háromszögjel 2,5 V **alatt** van ($U_+ > U_-$), és közel 0 V, amíg fölötte van ($U_+ < U_-$). Mivel a háromszög 100 Hz, a kimenet a háromszöghöz képest invertált négyszögjel, 50%-os kitöltési tényezővel, 100 Hz-es ismétlődéssel, az átbillenések a háromszög 2,5 V-os átlépéseinél. (Egytápos műveleti erősítő kimenete a 12 V-ot jellemzően nem éri el teljesen.)
6. Választhatunk $f_c = 200\,\text{Hz}$ körüli vágási frekvenciát. Legyen $C = 100\,\text{nF}$, ekkor $R = 1/(2\pi \cdot 200 \cdot 100 \times 10^{-9}) \approx 7{,}96\,\text{k}\Omega \approx 8{,}2\,\text{k}\Omega$. Ellenőrzés 10 Hz-en: $f/f_c = 10/200 = 0{,}05$, $|A_u| = 1/\sqrt{1+0{,}0025} \approx 0{,}99875$, dB-ben $20 \log_{10} 0{,}99875 \approx -0{,}011\,\text{dB}$, ami kevesebb, mint 0,1 dB. 2 kHz-en: $f/f_c = 2000/200 = 10$, $|A_u| \approx 1/\sqrt{1+100} \approx 0{,}0995$, dB-ben $-20{,}04\,\text{dB}$, ami megfelel a követelménynek. A választott $R = 8{,}2\,\text{k}\Omega$, $C = 100\,\text{nF}$ szűrő tehát megfelel.

38.2.18. Rövid összefoglaló

A műveleti erősítő visszacsatolt alapkapcsolásai lineáris erősítőt, a visszacsatolás nélküli kapcsolás komparátort ad. Az invertáló erősítő erősítése $A_u = -R_2/R_1$, a nem invertálóé $A_u = 1 + R_2/R_1$. A feszültségerősítés decibelben $20 \log_{10} |A_u|$. A frekvenciamenet jellemzésére a $-3\,\text{dB}$-es határfrekvencia szolgál. Az RC aluláteresztő és felüláteresztő szűrők vágási frekvenciája $f_c = 1/(2\pi RC)$; az aluláteresztő az f_c fölötti, a felüláteresztő az f_c alatti frekvenciákat csillapítja. Az RC-szűrők egyszerű zavarszűrők, amelyekkel a mérési jeleket védhetjük az EMC-zavaroktól. Ezek az ismeretek közvetlenül szükségesek a digitális áramkörök és a jelintegritás megértéséhez, amit a Logikai kapuk, számrendszerek és a relé helyett logika alfejezetben alkalmazunk.

38.2.19. Források és ellenőrzési hiányok

A képletek és alapkapcsolások stabil, klasszikus analóg elektronikai ismeretek. Az EMC-szabványok pontos száma és hatálya változhat, ezért a felhasználás előtt ellenőrizendő az aktuális MSZ EN 61000 és MSZ EN 61326 kiadás. A műveleti erősítő konkrét típusainál mindig a gyártói adatlap határozza meg a tápfeszültség-tartományt, a kimeneti feszültség-tartományt és a frekvenciakompenzálást.

38.3. Logikai kapuk, számrendszerek és a relé helyett logika

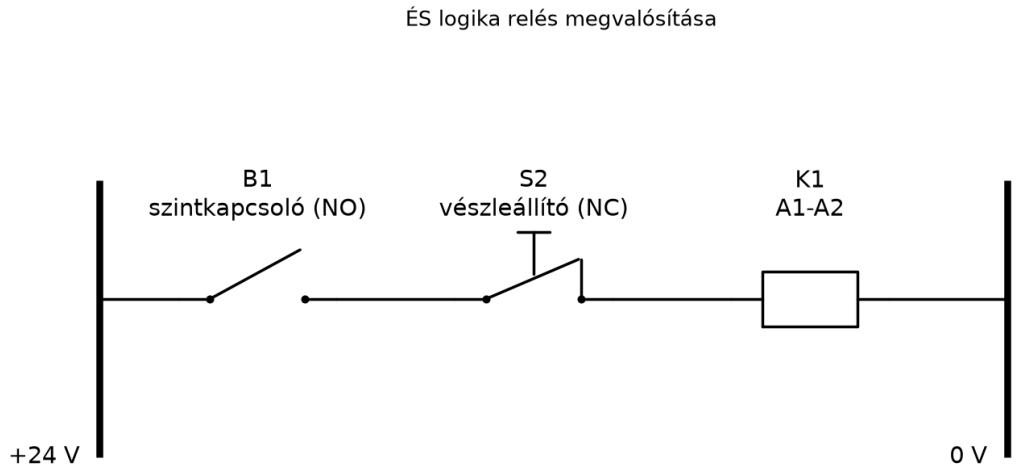
38.3.1. Motiváció: miért kell ez a villanyszerelőnek?

Egyre több gépen és épületautomatikai rendszeren találkozol **PLC-vel** (programozható logikai vezérlő), **érintőképernyős HMI-panellel** vagy okos relével. Ha elromlik egy motor, ami „kétkezes indítással” biztosított préshez van beépítve, a hibát csak akkor tudod megkeresni, ha érted: a vezérlés valójában egy **ÉS** kapcsolatot valósít meg a gombok között. Ha a LED-es kijelzőn `0x3F` értéket látsz, és nem tudod, hogy az a 63-as szám, nem tudod beállítani a paramétereket.

A digitális logika nem elvont informatika: ez a relés kapcsolások és a modern vezérlések közös nyelve.

38.3.2. Egyenesen a helyszínre: a relés kapcsolás mint logikai áramkör

Nézzünk egy klasszikus mágneskapcsoló-vezérlést. Tegyük fel, hogy egy szivattyút csak akkor szabad indítani, ha a **biztonsági kapcsoló** (pl. vészleállító, ami alaphelyzetben enged) zárt **ÉS** a **szintérzékelő** is azt jelzi, hogy van elég víz. Ha van feszültség, a tekercs meghúz. Ez a kapcsolás így néz ki:



38.9. ábra. ÉS logika relés megvalósítása - K1 mágneskapcsoló tekercse csak akkor kap feszültséget, ha B1 (szintkapcsoló, záró) ÉS S2 (vészleállító, alaphelyzetben zárt bontó) egyszerre zárva van: +24 V → B1 → S2 → K1 A1-A2 → 0 V soros kör. Betűjelek: B = érzékelő, S = kézi működtetésű kapcsoló (MSZ EN IEC 81346-2).

A tápfeszültséget itt 24 V DC-nek jelöltük, de a logika gondolati váza ugyanaz, akár 230 V-os vezérlést nézünk (jogosult személy által), akár tanműhelyi törpefeszültséget. A lényeg: a **nyitott** és **zárt** kontaktusokból matematikai kapcsolat lesz.

38.3.3. Bináris és hexadecimális számrendszerek

A relé csak **két állapotot** ismer: be van húzva (1) vagy elengedve (0). A PLC-k és a digitális elektronika is ezen a két állapoton alapszik.

Definíció. A **kettes (bináris) számrendszer** alapszáma 2, a használt számjegyek: `0` és `1`. A helyiértékek jobbról balra $2^0, 2^1, 2^2, \ldots$ növekednek. **Definíció.** A **tizenhatos (hexadecimális) számrendszer** alapszáma 16, a számjegyek: `0`–`9`, majd `A` (10), `B` (11), `C` (12), `D` (13), `E` (14), `F` (15). A hexadecimális rövidítésére gyakran `0x` előtagot írnak (pl. `0x3F`), vagy alsó indexbe `16` kerül: $3F_{16}$.

Miért pont a hexadecimális? Mert **4 bit** (négy bináris számjegy) pontosan egy hexadecimális számjegyet ad ki. Ez óriási tömörítés: a 8 bites `11001010` kettes szám hexadecimálisan csak `0xCA`.

Szabály. Átváltás 10-esből 2-esbe (maradékos osztás). Osszuk maradékosan a számot 2-vel, amíg a hányados 0 nem lesz. A maradékokat alulról felfelé kell olvasni!

Példa. Alakítsuk át a 202-t binárisra:

$$202 : 2 = 101 \text{ maradék: } 0$$

$$101 : 2 = 50 \text{ maradék: } 1$$

$$50 : 2 = 25 \text{ maradék: } 0$$

$$25 : 2 = 12 \text{ maradék: } 1$$

$$12 : 2 = 6 \text{ maradék: } 0$$

$$6 : 2 = 3 \text{ maradék: } 0$$

$$3 : 2 = 1 \text{ maradék: } 1$$

$$1 : 2 = 0 \text{ maradék: } 1$$

A maradékokat alulról felfelé olvasva: $202_{10} = 11001010_2$.

Szabály. Átváltás 2-esből 16-osba. Csoportosítsd a biteket jobbról 4-esével, és írd át mindegyiket 16-os alakra. (Ha a bal oldalon nem jön ki a 4 bit, pótold 0-val!)

Példa. $10101101_2 \to 0xAD$. Csoportosítás: `1010` és `1101`. `1010` = A, `1101` = D. Tehát $0xAD$. Ellenőrzés 10-esben: $A = 10 \cdot 16^1 = 160$, $D = 13 \cdot 16^0 = 13$, összesen $160 + 13 = 173$.

38.3.4. Logikai kapuk és igazságtáblák

A digitális logikában a kimenet (pl. a motor indítójele) a bemenetek (pl. gombok) kombinációjától függ. A legegyszerűbb kapukat relékkel is meg tudod valósítani.

Definíció. Az **igazságtábla** olyan táblázat, amely a bemeneti változók minden lehetséges kombinációjához megadja a kimeneti értéket.

38.3.4.1. ÉS (AND), VAGY (OR), NEM (NOT)

ÉS (AND): A kimenet akkor 1-es, ha **minden** bemenet 1-es. Kapcsolási jele: $Y = A \cdot B$. Relés megvalósítás: **soros** kontaktusok.

VAGY (OR): A kimenet akkor 1-es, ha **legalább az egyik** bemenet 1-es. Kapcsolási jele: $Y = A + B$. Relés megvalósítás: **párhuzamos** kontaktusok.

NEM (NOT): A kimenet a bemenet ellentettje. Jele: $Y = \overline{A}$. Relés megvalósítás: **nyugalmi érintkező** (NC kontaktus). Amikor a relé nincs meghúzva, a kontaktus zárva van (1), ha meghúz, bont (0).

Példa az ÉS működésére. A = vészleállító rendben (0 = lenyomva, 1 = kihúzva), B = szint van (1 = van). A motornak (Y) akkor szabad járnia, ha mindkettő 1. $Y = A \cdot B$.

38.3.4.2. NAND, NOR, XOR

- **NAND (NEM-ÉS):** az ÉS tagadása. $Y = \overline{A \cdot B}$. Rendkívül fontos, mert minden más kapu kiváltható vele.
- **NOR (NEM-VAGY):** a VAGY tagadása. $Y = \overline{A + B}$.
- **XOR (Kizáró VAGY):** a kimenet 1, ha a **két bemenet különböző**. $Y = A \oplus B$. A váltókapcsolás („lépcsőházi váltó") logikája: a lámpa állapota bármelyik kapcsoló átbillentésére megfordul – ez az XOR (a bekötéstől függően az XNOR, azaz az egyezőség) függvény. Ha például azonos állásban ég a lámpa, az XNOR; ha különböző állásban ég, az XOR.

A	B	ÉS Y = A·B	VAGY Y = A + B	NEM Y = Ā	NAND Y = ¬(A·B)	NOR Y = ¬(A + B)	XOR Y = A ⊕ B	XNOR Y = ¬(A ⊕ B)
0	0	**0**	**0**	**1**	**1**	**1**	**0**	**1**
0	1	**0**	**1**	**1**	**1**	**0**	**1**	**0**
1	0	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**
1	1	**1**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**
relés megfelelő:		A NO, B NO sorosan	A NO ‖ B NO (párhuzamos)	A NC (bontó)	A NC ‖ B NC (párhuzamos)	A NC, B NC sorosan	(A NO, B NC) ‖ (A NC, B NO)	(A NO, B NO) ‖ (A NC, B NC)

38.10. ábra. A hét logikai kapu (ÉS, VAGY, NEM, NAND, NOR, XOR, XNOR) igazságtáblája és relés megfelelője; a kitöltött cella az 1-es kimenet

A táblázat négy sora a két bemenet (A, B) négy kombinációja, az oszlopok a kapuk kimenetei; az utolsó sor a relés megvalósítást adja (NO = záró, NC = bontó érintkező, a soros kapcsolás ÉS, a párhuzamos VAGY). Az ÉS kimenete csak az 1–1 sorban 1, a VAGY-é csak a 0–0 sorban 0, a XOR-é akkor 1, ha a két bemenet különböző. A HTML-kiadásban az A és B bemenetre kattintva minden kapu relés létrafoka átvált: az áramot vivő ág kiemelődik, a lámpa az 1-es kimenetnél világít, és a táblázat aktuális sora kijelölődik.

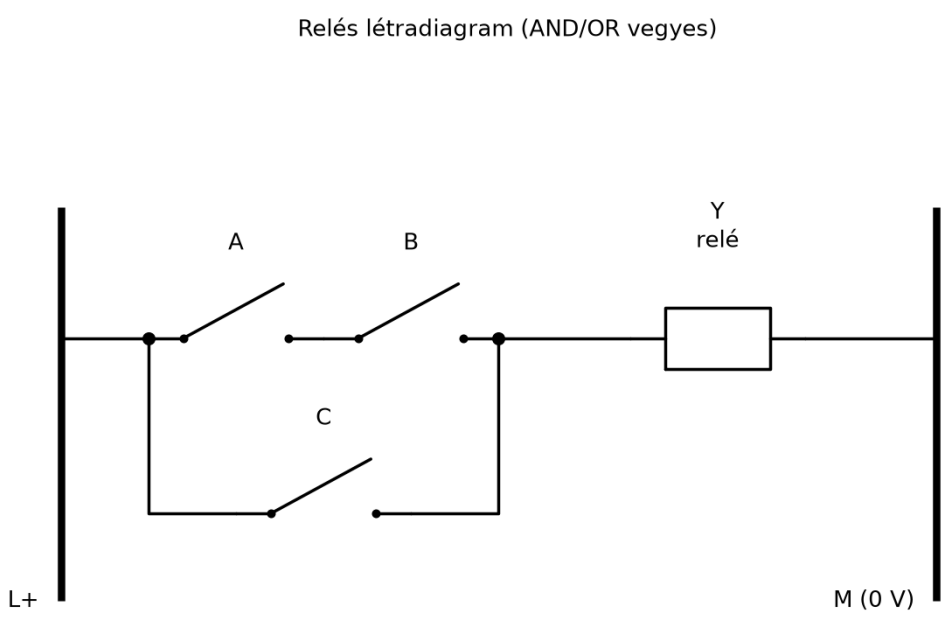
38.3.5. A relés kapcsolás és a logikai kapu megfelelősége

A PLC-programozásban ezt a nyelvet **létradiagramnak** (Ladder Diagram, LD) hívják. A PLC bemenetei ugyanúgy kontaktusokként jelennek meg, a kimenetei pedig tekercsként.

Relé logika:

- `A` és `B` kontaktus **sorosan** = ÉS
- `A` és `B` kontaktus **párhuzamosan** = VAGY
- `A` kontaktus **bontó (NC)** = NEM

PLC logika (LD): Ugyanezt a grafikus programban rajzolod meg, a PLC processzora a programot ciklikusan hajtja végre (bemenetek beolvasása → logika kiértékelése → kimenetek írása), a kimeneteket relé- vagy tranzisztoros kimeneti fokozat kapcsolja.



38.11. ábra. Relés létradiagram (AND/OR vegyes) - Y = (A ÉS B) VAGY C. Az A és B soros (AND) ág, a C ezzel párhuzamos (OR) ág; utánuk az Y tekercs a 0 V-os sínre.

Ebben a rajzban az `A` és `B` sorosan van, tehát `A ÉS B`, de ezzel párhuzamosan van a `C`, tehát a teljes függvény: $Y = (A \cdot B) + C$.

Számítás. Logikai függvény értelmezése. Adott a kapcsolási rajz: A és B soros, ezzel párhuzamosan C, az egész elé kötve D (azaz sorosan D is van). Mennyi a kimenet ha $A = 0, B = 1, C = 1, D = 1$? 1. lépés: $A \cdot B = 0 \cdot 1 = 0$. 2. lépés: $(A \cdot B) + C = 0 + 1 = 1$. 3. lépés: $D \cdot [(A \cdot B) + C] = 1 \cdot 1 = 1$. A motor jár. ∎

38.3.6. Flip-flop, számláló és időzítő

Eddig olyan áramköröket néztünk, ahol a kimenet **csak** a pillanatnyi bemenettől függ. Ezt hívják **kombinációs logikának**. A gyakorlatban szükség van arra, hogy egy rendszer „emlékezzen” egy állapotra. Ez a **sorrendi logika**.

38.3.6.1. SR flip-flop

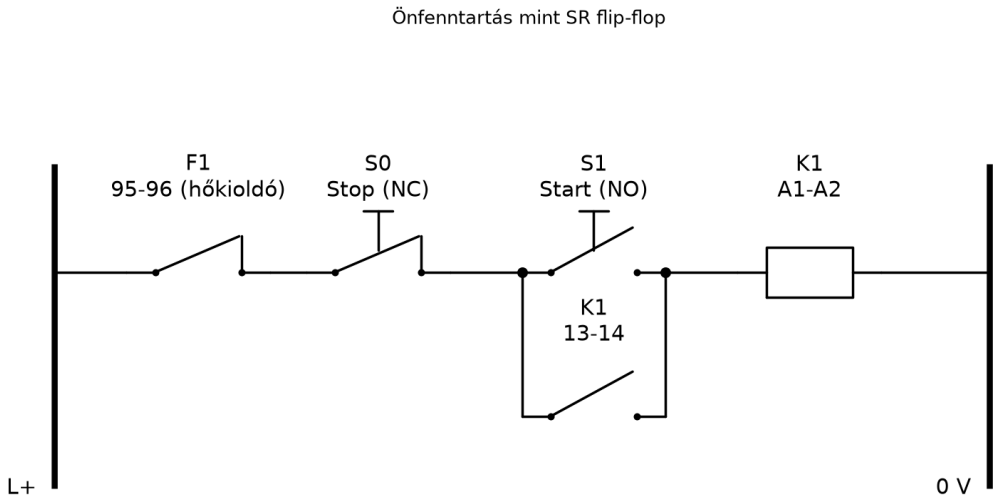
A leggyakoribb memóriaelem két stabil állapottal rendelkezik. A relés vezérlésben ezt hívják **önfenntartásnak**.

- **S (Set)**: Beállítás (pl. indítógomb).
- **R (Reset)**: Törlés (pl. stop gomb).
- **Q**: Kimenet (pl. mágneskapcsoló tekercs).

Szabály. 1. $S = 1$, $R = 0 \Rightarrow Q = 1$ (behúz). 2. $S = 0$, $R = 0 \Rightarrow Q$ az előzőben marad (tartás!). 3. $S = 0$, $R = 1 \Rightarrow Q = 0$ (elenged). 4. $S = 1$, $R = 1$: az elméleti (kapukból épített) SR tárolónál tiltott állapot. A relés önfenntartásban viszont a sorosan előre kötött STOP (S0) bontó

miatt a törlés biztosan érvényesül (törlés-domináns tároló) – a biztonságos vezérlést mindig így kell kialakítani; a PLC-ben ennek az RS (reset-domináns) blokk felel meg **(ellenőrizendő: a PLC-gyártó blokkdefiníciója)**.

Valósítsuk meg relés önfenntartással:



38.12. ábra. Önfenntartás mint SR flip-flop - S1 az indító (Set, START, záró nyomógomb), S0 a leállító (Reset, STOP, bontó nyomógomb). L+ → F1 95-96 → S0 Stop → (S1 Start ‖ K1 13-14) → K1 A1-A2 → 0 V: a K1 13-14 önfenntartó érintkező az S1-gyel párhuzamos, ezért elengedés után is tartja a kört, amíg S0-t meg nem nyomják.

38.3.6.2. Időzítő és számláló

Az **időzítő (Timer)** olyan logikai elem, amely az indítás után egy beállított késleltetéssel állítja csak a kimenetét. (Például a csillag-delta indításnál az átkapcsolás 5 másodperc után történik ezzel.) A **számláló (Counter)** pedig impulzusokat számol, és a beállított érték elérése után ad ki logikai jelet (pl. minden 10. becsomagolt doboz után).

38.3.7. Valós életbeli alkalmazás

38.3.7.1. Kétkezes indítás biztonsági logikája

Egy mechanikus présgépnél a balesetek elkerülésére kétkezes vezérlést írnak elő (kétkezes vezérlőeszköz: MSZ EN ISO 13851, ellenőrizendő). A gép csak akkor indul, ha a **bal** ÉS a **jobb** gombot **egyszerre**, legfeljebb 0,5 másodperc különbséggel nyomja meg a kezelő. Ha az egyik gomb megragad zárva, a gép nem indul el újra, amíg mindkettőt el nem engedik.

A szerelőnek nem elég tudnia, hogy „a relé tekercse meghúz”, hanem a kapcsolást mint logikai rendszert kell látnia: $Y = S_{bal} \cdot S_{jobb}$ – ez azonban csak az ÉS-kapcsolat; a kétkezes vezérlés ennél több: a 0,5 s-os egyidejűségi időablak és az „újraindítás csak mindkét gomb elengedése után” feltétel sorrendi (időzítős, memóriás) logikát kíván. Ezt minősített kétkezes biztonsági modul valósítja meg, nem két soros nyomógomb. Ha a hibakeresés során (jogosult személy, mérés

előtti műszerellenőrzéssel) azt méri, hogy az egyik gomb kimenetén hiányzik a vezérlőfeszültség, akkor a logikai ÉS egyik bemenete `0`, tehát a kimenet is `0`. A relé nem húzhat meg.

Hiba. Egy szerelő átkötötte a hibás bal oldali gombot, hogy „kipróbálja a sajtót”. A logikai függvénye így $Y = 1 \cdot S_{jobb}$ lett. A gép egy kézzel is indult. Ez súlyos balesetveszély! Védelmi áramköröket **tilos** átkötni!

38.3.8. Tipikus hibák

1. **A bontó/záró érintkezők összekeverése a PLC-ben.** A relés kapcsolásban a vészstop gomb fizikailag **NC** (bontó) kontaktus, sorba kötve a tekerccsel. A vészleállító NC érintkezője huzalozottan (biztonsági relén vagy biztonsági PLC-n át) bontja a mágneskapcsoló tekercskörét; a szabványos PLC csak a nyugtázó jelet kapja. A vészleállítás nem függhet a szabványos PLC programjától. A programban a bontó (NC) terepi érintkező bemenetét ZÁRÓ programkontaktussal (-| |-) kell kiértékelni: a bit alaphelyzetben 1, a rung vezet; a gomb megnyomása vagy vezetékszakadás a bitet 0-ra viszi, és a rung bont. Ha a programba bontó kontaktust (-|/|-) rajzolnak, a logika megfordul – ez a tipikus hiba. A vészleállítás ettől függetlenül huzalozottan történik, ezért a programbeli hiba itt a jelzést, nem a leállítást rontja el **(ellenőrizendő: MSZ EN 60204-1, MSZ EN ISO 13850)**.
2. **A hexadecimális A–F értékek elfelejtése.** Az ember ösztönösen úgy gondolja, hogy `A` = 1, mint az osztályzatoknál. Valójában `A` = 10. Ez gyakori hiba a frekvenciaváltók vagy PLC-k paramétereinek beállításakor (pl. a `0x1F` nem 19, hanem 31).
3. **Az önfenntartó kontaktus elhagyása.** Ha a start gomb impulzusszerű (nyomógomb), az SR flip-flop „memóriája” nélkül a motor csak addig jár, amíg a gombot nyomva tartod. A szivattyú leáll, amint elengeded a gombot. Mindig ellenőrizni kell a tartókontaktust.

38.3.9. Önellenőrzés

1. Igaz-e: A VAGY kapu relés megvalósítása soros kapcsolás?
2. Hány bitet jelent egy hexadecimális számjegy?
3. Mennyi $1010_2 + 0001_2$?
4. Mennyi az XOR kimenete, ha A=1, B=1?
5. Mi a veszélye az S=1, R=1 állapotnak SR flip-flopnál?

38.3.10. Feladatok

1. **(A)** Írd fel a 100-es számot kettes és 16-os számrendszerben!
2. **(A)** Rajzold le a $Y = A \cdot \overline{B}$ függvény relés kapcsolását!
3. **(B)** Mennyi $0xD2$ értéke 10-es számrendszerben?
4. **(B)** Írd fel a NAND kapu igazságtábláját!
5. **(C)** Egy motor akkor járjon, ha a vészleállító (A) ki van húzva, ÉS vagy a szintkapcsoló (B) jelez, vagy a karbantartói kapcsoló (C) be van kapcsolva. Add meg a logikai függvényt!
6. **(D)** Egy relés kapcsolás nem működik. Rajzod alapján a start gomb (S) és az önfenntartó kontaktus (K1) párhuzamosan van kötve. A stop gomb sorosan. Mi a lehetséges hiba, és hogyan ellenőrzöd?

38.3.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok: 1. Hamis, a VAGY párhuzamos. 2. 4 bitet. 3. 1011_2. 4. 0. 5. Az elméleti SR tárolónál tiltott állapot (határozatlan kimenet); a relés önfenntartásnál a sorosan kötött STOP miatt törlés-domináns, vagyis a STOP elsőbbsége biztosított – a biztonságos kialakítás.

Feladatok – megoldások:

1. 100_{10}: $100 : 2 = 50$ m0; $50 : 2 = 25$ m0; $25 : 2 = 12$ m1; $12 : 2 = 6$ m0; $6 : 2 = 3$ m0; $3 : 2 = 1$ m1; $1 : 2 = 0$ m1 → alulról felfelé 1100100_2; négyes csoportok: 0110 0100 → 64_{16}. Ellenőrzés: $6 \cdot 16 + 4 = 100$ ✓.
2. A: relé A NO kontaktusa, sorban a relé B NC kontaktusával, sorban az Y tekerccsel.
3. $D = 13$, $2 = 2$. $13 \cdot 16^1 + 2 \cdot 16^0 = 208 + 2 = 210$.
4. A=0, B=0 → 1. A=0, B=1 → 1. A=1, B=0 → 1. A=1, B=1 → 0.
5. $Y = A \cdot (B + C)$. A vészleállító minden ágban sorosan marad; a karbantartói kapcsoló csak a szintfeltételt helyettesítheti, a vészleállítót soha (ellenőrizendő: MSZ EN 60204-1). Tipikus hiba az $Y = (A \cdot B) + C$ alak: ebben $C = 1$ esetén a motor a lenyomott vészleállító ellenére jár, vagyis a vészleállítót kiiktatja.
6. A leírás alapján a kapcsolás elvileg helyes (START ‖ K1 záró érintkező, sorosan a STOP bontó gomb). Az ellenőrzést az öt biztonsági szabállyal kezdjük: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése kétpólusú vizsgálóval, szükség esetén földelés és rövidre zárás, szomszédos részek lefedése. Ezután feszültségmentes állapotban, ohmmérővel ellenőrizzük a gombokat: a START kapcsai (13-14) nyugalomban szakadást, lenyomva zárást mutassanak. Ha a START helyére **bontó (NC)** érintkezőt kötöttek, a K1 a bekapcsoláskor magától behúz (váratlan indulás), és a STOP elengedése után azonnal újraindul, vagyis a motor tartósan nem állítható le; ez veszélyes hiba. Egyéb okok: kioldott hőkioldó (F1 95-96 szakadt), az önfenntartáshoz tévesen a K1 bontó érintkezőjét (21-22) kötötték be (ekkor a kontaktor bekapcsoláskor START nélkül is behúz, majd azonnal elenged és újra behúz: kerepel, a motor szaggatottan, váratlanul indul – ez veszélyes, azonnal le kell kapcsolni; csak nyomva tartott STARTnál marad tartósan behúzva), vagy szakadt a K1 tekercs (A1-A2 között szakadás vagy a gyártói értéktől eltérő ellenállás). Nyomógomb vizsgálatához lakatfogó nem alkalmas: áram nélkül nem mutat semmit.

38.3.12. Rövid összefoglaló

A kettes számrendszer a kapcsolók nyelvét jelenti: a be van húzva (1) és elengedve (0) állapotok matematikáját. A 16-os számrendszer ennek a tömör rövidítése (4 bit = 1 hexa jegy). A logikai kapuk között az ÉS-t soros, a VAGY-ot párhuzamos kontaktusokkal tudod megépíteni, míg a NEM-et alaphelyzetben zárt (NC) kontaktussal. Ez az egyszerű megfeleltetés köti össze a hagyományos relés kapcsolásokat a modern PLC-k létradiagramjával. Az SR flip-flop a relés önfenntartás megfelelője: ez az egyszerű memória biztosítja, hogy a startgomb impulzusa után is menjen a gép. Az időzítők és számlálók ezt a memóriát egészítik ki késleltetésekkel és eseményszámolással. **Visszautalás:** a PLC-alapok és ipari vezérlés alfejezet létradiagramjai itt kaptak logikai (Boole-algebrai) magyarázatot; a következő alfejezet a szerelői kézügyességgel folytatódik. A védelmi áramkörökben a logikai függvényt **tilos módosítani** (pl. átkötéssel), mert ezzel a biztonsági kapcsolatok (ÉS feltételek) meghiúsulnak.

IX. RÉSZ – Gyakorlati útmutatók

39 Szerelőműhelyi alapok

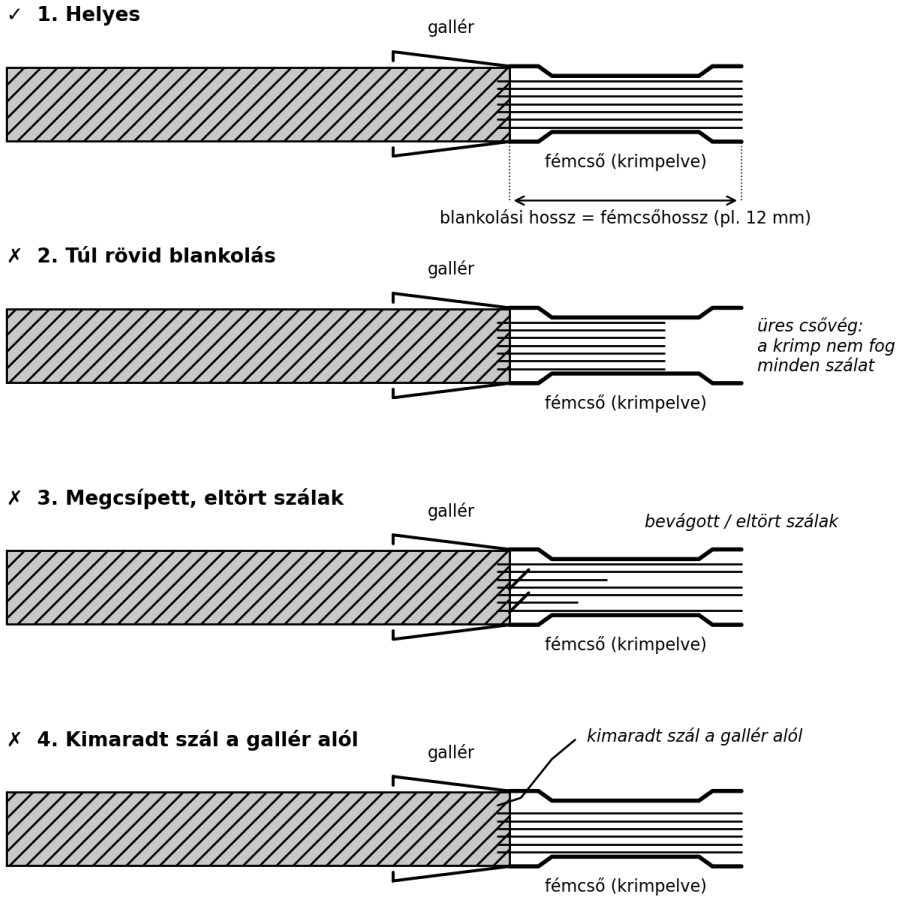
39.1. Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru

39.1.1. Motiváció

Egy elosztószekrényben a sorkapocs megbízhatósága nem a csavar meghúzásánál kezdődik, hanem már a munkapadon. Ha a hajlékony vezető végét rosszul készíted elő – kihagysz néhány rézszálat, vagy laza marad a krimp –, akkor a csatlakozás átmeneti ellenállása megnő. Az eredmény melegedés, idővel kilazuló, esetleg besült kötés, ami hibaforrás lehet a teljes berendezésben. Ebben az alfejezetben a vezetékmegmunkálás kézműves alapjait tanulod meg: a munkahely előkészítését, a vezeték hosszra vágását, a blankolást, az érvéghüvely és kábelsaru kiválasztását, krimpelését és ellenőrzését. Ez az a tudás, amelyet a későbbi kötéstechnikai és sorkapcsos gyakorlatok során minden alkalommal alkalmazni fogsz.

39.1.2. Szemléletes kép

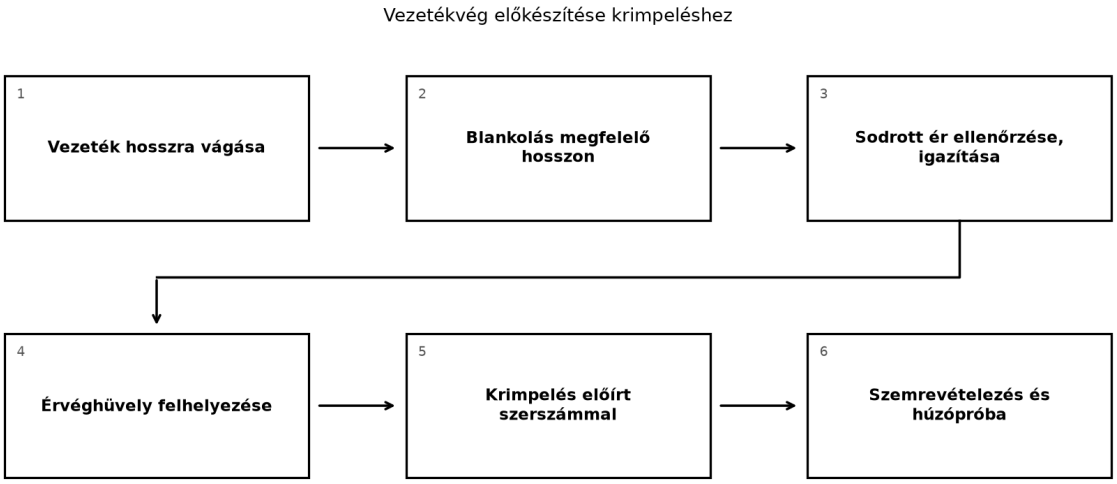
Képzelj el egy munkapadot, amelyen három, azonos keresztmetszetű, hajlékony vezetővég fekszik. Az első előkészített vég mintaszerű: a szigetelés simán, minden sérülés nélkül el van távolítva, a sodrott ér szálai párhuzamosak, és az érvéghüvely szorosan illeszkedik. A másodiknál a blankolási él megcsípte a rézszálakat; a harmadiknál pedig több vékony szál kihajlik az érvéghüvely gallérja alól. A későbbi sorkapocsba fogásnál az első kötés tartós lesz, a másodiknál csökkenhet a vezető keresztmetszete, a harmadiknál pedig a kihagyott szálak rövidzárlatot vagy bizonytalan érintkezést okozhatnak. A három vezetővéget – és egy negyedik gyakori hibát, a túl rövid blankolást – az alábbi oldalnézeti metszet hasonlítja össze. Helyes állapotban a blankolt szakasz a fémcső hosszával egyezik, a szálak a cső végéig érnek, a szigetelés a műanyag gallérba ér, és a krimp a fémcsövön van. Túl rövid blankolásnál a cső vége üres marad; megcsípett szálnál csökken a vezető keresztmetszete; a gallér alól kimaradt szál pedig zárlatot vagy érintésveszélyt okozhat.



39.1. ábra. Krimpelt érvéghüvely oldalnézeti metszete: helyes állapot (blankolási hossz = fémcsőhossz) és három tipikus hiba (túl rövid blankolás, megcsípett szálak, kimaradt szál)

Az ábra szemléltető, nem méretarányos; a fémcső 12 mm-es hossza csak példa, a valós értéket a hüvely gyártói adata adja. A HTML-kiadásban az ábra lépésenként lejátszható (blankolás, szálrendezés, hüvely felhúzása, krimpelés, húzópróba), és minden lépésnél a helyes és egy hibás változat látszik.

A teljes folyamatot áttekintő lépéssorozat segít, hogy semmilyen ellenőrzést ne hagyj ki:



39.2. ábra. Vezetékvég előkészítése krimpeléshez - A lépések sorrendje kötelező, mert a sorrendcsere kihagyott szálat vagy laza kötést okozhat.

39.1.3. Munkahely előkészítése és biztonsági ellenőrzés

A vezetékmegmunkálás akkor lesz gyors és biztonságos, ha a munkahely rendezett, a szerszámok a kezedhez esnek, és a munkadarab stabilan rögzíthető. A munkapad legyen tiszta, száraz, jól megvilágított, és legyen rajta annyi hely, hogy a vezeték ne csavarodjon vissza a vágóeszköz alá. A szerszámok közül a leggyakrabban használtakat – blankoló fogó, krimpelő fogó, oldalcsípő fogó, kés, hosszmérő, esetleg huzallehúzó – helyezd a domináns kezedhez közel, de úgy, hogy a vágóél ne sérthessen meg semmit.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

Szabály. Minden szerelési, bekötési, mérési vagy hibakeresési munka előtt a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát kell alkalmazni: 1. lekapcsolás, 2. visszakapcsolás elleni biztosítás, 3. feszültségmentesség ellenőrzése, 4. földelés és rövidre zárás, 5. a szomszédos, feszültség alatti részek lefedése.

Törpefeszültségű tanműhelyi gyakorlaton a 4. és 5. lépés gyakran nem értelmezhető, mert nincs veszélyes szomszédos hálózati feszültség, de az első három lépés akkor is kötelező: győződj meg arról, hogy a munkadarab feszültségmentes, és a visszakapcsolást fizikailag akadályozd meg, illetve jelezd a munkaterületet.

Megjegyzés. A vágó- és krimpelő szerszámok vágóéle és nyomófeje kézsérülést okozhat, ezért használat közben a másik kéz soha ne legyen a szerszám útjában. A szigetelt szerszámok szigetelése a hálózati feszültség ellen véd, de nem ad felhatalmazást feszültség alatti munkára; sérült szigetelésű szerszámot nem szabad használni.

39.1.4. Vezeték hosszra vágása, blankolás, sodrott ér kezelése

A vezeték hosszra vágásának alapelve: a tervezett bekötési hosszhoz adj tartalékot, de ne hagyj feleslegesen hosszú, kuszán tekergő maradékot. Általánosan elfogadott, hogy a munkadarab végén a blankolandó és bekötendő részhez képest nagyjából 50–100 mm tartalék elegendő, ha a kötést később esetleg újra kell készíteni **(ellenőrizendő: a konkrét berendezés gyártói**

előírása). Ha a vezeték egy elosztószekrényben fut, a tartalék hosszát úgy kell megválasztani, hogy a szerelés után a vezeték ne feszüljön, de ne is csavarodjon.

Blankolásnak nevezzük a szigetelés eltávolítását a vezetőről meghatározott hosszon, úgy, hogy a vezető anyaga sérülésmentes maradjon. A blankolási hossz a csatlakoztatandó elem típusától függ: érvéghüvelyes bekötésnél a blankolási hossz egyezzen meg a hüvely fémcsövének hosszával (a vezető a hüvely végével egy síkban legyen, vagy legfeljebb kb. 0,5 mm-rel nyúljon túl rajta; ellenőrizendő: gyártói adat); a szigetelés a műanyag gallérba ül be, a krimp csak a fémcsövet és a rézszálakat éri; kábelsaru esetén a hossz a saru csőhüvelyeéhez és a csavarhoz igazodik.

Gyakorlat. A blankoláshoz a vezető keresztmetszetének megfelelő blankoló fogót válassz. Hajlékony, sodrott érnél a blankoló vágóéle ne vágja át a szálakat; ha a fogó beállítása túl erős, a külső szálak megsérülnek. Tömör érnél a blankoló gyakran automatikusan a réz átmérőjéhez igazodik.

Sodrott ér kezelése. A blankolás után a sodrott vezető szálai rendszerint enyhén szétnyílnak. A szálakat kézzel vagy csipesz segítségével rendezd párhuzamos állásba, és finoman csavard össze a sodrás eredeti irányába, hogy a vég keresztmetszete kerek és egységes maradjon. Ha bármely szál megsérült vagy eltört, a vezetőt újra kell blankolni, mert a megmaradt szálak keresztmetszete már nem felel meg a névleges értéknek.

Definíció. A **kihagyott szál** olyan rézszál, amely nem kerül be az érvéghüvelybe vagy kábelsaru csőhüvelyébe, hanem oldalirányban kihajlik. A kihagyott szál csökkenti a tényleges érintkezési keresztmetszetet, rövidzárlatot okozhat, és a húzópróbánál azonnal kimutatható.

Példa. Egy 2,5 mm^2 névleges keresztmetszetű hajlékony vezető blankolásakor a sodrott érszerkezet körülbelül 50 darab, egyenként nagyjából 0,25 mm átmérőjű szálból áll **(ellenőrizendő: a gyártói adat szerint)**. Ha csak három-négy szálat kihagysz, az érintkező keresztmetszet elenyésző mértékben csökken, de a valós hibakockázat az, hogy a kihagyott szálak a szomszédos kapocshoz érnek, vagy a hüvely széle alá szorulva a húzópróba során kicsúsznak. Ezért a kihagyott szál mindig hibának számít.

39.1.5. Érvéghüvely kiválasztása és krimpelése

Definíció. Az **érvéghüvely** olyan, rézből készült, ónozott vagy ezüstözött, cső alakú szerelvény, amelyet a sodrott vezető végére húznak, majd krimpeléssel rögzítenek. Célja, hogy a finom rézszálakat összetartsa, megvédje a csavar közvetlen nyomásától, és homogén, jól csatlakoztatható vezetővéget hozzon létre. A szigetelt gallérral ellátott érvéghüvelyek emellett a bekötési ponton is segítenek a megfelelő távolság tartásában.

Szabály. Az érvéghüvely méretét **minden esetben a vezető névleges keresztmetszetéhez** kell választani. A hüvely belső átmérője éppen akkora legyen, hogy a blankolt, összeigazított érszálak szorosan, de erőltetés nélkül beilleszthetők legyenek. A túl nagy hüvely laza krimpet ad; a túl kicsi hüvelybe a szálak egy része nem fér be, vagy a hüvely szétreped.

Példa a méretválasztásra. Az érvéghüvelyek színét a gyártók jellemzően a DIN 46228-4 szerint választják, pl. 0,75 mm^2 szürke, 1,0 mm^2 piros, 1,5 mm^2 fekete, 2,5 mm^2 kék, 4 mm^2 szürke, 6 mm^2 sárga, de létezik ettől eltérő (francia) színkód is: mindig a doboz feliratán szereplő keresztmetszet a döntő **(ellenőrizendő: a gyártói katalógus és az aktuális szabványkiadás)**. Ne keverd az érvéghüvely színkódját a szigetelt préssaruk és toldóhüvelyek piros/kék/sárga sávos kódjával.

Példa. Egy 1,5 mm^2-es hajlékony vezetőhöz tehát a DIN-színkódban fekete érvéghüvely választandó, de a doboz feliratán a 1,5 mm^2 keresztmetszetnek kell szerepelnie. A kiválasztás után a vezetőt a fémcső hosszával egyező hosszon kell blankolni, a hüvelyt szigetelt gallérjával a vezető

szigetelése felé tolva fel kell húzni, amíg a rézszálak a fémcső végéig nem érnek és a szigetelés a gallérba nem ül; a gallérnak nem szabad a szálakat takarnia, mert akkor a krimp a szigetelésre szorulna.

Krimpelés. A krimpelés hidegsajtolással létrehozott kötés, amelynek során a krimpelő fogó a hüvelyt a rézszálakra préseli. A fogón a hüvely keresztmetszetéhez tartozó fészket kell választani, és a hüvelyt úgy kell behelyezni, hogy a krimpelt zóna a hüvely teljes hosszát egyenletesen lefedje.

Eljárás – az érvéghüvely krimpelésének lépései:

1. Ellenőrizd, hogy a krimpelő fogó tiszta, sértetlen, és a kiválasztott fészek mérete megegyezik a hüvely méretével.
2. Helyezd az előkészített érvéghüvelyű vezetőt a fogó megfelelő fészkébe; a szigetelt gallér a szigetelt rész felé nézzen.
3. Győződj meg arról, hogy minden rézszál a hüvely fémcsövén belül van, és nincs kihagyott szál.
4. Nyomd össze a fogót teljesen, amíg a fogó kilincse vagy ütközője ki nem old; tartsd meg a nyomást a gyártó által előírt ideig, ha van ilyen.
5. Nyisd ki a fogót, és vedd ki a krimpelt vezetéket.
6. Szemrevételezéssel ellenőrizd, hogy a krimp egyenletes, a hüvely nem repedt, és a gallér nem deformálódott.
7. Végezz húzópróbát: kézzel határozottan húzd szét a vezetőt és a hüvelyt; a hüvely nem mozdulhat el.

Definíció. A **húzópróba** a krimpkötés minőségének legegyszerűbb ellenőrző művelete: a krimpelt hüvelyt vagy sarut kézzel, tengelyirányú húzóerővel próbáljuk elmozdítani a vezetőről. A megfelelően krimpelt kötés nem csúszik, nem lazul, és a hüvely nem jön le a szálakról. Az erő irányát és nagyságát a vezető keresztmetszete határozza meg; a gyakorlatban $1{,}5\,\mathrm{mm}^2$ felett már kézzel is jól érezhető a különbség a jó és a laza krimp között **(ellenőrizendő: a gyártói húzóerő-ajánlás)**.

39.1.6. Kábelsaru kiválasztása és krimpelése

Definíció. A **kábelsaru** olyan, rézből készült, csőhüvellyel és csatlakozó szemmel ellátott szerelvény, amelyet nagyobb keresztmetszetű, hajlékony vagy tömör vezeték végére krimpelnek, és csavarral vagy csappal kötnek a kapocshoz. A gyűrű alakú vagy villás saru a csavaros kötéshez ad nagy felületű, stabil csatlakozást.

Szabály. A kábelsaru kiválasztásánál a vezető keresztmetszete mellett a csavar átmérőjét is figyelembe kell venni. A saru csőhüvelyének ugyanolyan belső átmérőjűnek kell lennie, mint a blankolt érszálak; a szem furatának pedig pontosan a csavar átmérőjéhez kell illeszkednie. Ha a furat túl nagy, a csavaros kötés nem lesz biztosan rögzíthető; ha túl kicsi, a csavar nem fér át, vagy a sarut meg kell hajlítani, ami tilos.

Példa. Egy $6\,\mathrm{mm}^2$-es hajlékony vezetőt M8-as csavarhoz kell csatlakoztatni. Olyan kábelsarut választunk, amelynek csőhüvelye $6\,\mathrm{mm}^2$-hez illik, szeme pedig 8,4 mm vagy a gyártói táblázat szerint M8-hoz tartozó furattal van ellátva **(ellenőrizendő: a gyártó kábelsaru-táblázata)**.

Krimpelés kábelsarunál. A kábelsaru krimpeléséhez általában nagyobb nyomóerőre van szükség, mint az érvéghüvelyhez. Ha a kábelsaru krimpelésére szolgáló fogó cserélhető betétekkel rendelkezik, akkor a betétet a vezető keresztmetszete és a saru hüvelyének mérete szerint válaszd ki. A hüvelyt a blankolt érszálakra kell felhúzni úgy, hogy a szem a bekötési hely felé nézzen, és a krimpelést a hüvely közepén, a gyártó által jelölt zónában kell elvégezni.

Figyelem. Kábelsaru krimpelésekor tilos a saru szemét kalapáccsal vagy fogóval deformálni, mert a repedés, a hajlítás vagy az anyagvékonyodás később melegedést vagy törést okozhat.

39.1.7. Minőségellenőrzés: húzópróba, szemrevételezés és mérés

A krimpkötés minőségét három, egymást kiegészítő módszerrel ellenőrizzük:

1. **Szemrevételezés.** A hüvely felülete legyen egyenletes, ne legyen nyitott, repedt vagy kilazult. A szigetelt gallér ne takarja a rézszálakat, és ne csússzon le a szigetelésről. A vezeték szigetelésén ne legyen blankolási vágás vagy nyomásnyom.
2. **Húzópróba.** A krimpelt hüvelyt vagy sarut kézzel határozottan húzd a vezető tengelye irányában. A jó krimp nem mozdul el, a laza krimp azonnal érezhető, mert a hüvely elcsúszik vagy lejön a szálakról.
3. **Átmeneti ellenállás mérése.** Ha a későbbi üzemeltetési körülmények vagy a bizonytalanság indokolja, mikroohmmérővel (vagy áram–feszültségesés módszerrel) ellenőrizhető a krimpkötés átmeneti ellenállása; a jól krimpelt kötés ellenállása a vezető hosszirányú ellenállásánál nem lehet észrevehetően nagyobb. A mérési módszert a Kötések, sorkapcsok, csavarnyomaték és ellenőrzés alfejezetben tárgyaljuk részletesen.

Szabvány. A krimpkötések, érvéghüvelyek és kábelsaruk követelményeit a vonatkozó európai és magyar szabványok tartalmazzák. Az érvéghüvelyek színkódját és méretsorát jellemzően a DIN 46228 szabvány szerint alakítják ki, de a pontos méreteket a gyártói adatlap adja meg. A sajtolt kötésekre az MSZ EN 60352-2 (forrasztás nélküli sajtolt kötések), az erősáramú sajtolt kötőelemekre az MSZ EN 61238-1, a sorkapcsokra az MSZ EN 60947-7-1 vonatkozik **(ellenőrizendő: az aktuális szabványszám, kiadás és alkalmazási terület)**. A krimpelő szerszámok szigetelési követelményei az MSZ EN 60900 szerint ellenőrizendők.

39.1.8. Gyakorlati útmutató

39.1.8.1. Cél

A gyakorlat célja, hogy a tanuló önállóan, szakszerűen készítsen elő egy hajlékony vezetővéget érvéghüvely krimpeléséhez, és ellenőrizze a kész kötés minőségét.

39.1.8.2. Eszközök és anyagok

- Hajlékony, sodrott rézvezető, például 1,5 mm^2 és 2,5 mm^2 keresztmetszettel
- Blankoló fogó a választott keresztmetszethez
- Krimpelő fogó érvéghüvelyekhez, a hüvely méretéhez illeszkedő fészekkel
- Érvéghüvelyek a vezető keresztmetszetéhez illeszkedő színnel és mérettel
- Oldalcsípő fogó vagy kés a vezeték levágásához
- Mérőszalag vagy tolómérő a blankolási hossz ellenőrzéséhez
- Kéz nagyító vagy világítóeszköz a szemrevételezéshez

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

39.1.8.3. Az öt biztonsági szabály alkalmazása

Bár a gyakorlat jellemzően feszültségmentes anyagon történik, a munkaterületet mindig ellenőrizd: 1. **Lekapcsolás**: ha a vezeték egy hálózathoz volt csatlakoztatva, kapcsold le a betáplálást. 2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás**: a kapcsolót zárd le, vagy a munkaterületet jelöld ki egyértelműen. 3. **Feszültségmentesség ellenőrzése**: megfelelő, előzőleg működőképesnek ellenőrzött feszültségvizsgálóval győződj meg arról, hogy a munkadarabon nincs feszültség. 4. **Földelés és rövidre zárás**: ha a munkadarab hálózati részekkel érintkezhet, földeld le; tanműhelyi, törpefeszültségű gyakorlaton gyakran elhagyható, de a helyzetet mindig értékeld. 5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése**: ha a közelben feszültség alatti kapcsok vannak, fedd le azokat.

39.1.8.4. Számozott lépések

1. **Mérd le és vágd le a vezetéket.** Számítsd ki a szükséges hosszúságot a bekötéshez, és adj hozzá tartalékot. A vágást éles oldalcsípővel vagy kábelspecifikus vágóval végezd, hogy a vég lapos és tiszta legyen.
2. **Válaszd ki a blankolási hosszat.** Érvéghüvelyhez a hüvely fémcsövének hosszával egyező blankolást válassz: a szigetelés a műanyag gallérba ül be, a krimp a szigetelésre nem foghat **(ellenőrizendő: a hüvely gyártói adata)**.
3. **Blankold le a vezetővéget.** A blankoló fogót a vezető keresztmetszetének megfelelő beállítással használd. Hajlékony érnél ellenőrizd, hogy a vágóél nem sértette-e meg a szálakat.
4. **Igazítsd meg a sodrott szálakat.** A szálakat rendezd párhuzamos állásba, és enyhén csavard össze, hogy a vég keresztmetszete kerek legyen.
5. **Húzd fel az érvéghüvelyt.** A hüvelyt a szigetelt gallérjával a szigetelés felé tedd fel, és továbbítsd, amíg a rézszálak a hüvely fémcsövébe nem érnek. Ellenőrizd, hogy nincs kihagyott szál.
6. **Végezd el a krimpelést.** A krimpelő fogó megfelelő fészkébe helyezd a hüvelyt, és nyomd össze teljesen. A fogó nem nyitható idő előtt.
7. **Vizsgáld meg a kész kötést.** Szemrevételezéssel ellenőrizd a krimp egyenletességét, a gallér állapotát és a rézszálak helyzetét.
8. **Végezz húzópróbát.** Fogd meg a hüvelyt és a vezetőt, és határozottan próbáld széthúzni. A hüvely nem csúszhat meg.
9. **Dokumentáld az ellenőrzést.** Ha a gyakorlat jegyzőkönyvet igényel, rögzítsd a vezető típusát, keresztmetszetét, a hüvely méretét, a krimpelő fogó típusát és az ellenőrzés eredményét.

39.1.8.5. Ellenőrzési pontok

- A blankolt szakasz a fémcső hosszával egyezik (a szálak legfeljebb kb. 0,5 mm-rel nyúlnak túl a cső végén; ellenőrizendő: gyártói adat), és a szigetelés nem sérült.
- Minden rézszál a hüvelyben van; nincs kihagyott, leszorult vagy megtört szál.
- A krimp hézagmentes, a hüvely nem deformálódott, a gallér nem repedt.
- A húzópróba során a hüvely nem mozdul el a vezetőn.

39.1.8.6. Tipikus hibák

- **Kihagyott szál:** a hüvely felhelyezése előtt a szálak nem rendezettek, egy vagy több szál kihajlik, és nem kerül be a hüvelybe. A hiba rövidzárlatot vagy keresztmetszet-csökkenést okoz.
- **Laza krimp:** a fogó nincs teljesen összenyomva, vagy rossz fészekbe helyezték, így a hüvely nem szorul rá a vezetőre. A húzópróba kimutatja.
- **Túlzott blankolás:** a csupasz szakasz lényegesen (0,5 mm-nél többel) hosszabb, mint a fémcső; a csupasz rész a gallér alól kilóg, és megérinthető, feszültség alatt álló részt hoz létre (az alapvédelem gyengül).
- **Sérült szigetelés:** a blankoló fogó belevág a szigetelésbe, gyengíti az áramütés elleni védelmet.

39.1.9. Valós életbeli alkalmazás

Egy ipari elosztószekrényben a szerelő egy 2,5 mm^2-es hajlékony vezetővel csatlakoztatta a mágneskapcsoló főérintkezőjéről egy 16 A-es motor egyik fázisát a sorkapocshoz. A bekötés után a készülék néhány napig hibátlanul működött, majd a sorkapocs környezetében barna elszíneződés és enyhe melegedés jelent meg. A kapocs ellenállásmérése megnövekedett átmeneti ellenállást mutatott. A kötés szétbontásakor kiderült, hogy az érvéghüvely krimpelésekor két rézszál kimaradt, és a hüvely alatt megtört; a hüvely emiatt nem szorult rá a teljes keresztmetszetre. A javítás az új blankolásból, a szálak gondos rendezéséből és új krimpelésből állt. A tanulság: a húzópróba és a vizuális ellenőrzés néhány másodpercet vesz igénybe, és a későbbi melegedési hiba elkerülhető lett volna. Az áram számít: 16 A mellett már 50 mΩ átmeneti ellenállás is $P = I^2R = 16^2 \cdot 0{,}05 = 12{,}8\,\text{W}$ hőt termel a kapocsban (a mágneskapcsoló tekercsének néhány tized amperénél ez nem következne be).

39.1.10. Hibakeresési eset

Tünet. Egy sorkapocsban a bekötött hajlékony vezető melegszik, a szigetelés elszíneződik, és terhelés alatt kis feszültségesés mérhető a csatlakozáson.

Hipotézis. A csavar jól meg van húzva, de a krimpelt érvéghüvely laza lehet, vagy kihagyott szálak csökkentik az érintkezési felületet.

Mérés. Feszültségmentes állapotban mérd meg a kapocs átmeneti ellenállását négyvezetékes mikroohmmérővel, vagy ismert egyenárammal (pl. 10 A) és a kötésen mért feszültségeséssel (lásd a Kötések, sorkapcsok, csavarnyomaték és ellenőrzés alfejezetet); a szokásos multiméter a néhány tíz mΩ-os tartományt nem oldja fel. Ha a kötés hideg, a hiba nem mindig jelenik meg. Terhelés alatti feszültségesés-mérést csak jogosult személy végezhet, megfelelő CAT-kategóriájú műszerrel, mérés előtti műszerellenőrzéssel és ujjvédős mérőcsúcsokkal; tanulóként helyette hőkamerás vizsgálatot vagy feszültségmentes ellenállásmérést végezz. A gyanús érték: a csatlakozáson mérhető feszültségesés lényegesen nagyobb, mint a vezető hosszirányú esése.

Ok. A kötés szétbontásakor kiderül, hogy az érvéghüvely krimpje laza volt, mert a krimpelő fogó nem a megfelelő fészekben dolgozott, és a húzópróbát kihagyták. A vezető szálai közül egy-két szál kimaradt a hüvelyből.

Javítás. A vezetővéget újra kell blankolni, a szálakat rendezni, majd a megfelelő méretű érvéghüvelyt újra krimpelni. A húzópróbát kötelezően el kell végezni.

Megelőzés. A krimpelés után mindig húzópróba és szemrevételezés; a krimpelő fogó méretbeállítását rendszeresen ellenőrizni kell; a munkautasításban a blankolási hossz és a krimpelő fészek megadása kötelező.

39.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a blankolás során a rézszálak sérülése megengedett, ha a vezeték még vezet? Indokold.
2. Milyen sorrendben ellenőrzöd a krimpkötést a krimpelő fogó kinyitása után?
3. Egy 1,5 mm^2-es hajlékony vezetőhöz piros érvéghüvelyt választottál (DIN-színkód szerint). Mi lehet a hiba?
4. Mi a teendő, ha a húzópróba során az érvéghüvely elmozdul a vezetőn?
5. Kábelsaru kiválasztásánál miért kell a csavar átmérőjét is figyelembe venni?

39.1.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a vezetékvég előkészítésének főbb lépéseit, és nevezd meg, melyik lépésnél történik a kihagyott szál megelőzése.

2. feladat (A). Egy hajlékony, 2,5 mm^2 keresztmetszetű vezetőt érvéghüvely krimpeléséhez készítesz elő. A hüvely fémcsövének hossza 12 mm. Mekkora blankolási hosszúságot választasz, és miért?

3. feladat (B). Egy 6 mm^2-es hajlékony vezetőt M6-os csavarhoz kell kötni kábelsaruval. Milyen kábelsarut választasz (keresztmetszet, szemfurat-átmérő), ha a gyártói táblázat szerint M6-hoz 6,5 mm furat tartozik? Indokold a választást.

4. feladat (B). Az alábbi állítások közül jelöld meg a helyes eljárást, és javítsd a hibásakat: - (a) A krimpelő fogót bármelyik fészkében használhatom, ha a hüvely belefér. - (b) A húzópróba csak vizuális ellenőrzés, nem szükséges elvégezni, ha a krimp egyenletesnek látszik. - (c) A kábelsaru szemét a csavarhoz való igazításhoz hajlítani lehet, ha a furat nem illeszkedik. - (d) A krimp a szigetelést is megfogja, ezért a blankolást a fémcsőnél rövidebbre kell választani.

5. feladat (C). Egy elosztószekrényben a szerelő érvéghüvely nélkül, közvetlenül a sorkapocsban rögzíti a hajlékony, sodrott vezetőt. Milyen veszélyekkel járhat ez, és miért előnyös az érvéghüvely? Fogalmazd meg a fizikai okot.

6. feladat (D). Tegyük fel, hogy egy 1,5 mm^2-es, érvéghüvely nélküli hajlékony vezetőt sorkapocsba csavaroztak. A csavar meghúzása után a vezető szálai szétterülnek, és néhány szál kimarad. Ismertesd a hibakeresés lépéseit, és mondd el, mit javítanál a megelőzés érdekében.

39.1.13. Megoldások – önellenőrzés válaszai

1. **Hamis.** A blankolás során a vezető anyaga sérülésmentes kell maradjon, mert a megsérült szálak csökkentik a keresztmetszetet, és később töréshez vezethetnek.
2. Először szemrevételezés: a krimp egyenletes, a hüvely nem repedt, a gallér ép, nincs kihagyott szál. Ezután húzópróba: a hüvely nem mozdulhat el a vezetőn. Szükség esetén átmeneti ellenállás mérés.
3. A piros érvéghüvely DIN-színkód szerint 1,0 mm^2-es, ezért 1,5 mm^2-hez a fekete hüvely tartozik (ellenőrizendő: gyártói katalógus). A rossz méret laza krimpet vagy szorulást okoz.

4. Ha az érvéghüvely elmozdul, a krimp laza vagy rossz méretű. A vezetővéget újból blankolni kell, új, megfelelő méretű hüvelyt felhelyezni, majd a krimpelést helyes fészekben megismételni, és ismét húzópróbát végezni.
5. A kábelsaru szemének furata a csavar átmérőjéhez kell igazodjon, hogy a csavaros kötés nagy felületű, stabil és rezgésálló legyen. A túl nagy furat csúszást, a túl kicsi a saru deformálását eredményezi.

39.1.14. Megoldások – feladatok

1. feladat. Lépések: (1) vezeték hosszra vágása, (2) blankolás megfelelő hosszon, (3) sodrott szálak rendezése, (4) érvéghüvely felhelyezése, (5) krimpelés, (6) ellenőrzés. A kihagyott szál megelőzése a szálak rendezésénél és a hüvely felhelyezésénél történik: ellenőrizni kell, hogy minden szál a hüvely fémcsövén belül van.

2. feladat. A blankolási hosszat a hüvely fémcsövének hosszával egyezőre választjuk (a vezető a hüvely végével egy síkban legyen, vagy legfeljebb kb. 0,5 mm-rel nyúljon túl rajta), a szigetelés a gallérba ül be, és a krimp nem foghat rá. Tehát körülbelül 12 mm (12–12,5 mm) blankolást választunk.

3. feladat. A $6\,\mathrm{mm}^2$-es vezetőhöz $6\,\mathrm{mm}^2$-es kábelsarut választunk, és M6-os csavarhoz 6,5 mm furatú szemmel, a gyártói táblázat szerint. Így a hüvely pontosan illeszkedik a vezetőre, a furat pedig a csavarra.

4. feladat. - (a) Helytelen. A krimpelő fogónak a hüvely méretéhez tartozó fészkét kell használni, mert a fészket a megfelelő nyomásra és alakításra tervezték. - (b) Helytelen. A húzópróba mechanikai ellenőrzés, amely a laza krimpet azonnal kimutatja; nem szabad kihagyni. - (c) Helytelen. A sarut hajlítani tilos, mert repedést és törést okozhat. Megfelelő furatú sarut kell választani. - (d) Helytelen megfogalmazás. A szigetelés a műanyag gallérba ül, a krimp a fémcsőre és a rézszálakra kerül, a szigetelést nem sajtoljuk; a blankolási hossz a fémcső hosszával egyezik.

5. feladat. Érvéghüvely nélkül a csavar közvetlenül a finom rézszálakra nyomja a felületet, ami a szálakat szétteríti, elvékonyíthatja vagy eltörheti. A csavaros kapocs nyomása nem egyenletes, a felületi érintkezési pontok száma csökken, ami megnövekedett átmeneti ellenálláshoz, melegedéshez vezet. Az érvéghüvely a szálakat összetartja, homogén felületet ad a csavar számára, és a krimp hidegsajtolásos kötése biztosítja a kis átmeneti ellenállást.

6. feladat. Hibakeresés lépései: (1) feszültségmentesítés, (2) a sorkapocs szétbontása, (3) a vezető végének vizsgálata: a szálak szétterültek, kihagyottak, esetleg töröttek. (4) A vezetővéget újra blankolni kell, a szálakat rendezni, majd érvéghüvelyt felhelyezni és krimpelni. (5) A sorkapocsba való bekötés után húzópróbát kell végezni a krimpkötésen. Megelőzés: minden sodrott, hajlékony vezetőt érvéghüvellyel kell szerelni, és a krimp minőségét ellenőrizni kell.

39.1.15. Rövid összefoglaló

A szakszerű vezetékmegmunkálás a megbízható villamos csatlakozás alapja. A munkapad előkészítése után a vezetőt hosszra vágjuk, majd blankoló fogóval, a keresztmetszethez illeszkedő beállítással eltávolítjuk a szigetelést a szükséges hosszon. A blankolás során a rézszálak nem sérülhetnek. A sodrott, hajlékony ér szálait rendezni kell, hogy minden szál az érvéghüvelybe kerüljön; a kihagyott szál csökkenti az érintkezési felületet és rövidzárlatot okozhat. Az érvéghüvely méretét a vezető keresztmetszete határozza meg, a kábelsaru kiválasztásánál a csavar átmérőjét is figyelembe kell venni. A krimpelést a hüvely méretéhez tartozó fészekben, teljes nyomással kell elvégezni. A kész kötést mindig szemrevételezni kell, és húzópróbával kell ellenőrizni, hogy a hüvely

nem csúszik-e le. A laza krimp és a kihagyott szál a leggyakoribb hibák, amelyek melegedést, feszültségesést és meghibásodást okoznak. **Továbbvitt eredmény.** A kritériumokkal ellenőrzött krimpkötés és a húzópróba módszere szolgál alapul a Kötések, sorkapcsok, csavarnyomaték és ellenőrzés alfejezetben, ahol a kötések szorítóerejét és az átmeneti ellenállás mérését tanuljuk meg.

39.1.16. Források és ellenőrzési hiányok

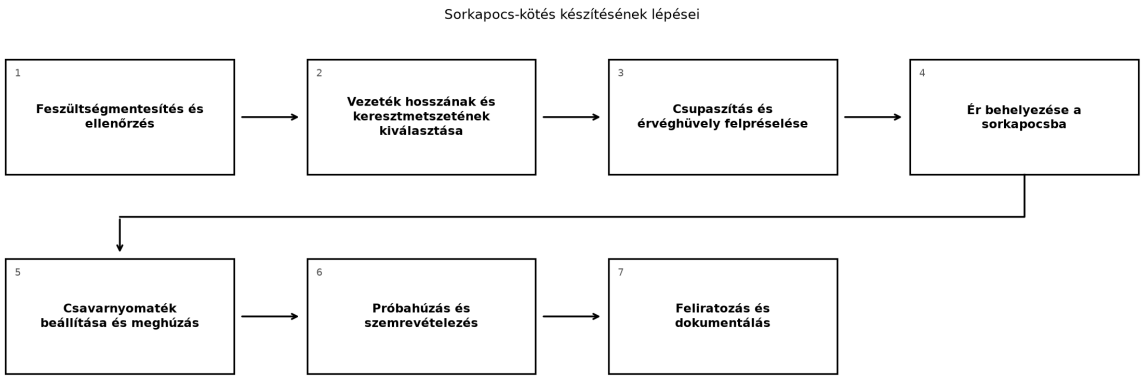
A fejezet forráskiindulópontja Phoenix Contact és az MSZT webhelye; a hivatkozott tartalmak ellenőrizendők. Ellenőrizendő a szabványok aktuális száma és kiadása: az érvéghüvelyek színkódjára vonatkozó DIN 46228 és a sajtolt kötésekre vonatkozó MSZ EN 60352-2 és MSZ EN 61238-1, valamint a sorkapcsokra vonatkozó MSZ EN 60947-7-1 pontos azonosítója és kiadása, valamint a krimpelő szerszámokra vonatkozó MSZ EN 60900. Ellenőrizendő továbbá az érvéghüvelyek gyártói színkódja, a húzópróba ajánlott erőértékei és a kábel saru furatátmérők táblázata.

39.2. Kötések, sorkapcsok, csavarnyomaték és ellenőrzés

39.2.1. Miért éppen a kötésen múlik minden?

Egy lakáselosztóban a szerelő azt látja, hogy az egyik kismegszakító kivezetése körül barna, égett szagú a szigetelés. A csavar alól kicsúszott vékony rézszálak feketére oxidálódtak. A konyhai sütő áramköre időnként leold, a csatlakozó sorkapocs felforrósodik. Nem a kismegszakító rossz: a kötés volt laza.

A villamos szerelésben a kötés az a pont, ahol a legkisebb hiba is a legnagyobb kárt okozhatja. A rossz érintkezés ellenállása megnő, a rajta eső teljesítmény hővé alakul, a hő pedig oxidációt, további ellenállás-növekedést, szigeteléskárosodást és akár tüzet okoz. A jó kötés nem „szorosra húzott csavar” – hanem tiszta felület, megfelelő vezető-előkészítés, előírt nyomaték és ellenőrzés.



39.3. ábra. Sorkapocs-kötés készítésének lépései - Tanulási összefoglaló; a valós munkánál mindig a gyártói adatlap és a feszültségmentesítés szabályai szerint kell eljárni.

39.2.2. Definíciók és kötési módok

Definíció. A **villamos kötés** két vagy több vezető, illetve vezető és készülék-kapocs olyan fémes összekapcsolása, amely tartósan kis átmeneti ellenállást biztosít, és elviseli a várható mechanikai, hő- és rezgésigénybevételeket.

Definíció. A **sorkapocs** olyan szerelvény vagy készülék-rész, amely egy vagy több vezető villamos és mechanikai csatlakoztatására szolgál. A sorkapocs két alapfeladata: a vezetőt rögzítse, és az áramot kis ellenállással átvezesse.

A gyakorlatban három fő sorkapocs-típust különböztetünk meg:

39.2.2.1. Csavaros sorkapocs

A csavaros sorkapocsnál a csavar nem közvetlenül a vezető érre nyom, hanem rendszerint egy nyomólemezen vagy emelőbetéten keresztül szorítja le az eret. A csavar anyaga általában acél, a kapocstest sárgaréz vagy más rézötvözet. A nyomólemez azért fontos, mert elosztja a csavar nyomását, és nem vágja el a vékony szálakat.

Előnye: nagy szorítóerő, széles keresztmetszet-tartomány, a kötés könnyen ellenőrizhető és újrahúzható.
Hátránya: hőciklusok és rezgések hatására idővel lazulhat, ezért időszakos ellenőrzést igényel. Túlhúzásnál a menet vagy a vezető tönkremehet.

39.2.2.2. Rugós sorkapocs

A rugós sorkapocsban a vezetőt feszített acélrugó szorítja a rézsínhez. Két gyakori változata a tolórugós (push-in) és a karos vagy szerszámmal nyitott rugós kapocs. A vékony, hajlékony vezetőt gyakran még itt is ajánlott érvéghüvellyel ellátni, hogy a szálak ne terüljenek szét.

Előnye: rezgésálló, hőciklusoknál is tartja a szorítóerőt, gyorsan szerelhető.
Hátránya: a visszanyitás és az újbóli bekötés kényesebb, a kapocs befogadóképessége és a szerszámigény típusfüggő.

39.2.2.3. Szorítós és gyorscsatlakozók

A szorítós kötőelemek közé tartoznak például az emelőkaros, dugaszolható kötőelemek és a gyorscsatlakozók. A karos típusnál a szerelő a kart nyitja, behelyezi a vezetőt, majd visszazárja a kart; a rugó így szorítja le az eret. A dugaszolható gyorscsatlakozók az épületvillamossági gyakorlatban is elterjedtek, de csak a gyártó által megadott vezetőfajtákra és keresztmetszetekre használhatók.

Figyelem. A „csak összecsavarom a vezetékeket” eljárás nem kötés. Az ilyen csavart, menetirány szerint nem rendezett, szigetelőszalaggal betekert kötés idővel melegszik, és nem biztosít védővezető-folytonosságot sem.

39.2.3. Alumínium kötések: különleges figyelem

A régi épületekben még gyakori alumínium vezeték. Az alumínium felületén azonnal vékony, nagy ellenállású oxidréteg képződik; az anyag hő hatására jobban tágul, mint a réz, és mechanikai terhelés alatt „kúszik”, vagyis lassan deformálódik.

Szabály. Alumínium és réz vezetőt közvetlenül, sima acélcsavarral összekötni **tilos**. A két fém eltérő elektrokémiai potenciálja és hőtágulása miatt a kötés meglazul, korrodál és felforrósodik.

Helyes megoldás:

- használjunk **Al/Cu sorkapcsot**, amelyben a két fém el van választva, vagy

- **bimetál kábelsarut** alkalmazzunk, vagy
- alumínium vezetőhöz alumínium sorkapcsot és rézhez réz csatlakozót válasszunk, illetve
- alkalmazzuk a gyártó által előírt **oxidgátló vagy érintkezőpasztát**, és a megadott tisztítási lépéseket.

Alumínium bekötésénél a csavarnyomaték és az újrahúzás különösen fontos, mert a kúszás miatt a kezdetben jónak tűnő kötés néhány hőciklus után meglazulhat. A pontos nyomatékot a gyártói adatlap adja meg; régebbi szereléseknél az értékeket ellenőrizni kell.

39.2.4. Csavarnyomaték és újrahúzás

A kötés minőségét nem a „jól meghúzom amíg bírja” elv határozza meg, hanem a gyártó által megadott nyomaték. A nyomatékot newtonméterben ($\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$) adják meg.

Szabvány. A készülékek és sorkapcsok kapocsnyomaték-értékeit a gyártói adatlap és a vonatkozó termékszabványok tartalmazzák (pl. MSZ EN 60947, MSZ EN 60998, MSZ EN 61439, MSZ EN 60204-1 – **ellenőrizendő: a pontos termékszabvány és a gyártói táblázat**). A szerelőnek az előírt nyomatékot be kell tartani.

Következmények:

- **Túl kicsi nyomaték:** a kötés laza, az átmeneti ellenállás nagy, melegszik, ív keletkezhet.
- **Túl nagy nyomaték:** a csavar elvágja a vékony szálakat, a menet megnyúlik, a kapocstest deformálódik, a kötés később laza lesz.

Példa.
Egy moduláris kismegszakító kapcsa a gyártó szerint $2{,}0\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$ nyomatékkal húzandó meg **(szemléltető érték; ellenőrizendő: a konkrét készülék gyártói adatlapja)**. A szerelő először $1{,}2\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$ értékkel húz; az érvéghüvelyes vezető fémesen nem fekszik fel teljesen. Ezután nyomatékkulccsal beállítja a $2{,}0\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$ értéket. A kapocsrés nyomatékkulcs-kattanás után pontosan zár, a vezető nem mozdul. A későbbi hőkamerás ellenőrzésen a kapocs hőmérséklet-emelkedése a szomszédos kötésekkel azonos.

Újrahúzás
A rendszeres karbantartás során a csavaros kötéseket ellenőrizni kell. Nem „vakon” kell mindent meghúzni, hanem

- először szemrevételezni,
- ellenőrizni a nyomatékot nyomatékkulccsal,
- az előírt nyomatékot betartani,
- a szoruló vagy elszíneződött kötést megbontani, megtisztítani és újra szerelni.

Figyelem. A gyártó által megadott nyomatékot nem szabad túllépni, mert az alumínium és a hajlékony réz könnyen deformálódik. A régi kötésekben a csavar újrahúzásakor ellenőrizni kell, hogy az ér nem sérült-e.

Átmeneti ellenállás mérése. Négyvezetékes (Kelvin-) mikroohmmérővel, vagy ismert egyenárammal (pl. 10 A) és a kötésen mért feszültségeséssel: $R = U/I$. Összehasonlítási alap: ugyanolyan hosszú ép vezetőszakasz ellenállása (pl. $2{,}5\,\mathrm{mm}^2$ réz, 10 mm: $R = \rho\,l/A = 0{,}0175\cdot 0{,}01/2{,}5 \approx 0{,}07\,\mathrm{m\Omega}$). A jó kötés ennek nagyságrendjében van, a tízszeres eltérés hibát jelez **(ellenőrizendő: gyártói/szabványos határérték)**. A kézi multiméter $0{,}1\,\Omega$-os felbontása és a mérőzsinór ellenállása mellett a néhány mΩ–néhány tized Ω nagyságú átmeneti ellenállás nem mutatható ki, ezért a „folytonosság” nem minősíti a kötést. A mérést feszültségmentesített, az öt biztonsági szabály szerint biztosított berendezésen, vagy a mikroohmmérő gyártójának utasítása szerint végezd.

39.2.5. Ellenőrzés hőkamerával

A kötés melegedését terhelés alatt hőkamerával lehet kimutatni. A hőkamera a felületek hőmérséklet-eloszlását jeleníti meg. A módszer alkalmas a laza, nagy átmeneti ellenállású kötések megtalálására.

Biztonsági korlát. A nyitott, feszültség alatti kapcsolószekrény hőkamerás vizsgálata feszültség közelében végzett munka: csak jogosult személy végezheti, a burkolatok és fedések megbontása nélkül, ahol lehet ellenőrzőablakon át, megfelelő egyéni védőfelszereléssel **(ellenőrizendő: MSZ EN 50110-1 és a hazai üzemeltetési szabályok)**. A tanuló tanműhelyben vagy oktató felügyeletével, törpefeszültségű modellen gyakorolhat.

Gyakorlat.
A mérést **üzemi terhelés alatt**, lehetőleg azonos árammal kell végezni. A vizsgált kapcsolószekrényben a kötések hőmérsékletét a környezeti hőmérséklethez viszonyítjuk. A gyanús kötés jellemzője: **hőmérséklet-különbség** (ΔT) a szomszédos, azonos áramú kötésekhez képest. Néhány fokos eltérés még normális lehet; tíz-húsz fokos eltérés és a láthatóan forró kapocs azonnali javítást igényel. **(ellenőrizendő: az adott berendezésre és környezetre vonatkozó határértékek, MSZ EN 61439 / MSZ EN 60204-1 szerint)**

Megjegyzés. A hőkamerás vizsgálat tájékoztató jellegű: nem helyettesíti a nyomatékellenőrzést, a szemrevételezést és a csatlakozások feszültségmentes állapotú vizsgálatát. A hőkamera felbontása, a tárgy emissziós tényezője és a távolság befolyásolja a mért értéket.

39.2.6. Forrasztás alapjai

A forrasztás a finom elektronikai szerelésekben alapvető, de az **erősáramú, hálózati feszültségű vezetékek bekötésére általában nem megfelelő**. A forraszanyag lágy, mechanikailag gyengébb, mint a csavar vagy a rugó által létrehozott szorítás; hőciklusnál elöregedhet, megrepedhet, és rossz esetben a kötés kienged.

A forrasztás alapelvei, ha az adott feladat megengedi:

1. **Tiszta felület:** a vezetőt oxid- és zsírmentesre kell tisztítani.
2. **Folyasztószer:** a forrasztandó felületet a forraszanyaghoz és az anyaghoz illő folyasztószerrel kell bevonni.
3. **Megfelelő hőmérséklet:** a páka hőmérsékletét az anyag és az alkatrész hőtűrése szerint kell beállítani; túl kevés hőnél „hidegforrasztás”, túl sok hőnél szigeteléskárosodás keletkezik.
4. **Ne mozogjon:** a forrasztott kötést hűlés közben nem szabad mozgatni, mert a megdermedő ötvözetbe repedések kerülnek.
5. **Ellenőrzés:** a jó forrasztott kötés fényes, sima felületű; a gyanús, matt, gömbszerű vagy repedezett kötést újra kell forrasztani.

39.2.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasházi lakáselosztó felülvizsgálatán a szerelő a hőkamerán azt látja, hogy a C16-os kismegszakító felső kivezetése mintegy 18 K-nel melegebb a szomszédos kapcsoknál. A terhelés mindkét áramkörön azonos, körülbelül 9 A. A feszültségmentesítés után kiderül, hogy a kapocs csavarja negyed fordulatot lazult. A szerelő megbontja a kötést: az érvéghüvely felülete helyenként barna, a rézér kissé elszíneződött. Megtisztítja a vezetéket, új érvéghüvelyt húz, majd **nyomatékkulccsal** a gyártó által megadott értékre húzza a kapcsot. A visszakapcsolás után az

áramkör terhelését visszaállítja, a hőkamerás kép ekkor már nem mutat hőmérsékleti eltérést. Ezt a mérést jegyzőkönyvben rögzíti.

39.2.8. Hibakeresési eset: meg-megszakadó motorleágazás

Tünet. Egy ipari csarnokban a szalagmeghajtó motor időnként leáll, a hőkioldó néha kiold, a motor árama pedig a karbantartó mérésekor (amikor a kötés éppen érintkezett) nem haladta meg a beállított értéket. A karbantartó a motorkapocsdobozban enyhe égett szagot érez.

Hipotézisek:

1. A motor egyik fázisának kötése a sorkapocsban laza, ezért a motor egyfázisra áll.
2. A hőkioldó mechanikailag elhasználódott.
3. A kábel szigetelése sérült, időnként földzárlat keletkezik.

Mérés.
Feszültségmentesítés után a szerelő méri a motor tekercseinek ellenállását: mindhárom fázis azonos, a szigetelési ellenállás jó. Ezután megvizsgálja a sorkapcsokat: az U1 kapocs csavarja alatt a vezetőér elszíneződött, a csavar meglazult. A kábel köpenye ép.

Ok.
A laza kötés fáziskimaradást okozott. A motor két fázison üzemelve túlmelegszik: fáziskimaradáskor a két megmaradt fázis árama megnő (kb. 1,5–1,7-szeresére), illetve a fáziskiesés-érzékeny hőkioldó a fázisáramok különbségére is old, ezért időnként lekapcsol. A laza kapocsnál keletkező ív és hő barna nyomot hagyott.

Javítás.
A sérült vezetővéget levágja, a kábelt újra előkészíti, érvéghüvelyt húz rá, majd a kapcsot a gyártó által megadott nyomatékkal húzza meg. A motor próbaüzeme után terhelés alatt ellenőrzi a kapcsok hőmérsékletét hőkamerával, és ellenőrzi a hőkioldó beállítását (a motor névleges áramára).

Megelőzés.
A rezgésnek kitett gépeknél rögzített kötéshúzási tervet kell készíteni, rendszeres időközönként nyomatékellenőrzést tartani, és a jeleket – elszíneződés, szag, meleg kapocs – azonnal megvizsgálni.

39.2.9. Gyakorlati útmutató: sorkapocs-kötés készítése és ellenőrzése

Cél. Tanműhelyi környezetben tanuló gyakorolja a vezető előkészítését, érvéghüvely szerelését és a sorkapocs bekötését.

Eszközök és anyagok. Blankoló (csupaszoló) fogó, krimpelő (préshüvely-) fogó, érvéghüvelyek, sorkapocs, nyomatékkulcs, multiméter, szemrevételező tükör, vezetékek, törlőkendő, hőkamera vagy infrahőmérő **(ha rendelkezésre áll)**.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

39.2.9.1. A feszültségmentesítés öt biztonsági szabálya

1. **Lekapcsolás:** a munkakörre kapcsolt áramkör teljes lekapcsolása.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás:** kapcsoló letiltása, zár és tábla.
3. **Feszültségmentesség ellenőrzése:** működőképes feszültségvizsgálóval minden fázis, nulla és védővezető között.
4. **Földelés és rövidre zárás:** ha a munkavégzési előírás megköveteli.
5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése.**

39.2.9.2. Számozott lépések

1. **Válaszd ki a gyártói adatlap szerinti sorkapcsot** a vezető anyagához (Cu/Al), keresztmetszetéhez és a villamos paraméterekhez.
2. **Mérd le a vezeték hosszát** úgy, hogy az ér ne feszüljön, de ne lógjon be a szellőzőnyílásokba; hagyj egy kismértékű tartalékot.
3. **Csupaszítsd le a szigetelést** a sorkapocs gyártója által megadott hosszban. A csupaszítás ne legyen túl hosszú, mert csupasz ér nem lóghat ki a kapocsból.
4. **Hajlékony vezetőnél húzz érvéghüvelyt.** A blankolt (csupaszított) szakasz a fémcső hosszával egyezzen, a krimpelés a fémcső teljes hosszán, a hüvelyhez tartozó fészekben, a gyártó szerinti profillal történjen (lásd a Munkahely, szerszám, vezetékmegmunkálás, érvéghüvely és kábelsaru alfejezetet).
5. **Helyezd be a vezetőt** a kapocs befogadó nyílásába. Csavaros kapocsnál ügyelj arra, hogy a nyomólemez alá kerüljön, ne a csavar feje alá.
6. **Húzd meg a csavart először kézzel, majd nyomatékkulccsal** a gyártó által megadott nyomatékra. Figyeld a kattanást.
7. **Végezz próbahúzást.** A vezető nem csúszhat ki, az érvéghüvely nem deformálódhat.
8. **Szemrevételezéssel ellenőrizd:** ne legyen csupasz ér, szálkásodás, repedés, fényes felületű legyen az érintkezési pont.
9. **Végezd el a villamos ellenőrzést:** multiméterrel folytonosságot mérsz a vezető és a kapocs másik oldala között. Ez csak a bekötés helyességét igazolja, a kötés minőségét nem; az átmeneti ellenállás mérését lásd az *Átmeneti ellenállás mérése* bekezdésben.
10. **Dokumentáld** a munkát: áramkörjel, nyomatékérték, esetleges hőmérséklet-mérés eredménye.

39.2.10. Tipikus hibák

1. Hiba: túl hosszú csupaszítás.
A szigetelésből kilógó csupasz ér a szomszédos kapocshoz érhet, zárlatot vagy földzárlatot okoz.
Helyes: a csupaszítási hossz legyen a kapocs által megadott, a szigetelés a kapocstestig érjen.

2. Hiba: hajlékony vezeték érvéghüvely nélkül.
A csavar vagy rugó alatt a vékony szálak szétterülnek, egyes szálak elpattannak, a kötés melegszik.
Helyes: hajlékony vezetékre a gyártó által jóváhagyott, megfelelő méretű és hosszúságú érvéghüvelyt kell préselni.

3. Hiba: A csavart „ahogy bírja” meghúzás.
A túlhúzás elvágja az eret, a laza kötés melegszik.
Helyes: nyomatékkulcsot kell használni, és a gyártó által megadott értéket be kell tartani.

4. Hiba: alumínium és réz közvetlen összekötése.
A két fém korróziója és eltérő hőtágulása miatt a kötés meglazul.
Helyes: Al/Cu sorkapocs vagy bimetál kötőelem használata.

5. Hiba: forrasztott erősáramú kötés csavaros kapocsban.
A forraszanyag a csavar alatt kifolyik, a kötés hőciklusnál meglazul.
Helyes: erősáramú kötéseket szorítással kell készíteni; a forrasztott kötést csak az arra alkalmas elektronikai környezetben szabad használni.

39.2.11. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A csavaros sorkapocs csavarja közvetlenül a vezetőrézre nyom, ezért nincs szükség nyomólemezre.

2. **Igaz vagy hamis?** Hajlékony vezető bekötése érvéghüvely nélkül is megengedett, ha a kapocs rugós.

3. **Milyen nyomatékkal kell meghúzni egy sorkapcsot?**

4. **Mi a teendő, ha réz vezetőt alumínium vezetőhöz kell csatlakoztatni?**

5. **Miért nem forrasztunk hálózati feszültségű vezetéket sorkapocsba?**

6. **Milyen ellenőrzéseket végzünk közvetlenül a kötés elkészítése után?**

39.2.12. Feladatok

1. feladat (A) Sorolja fel a csavaros, a rugós és a szorítós sorkapcsok egy-egy jellemzőjét, előnyét és hátrányát.

2. feladat (A) Magyarázza el, miért kell hajlékony vezetékre érvéghüvelyt préselni a sorkapocsba kötés előtt.

3. feladat (B) Egy kismegszakító kapocsnyomaték-adata a gyártói táblázat szerint $2{,}0\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$ **(szemléltető érték; ellenőrizendő: a konkrét készülék gyártói adatlapja)**. A szerelő nyomatékkulcs nélkül, kézzel „csak annyira” húzza meg. Írja le, milyen hibákhoz vezethet ez, és milyen két lehetséges ellenőrzési módszerrel lehet utólag kimutatni a rossz kötést.

4. feladat (B) Sorolja fel a hőkamerás ellenőrzés előkészítésének és végrehajtásának lépéseit egy kapcsolószekrényben. Melyik mérési körülmény befolyásolja a hőkamerás képet?

5. feladat (C) Egy régi lakásban alumínium vezetékek vannak, és a konyhai áramkört réz vezetékre cserélik. Milyen kötőelemeket és munkalépéseket alkalmazna az átmeneti pontokon, hogy a kötés megbízható legyen? Sorolja fel a lehetséges veszélyes hibákat.

6. feladat (D) A tanműhelyben egy elosztómodellen a C16-os kismegszakító kivezetése barnára égett, a csavar negyed fordulatot lazult. Írja le a javítási folyamatot a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát betartva, a kötés elkészítésétől a visszakapcsolás utáni ellenőrzésig.

39.2.13. Megoldások

39.2.13.1. Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A csavaros kapocsnál a csavar általában nyomólemezen vagy emelőbetéten keresztül szorítja le a vezetőt, hogy a szálakat ne vágja el.

2. **Nem általánosan igaz.** Hogy rugós kapocsba köthető-e hajlékony vezető érvéghüvely nélkül, azt a kapocs gyártója adja meg (sok rugós kapocs engedi, a push-in típusok jellemzően hüvelyt igényelnek); kétség esetén és csavaros kapocsnál mindig érvéghüvely kell **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.

3. A sorkapcsot mindig a **gyártó által megadott nyomatékkal** kell meghúzni; az érték általában newtonméterben van megadva.

4. Alumínium–réz átmenethez **Al/Cu sorkapcsot**, bimetál kötőelemet vagy a gyártó által jóváhagyott megoldást kell használni; oxidgátló pasztát kell alkalmazni, és a kötést az előírt nyomatékkal kell meghúzni.

5. A forraszanyag lágy, hőciklusoknál meglazulhat, a kötés mechanikailag gyenge; erősáramú kötéseknél ezért szorító kapcsot kell használni.

6. Szemrevételezés, próbahúzás, nyomatékellenőrzés, folytonosság mérése, csupasz ér ellenőrzése, adott esetben hőkamerás ellenőrzés terhelés alatt.

39.2.13.2. Feladatok megoldásai

1. feladat (A)
Csavaros: nagy szorítóerő, széles keresztmetszet-tartomány, könnyű ellenőrizhetőség; hátránya, hogy hőciklusnál és rezgésnél lazulhat. Rugós: rezgésálló, gyors, hőciklust elvisel; hátránya, hogy a visszanyitáshoz szerszám kellhet és kisebb a befogadási tartomány. Szorítós/gyorscsatlakozó: gyors, kényelmes, de csak a gyártó által megadott vezetőtípushoz és keresztmetszethez használható, a rugószelepek kényesek a túlzott erőre.

2. feladat (A)
A hajlékony vezető sok vékony szálból áll. Érvéghüvely nélkül a szálak a csavar vagy a rugó alatt szétterülnek, egyes szálak eltörnek, a kapocs nem szorítja le a teljes keresztmetszetet, az átmeneti ellenállás megnő. Az érvéghüvely összefogja a szálakat, egyenletes felületet ad a szorításnak, és védi a szálakat a sérüléstől.

3. feladat (B)
Kézi „csak annyira” húzással a kötés lehet túl laza (melegszik, leoldás, ívképződés) vagy túl szoros (a csavar elvágja a szálakat, a menet deformálódik, a kötés később laza lesz). Utólagos kimutatás: **hőkamerás ellenőrzés** terhelés alatt, illetve feszültségmentesítés után **nyomatékellenőrzés** és szemrevételezés. A pontos nyomatékot a gyártó adja meg, ezért a nyomatékkulcs használata elengedhetetlen.

4. feladat (B)
Lépések: terhelés alatt, azonos áramú kötések összehasonlítása; a környezeti hőmérséklet rögzítése; a kamera emissziós beállítása és a mérési távolság; a kapcsolószekrény ajtajának kinyitása előtt a munkavédelmi szabályok betartása. A mérést befolyásolja: a felület emissziós tényezője, a visszaverődő hő, a távolság, a környezeti hőmérséklet, a szellőzés, a terhelés eloszlása. Jellemző hiba, ha a mérést terhelés nélkül végzik, és a laza kötés nem melegszik.

5. feladat (C)
Az átmenetekhez Al/Cu sorkapcsot vagy bimetál kábelsarut választanék. A munkalépések: feszültségmentesítés; a vezetők tisztítása; az oxidréteg eltávolítása; oxidgátló paszta felvitele a gyártó szerint; a kötés gondos előkészítése; a gyártó által megadott nyomatékkal való húzás; a kötés ellenőrzése, későbbi időpontban újrahúzás. Veszélyes hibák: közvetlen Cu–Al összekötés, túlhúzás, paszta elhagyása, érvéghüvely hiánya, laza kötés.

6. feladat (D)
A javítás lépései:
1. Lekapcsolás.
2. A visszakapcsolás elleni biztosítás (zár, tábla).
3. Feszültségmentesség ellenőrzése minden fázison, nullán és PE-en.
4. Földelés és rövidre zárás: kisfeszültségű végáramkörön a munkautasítás szerint (általában nem szükséges, ezt indokolni kell).
5. Szomszédos feszültség alatti részek lefedése, ha vannak.
6. A sérült vezetővég levágása, újra csupaszítás, érvéghüvely húzása.
7. A kapocs megtisztítása, a csavar és a nyomólemez ellenőrzése.
8. Bekötés és a gyártói nyomatékkal való meghúzás.
9. Próbahúzás, szemrevételezés, folytonosságmérés.
10. Visszakapcsolás, terhelés alatti hőkamerás ellenőrzés (jogosult személy, a biztonsági korlát szerint).
11. Jegyzőkönyvben a munka dokumentálása.

39.2.14. Rövid összefoglaló

A villamos kötés a berendezés mechanikai és villamos szempontból legsérülékenyebb pontja. Csavaros, rugós és szorítós sorkapcsok közül a feladat és a gyártói előírás alapján kell választani. Hajlékony vezetőhöz érvéghüvely kell; alumínium és réz közvetlen összekötése tilos, Al/Cu kötőelemre van szükség. A csavart mindig a gyártó által megadott nyomatékkal kell meghúzni, lehetőleg nyomatékkulccsal. A laza kötés melegszik, a túlhúzott kötés deformálódik. A kész kötést szemrevételezéssel, próbahúzással és nyomatékellenőrzéssel, kétség esetén mikroohmmérős átmeneti ellenállás-méréssel, üzem közben hőkamerás vizsgálattal ellenőrizzük; a folytonosságmérés csak a bekötés helyességét igazolja, a kötés minőségét nem. A forrasztás erősáramú kötésekhez nem megfelelő. **Továbbvitt eredmény.** A kötések jelölése, nyomatéknaplója és dokumentálása a Jelölés, feliratozás, rendrakás és dokumentálás a munkahelyen alfejezetben tér vissza; az itt tanult ellenőrzési lépéseket a Lakáselosztó építése és bekötése és a Hibakeresés épületvillamossági modelleken gyakorlatokon alkalmazzuk.

39.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg a magyarországi és európai villamos szerelési gyakorlatra épül. A kapcsokra és kötőelemekre vonatkozó szabványok: MSZ EN 60947, MSZ EN 60998, MSZ EN 61439, MSZ EN 60204-1, MSZ HD 60364 sorozat. A konkrét csavarnyomaték-értékek és a hőkamerás hőmérséklet-különbség-határok tájékoztató jellegűek; a pontos értékeket a gyártói adatlapok és a hatályos szabványok tartalmazzák, ezért a kivitelezés előtt ellenőrizni kell.

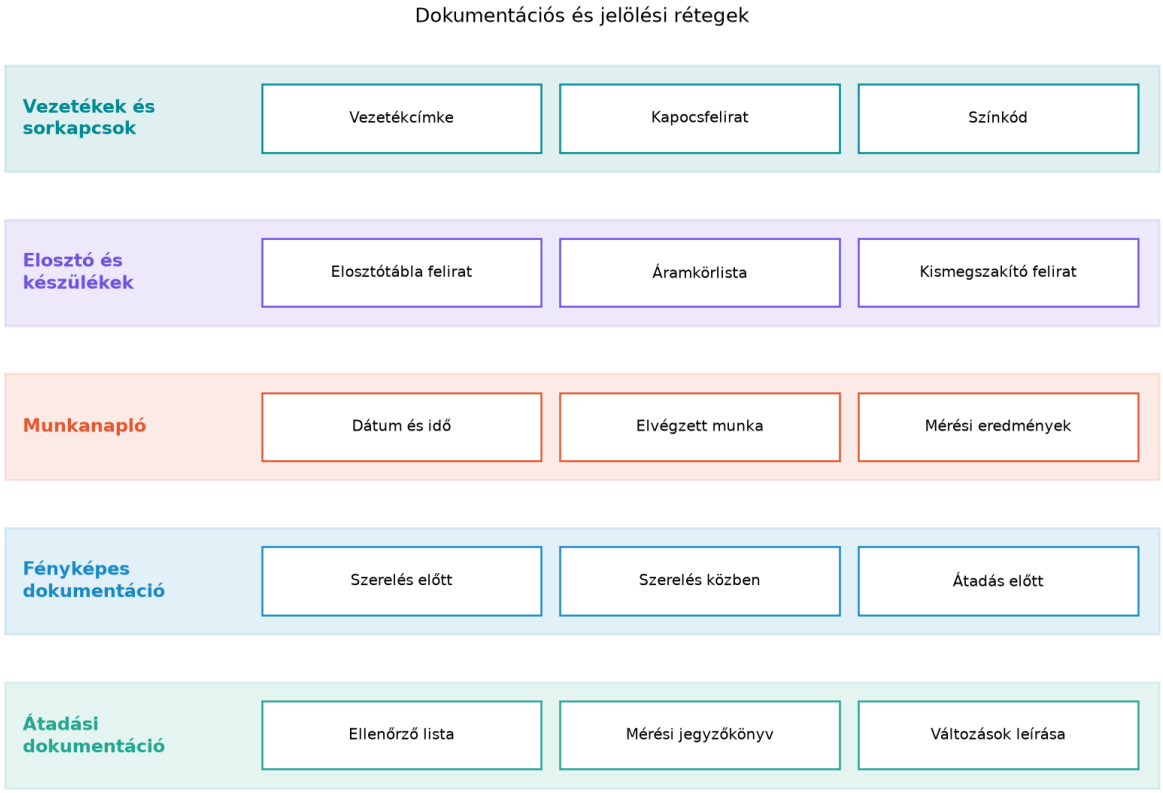
39.3. Jelölés, feliratozás, rendrakás és dokumentálás a munkahelyen

39.3.1. Miért döntő a jelölés, a feliratozás és a rend a munkaterületen?

Képzeld el: egy lakáselosztó cseréjét befejeztétek, az áramkörök mind működnek, a megrendelő átvette a munkát. Két hét múlva telefonál: leoldott egy kismegszakító, és nem tudja, melyik áramkörhöz tartozik, mert a villanyszerelő nem tett fel semmilyen feliratot. A szereléskor készült fényképeket sem találják, mert a telefonból törölték őket. A felülvizsgáló pedig nem tudja megállapítani, hogy a fürdőszobai áramkört valóban a 30 mA-es áram-védőkapcsoló védi-e, mert nincs semmilyen dokumentáció.

Ez az alfejezet éppen erről szól: hogyan jelölj meg egyértelműen minden vezetéket és készüléket, hogyan vezess szerelési naplót, és hogyan hagyd hátra a munkahelyet úgy, hogy a következő szerelő, a felülvizsgáló és a megrendelő is el tudjon igazodni rajta. A rendrakás és a dokumentáció nem „plusz munka”: része annak a szakmai minőségnek, amiért téged hívnak vissza, és amiért biztonságos lesz a berendezés.

Továbbvitt eredmény. Az itt megtanult jelölési és dokumentációs elveket közvetlenül alkalmazzuk a Világítási áramkörök építése: egypólusú, váltó, kereszt alfejezetben, ahol a tanműhelyi kapcsolás vezetékeit kapocsazonosítóval és színkóddal kell ellátnod.



39.4. ábra. Dokumentációs és jelölési rétegek - Egyetlen réteg hiánya gyakran elég ahhoz, hogy a későbbi hibakeresés vagy felülvizsgálat nehézkes vagy lehetetlen legyen; a jelölés és a dokumentáció egymást erősíti.

39.3.2. Vezetékjelölés, kapocsazonosítás, feliratozás

A jelölés célja, hogy a rajz, a valóság és a mérés hármasa bármikor összekapcsolható legyen: amit a terven látsz, azt ugyanazzal a jelöléssel találd meg a kapcsolószekrényben, a sorkapcson és a mérési jegyzőkönyvben.

Definíció. A **vezetékjelölés** (vezetékcímke) olyan, a vezetékre vagy kábelre felvitt azonosító, amely a rajz és a valóság közötti egyértelmű kapcsolatot biztosítja. A **kapocsazonosító** a sorkapcsok, készülékkapcsok és csatlakozók jelölése, például `X1:5`, `-K1:A1`, `L1`.

Szabály. Minden vezeték mindkét végén, kábel esetén pedig a kábel mindkét végén jól olvasható, mechanikai sérülésnek és nedvességnek ellenálló jelölést kell elhelyezni. A jelölést a lehető legrövidebb, de a rajzon megtalálható azonosítóval készítsd. Több vezeték együtt jelölése esetén

mindig a színkóddal együtt dolgozz: a jelölés önmagában nem helyettesíti a védővezető zöld-sárga vagy a nulla világoskék színét.

A gyakorlatban a következő jelölési rendet érdemes követni:

- **Készülékjelölés**: `F` védelmi készülék (kismegszakító, RCD, olvadóbiztosító, hőkioldó), `Q` főkapcsoló, teljesítménymegszakító, `K` mágneskapcsoló/relé, `H` jelzőlámpa (a hagyományos jelölés; az MSZ EN IEC 81346-2 szerint a jelzőlámpa betűjele `P`, ellenőrizendő: aktuális kiadás; a könyv rajzain H szerepel), `M` motor, `T` transzformátor, `X` sorkapocs. Utána arab szám: `Q1`, `F2`, `K3`, `X1`. A rajzon és a készüléken ugyanaz a jel szerepeljen.
- **Kapocsjelölés**: a készülék kapcsait a szabványos kapocsjelölés szerint jelezzük: mágneskapcsoló tekercs `A1`–`A2`, főérintkezők `1`–`2`, `3`–`4`, `5`–`6`, segédérintkezők `13`–`14` (NO), `21`–`22` (NC). A sorkapcsok jelölési formája például `X1:1`, `X1:PE`.
- **Vezetékazonosító**: a rajzon a vezetékeken gyakran szám vagy célmegnevezés szerepel. A gyakorlatban a `-K1:14` forma azt jelenti: a K1 mágneskapcsoló 14-es kapcsáról induló vezeték; a `-H1:1` pedig a H1 jelzőlámpa 1-es kapcsa. Ez a bekötésnél egyértelművé teszi, hová tartozik a vezeték.

Szabvány. A jelölések alapelveit az MSZ EN 60445 szabvány foglalja össze (ellenőrizendő: aktuális kiadás és hatókör). Az izolált vezetők színjelölése Magyarországon: a fázisvezető barna, fekete vagy szürke, a nulla világoskék, a védővezető zöld-sárga (a pontos színárnyalatokat és a háromfázisú jelölést az éppen hatályos kiadás szerint ellenőrizni kell). A referenciajelölés rendszere az MSZ EN IEC 81346 sorozatban szerepel (korábban MSZ EN 61346; ellenőrizendő: a pontos kiadás). A gyakorlatban a kismegszakítót `F`-fel és `Q`-val is jelölik; egy dokumentáción belül egységesen kell eljárni. Ebben a könyvben a kismegszakító és az áram-védőkapcsoló (RCD) jele `F`, a főkapcsolóé `Q`.

Gyakorlat. A feliratozás szabályai elosztóknál:

- Minden kismegszakító fölé vagy a gyártó által kialakított felirathordozóra írd fel az áramkör megnevezését: pl. „F1 – 16 A, C, nappali világítás déli oldal”.
- Az áram-védőkapcsolók fölé írd fel a védett körök csoportját: pl. „F4 (RCD 30 mA) – fürdő, mosógép, konyha”.
- A főkapcsoló fölé kerüljön „FŐKAPCSOLÓ” felirat.
- A sorkapcsoknál a vezetékek alá vagy fölé kis nyomtatott felirat kerüljön; ha nincs külön fólia, a sorkapocssoron csoportosítsd a vezetékeket, és feliratozd a csoportot.

A jelölés készítésekor használhatsz hőre zsugorodó feliratcsövet, kábelnyomtató címkéket, műanyag tasakba csúsztatható feliratkártyát vagy (ha a gyártó engedi) lézernyomtatóval készített, ragasztós, védett címkét. A filccel írt, kézzel javítgatott felirat elfogadható ideiglenes célra, de átadásra nem való.

Példa. Egy tanműhelyi világítási áramkörben az egypólusú kapcsolóhoz tartozó részt így jelöljük: a kapcsoló bekötésekor a fázisvezetőt `L` és `-S1:1` felirattal látjuk el, a kapcsolóról a lámpához menő vezetéket `-S1:2`–„lámpa fázis” jelöléssel, a nulla vezetéket `N` felirattal, a védővezetőt `PE` felirattal. Ugyanezek a jelölések jelennek meg a kapcsolási rajzon is. A kötőjeles előtag (`-`) a termékszempontú referenciajelölést jelzi (MSZ EN IEC 81346); egyfázisú körben a fázisvezető jele `L` (az `L1` a háromfázisú hálózat első fázisa).

39.3.3. Rend és tisztaság: hulladékkezelés, szerszámellenőrzés

Egy rendezetlen munkahely nem csak lassít, hanem baleseti forrás is. A levágott kábelvégek, a hátrahagyott szerszámok, a szétgurult csavarok mind az elbotlás, rövidzárlat, sérülés kockázatát növelik. A rend a szakmai szemlélet része, nem kényelmi kérdés.

Szabály. A munkaterületen a hulladékot azonnal, fajtánként gyűjtsd:

- **Fémhulladék**: rézvezeték-vég, kábel, csavar, lemez; ezt külön, lehetőleg visszaváltható gyűjtőbe.
- **Műanyag hulladék**: szigetelésdarab, csomagolóanyag.
- **Kevert hulladék**: műanyag, gumi, egyéb.
- **Veszélyes hulladék**: elem, akkumulátor, fénycső és más higanytartalmú fényforrás (törés nélkül, külön gyűjtőben), régi (esetleg PCB-tartalmú) kondenzátor, festékes vagy vegyszeres doboz – ezt a veszélyes hulladék gyűjtési szabályai szerint kell kezelni, nem kerülhet a kommunális hulladékba.
- **Elektromos és elektronikai hulladék** (leszerelt előtét, LED-driver, készülék, mérő- és kapcsolókészülék): külön, arra jogosult átvevő helyre kell vinni **(ellenőrizendő: hatályos hulladékgazdálkodási előírás)**.

A kábelhulladékot fém és műanyag szerint, a helyi átvevő igénye szerint válogasd; a levágott részeket a kábelvágóval vagy oldalcsípőfogóval darabold rövidebbre, mielőtt a gyűjtőbe kerül.

A **szerszámellenőrzés** lépései:

1. A nap végén minden szerszámot tisztíts meg: a fogókról, csavarhúzókról a szennyeződést, zsírt távolítsd el.
2. Ellenőrizd a szigetelést: a csavarhúzó nyelén, a fogók fogói szigetelt részen repedés, leválás, furcsa felület ne legyen. Ha sérült, a szerszámot ki kell vonni a forgalomból.
3. A kábelvágó, csupaszoló, csavarozó, krimpelő élét és működését próbáld ki; ha nem vág tisztán, élezni vagy cserélni kell.
4. A mérőműszert csak előírt kalibrálási időn belül használd; a mérőzsinórokat szemrevételezzétek: törés, kihúzódás nem megengedett.
5. A gépi szerszámoknál (fúró, sarokcsiszoló, csavarozó) a forgó részek, a kábel és a kapcsoló biztonságos állapota a munka megkezdése előtt is ellenőrizendő; a sérült gépet jelöld meg, és ne használd.

A rendrakás rendszere sok helyen az **5S** elvét követi: szortírozás, rendszerezés, tisztítás, szabványosítás, fenntartás. Erre épülhet a napi szerelői rutin.

39.3.4. Munkanapló és fényképes dokumentáció

A munkanapló (szerelési napló) a munkavégzés írásos nyoma, amely bizonyítja, mit, mikor, milyen anyagokkal és milyen mérésekkel végeztél. Ha később reklamáció, felülvizsgálat vagy baleseti vizsgálat indul, a napló a leghitelesebb forrás.

Definíció. A **szerelési napló** olyan dokumentum, amelyben az elvégzett munkát időrendben, tömören, de a későbbi azonosításhoz elegendő részletességgel rögzítjük.

A bejegyzésnek legalább a következő adatokat kell tartalmaznia:

- Dátum, időpont, helyszín, a munkát végző(k) neve.
- A megrendelő vagy a projekt azonosítója.
- Az elvégzett művelet leírása (pl. „Lakáselosztó cseréje, 6 db B16 kismegszakító felszerelése, áram-védőkapcsolók (RCD) bekötése”).
- A felhasznált anyagok és típusok (pl. H07V-U 1,5 mm², 100 m; F1: C16 kismegszakító).
- A mérési eredmények, ha vannak (pl. hurokimpedancia, szigetelési ellenállás).
- Az eltérések, hibák, jóváhagyott változások.
- Aláírás, dátum.

Szabály. A naplót folyamatosan, a munka napján, nem utólag visszaírva kell vezetni. Javító folyadék vagy olvashatatlan áthúzás helyett a hibás sort egyetlen vonallal húzd át úgy, hogy az eredeti olvasható maradjon, és mellé írd a javítás okát, dátumát, aláírását.

A **fényképes dokumentáció** célja, hogy a szerelés állapotát vizuálisan rögzítsük, különösen olyan helyeken, ahol a későbbi ellenőrzés nehéz (fal előtti vezetékezés, padló alatti kábel, kapocsdoboz belső bekötése). A minimális fényképezési pontok:

- **Szerelés előtt**: a meglévő állapot, a bontandó berendezés.
- **Szerelés közben**: a falon vezetett kábelek, a dobozok, a nyomvonal, a toldások, a zsugorcsövek, a sorkapcsok.
- **Átadás előtt**: a kész elosztó belső feliratokkal, a védőborítással, a környezet rendezett képe.

A fényképeket egyértelmű fájlnévvel (pl. `2025-03-11_elosztó_csere_előtte_03.jpg`) mentsd el, és másold a projektdokumentáció mappájába, ne csak a telefonon hagyd. A képek készítésénél figyelj arra, hogy a szükséges hozzájárulást megkaptad-e, különösen magánterületen, és a képek ne tartalmazzanak személyes adatot (arc, rendszám), ha nem szükséges.

39.3.5. Átadás előtti ellenőrzés

Az átadás előtti ellenőrzés az a pillanat, amikor a szakember egy utolsó, kritikus szemmel végignézi a munkát, mielőtt a megrendelőnek átadná. Ez nem a mérések pótlása, hanem a jelölés, a tisztaság és a dokumentáció teljességének ellenőrzése.

Eljárás – átadás előtti ellenőrző lista.

1. **Feszültségmentesítés, biztonsági korlát**: ha az elosztóban ellenőrzést végzel, a hálózati feszültségű munka csak jogosult személy által végezhető; tanuló felügyelet alatt, feszültségmentes állapotban dolgozhat.
2. Minden védőburkolat és ajtó fel van szerelve, becsukható, a csavarok meg vannak húzva.
3. Az összes készülék felirata olvasható, nem hiányzik, és megegyezik a rajz jelölésével.
4. A vezetékjelölések mindkét végükön megvannak, a színkódok helyesek (PE zöld-sárga, N világoskék, fázis barna/fekete/szürke).
5. A sorkapcsoknál nincs kilógó, szabadon maradt érfonat, a csavarok nem lazultak meg.
6. A munkaterület tiszta, hulladékmentes, a szerszámok összegyűjtve, a gépek karbantartva.
7. A munkanapló minden bejegyzése megvan, aláírva, a fényképek mentve, a tervlapok aktualizálva.
8. A mérési jegyzőkönyvek csatolva, a mérések eredményei a hatályos határértékekkel összevetve feltüntetve **(ellenőrizendő: aktuális szabványi határértékek)**.
9. A megrendelőnek átadott dokumentumcsomag összeállítása: kapcsolási rajz, feliratozott elosztólista, mérési jegyzőkönyv, kezelési utasítás, garanciajegy.

Példa. Egy lakáselosztó átadása előtt a szerelő ellenőrzi, hogy az F1 felirat „Nappali világítás déli” olvasható-e, a vezetékeken a jelölés hőre zsugorodó csővel rögzítve van-e, az áram-védőkapcsoló (RCD) tesztgombja működik-e (ha a gyártó előírja), és a naplóban a mérési eredmények dátum szerint szerepelnek-e.

39.3.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy társasházi lakás elosztójának cseréje után a megrendelő reklamált, hogy a konyhai hűtőszekrény leolvadt, mert véletlenül lekapcsolták a kismegszakítóját, de nem tudták, melyik kapcsoló tartozik hozzá. Kiderült, hogy a szerelő nem tett fel feliratokat az elosztóba, és a kábelcímkéket is elhagyta. A fényképes dokumentáció hiányában a későbbi hibakeresés során a villanyszerelő kénytelen volt az egész elosztót átnézni és minden kört külön végigmérni. Utólag a felirat pótlása és a dokumentáció elkészítése több időt vett igénybe, mint amennyit a szerelő a jelölés elhagyásával megtakarított. A tanulság: a jelölés és a dokumentáció nem utólagos papírmunka, hanem a szerelés minőségét és a berendezés biztonságát szolgálja.

39.3.7. Gyakorlati útmutató

Cél. Egy tanműhelyi elosztó vagy áramkör jelölésének, feliratozásának és dokumentálásának elvégzése feszültségmentes állapotban, a későbbi, Világítási áramkörök építése: egypólusú, váltó, kereszt gyakorlathoz szükséges alapok begyakorlása.

Eszközök és anyagok. Kábelcímke nyomtató vagy előre nyomtatott hőre zsugorodó felirat; filctoll; feliratkártyák; sorkapocsfeliratok; fényképezőgép; munkanapló; ellenőrző lista; a kapcsolási rajz.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Ha az elosztó már feszültség alatt van, a munkavégzés előtt mindig a jogosult személy végezze el a feszültségmentesítést.

Az öt biztonsági szabály.

1. Lekapcsolás.
2. Visszakapcsolás ellen biztosítás.
3. Feszültségmentesség ellenőrzése.
4. Földelés és rövidre zárás – ahol a munkavégzési előírás megköveteli (nagyobb feszültségen mindig; kisfeszültségen például visszatáplálás, kondenzátor, szabadvezeték vagy indukció veszélyénél is); feszültségmentes, törpefeszültségű tanműhelyi munkánál általában nem szükséges, de a helyzetet mindig értékeld **(ellenőrizendő: MSZ EN 50110-1)**.
5. Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése.

A jelölés lépései.

1. Készítsd elő a rajzot, és azonosítsd rajta az összes készüléket, sorkapcsot, vezetéket.
2. A készülékekre (kapcsoló, mágneskapcsoló, megszakító) írd fel a referenciajelölést (`F1`, `K1`, `Q1`) úgy, hogy az olvasható legyen.
3. A sorkapcsokra kerüljön fel a kapocsazonosító: `X1:1`, `X1:2`, `X1:PE`.
4. A vezetékekre hőre zsugorodó csővel vagy nyomott címkével rögzítsd a vezetékazonosítót, a rajz szerinti jelöléssel.
5. Az elosztó belső ajtajára vagy a készülék fölé helyezd el az áramkörlistát: pl. `F1 - 16 A, C - nappali világítás`.
6. Készíts fényképeket a kész elosztóról, a nyitott és a zárt állapotról is.
7. Írd be a munkanaplóba a mai dátumot, az elvégzett jelölési műveletet, a felhasznált anyagokat, a képfájlok nevét.

Ellenőrzési pontok.

- A rajzon szereplő minden jelölés megtalálható-e a valóságban?
- A színkódok megfelelnek-e a szabványnak (PE zöld-sárga, N világoskék, L1 barna)?

- Minden vezeték mindkét végén van-e azonosító?
- A feliratok olvashatóak-e 50 cm távolságból?
- A napló bejegyzése teljes-e?

Tipikus hibák a gyakorlatban.

- A vezetékjelölés csak az egyik végre kerül fel.
- A felirat filccel írt, elmosódott vagy javítgatott.
- A fényképek a telefonon maradnak, nincsenek mentve a projekt mappájába.
- A munkanapló bejegyzése napokkal később, emlékezetből készül.

Dokumentálás. A munkanaplóval együtt mentsd el a fényképeket, a módosított rajzokat és az ellenőrző listát.

39.3.8. Tipikus hibák

Hiba 1 – Hiányzó feliratok az elosztóban. A szerelő úgy adja át az elosztót, hogy a kismegszakítók alatt nincs semmilyen felirat, vagy a felirat csak „L1”, „L2”, „L3”. A megrendelő nem tudja, melyik kört kapcsolja le, a felülvizsgáló nem tudja ellenőrizni a védelmet. A helyes gyakorlat: minden megszakító fölé egyértelmű, az áramkör funkcióját leíró felirat kerüljön.

Hiba 2 – Vezetékjelölés elhagyása. A huzalozás kész, de a vezetékeken nincs semmilyen azonosító. Később a sorkapocsnál kell hibát keresni, és nem lehet tudni, melyik vezeték hová megy. A helyes gyakorlat: a szereléssel párhuzamosan, még a huzalozáskor jelöld a vezetéket.

Hiba 3 – A munkanapló üresen marad. A munkát elvégzik, de a naplóba nem írnak semmit. Egy későbbi reklamáció vagy baleset esetén nem bizonyítható, mit és mikor végeztek. A helyes gyakorlat: a napi munka végén azonnal rögzíteni a bejegyzést, dátummal és aláírással.

Hiba 4 – A szerszámokat ellenőrizetlenül teszik el. A sérült szigetelésű csavarhúzót tovább használják, mert „még jó”. Ez áramütéses balesethez vezethet. A helyes gyakorlat: sérült szerszámot azonnal ki kell vonni, jelölni kell, és javítás nélkül nem szabad használni.

39.3.9. Önellenőrzés

1. kérdés. Igaz vagy hamis? A zöld-sárga vezetőt fázisvezetőként is fel lehet használni, ha a végeit barna jelöléssel látjuk el. Indokold!

2. kérdés. Milyen adatokat kell tartalmaznia legalább egy munkanapló-bejegyzésnek? Sorolj fel ötöt!

3. kérdés. Mi a hibás a következő gyakorlatban? A szerelő a kapcsolási rajzot nem jelöli, csak a vezetékekre írja fel a színt: „barna”, „kék”, „zöld”. Miért nem elég ez?

4. kérdés. Melyik hulladékfajta nem keverhető a kommunális hulladékba? Nevezz meg legalább kettőt!

5. kérdés. Átadás előtt mit ellenőrzöl a szerszámokkal kapcsolatban? Sorold fel legalább három pontot!

39.3.10. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a vezetékjelölés három elemét, és magyarázd el, milyen színű a nulla és a védővezető.

2. feladat (A). Írd fel egy kismegszakító feliratát a következő adatokkal: F1, 16 A, C karakterisztika, nappali világítás. Milyen további adatot tüntetnél fel, ha a megszakító a fürdőszobai kört védi?

3. feladat (B). Készíts jelölési tervet egy egypólusú világítási áramkörhöz (a tipikus kapcsolás a Világítási áramkörök építése: egypólusú, váltó, kereszt alfejezetben): L, N, PE, kapcsoló, lámpa. Add meg a vezetékek és a kapcsok jelölését!

4. feladat (B). Tervezd meg a munkanapló bejegyzését egy napra, amikor a tanműhelyben a Világítási áramkörök építése: egypólusú, váltó, kereszt alfejezet kapcsolását építettétek meg. Tartalmazza a dátumot, a munkát, az anyagokat, a méréseket, az eltérést és az aláírást!

5. feladat (C). Elemezd, miért hibás az a gyakorlat, hogy a fényképes dokumentációt csak az átadás napján készítik el, miután a falat már bevakolták és lefestették. Milyen következményei lehetnek?

6. feladat (D). Adott egy elosztó fényképe, ahol a kismegszakítók alatt nincs felirat, a vezetékek jelölése hiányzik. Írd le, milyen lépésekkel pótolnád a jelölést feszültségmentes állapotban, a tanműhelyi gyakorlat során. Milyen ellenőrzést végeznél a végén?

39.3.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok.

1. **Hamis.** A zöld-sárga szín kizárólag a védővezetőt jelöli, és más célra nem használható; ezt a szabvány kötelezően írja elő. A fázisvezető barna, fekete vagy szürke; a nulla világoskék.
2. Dátum, időpont, helyszín; a munkát végző neve; az elvégzett művelet; a felhasznált anyagok; mérési eredmények; eltérések; aláírás.
3. Nem elég, mert a szín önmagában nem azonosítja a kört; barna sok fázisvezető létezhet, és a rajzhoz való kapcsolás hiányzik. A jelölésnek egyértelműen vissza kell mutatnia a rajzra, pl. `L`, `-S1:1`.
4. Veszélyes hulladékok: elem, akkumulátor, fénycső és higanytartalmú fényforrás, régi (esetleg PCB-tartalmú) kondenzátor, festékes doboz; ezeket külön kell gyűjteni. Az elektromos és elektronikai hulladékot (előtét, LED-driver, készülék) külön átvevő helyre kell vinni.
5. A szerszám tisztítása; a szigetelés állapota (repedés, leválás); a vágóélek és a mechanika működése; a mérőműszer kalibráltsága; a mérőzsinórok állapota.

1. feladat (A). A vezetékjelölés három eleme: (1) a színkód, (2) a vezetékazonosító (pl. szám, cél), (3) a kapocsazonosító (pl. `-K1:14`). Nulla: világoskék; védővezető: zöld-sárga.

2. feladat (A). „F1 – 16 A, C – nappali világítás”. Ha a fürdőszobai kört védi: „F1 – 16 A, C – fürdőszoba”, és mellé kötelezően a védő áram-védőkapcsoló: „RCD F4, $I_{\Delta n} = 30\,\mathrm{mA}$”. A fürdőszobai áramköröket 30 mA-es RCD-vel kell védeni **(ellenőrizendő: MSZ HD 60364-7-701 és az aktuális hazai előírás)**, ezért a feliratnak és az áramkörlistának egyértelműen meg kell mutatnia, melyik RCD alatt van a kör. A leoldási jelleggörbe és a védőkapcsoló jelölése is szerepeljen.

3. feladat (B). Egypólusú kapcsolás (lásd a Világítási áramkörök építése: egypólusú, váltó, kereszt). A fázisvezető belép: `L` – elosztótól a kapcsoló `1` kapcsáig; a kapcsoló `2` kapcsáról a lámpa fázis csatlakozója (jele: `-S1:2` – lámpa L); a nulla: `N` – elosztótól a lámpa `N` csatlakozója;

a védővezető: `PE` – elosztótól a lámpa fém testéig. A jelölésben a `-S1:1` és `-S1:2` utal a kapcsolóra.

4. feladat (B). Minta bejegyzés: „2025. 03. 11. 14:00–16:00, Tanműhely 2. terem. Vezetékjelölés gyakorlása az egypólusú világítási kapcsoláshoz. Felhasznált anyagok: H07V-U 1,5 mm² (barna, kék, zöld-sárga) 3×2 m; egypólusú kapcsoló S1; fényforrás izzó. Mérések: vezetékfolytonosság: 0,3 Ω (saját mérőzsinór 0,2 Ω). Eltérés: a kapcsoló felirat nyomtatása késett, ideiglenes kézi felirat készült. Aláírás: …”

5. feladat (C). Az utólagos, csak átadáskor készített fényképek nem dokumentálják a rejtett szerelés állapotát (fal előtti kábelek, kötések, dobozok). Ha később hiba lép fel, nem lehet bizonyítani, hogy a nyomvonal és a szerelés szabályos volt. A következmény: a hibakeresés lassabb, a felelősség nehezen tisztázható, a garanciavállalás vitatott lehet. Helyes: a fényképeket a munkafázisok közben folyamatosan készíteni.

6. feladat (D). A jelölés pótlása feszültségmentes állapotban:

1. Ellenőrizd, hogy az elosztó feszültségmentes (öt biztonsági szabály).
2. Azonosítsd a kismegszakítókat és a hozzájuk tartozó áramköröket a kapcsolási rajz alapján.
3. Minden kismegszakító fölé helyezd el az áramkör megnevezését (pl. `F1 - 16 A, C - nappali világítás`).
4. A vezetékeken jelöld a fázist, nullát és védővezetőt a szabványos színkód szerint; ellenőrizd a vezetők színét a szabványos színkód szerint (PE zöld-sárga, N világoskék, fázis barna/fekete/szürke). A végeken zsugorcsővel vagy címkével csak azonosító jelölést (pl. L1, L2, L3, áramkörszám) tehetsz fel; ha a védővezető nem végig zöld-sárga, vagy egy vezető színe nem felel meg a funkciójának, a vezetőt cserélni kell – a PE-t átjelöléssel létrehozni tilos **(ellenőrizendő: MSZ EN 60445, MSZ HD 60364-5-54)**.
5. A vezetékazonosítókat a rajz szerint rögzítsd mindkét végre.
6. A sorkapcsokra kerüljön kapocsfelirat: `X1:1`, `X1:2`, `X1:PE`.
7. A végén ellenőrizd: minden felirat olvasható, a rajz és a valóság megegyezik, nincs kilógó ér, a vezetékjelölések mindkét oldalon megvannak, a fényképek elkészültek.

39.3.12. Rövid összefoglaló

A jelölés, a feliratozás és a dokumentáció a villanyszerelő munka minőségének alapja. A vezetékeket egyértelmű azonosítóval látjuk el, amely a kapcsolási rajzra mutat vissza; a készülékek referenciajelölést kapnak (`Q1`, `K1`, `F1`), a kapcsok szabványos jelölést (`A1`, `13`, `X1:5`). Az elosztóban minden megszakító fölé felirat kerül, az áramkör funkciójával. A munkaterületen a rend és tisztaság, a hulladék fajtánkénti gyűjtése és a szerszámellenőrzés a balesetmegelőzést és a szakszerűséget szolgálja. A munkanaplót folyamatosan, aláírással és dátummal vezetjük; a fényképes dokumentáció a rejtett munkák bizonyítéka. Az átadás előtt ellenőrző lista alapján meggyőződünk a jelölések, a dokumentumok és a mérési jegyzőkönyvek teljességéről. **Továbbvitt eredmény.** A Világítási áramkörök építése: egypólusú, váltó, kereszt gyakorlatban ezt a jelölési rendet alkalmazzuk: a kapocsjelölések és vezetékazonosítók nélkül a hibakeresés és a mérés sem végezhető el egyértelműen.

39.3.13. Források és ellenőrzési hiányok

Az alfejezetben alkalmazott jelölési alapelvek (színkódok, kapocsjelölések, referenciajelölés) a magyar/európai szabványrendszerben aktuálisan érvényesek, de a pontos szabványszám és kiadás tekintetében ellenőrzendő: MSZ EN 60445, MSZ EN IEC 81346 (korábban MSZ EN 61346), MSZ HD 60364 sorozat vonatkozó kötetei, különösen a színjelölésre és a személyi védelemre vonatkozó

részek. A gyakorlati útmutatóban megadott mérési mintahatárok és a naplóbejegyzés formai követelményei tanulási példák; a konkrét határértékeket és dokumentumformátumokat a hatályos szabványok és a projekt előírásai szerint kell ellenőrizni.

40 Épületvillamossági gyakorlatok

40.1. Világítási áramkörök építése: egypólusú, váltó, kereszt

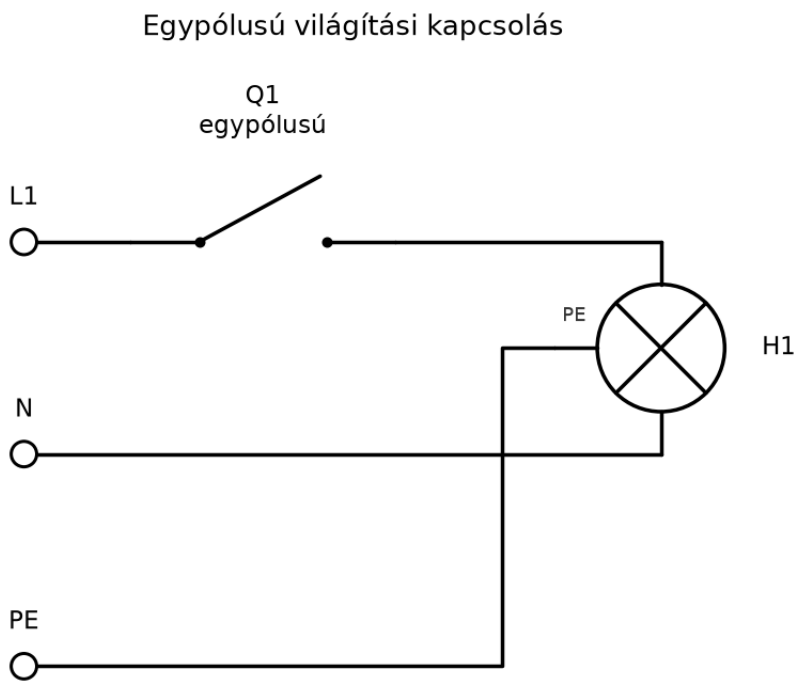
40.1.1. Motiváció

Egy lakásfelújításkor az egyik leggyakoribb kérés, hogy a lámpát ne csak egy helyről, hanem két vagy három pontról is lehessen kapcsolni: hálószobában az ajtó mellől és az ágy felől, hosszú folyosón vagy lépcsőházban több szintről. Egyszerű egypólusú kapcsolóval ez lehetetlen. Két váltókapcsolóval két pontról kapcsolható a lámpa, a közéjük iktatott keresztkapcsolóval pedig három vagy több pontról. Ebben az alfejezetben lépésről lépésre megépítjük ezeket a kapcsolásokat tanműhelyi környezetben, megtanuljuk bekötésüket, ellenőrzésüket, és begyakoroljuk a jellegzetes hibák felismerését.

Továbbvitt eredmény. Az itt megszerzett kapcsolási, vezetékezési és ellenőrzési rutin közvetlenül felhasználásra kerül a Lakáselosztó építése és bekötése alfejezetben, ahol a világítási áramköröket az elosztó túláramvédelméhez és áram-védőkapcsolójához kell csatlakoztatni, és ahol a fázis–nulla–védővezető szétválasztás már az elosztóban kezdődik.

40.1.2. Szemléletes kép

Az alábbi kapcsolási rajz a legegyszerűbb világítási áramkört, az egypólusú kapcsolást mutatja: a fázisvezető (L1) a kapcsolón keresztül jut a lámpához, a nulla (N) közvetlenül a lámpa másik kivezetésére csatlakozik, a védővezető (PE) pedig a lámpa fém testéhez, ha van.



40.1. ábra. Egypólusú világítási kapcsolás - L1 fázis a Q1 kapcsolón át a H1 lámpához, a lámpa másik kivezetése N-hez. A PE (zöld-sárga) védővezető a lámpa fém testének PE-csatlakozójához fut. Szemléltető rajz, nem helyettesíti a kivitelezési tervet.

A rajzon a kapcsoló (Q1) megszakítja a fázist, tehát amikor nyitva van, a lámpa fázisoldala le van választva. A nulla közvetlenül a lámpára megy, így a lámpa foglalatában a fázis mindig a középső érintkezőre, a nulla a menetes részre csatlakozik – ez biztonsági előírás, hogy kikapcsolt állapotban a foglalat külső, megfogható része ne legyen fázis alatt.

40.1.3. Definíciók és szabályok

Definíció. Az **egypólusú kapcsoló** egyetlen érintkezőpárt tartalmaz, és egy helyről tudja a lámpa áramkörét zárni vagy szakítani.

Definíció. A **váltókapcsoló** (idegen szóval SPDT, *single-pole double-throw*) egy közös bemenettel és két kimenettel rendelkezik. Állástól függően a közös pont az egyik vagy a másik kimenetre csatlakozik. Két váltókapcsolóval két pontról lehet egy lámpát kapcsolni.

Definíció. A **keresztkapcsoló** (DPDT, keresztbe kötött két váltó) két bemeneti és két kimeneti csatlakozással rendelkezik. Alaphelyzetben a bemeneteket egyenesen köti a kimenetekkel (1→1’, 2→2’), kapcsolt állapotban pedig keresztben (1→2’, 2→1’). Keresztkapcsolót a váltókapcsolók közé kell bekötni, így három vagy több kapcsolási pont valósítható meg.

Megjegyzés (betűjelek). Ebben az alfejezetben a kapcsolókat az egyszerűség kedvéért Q1–Q3-mal, a lámpát H1-gyel jelöljük. Az MSZ EN IEC 81346-2 szerinti betűjelezés (ellenőrizendő: aktuális kiadás) és a könyv rajzjel-függeléke a világítási kapcsolóra az S, a világítótestre az E

betűjelet ajánlja; a Q az erősáramú kapcsolókészülék (főkapcsoló, kismegszakító) jele. Valós terven a függelék szerinti jelölést használd.

Szabály. A fázist mindig a kapcsoló szakítja meg, a nulla közvetlenül a fogyasztóhoz (lámpához) megy. Ez biztosítja, hogy kikapcsolt állapotban a lámpa foglalata ne legyen feszültség alatt. A védővezetőt minden érinthető fémrészhez csatlakoztatni kell, de a kapcsolási áramkörben nem játszik szerepet.

Szabály (színjelölés). A magyarországi és európai gyakorlatban a fázisvezető barna (L1), fekete (L2) vagy szürke (L3), a nulla világoskék (N), a védővezető zöld-sárga (PE). A váltókapcsolók közötti ún. „váltóvezetékek” is fázisvezetőnek minősülnek, ezért jellemzően barna vagy más, nem kék/zöld-sárga színűek.

Szabály (bekötési logika váltókapcsolásnál). Két váltókapcsoló esetén a fázis az első váltókapcsoló közös pontjára (általában a kapcsoló hátoldalán egyértelműen jelölt csatlakozóra, pl. L vagy COM) kerül. A második váltókapcsoló közös pontja a lámpa fázisoldali kivezetésére csatlakozik. A két váltókapcsoló kimenő kapcsait (az ún. 1-es és 2-es pontokat) páronként összekötjük két vezetékkel. Így a lámpa akkor világít, ha a két kapcsoló állása megegyezik (mindkettő az 1-es vagy mindkettő a 2-es oldalon áll), és nem világít, ha ellentétes állásban vannak.

Szabály (bekötési logika keresztkapcsolásnál). A keresztkapcsoló a két váltókapcsoló közötti két összekötő vezeték közé kerül. Az első váltókapcsoló kimenő pontjai a keresztkapcsoló bemeneteire, a keresztkapcsoló kimenetei pedig a második váltókapcsoló kimenő pontjaira csatlakoznak. Minden egyes keresztkapcsoló beiktatásával a kapcsolási pontok száma eggyel növelhető.

40.1.4. Kidolgozott példák

40.1.4.1. 1. példa: egypólusú kapcsolás bekötése

Adott: tanműhelyi panel, egypólusú kapcsoló, lámpafoglalat, 12 V-os vagy 230 V-os feszültségforrás (felügyelt környezetben), 1,5 mm²-es vezetékek.

Keresett: a kapcsolás bekötési lépései.

Megoldás: 1. Kösd a fázist (barna) a kapcsoló egyik kapcsára. 2. A kapcsoló másik kapcsáról induló barna vezetéket vezesd a lámpa középső érintkezőjéhez. 3. Kösd a nullát (kék) közvetlenül a lámpa menetes érintkezőjéhez. 4. Ha a lámpa testén védőérintkező van, kösd a zöld-sárga védővezetőt. 5. Ellenőrizd multiméterrel, feszültségmentesen, izzó nélkül: a fázis bemeneti kapcsa (L) és a foglalat középső érintkezője között a kapcsoló nyitott állásában ne legyen folytonosság, zárt állásában legyen; a nulla bemeneti kapcsa és a foglalat menetes része között mindig legyen. Ne az L és az N kapocs között, behelyezett izzóval mérj és ne várj nyitott állást: a lámpa izzószála ilyenkor a mérőkörben van, és a kapcsolóállástól függetlenül kis ellenállást mutat.

40.1.4.2. 2. példa: váltókapcsolás bekötése

Adott: két váltókapcsoló (Q1, Q2), egy lámpa, fázis- és nullavezető.

A kapcsolási vázlat szöveges leírása: L1 → Q1 közös pont → Q1 1-es és 2-es pontjai → két vezeték Q2 1-es és 2-es pontjaihoz → Q2 közös pont → lámpa fázisoldala → lámpa másik oldala → N.

Bekötés lépései: 1. Kösd a fázist a Q1 közös pontjára (általában a kapcsoló hátoldalán más színű csavar vagy “L” jelölés). 2. A Q1 másik két kapcsáról (1, 2) induljon két azonos színű (pl. barna) vezeték. 3. Kösd ezt a két vezetéket a Q2 ugyanolyan sorszámú kapcsaira (1 az 1-hez, 2 a 2-höz). **Fontos:** a sorszám szerinti bekötés (1→1, 2→2) a dokumentáció áttekinthetőségét szolgálja. Ha a két váltóvezetéket felcseréled, a kapcsolás ugyanúgy működik – bármelyik kapcsoló átbillentése átváltja a lámpát –, csak a billentyűállás és a lámpaállapot összerendelése fordul meg (a lámpa az ellentétes állásokban ég). Ez tehát nem hiba; valódi hiba a közös pont vagy a nulla eltévesztése. 4. A Q2 közös pontjáról vezesd a fázist a lámpa középső érintkezőjére. 5. A nullát kösd a lámpa másik kivezetésére. 6. Kapcsolási táblázat: ha mindkét kapcsoló az 1-es állásban van, a lámpa világít; ha mindkettő a 2-esben, szintén világít; ha az egyik 1-es, a másik 2-es, nem világít. A két kapcsoló bármelyikének átkapcsolása megváltoztatja a lámpa állapotát.

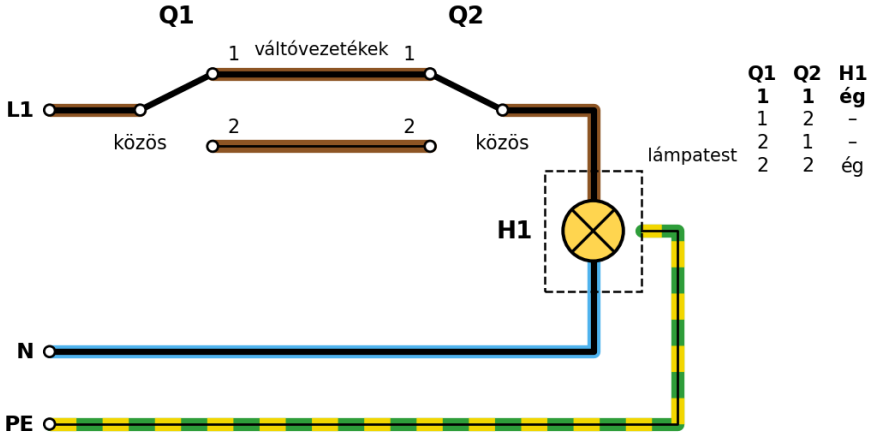
40.1.4.3. 3. példa: keresztkapcsolás bekötése

Adott: két váltókapcsoló (Q1, Q3), egy keresztkapcsoló (Q2), lámpa.

Bekötés vázlata: - Q1 (váltó) közös pontjára L1. - Q1 1-es és 2-es pontjait kösd a Q2 keresztkapcsoló bemeneteire (1, 2). - Q2 kimeneteit (1′, 2′) kösd Q3 (váltó) 1-es és 2-es pontjaira. (Gyártói jelölés esetén a kapocsfeliratot a katalógus szerint azonosítsd; az A1/A2 jelölés a tekercs kapcsait jelöli, ezért itt nem használjuk.) - Q3 közös pontjáról a lámpára, a lámpa másik oldalára N.

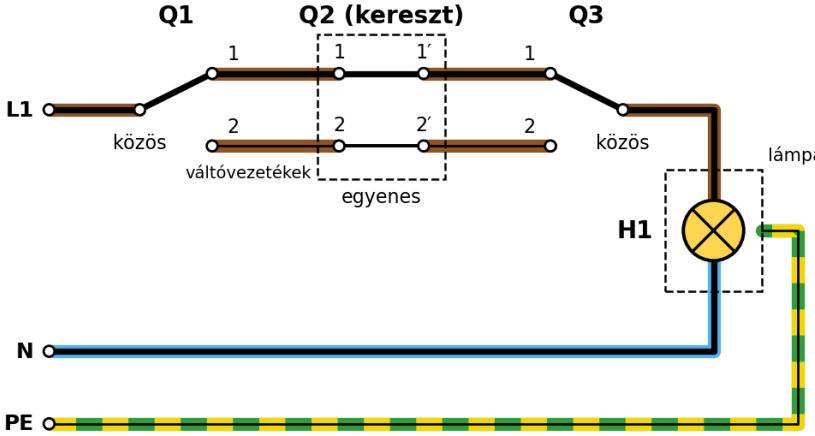
Működési logika: A keresztkapcsoló egy állásban egyenesen (1→1′, 2→2′), a másik állásban keresztben (1→2′, 2→1′) köti a vezetékeket. Így a két váltókapcsoló közötti útvonal kétféleképpen zárható. Három kapcsoló esetén a lámpa állapota bármelyik kapcsoló átbillentésével megváltozik.

(a) Váltókapcsolás: Q1 és Q2 az 1-es állásban – a lámpa ég



Q1	Q2	H1
1	**1**	**ég**
1	2	–
2	1	–
2	2	ég

(b) Keresztkapcsolás: Q1 = 1, Q2 egyenes, Q3 = 1 – a lámpa ég



Q1	Q2	Q3	H1
1	**egy.**	**1**	**ég**
1	egy.	2	–
1	ker.	1	–
1	ker.	2	ég
2	egy.	1	–
2	egy.	2	ég
2	ker.	1	ég
2	ker.	2	–

barna: fázis és váltóvezetékek · világoskék: N · zöld-sárga: PE · vastag vonal: az áramot vivő ág

40.2. ábra. Váltókapcsolás (Q1, Q2) és keresztkapcsolás (Q1, Q2 keresztkapcsoló, Q3) kapcsolási rajza az áramot vivő ággal és az igazságtáblával

Az ábra (a) része a 2. példa váltókapcsolását mutatja Q1 = 1, Q2 = 1 állásban: a fázis Q1 közös pontjáról az 1-es váltóvezetéken át Q2 közös pontjára, onnan a lámpára jut, a lámpa ég. A (b) rész a 3. példa keresztkapcsolását mutatja Q1 = 1, Q2 egyenes, Q3 = 1 állásban. Mellettük a 4, illetve 8 soros igazságtábla áll. A HTML-kiadásban a kapcsolókra kattintva átbillennek, az áramút kiemelődik, a táblázat aktuális sora kijelölődik; a „Váltóvezetékek felcserélése” gomb megmutatja, hogy a felcserélés után a kapcsolás továbbra is működik, csak az igazságtábla fordul meg.

40.1.5. Szabvány

Szabvány. A világítási áramkörök kialakítására és védelmére az MSZ HD 60364 sorozat vonatkozik (különösen a vezetékek szerelési módja, terhelhetősége és a feszültségmentesítés feltételei). A kapcsolók és lámpák rajzjeleit az MSZ EN 60617 szabványsorozat rögzíti. A gyakorlati bekötés során a vezeték keresztmetszetét az áramkör névleges áramához és a védelmi készülékhez kell illeszteni; a tanműhelyi gyakorlatban 1,5 mm²-es rézvezeték és 10 A-es kismegszakító használata jellemző. **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás és a tanműhelyi előírások).**

40.1.6. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy felújított lakásban a tulajdonos jelezte, hogy a hálószobai lámpa csak az ágy felőli váltókapcsoló egyetlen állásában ég, és az ajtó felőli kapcsolóról sem lehet rendesen vezérelni. A szerelő megmérte a kapcsolók bekötését (feszültségmentesen): az ajtó melletti kapcsolónál a fázis rendben a közös pontra volt kötve, de az ágy melletti kapcsolónál a közös pont kapcsára az egyik váltóvezeték, a lámpához vezető vezeték pedig az egyik váltókapcsra került. Emiatt a lámpa csak egyetlen álláskombinációban kapott fázist. A javítás a két vezeték megcserélése volt a kapcsoló hátoldalán. A tanulság: a váltókapcsoló közös pontját mindig a gyártó jelölése alapján azonosítjuk; a két váltóvezeték felcserélése ezzel szemben nem hiba, csak a lámpa és a billentyűállás összerendelését fordítja meg.

40.1.7. Gyakorlati útmutató

Cél: Tanműhelyi modellen megépíteni egy egypólusú, egy kétpontos váltó- és egy hárompontos keresztkapcsolást, majd feszültségmentes állapotban folytonosságméréssel, ezt követően felügyelt feszültség alatt működési próbával ellenőrizni.

Eszközök és anyagok:

- Szerelőpanel vagy kapcsolótábla (pl. fa vagy műanyag lap)
- 1 db egypólusú kapcsoló, 2 db váltókapcsoló, 1 db keresztkapcsoló
- 1 db lámpafoglalat (E14 vagy E27) és izzó (a tanműhelyi feszültségnek megfelelően, pl. 12 V vagy 230 V)
- Vezetékek: 1,5 mm²-es, réz, hajlékony vagy merev, barna, kék, zöld-sárga színekben
- Multiméter (folytonosság- és feszültségméréshez)
- Csavarhúzó, vezetékcsupaszító, kábelvég-hüvely (ha hajlékony vezetéket használunk)
- Feszültségforrás (tanműhelyi, védett) és védőeszközök

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Hálózati feszültségű (230/400 V) munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet.

Az **öt biztonsági szabály** a feszültségmentesítéshez: 1. Lekapcsolás 2. Visszakapcsolás elleni biztosítás 3. Feszültségmentesség ellenőrzése 4. Földelés és rövidre zárás (ha indokolt) 5. Szomszédos, feszültség alatt álló részek lefedése

A gyakorlati bekötést kizárólag feszültségmentes állapotban végezzük, a feszültség alá helyezés előtt az oktató ellenőrzi a kapcsolást.

40.1.7.1. A gyakorlat lépései (váltókapcsolás)

1. Előkészítés: Szereld fel a kapcsolókat és a lámpafoglalatot a panelre, rögzítsd a vezetékcsatornákat vagy használj szabadon vezetett vezetékeket.

2. Vezetékek előkészítése: Vágd méretre a szükséges vezetékeket, csupaszítsd a végeket 8-10 mm-en, és ha hajlékony vezetéket használsz, szerelj érvéghüvelyt.

3. Fázis bekötése: Kösd a barna fázist a Q1 (első váltókapcsoló) közös pontjára.

4. Váltóvezetékek: A Q1 1-es és 2-es kapcsairól induljon két barna (vagy más, nem kék/zöld-sárga) vezeték a Q2 (második váltókapcsoló) megfelelő 1-es és 2-es kapcsaira. Ügyelj a sorszám-egyezésre: 1-es az 1-esbe, 2-es a 2-esbe.

5. Lámpa bekötése: A Q2 közös pontjáról barna vezetéket vezess a lámpa középső érintkezőjéhez. A kék nullát kösd a lámpa menetes részéhez, a zöld-sárga védővezetőt pedig a lámpa fém testéhez, ha van.

6. Folytonosságmérés (feszültségmentesen): Állítsd a multimétert folytonosságmérésre. Csavard ki az izzót (behelyezett izzóval az izzószál kis ellenállása miatt a mérés félrevezető). Mérj a fázisbemenet (a Q1 közös pontja) és a foglalat középső érintkezője (a Q2 közös pontja) között: azonos állásokban (1-1, 2-2) legyen folytonosság, ellentétesekben (1-2, 2-1) ne legyen. Külön mérd a nulla bemeneti kapcsa és a foglalat menetes része közötti folytonosságot is.

7. Ellenőrzés feszültség alatt (csak felügyelettel): Kapcsold rá a tanműhelyi feszültséget, majd működési próba: mindkét kapcsolót átkapcsolva a lámpának ki-be kell kapcsolnia, és bármelyik kapcsoló átváltása állapotváltozást kell, hogy okozzon.

8. Keresztkapcsolás bővítése: Ha keresztkapcsolást építesz, a két váltókapcsoló közé iktasd be a keresztkapcsolót. Ilyenkor a jelölés a 3. példa szerint módosul: Q1 az első váltó, Q2 a keresztkapcsoló, Q3 a második (lámpa felőli) váltó. Q1 1-es és 2-es vezetékei a Q2 bemeneteire (1, 2), Q2 kimenetei (1′, 2′) a Q3 1-es és 2-es pontjaira mennek; a lámpát a Q3 közös pontja táplálja.

9. Dokumentálás: Készíts kapcsolási rajzot, jelöld be a vezetékszíneket és a kapcsok sorszámát. A rajz legyen olvasható, és tartalmazza a felhasznált anyagok tételes listáját.

Ellenőrzési pontok:

- Folytonosságmérésnél a kapcsoló kombinációk szerint várt eredmények.
- A nulla közvetlenül a lámpára van kötve, nem szakad meg sehol.
- A kapcsolók közös pontjait a gyártó jelölése alapján azonosítottad.
- A lámpa foglalatában a fázis a középső érintkezőn van.

40.1.8. Recept: váltókapcsolás bekötése 8 lépésben

Recept. Váltókapcsolás bekötése:

1. Szereld fel a kapcsolókat és a foglalatot.
2. Kösd a fázist az első váltókapcsoló közös pontjára.
3. Az első kapcsoló 1-es és 2-es kapcsaira köss két vezetéket.
4. Kösd ezt a két vezetéket a második kapcsoló 1-es és 2-es kapcsaira (sorszám szerint).
5. A második kapcsoló közös pontját kösd a lámpa fázisoldali érintkezőjére.
6. Kösd a nullát a lámpa másik érintkezőjére.
7. Kösd a védővezetőt a lámpa testéhez.
8. Ellenőrizd folytonossággal, majd felügyelt feszültség alatt működéssel.

40.1.9. Tipikus hibák

Hiba 1 – A váltókapcsoló közös pontjának eltévesztése.
A szerelő a fázist az egyik váltóérintkezőre köti, a közös pontra pedig a lámpa felé menő vezetéket teszi. Eredmény: a lámpa egyes kapcsolóállásokban rosszul vagy egyáltalán nem működik. Helyes gyakorlat: mindig a gyártó által jelölt közös pontot használni, és ezt folytonosságméréssel ellenőrizni.

Hiba 2 – A nulla kapcsolóra kötése.
Ha a nullát kötik a kapcsolóra, a kapcsoló nem a fázist szakítja: kikapcsolt lámpánál is feszültség alatt maradhat a lámpa fázisoldali kivezetése, ami érintésvédelmi kockázat. Helyes: a bekötést

rajz alapján végezni, és feszültségmentesen folytonossággal ellenőrizni. **Megjegyzés.** Ha a két váltóvezetéket (1 és 2) egyszerűen felcserélik az egyik kapcsolónál, az nem hiba: a kapcsolás továbbra is működik, csak a lámpa az ellentétes állásokban ég.

Hiba 3 – Keresztkapcsoló rossz bekötése.
A keresztkapcsoló bemeneteire és kimeneteire nem a megfelelő váltóvezetékeket kötik, vagy a keresztkapcsolót a váltókapcsolók helyére teszik. Eredmény: valamelyik kapcsoló (jellemzően maga a keresztkapcsoló) hatástalanná válik, vagy a lámpa egyes kombinációkban nem a várt módon vált. Ellenőrzés: a keresztkapcsoló kapcsai között folytonosságméréssel mindkét állásban (1–1′ és 2–2′ egyenes állásban; 1–2′ és 2–1′ kereszt állásban). Helyes: a keresztkapcsoló mindig a két váltó közé kerül, és a bekötésnél figyelni kell az egyenes-kereszt állásokra.

Hiba 4 – Nulla és fázis felcserélése a lámpánál.
Kikapcsolt állapotban a lámpa foglalatának menetes része fázis alatt marad, ami érintésvédelmi szempontból veszélyes. Helyes: fázis a kapcsolón át a középső érintkezőre, nulla a menetes részre.

40.1.10. Önellenőrzés

1. Igaz-e: két váltókapcsolóval három pontról lehet egy lámpát kapcsolni? Indokold!
2. Rajzold le szövegesen egy keresztkapcsolás kapcsolási sorrendjét!
3. Mi a szerepe a váltókapcsoló közös pontjának?
4. A folytonosságmérés során a váltókapcsolásnál mikor kell folytonosságot mérned a fázisoldal és a lámpa között?
5. Hiba-e, ha a lámpa az ellentétes kapcsolóállásokban ég (az egyik 1-es, a másik 2-es állásban), és bármelyik kapcsoló átbillentése átváltja az állapotát? Indokold! Milyen hiba okozza, hogy a lámpa csak egyetlen álláskombinációban ég?

(A válaszok a Megoldások elején találhatók.)

40.1.11. Feladatok

1. feladat (A). Fogalmazd meg röviden a különbséget egypólusú kapcsoló és váltókapcsoló között!

2. feladat (A). Rajzold le (szövegesen) a kétpontos váltókapcsolás bekötési vázlatát, a vezeték-színeket is jelölve.

3. feladat (B). Adott két váltókapcsoló, egy lámpa, 230 V-os hálózat. Írd le a bekötési lépések sorrendjét, és állapítsd meg, hogy a kapcsolók 1-1 és 1-2 álláskombinációinál a lámpa világít-e.

4. feladat (B). Egy keresztkapcsolóval bővített kapcsolásban hány vezeték csatlakozik a keresztkapcsolóhoz, és milyen szerepet töltenek be?

5. feladat (C). Hibás kapcsolás elemzése: a lámpa a négy álláskombináció (Q1, Q2) közül csak egyben, az (1, 1) állásban ég, a másik háromban sötét. Mi lehet a bekötési hiba (a közös pont eltévesztése Q2-nél)? Készíts állástáblát, és vázold a javítást! Külön döntsd el: hibának számít-e, ha a lámpa az ellentétes kapcsolóállásokban ég, de mindkét kapcsolóról átváltható?

6. feladat (D). Építsd meg a keresztkapcsolást a gyakorlati útmutató szerint. Feszültségmentes állapotban végezz folytonosságmérést. Sorold fel, mely pontok között mérsz, és milyen eredményt vársz a kapcsolók különböző állásainál!

40.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Két váltókapcsolóval legfeljebb két kapcsolási pont lehetséges. Három ponthoz egy keresztkapcsolót kell a két váltó közé iktatni.
2. L1 → Q1 közös pont → Q1 1,2 → két vezeték → Q2 1,2 → Q2 közös pont → lámpa → N. Keresztkapcsolás: L1 → Q1 közös → Q1 1,2 → Q2 (kereszt) 1,2 → Q2 (kereszt) 1′,2′ → Q3 1,2 → Q3 közös → lámpa → N.
3. A váltókapcsoló közös pontja az a csatlakozás, amelyik mindig kapcsolatban van a kapcsoló aktuális állása szerint az egyik kimenettel. A fázis vagy a lámpa felőli vezeték erre kerül, hogy a kapcsoló a megfelelő utat válassza.
4. Akkor kell folytonosságot mérni, ha mindkét kapcsoló azonos oldalon áll (1-1 vagy 2-2), mert ilyenkor a fázis útja zárt a lámpához. Ellentétes állásnál (1-2 vagy 2-1) nincs folytonosság.
5. Nem hiba. Ha az egyik váltókapcsolónál a két váltóvezetéket felcserélték, a lámpa az ellentétes állásokban ég, de bármelyik kapcsoló átbillentése továbbra is átváltja az állapotát (csere után: (1,1)→ki, (1,2)→be, (2,1)→be, (2,2)→ki), tehát a kétpontos vezérlés teljes. Ha viszont a lámpa csak egyetlen álláskombinációban ég, valamelyik kapcsolónál a közös pontot cserélték fel egy váltóvezetékkel; ha az egyik kapcsoló teljesen hatástalan, a másik kapcsolónál a két váltóvezeték ugyanarra a kapocsra került.

1. feladat megoldása. Az egypólusú kapcsoló egyetlen áramkört szakít meg, és csak egy pontról kapcsol. A váltókapcsoló egy közös bemenetet két kimenet közül választ, így két kapcsolóval két pontról lehet vezérelni.

2. feladat megoldása. A vázlat: L1 (barna) → Q1 közös → Q1 1-es és 2-es (két barna vezeték) → Q2 1-es és 2-es → Q2 közös → lámpa középső érintkezője (barna) → lámpa másik oldala → N (kék). PE zöld-sárga a lámpatesthez.

3. feladat megoldása. Bekötési lépések: lásd a gyakorlati útmutató 1–7. lépéseit. A kapcsolási táblázat:

- Q1 1-es, Q2 1-es: a fázis útja: Q1 közös→1→vezeték→Q2 1→közös→lámpa. A lámpa világít.
- Q1 1-es, Q2 2-es: Q1 közös→1→vezeték, de a Q2 közös a 2-esre csatlakozik, így nincs folytonosság. A lámpa nem világít.
- Q1 2-es, Q2 1-es: hasonlóan nincs út. Nem világít.
- Q1 2-es, Q2 2-es: Q1 közös→2→vezeték→Q2 2→közös→lámpa. Világít.

4. feladat megoldása. A keresztkapcsolóhoz négy vezeték csatlakozik: két bemenet (az egyik váltókapcsoló kimeneteitől jövő két váltóvezeték) és két kimenet (a másik váltókapcsoló felé menő két váltóvezeték). Feladatuk, hogy a két váltó közötti két vezeték útját egyenes vagy kereszt irányban zárják.

5. feladat megoldása. Ha a Q2 közös pontja és az egyik váltókapcsa fel lett cserélve (a közös pontra váltóvezeték, a lámpához vezető vezeték pedig váltókapocsra került), a lámpa csak a (Q1, Q2) = (1, 1) állásban ég; az állástábla: (1, 1) be, (1, 2) ki, (2, 1) ki, (2, 2) ki. Q1 = 1 mellett Q2 átbillentése még átváltja a lámpát, Q2 = 2 mellett viszont Q1 sem hat. A javítás: feszültségmentesen a két vezetéket a helyes kapocsra kell tenni, majd folytonossággal ellenőrizni. Ha a lámpa csak az ellentétes állásokban ég, de mindkét kapcsolóról átváltható, az nem hiba: az egyik kapcsolónál felcserélt váltóvezetékek mellett a kapcsolás hibátlan, csak a billentyűállás és a lámpaállapot összerendelése fordított.

6. feladat megoldása. Mérési pontok (feszültségmentesen, az öt biztonsági szabály szerint): a fázisbemenet (Q1 közös pontja) és a lámpa fázisoldali kapcsa (Q3 közös pontja) között. A 8 kombináció (Q1 – Q2 keresztkapcsoló – Q3):

Q1	Q2 (kereszt)	Q3	Folytonosság
1	egyenes	1	van
1	egyenes	2	nincs
1	kereszt	1	nincs
1	kereszt	2	van
2	egyenes	1	nincs
2	egyenes	2	van
2	kereszt	1	van
2	kereszt	2	nincs

Pontosan 4 sorban van folytonosság. A keresztkapcsolót külön is bemérheted: egyenes állásban 1–1′ és 2–2′, kereszt állásban 1–2′ és 2–1′ között van kapcsolat. Helyes bekötésnél bármelyik kapcsoló átkapcsolása megváltoztatja az eredményt: ha előtte volt folytonosság, utána nem lesz, és fordítva.

40.1.13. Rövid összefoglaló

Az egypólusú kapcsoló egyetlen pontról szakítja meg a fázist. A váltókapcsoló egy közös bemenetet két kimenet közé vált, így két váltókapcsolóval kétpontos vezérlés valósítható meg; a lámpa akkor ég, ha a két kapcsoló azonos oldalon áll. A keresztkapcsoló a váltókapcsolók közé kötve lehetővé teszi a három- vagy többpontos kapcsolást: a két váltó közötti vezetékeket egyenes vagy kereszt irányban köti. A fázist mindig a kapcsoló szakítja, a nulla közvetlenül a lámpára kerül, a védővezető a lámpatesthez. A váltóvezetékeket a dokumentáció kedvéért sorszám szerint kötjük (1→1, 2→2); felcserélésük nem hiba, csak a billentyűállás és a lámpaállapot összerendelését fordítja meg. A közös pontot viszont mindig a gyártó jelölése alapján kell azonosítani. A gyakorlati munkát feszültségmentes állapotban, az öt biztonsági szabály betartásával végezzük, majd folytonosságméréssel és felügyelt feszültség alatt működési próbával ellenőrizzük. **Továbbvitt eredmény:** az itt megszerzett kapcsolási és ellenőrzési rutinra épül a Lakáselosztó építése és bekötése alfejezet, ahol a világítási áramköröket az elosztó védelmeihez csatlakoztatjuk, és a fázis–nulla–védővezető szétválasztást a főelosztótól kezdve gyakoroljuk.

40.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ HD 60364 sorozat – kisfeszültségű villamos berendezések (szerelési módok, védelem). **(ellenőrizendő: aktuális kiadás és a tanműhelyi gyakorlatra vonatkozó előírások).**
- MSZ EN 60617 – rajzjelek. **(ellenőrizendő: a váltó- és keresztkapcsoló pontos szabványos rajzjele).**
- A gyakorlati útmutatóban használt feszültségszintek és vezetékkeresztmetszetek tanműhelyi példák, nem helyettesítik az adott létesítményre vonatkozó tervezői és kivitelezői előírásokat.

40.2. Lakáselosztó építése és bekötése

40.2.1. Miért építünk lakáselosztót?

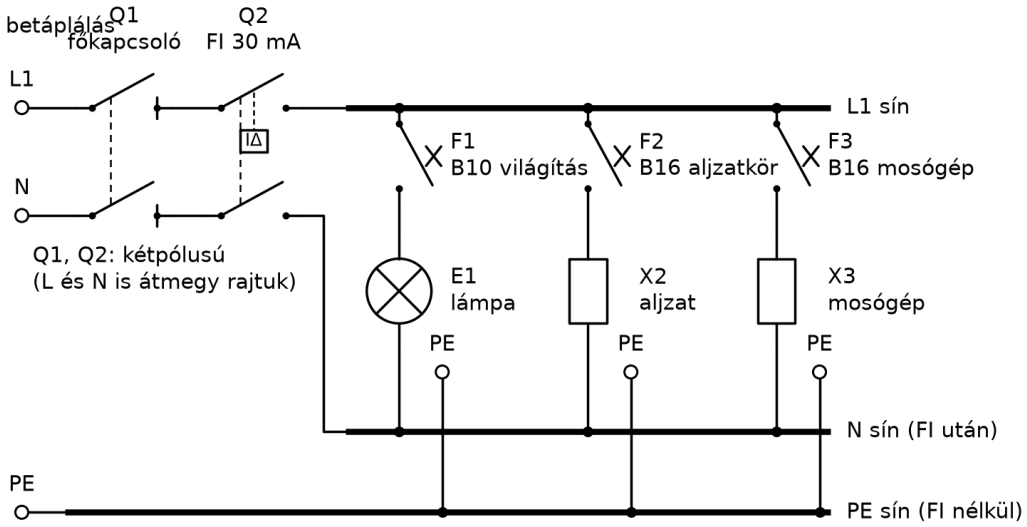
Egy lakásfelújítás során gyakori feladat a régi, olvadóbiztosítós, hiányos feliratú elosztó cseréje. A megrendelő biztonságos, FI-védelemmel ellátott, átlátható elosztót szeretne, amelyben minden áramkör pontosan azonosítható, és hiba esetén gyorsan megtalálható a leoldott védelem. Az elosztó nemcsak egy doboz a biztosítékokkal, hanem az épület villamos berendezésének „csomópontja”: itt csatlakozik a hálózati betáplálás, itt osztódnak szét a fogyasztói áramkörök, és itt valósul meg az áramütés- és túláramvédelem.

Ebben az alfejezetben egy kisméretű lakáselosztó modellt építünk meg tanműhelyi körülmények között. A cél nem egy valós hálózati elosztó cseréje, hanem az, hogy a tervtől a bekötésen, a feliratozáson és a mérésen át az átadásig minden lépést begyakorolj. A hangsúly a szakszerű szerelési sorrenden, a védelmek bekötésén, a rajz és a valóság összekapcsolásán, valamint a hibakeresés megalapozásán van.

Biztonsági korlát. A gyakorlat tanműhelyi, feszültségmentes vagy törpefeszültségű modellre vonatkozik. Hálózati feszültségű (230/400 V) munkát csak jogosult személy végezhet, a hatályos előírások szerint.

40.2.2. Milyen modellt építünk?

A modell egy kisméretű lakáselosztó, egy szokásos lakás három áramkörével. A kapcsolási logikát az alábbi (egyszerűsített, többvonalas) rajz mutatja:



40.3. ábra. Lakáselosztó modell kapcsolási rajza - Többvonalas, egyszerűsített rajz: betáplálás (L1, N, PE) → Q1 kétpólusú főkapcsoló → Q2 kétpólusú FI-relé (az L1 és az N is áthalad rajta) → L1 sín és FI utáni N sín. F1–F3 kismegszakító a fázissínről táplálja a fogyasztói ágat (E1 lámpa, X2 aljzatkör, X3 mosógép), amelyek nullája a FI utáni N sínre, védővezetője (PE kapocs) a PE sínre csatlakozik. A PE sín közvetlenül a PE bemenetről kap táplálást, az N és a PE sín között nincs összeköttetés. A rajz a bekötési logikát mutatja, nem a térbeli sorrendet.

A rajzon a hálózat felől érkezik az L1 fázis, az N nulla és a PE védővezető. A teljes elosztót a Q1 főkapcsoló választja le. A Q2 áram-védőkapcsoló (FI-relé) figyeli az L1 és az N áramkör egyenlegét; ha a két áram különbsége meghaladja a névleges hibaáramot, lekapcsol. A FI után az L1 és az N a saját gyűjtősínjére kerül; a PE-sín a FI-t megkerülve, közvetlenül a PE-bemenetről kap csatlakozást, és a FI utáni N-sínnel sehol sem érintkezik. A három kismegszakító (F1, F2, F3) a fázissínről kapja a fázist, a fogyasztók nullája a N-sínre, a védővezetőjük a PE-sínre csatlakozik.

Definíció. A **gyűjtősín** olyan, nagy keresztmetszetű, kis ellenállású vezetősín vagy fésűs sín, amelyről több párhuzamos áramkört lehet leágaztatni. A lakáselosztóban általában külön L1 (fázis), N (nulla) és PE (védő) sín van.

Szabvány. A lakáselosztó kialakítására az MSZ HD 60364 sorozat és az MSZ EN 61439 sorozat követelményei (általános szabályok: -1; a nem szakképzett személyek által kezelt elosztótáblák: -3; ellenőrizendő: aktuális kiadás) vonatkoznak. A kismegszakítókra az MSZ EN 60898-1, a túláramvédelem nélküli áram-védőkapcsolókra (RCCB; a modell Q2 készüléke) az MSZ EN 61008-1, a túláramvédelemmel egybeépített változatra (RCBO) az MSZ EN 61009-1 vonatkozik (ellenőrizendő: aktuális kiadás). A pontos határértékeket és készülékválasztást mindig az aktuális szabványkiadás, a gyártói adatlap és a hálózati engedélyes előírása szerint kell ellenőrizni.

40.2.3. Terv, eszközlista és szerelési sorrend

A modell megépítéséhez először készítsünk egyszerű tervet. A terv része az egyvonalas rajz, a készülékek kiválasztása, a vezetékek hossza és keresztmetszete, valamint a feliratok listája. A rajzot mindig a szerelés előtt értelmezzük, ne pedig utólag „fejben” találjuk ki.

Példa. Egy tanműhelyi modellhez az alábbi eszközlista elegendő:

- elosztóház: kisméretű, 2 soros, IP30, szigetelőházas;
- gyűjtősínek: L1, N és PE sín, kb. 8 modul szélességben;
- Q1 főkapcsoló: 2P, 40 A;
- Q2 FI-relé: 2P, 40 A, 30 mA, A típusú;
- F1 kismegszakító: 1P, B10, világítás (1,5 mm²);
- F2 kismegszakító: 1P, B16, aljzat;
- F3 kismegszakító: 1P, B16, mosógép (2,5 mm²);
- vezetékek: H07V-U 1,5 mm² barna, világoskék, zöld-sárga (világítás); az F2 aljzatkörhöz és az F3 mosógépkörhöz H07V-U 2,5 mm² barna, világoskék, zöld-sárga; a bemeneti szakaszhoz H07V-U 4 mm² barna, világoskék a modell arányai szerint. **Megjegyzés.** A világítási körnél a B10 védelem és az 1,5 mm² a hazai gyakorlat szerinti párosítás; a keresztmetszetet a szerelési mód szerinti terhelhetőségből ($I_b \le I_n \le I_z$) kell választani (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52 táblázatai). A B16 védelem 1,5 mm²-es vezetéken nem feltétlenül felel meg az $I_n \le I_z$ feltételnek, ezért a B16-os aljzatkör és mosógépkör 2,5 mm²-es vezetéket kap (a fűtőbetétes mosógép árama a 9–10 A tartományba eshet, ezért B10-zel a kioldási határ közelében járna: ellenőrizendő a gyártói adatlap);
- érvéghüvelyek és szerszámok: vezetéklehúzó, érvéghüvely-fogó, csavarhúzó, nyomatékkulcs, multiméter, szigetelésvizsgáló, FI-tesztműszer;
- feliratozó eszköz, kábelkötegelők, áramköri jegyzék.

A szerelési sorrend a következő. Először a dobozt rögzítjük, és felszereljük a DIN-síneket. Ezután a készülékeket balról jobbra, a terv szerinti sorrendben pattintjuk fel: főkapcsoló, FI-relé, majd a kismegszakítók. A gyűjtősíneket a készülékek alá vagy mellé rögzítjük. A vezetékezést a védővezetőkkel kezdjük, majd a nullavezetőkkel, végül a fázisvezetőkkel folytatjuk. Így csökkentjük annak az esélyét, hogy a szerelés közben szem elől tévesztjük a színeket, vagy a PE-t tévedésből fázisra kötjük.

40.2.4. Gyakorlati útmutató

Cél. A tanműhelyi modell megépítése a terv szerint, a bekötés ellenőrzése és dokumentálása.

Eszközök és anyagok. A fenti eszközlista szerint; szigetelésvizsgáló, multiméter, FI-tesztműszer, csavarhúzó, érvéghüvely-fogó.

Biztonsági korlát. A feladat feszültségmentes tanműhelyi modellen végezhető. Hálózati feszültségen önállóan ne dolgozz. A teszteléshez csak törpefeszültséget vagy felügyelet melletti, előírásos hálózati feszültséget használj.

A feszültségmentesítés öt biztonsági szabálya:

1. **Lekapcsolás.** Kapcsold le a modell betáplálását.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás.** Zárd le vagy távolítsd el a kapcsolóelemet, tegyél ki figyelmeztetést.
3. **Feszültségmentesség ellenőrzése.** Kétpólusú feszültségvizsgálóval mindig ellenőrizd a kivezetéseket, ne fázisceruzával.

4. **Földelés és rövidre zárás (ha indokolt).** Kisfeszültségen akkor kell, ha a munkahelyre feszültség kerülhet (visszatáplálás, indukció, szabadvezeték); a döntést a munkairányító hozza (ellenőrizendő: MSZ 1585 / MSZ EN 50110-1). Tanműhelyi törpefeszültségű modellen és lakáselosztónál általában nem szükséges.
5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése.** Ha más modulok feszültség alatt vannak, takard le őket.

Szerelési recept – lakáselosztó modell

1. **Olvasd el a rajzot.** Azonosítsd Q1, Q2, F1, F2, F3 jelöléseket, a sínek helyét és a vezetékszíneket.
2. **Ellenőrizd az anyagokat.** Nincs-e törött ház, sérült sín, rossz típusú védelem. A FI-relé névleges árama és hibaárama egyezzen a tervvel.
3. **Szereld a dobozt és a DIN-síneket.** A modulok szélességét a készülékek szerint igazítsd.
4. **Pattintsd fel a készülékeket.** A sorrend legyen: főkapcsoló, FI-relé, kismegszakítók. Ne erőltsd ferdén a DIN-sínre.
5. **Szereld a gyűjtősíneket.** Az L1, N és PE sín ne érhessen össze; tartsd meg a gyártó által előírt légrést.
6. **Kösd be a vezetékeket.** Előbb PE, utána N, végül L1. Hajlékony vezetéknél használj érvéghüvelyt. A csavarkötéseket nyomatékkulccsal, a gyártó nyomatékértéke szerint húzd meg (ellenőrizendő: gyártói adatlap).
7. **Feliratozás.** Minden kismegszakító fölé írd fel az áramkör nevét és sorszámát (pl. „F1 világítás”).
8. **Helyezd el az egyvonalas rajzot** a tabló belsejében vagy az ajtó belső oldalán.
9. **Végezd el az ellenőrző méréseket.** Folytonosság, szigetelés, FI-teszt.
10. **Dokumentálj.** Vezesd az áramköri jegyzéket, és rögzítsd a mérési eredményeket.

Ellenőrzési pontok a szerelés után:

- A PE-sín és minden védőérintkező között a folytonosság mérhető, az ellenállás jellemzően 0,1 Ω alatt marad a modellben.
- A N-sín és az L1-sín között nincs zárlat.
- A PE és az N sín a FI-relé után nincs összekötve.
- A szigetelési ellenállás minden áramkörön legalább 1 MΩ (500 V DC mérőfeszültségnél; az aktuális határértéket ellenőrizni kell).
- A FI-relé a tesztgombbal kiold (ez csak a mechanikai működést igazolja), és FI-tesztműszerrel mérve $I_{\Delta n} = 30\,\mathrm{mA}$-nél a kioldási idő a megengedett határon belül van (ellenőrizendő: MSZ EN 61008-1 / MSZ HD 60364-6). A tesztgomb nem helyettesíti a műszeres kioldásiidő- és -árammérést.

A folytonosságméréshez használjunk kis ellenállásmérést. Egy 1,5 mm²-es rézvezető ellenállása 5 m hosszon:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0{,}0178\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m} \cdot 5\,\mathrm{m}}{1{,}5\,\mathrm{mm}^2} = 0{,}059\,\Omega.$$

A csavarkötések és mérőzsinórok miatt a valós érték ennél nagyobb lehet, de általában 0,1 Ω felett már érdemes ellenőrizni a kötéseket. A pontos határértéket a mérési utasítás és a műszer pontossága határozza meg.

40.2.5. Hibakeresési eset a modellen

Tünet. A modell feszültség alá helyezése után bekapcsoljuk Q1-et, majd Q2 FI-relét: ez rendben van. Az F2 aljzatkör egy fogyasztójának bekapcsolásakor (terhelőáram folyásakor) a FI-relé azonnal leold, az F2 kismegszakító nem. (Ha a FI már az F2 kismegszakító bekapcsolásakor, terhelés nélkül old le, az inkább az F2 kör L–PE szigetelési hibájára utal; lásd a 6. feladatot.)

Hipotézis. A FI-relé nulla–fázis egyenlege megbomlik; valószínűleg a FI után a N és a PE vezető összeér, vagy a betáplálás N vezetője rossz sínre kerül.

Mérés. Feszültségmentesítés (öt szabály) után az F2 kör N vezetőjét leválasztjuk a N-sínről, a fogyasztókat lekötjük (az érzékeny elektronikát nem terheljük 500 V-tal), és csak ezután kapcsolunk szigetelésvizsgálót (500 V DC) N és PE közé. Ha a N nincs leválasztva, a mérés a betáplálási N–PE összeköttetést (TN-C-S rendszerben ez a betáplálásnál össze van kötve) mérné, és közel 0 Ω-ot kapnánk. A mért érték közel 0 Ω (például 0,02 Ω; a szigetelésvizsgáló 0 MΩ-ot jelez), miközben L1–N között 45 MΩ, L1–PE között 50 MΩ. Ez azt mutatja, hogy a N és a PE között fémes, szándékolatlan összeköttetés van.

Ok. Az egyik aljzatkör bekötésekor a kék nullavezetőt a N-sín helyett a PE-sínnel közös, rossz kialakítású sorkapocsba szorították, és a PE-sínnel érintkezik. Amint az érintett kört bekapcsolják, az üzemi áram egy része a PE-n át tér vissza, ezt a FI-relé hibaáramként érzékeli, és leold. A FI akkor old, amikor terhelőáram folyik; a közös N-sín miatt ez más kör terhelésekor is előfordulhat, ezért a hibás kört a körönkénti N-leválasztás és mérés azonosítja.

Javítás. A vezetéket a FI után a megfelelő N-sínre kell áthelyezni, a kötést újra meg kell húzni, majd a mérést megismételni. A FI-relé csak akkor kapcsolható be, ha a N-PE szigetelési ellenállás ismét legalább 1 MΩ.

Megelőzés. A szerelés során a PE, N és L1 vezetékeket mindig külön útvonalon, színkód szerint, egymástól jól elkülönítve vezessük. A FI utáni N-szakaszokat soha ne kössük össze a védővezetővel.

40.2.6. Tipikus hibák

1. **A N és a PE felcserélése a FI után.** A FI-relé nem a megfelelő nullát látja, és terhelés alatt leold. Helyes gyakorlat: a bejövő N-t a FI N kapcsára, a kimenő N-t a N-sínre, a PE-t pedig mindvégig a PE-sínre kell kötni.

2. **Laza csavarkötés.** A rosszul meghúzott sorkapocs melegedést, feszültségesést és téves kioldást okoz. A kötéseket nyomatékkulccsal, a gyártó által megadott nyomatékkal kell meghúzni.

3. **Hiányzó érvéghüvely hajlékony vezetéken.** A hajlékony eret a csavar nem fogja meg, a szálak szétterülnek, rövidzárlat vagy laza kötés jöhet létre. Hajlékony vezetékhez mindig megfelelő méretű érvéghüvelyt kell préselni.

4. **Feliratok hiánya.** A leoldott védelmet nehéz azonosítani, ami késlelteti a hibakeresést. A kismegszakítók és a FI-relé felett legyen egyértelmű felirat, és az elosztó ajtaján belül legyen áramköri jegyzék.

5. **Az egyvonalas rajz elhagyása.** A későbbi szerelő nem tudja, melyik vezeték mire való. Az áramköri jegyzéket/egyvonalas rajzot az elosztóban (a tablóban vagy az ajtó belső oldalán) el kell helyezni (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-51 dokumentációs előírása és a hálózati engedélyes feltételei).

40.2.7. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy a FI-relé után a N és a PE vezető összeköthető egymással? Indokold!
2. Milyen sorrendben ajánlott bekötni a vezetékeket egy lakáselosztóban, és miért?
3. Milyen színű a védővezető, a nulla és az L1 fázis?
4. A szigetelési ellenállás mérésekor N–PE között 0,4 MΩ-t mérünk. Jó-e ez az érték? Mi a teendő?
5. Hol kell elhelyezni az elosztó egyvonalas rajzát?
6. Mi a legvalószínűbb hiba, ha a FI-relé csak akkor old le, amikor a mosógép áramkört is bekapcsoljuk, de a kismegszakító nem old?

40.2.8. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a lakáselosztó fő egységeit, és mindegyiknél mondd el, mi a szerepe a modellben.

2. feladat (A). Melyik vezetékszín melyik sínre kerül? Írd le az L1, N és PE hozzárendelést.

3. feladat (B). Rajzold le a lakáselosztó egyvonalas rajzát a fenti modell alapján: Q1, Q2, F1 B10, F2 B16, F3 B16, L1/N/PE sínek. Jelöld a FI-relét és a fogyasztói ágakat.

4. feladat (B). Sorold be a szerelési lépéseket a helyes sorrendbe: feliratozás, feszültségmentesítés, FI bekötése, készülékek pattintása, PE bekötése, szigetelésmérés, gyűjtősín rögzítése.

5. feladat (C). A kész modellen a mérési jegyzőkönyvben ezeket az értékeket rögzítetted: PE folytonosság 0,08 Ω; L1–N szigetelés 45 MΩ; N–PE szigetelés 0,2 MΩ. Értékeld az eredményeket! Mi a teendő, ha a N–PE érték nem megfelelő?

6. feladat (D). Hibakereső feladat: az elosztóban az F2 aljzatkör kismegszakítóját bekapcsolva a FI-relé azonnal leold, de az F2 nem old. Mit mérsz először, és mi lehet a hiba? Írd le a hibakeresés lépéseit, és javasolj javítást.

40.2.9. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. A FI utáni N és PE nem köthető össze; ha összeér, a FI-relé a hibát érzékeli és leold.
2. A bekötés ajánlott sorrendje: PE, N, L1. Így a védővezető és a nulla bekötése már kész, amikor a fázist szerelem, és kisebb a téves bekötés esélye.
3. PE: zöld-sárga, N: világoskék, L1: barna (többfázisnál még fekete, szürke).
4. Nem jó. A N–PE szigetelési ellenállás 0,4 MΩ a modellben nem elfogadható, ha a határérték legalább 1 MΩ. Ki kell keresni az összeérést, és ki kell javítani.
5. A tabló belsejében vagy az elosztó ajtaján belül.
6. Ha a FI csak egy fogyasztó (például a mosógép) bekapcsolásakor, terhelőáram folyásakor old le, az L–PE szivárgás (például a fűtőbetét szigetelési hibája) az első gyanú, de a N–PE összeérés is ezt a tünetet adja. Feszültségmentesítés (öt szabály) után a fogyasztó lekötésével L–PE és (a N-sínről való leválasztás után) N–PE szigetelésmérést kell végezni, majd az áramkört visszakötni.

1. feladat megoldása (A). Q1 főkapcsoló: az egész elosztó leválasztása; Q2 FI-relé: hibaáram esetén lekapcsol; F1, F2, F3 kismegszakítók: a fogyasztói áramkörök túláramvédelme; L1, N, PE sínek: a fázis, nulla és védővezető szétosztása.

2. feladat megoldása (A). L1 = barna; N = világoskék; PE = zöld-sárga.

3. feladat megoldása (B). Az egyvonalas rajzon egyetlen vonal jelöli a vezetékköteget, rajta ferde vonásokkal a vezetők száma (a betáplálásnál 3 vonás: L1, N, PE). A tartalom megegyezik a fejezet eleji többvonalas ábráéval: a hálózatból jön L1, N, PE; Q1 kétpólusú főkapcsoló a fázisban és a nullában; Q2 FI-relé szintén kétpólusú (L és N); utána L1/N/PE sínek; F1, F2, F3 a fázissínről; a fogyasztók nullája a N-sínre, védővezetője a PE-sínre kerül. A rajzon jelölni kell a kismegszakítók értékeit.

4. feladat megoldása (B). Helyes sorrend: feszültségmentesítés; készülékek pattintása; gyűjtősín rögzítése; PE bekötése; FI bekötése; feliratozás; szigetelésmérés.

5. feladat megoldása (C). A PE folytonosság 0,08 Ω jó. Az L1–N szigetelés 45 MΩ jó (a mérésnél az érintett kör N-je leválasztva, a fogyasztók lekötve). A N–PE szigetelés 0,2 MΩ nem jó, mert az 1 MΩ-os határérték alatt van (ellenőrizendő: az aktuális határérték a mérési előírás szerint), vagyis a N és a PE között szigetelési hiba van. Meg kell keresni a N–PE közötti bekötési hibát, elválasztani a két vezetőt, majd újra mérni. Ha az érték továbbra is alacsony, a hiba lehet a fogyasztói ágban vagy a sínbekötés rossz pontján.

6. feladat megoldása (D). Először feszültségmentesítés (öt szabály, a feszültségmentesség kétpólusú vizsgálóval történő ellenőrzésével), a fogyasztók lekötése, majd szigetelésvizsgálat az F2 kör L–PE között, és – az F2 N-jének a N-sínről való leválasztása után – N–PE között (a N leválasztása nélkül a betáplálás N–PE kötését mérnénk). Ha a FI pontosan az F2 bekapcsolásakor old le, terhelés nélkül is, az L–PE hiba a valószínűbb (aljzat bekötése, sérült ér a dobozban, bekötött fogyasztó szivárgása); ha csak terhelőáram folyásakor – bármelyik kör terhelésekor –, akkor N–PE összeérés. Ha az N–PE érték alacsony, a nullavezető és a védővezető összeér az aljzatkörben. Ellenőrizni kell az aljzat bekötését, a N és PE csatlakozót. A hibát kijavítjuk, az N-t a N-sínre, a PE-t a PE-sínre kötjük, majd a mérést megismételjük. A javítás után a FI-relé nem oldhat le a fogyasztó bekapcsolásakor.

40.2.10. Rövid összefoglaló

A lakáselosztó modell építése során a tervből indulunk ki, majd rögzítjük a dobozt, a DIN-síneket és a készülékeket. A szerelés sorrendje fontos: a vezetékeket PE, N, L1 sorrendben kössük. A bemenet a főkapcsolón, majd a FI-relén át jut a gyűjtősínekre; a F1, F2, F3 kismegszakítók innen kapják a fázist. A N-sín és a PE-sín a FI-relé után nem köthető össze. A hajlékony vezetékekre érvéghüvely kötelező, a csavarkötéseket nyomatékkulccsal kell meghúzni. A feliratozás és a tabló belsejébe helyezett egyvonalas rajz nélkülözhetetlen. A kész modellt szemrevételezéssel, vezető-folytonosság- és szigetelésméréssel, valamint FI-teszttel ellenőrizzük, majd dokumentáljuk. A gyakori hibák a N–PE összeérés, a laza kötés, az érvéghüvely hiánya és a feliratok elhagyása. **Továbbvitt eredmény.** Az itt tanult szerelési sorrend, az ellenőrző mérések és a jellegzetes hibák közvetlenül használhatók a Hibakeresés épületvillamossági modelleken alfejezetben, ahol a tünetből, hipotézisből, mérésből és javításból álló módszert mélyítjük el.

40.2.11. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg a Magyarországon érvényes villamos szerelési gyakorlatra, az MSZ HD 60364 sorozatra, az MSZ EN 61439, MSZ EN 60898-1, MSZ EN 61008-1 és MSZ EN 61009-1 típusú szabványokra, valamint a gyártói adatlapokra épül. A konkrét csavarnyomaték-, szigetelési határ- és mérési

értékek tájékoztató jellegűek, az aktuális szabványt és a gyártói adatlapot mindig ellenőrizni kell.

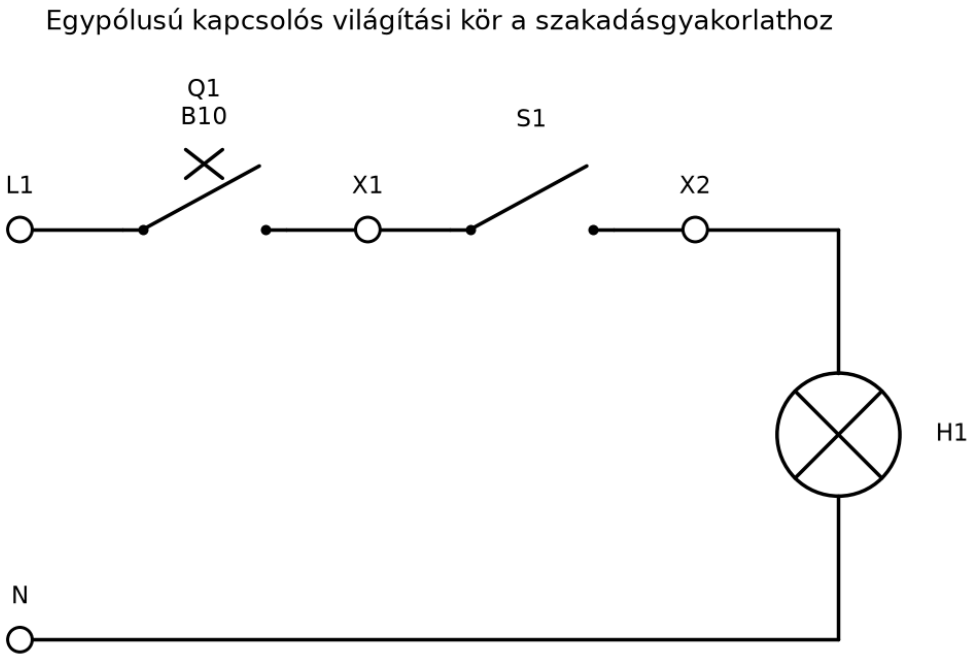
40.3. Hibakeresés épületvillamossági modelleken

40.3.1. Miért van szükség erre a fejezetre?

Egy lakásfelújítás után a megrendelő azt jelzi, hogy a nappali lámpája nem kapcsolható fel, a konyhai aljzatról pedig leold a kismegszakító. A szerelő két utat választhat: alkatrészt cserél találomra, vagy a tünetből kiindulva, rajz és mérés alapján megkeresi a hibát. A vizsgán és a munkahelyen is az utóbbi az elvárt. Ebben az alfejezetben szándékosan hibás tanműhelyi modelleken gyakoroljuk a hibakeresést, mert a későbbi motorbeüzemelésnél és a gyakorlati vizsgán ugyanezt a gondolkodásmódot kell használni.

40.3.2. Szemléletes kép: egy hibás világítási kör

Nézzünk egy egypólusú kapcsolós világítási alapáramkört, amelyben a gyakorlat során az egyik szakaszon szándékos szakadást rejtettek el:



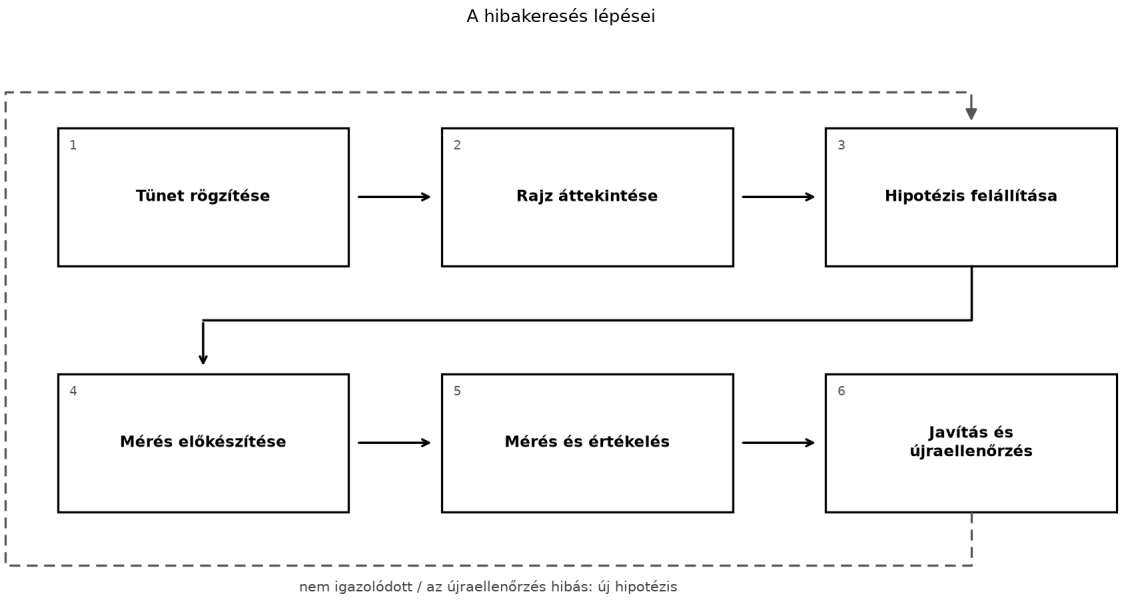
40.4. ábra. Egypólusú kapcsolós világítási kör a szakadásgyakorlathoz - Q1 kismegszakító, S1 kapcsoló, H1 lámpa; X1 és X2 sorkapocs. A gyakorlatban a szakadást a Q1 és az S1 közötti szakaszon, az X1 sorkapocsban rejtik el.

A rajzon az L1 fázis a felső, az N nulla az alsó vezető. Ha a Q1 és az S1 közötti szakaszt megszakítjuk, a lámpa nem világít, de a kismegszakító nem old le. A feladatunk, hogy ezt a hibát ne találgatással, hanem mérésekkel határoljuk be.

40.3.3. A hibakeresés fogalma és módszere

Definíció. A hibakeresés olyan módszeres eljárás, amelyben a meghibásodott villamos berendezés tünetéből kiindulva, a kapcsolási rajz és mérések segítségével behatároljuk a hibás elemet, szakaszt vagy kötést.

A Jegyzőkönyv, szabványossági felülvizsgálat és hibakeresés alfejezetben már bevezetett sorrendet itt is követjük: **tünet → hipotézis → mérés → ellenőrzés**. Ez a gondolati lánc azért fontos, mert a villamos hiba gyakran nem látható; csak a mérés dönti el, hogy a feltételezésünk igaz-e.



40.5. ábra. A hibakeresés lépései - A méréseket feszültségmentes állapotban végezzük, kivéve ha a tanuló jogosult és a felügyelet engedi a feszültség alatti mérést.

Szabály. A hibakeresést mindig a tünet pontos leírásával kezdjük. Rögzítsük, mi nem működik, mi működik, mikor jelentkezett a hiba, és történt-e előtte valamilyen beavatkozás. Ezután vegyük elő a kapcsolási rajzot, és csak azután állítsunk fel ellenőrizhető feltételezést.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A hibakeresési gyakorlatokban is alkalmazd az öt biztonsági szabályt: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

40.3.4. A leggyakoribb hibatípusok

Szakadás. A vezető folytonossága megszűnt. Tünet: az áramkör nem záródik, a fogyasztó nem működik, de nincs túláram. Mérése: folytonosságvizsgálóval vagy multiméter ellenállásmérő

állásában a szakaszon végtelen ellenállást (OL) mérünk.

Zárlat. Két különböző potenciálú pont közvetlenül, kis ellenálláson keresztül összekötődik. Tünet: a kismegszakító vagy biztosító azonnal leold. Mérése: a zárlatos pontok között közel 0 Ω ellenállást mérünk, és a szigetelési ellenállás is nulla.

Szigetelési hiba. A fázis és a védővezető (vagy idegen vezető) közötti szigetelés meggyengül. Tünet: az áram-védőkapcsoló (FI-relé) leold, bár a kismegszakító nem feltétlenül. Mérése: szigetelésmérővel a fázis és PE között a határérték alatti értéket mérünk.

Rossz bekötés. Az áramkör fizikailag összeáll, de nem a rajz szerint működik. Például egy váltókapcsoló kivezetéseit felcserélték, vagy a nullát kapcsolják a fázis helyett. Tünete változatos: a kapcsoló nem a várt módon működik, vagy kétpólusú feszültségvizsgálóval a nulla oldalon a PE-hez képest feszültség mérhető. Mérése: folytonosság- és feszültségméréssel feltérképezzük a tényleges bekötést.

40.3.5. Kidolgozott példa: szakadás a fázisvezetőben

Példa. Az előző kapcsolási rajzon a tanuló azt tapasztalja, hogy a H1 lámpa nem világít, a Q1 kismegszakító bekapcsolt állapotban van. A modell tanműhelyi, a mérést feszültségmentes állapotban végezzük.

Hipotézis. Szakadás lehet a Q1 kimenete és az S1 bemenete közötti szakaszon.

Mérés. Feszültségmentesítés után a multimétert folytonosságmérés állásba kapcsoljuk. A mérőzsinórt a Q1 kimeneti kivezetésére (2-es pont) és az S1 bemeneti kapcsára csatlakoztatjuk (a mért szakaszban van az X1 sorkapocs). A műszer **OL** értéket mutat, vagyis nincs folytonosság. Ellenőrzésként a lámpa felőli szakaszt is megmérjük; ott közel 0 Ω-t kapunk, tehát a szakadás valóban a Q1 és az S1 között van.

Ok és javítás. Megbontva a sorkapcsot azt látjuk, hogy a vezeték csupasz vége meglazult. A vezetéket újra csupaszoljuk, érvéghüvelyt húzunk rá, majd a sorkapocs csavarját a gyártói nyomaték szerint húzzuk meg. Visszakapcsolás után a lámpa szabályosan világít. A folytonosságmérés a javítás után 0,1–0,2 Ω körüli értéket ad, ami a jó kötést jelzi.

40.3.6. Kidolgozott példa: zárlat az aljzatkörben

Példa. Egy másik modellen a konyhai aljzatkör kismegszakítója azonnal leold, amikor feszültséget kapcsolunk rá. A tanuló először ellenállásméréssel vizsgálja a fázis és nulla közötti ellenállást.

Számítás. A szerelt vezeték 10 m hosszú, 1,5 mm² keresztmetszetű rézvezető. A mérés előtt feszültségmentesítünk (öt szabály), és minden fogyasztót lekötünk: ép, terheletlen körben az L–N ellenállás szakadás (OL, MΩ nagyságrend) lenne, a bedugott fogyasztó pedig a zárlattól függetlenül kis L–N ellenállást adna. Zárlat esetén a fázis- és a nullavezetőből álló hurok ellenállása mérhető, vagyis a vezeték kétszeres hosszáé ($2 \cdot 10\,\mathrm{m} = 20\,\mathrm{m}$). A vezető hurokellenállása:

$$R = \rho \cdot \frac{2l}{A} = 0{,}0178\,\frac{\Omega\,\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}} \cdot \frac{20\,\mathrm{m}}{1{,}5\,\mathrm{mm}^2} \approx 0{,}24\,\Omega.$$

A mért L–N ellenállás 0,4 Ω, és a szigetelésmérő is 0,00 MΩ-t mutat. A mért 0,4 Ω nagyságrendben a vezeték hurokellenállásának (legfeljebb 0,24 Ω, mert a zárlat a körön belül van) és a kötések, mérőzsinórok átmeneti ellenállásának (néhány tized Ω) összege; ép, terheletlen körben L–N között OL-t mérnénk, ezért a kis érték zárlatot jelez; a szigetelésmérés megerősíti a sérülést. A hiba a

kötődobozban van: a fedél becsípte a fázis- és a nullavezető szigetelését, ezért azok érintkeznek. A javítás a sérült szakasz eltávolítása, újra csupaszolás, érvéghüvely, majd a szigetelésmérés elvégzése. A javítás után a szigetelési ellenállásnak legalább a határérték felett kell lennie.

40.3.7. Valós életbeli alkalmazás: FI-relé leold éjszaka

Valós eset. Egy családi házban az áram-védőkapcsoló éjszaka leold, amikor a kerti aljzatot használják. A szerelő a tünetből indul: az FI-relé rendszeresen leold, de a kismegszakító nem. Hipotézise szerint szigetelési hiba van a kültéri aljzatkörben.

Hipotézis. A kerti aljzatban vagy a kültéri kötődobozban nedvesség okozott szigeteléscsökkenést.

Mérés. Feszültségmentesítés után az L és PE között szigetelésmérést végez. A műszer 0,08 MΩ-t mutat, ami jóval a kisfeszültségű berendezéseknél megkövetelt határérték alatt van. A mérés megerősíti a szigetelési hibát.

Ok. A kültéri szerelvény dobozába víz folyt be, a sorkapocs környéke korrodált. **Javítás.** A szerelő kicseréli a kültéri aljzatot IP44-es védettségűre, a dobozt tömíti, és a sérült vezetékszakaszt eltávolítja. **Megelőzés.** Kültéri körökhöz mindig megfelelő IP-védettségű szerelvényt és vízzáró kábeltömszelencét választunk.

40.3.8. Gyakorlati útmutató: hibakeresés szándékosan hibás modellen

A tanműhelyi gyakorlat célja, hogy a tanuló a szakaszok mérésén keresztül behatárolja a beépített hibát, majd a javítást dokumentálja.

Cél. A modellbe beépített szakadás, zárlat, szigetelési hiba vagy rossz bekötés megtalálása és javítása.

Eszközök és anyagok. Szándékosan hibásított tanműhelyi modell, kapcsolási rajz, multiméter (folytonosság-, ellenállás- és feszültségméréshez), szigetelésmérő, lakatfogó (opcionálisan), kéziszerszámok, érvéghüvely, hibajegyzőkönyv-lap.

Biztonsági korlát. A gyakorlatot törpefeszültségű modellen vagy jogosult oktató felügyelete mellett, hálózati feszültségű modellen pedig csak feszültségmentesített állapotban végezd. A mérés előtt mindig alkalmazd az öt biztonsági szabályt.

Lépések

1. Az oktató által bemutatott (törpefeszültségű vagy felügyelet melletti) működő modellen rögzítsd a tünetet: mi nem működik, mi működik, és mit mutatnak a beépített jelzőlámpák vagy a védelmi készülékek. Hálózati feszültségű modellen ezt a lépést csak a jogosult oktató végzi.
2. Kapcsold le a modellt, és biztosítsd visszakapcsolás ellen.
3. Ellenőrizd a feszültségmentességet; kétpólusú feszültségvizsgálóval győződj meg arról, hogy a mérendő szakasz valóban feszültségmentes.
4. Végezz szemrevételezést: égett szag, laza kötés, kilógó csupasz vezető, nem szabványos színjelölés, sérült szerelvény.
5. Tegyél fel egy ellenőrizhető hipotézist, és jelöld ki a mérendő szakaszt.
6. Válaszd ki a megfelelő mérési módot: szakadásnál folytonosságmérés, zárlatnál ellenállás- és szigetelésmérés, rossz bekötésnél folytonosság- és feszültségmérés.
7. Végezd el a mérést, és írd fel az eredményt a hibajegyzőkönyvbe.

8. Hasonlítsd össze a mért értéket a várt értékkel. Ha a mérés nem támasztja alá a hipotézisedet, fogalmazz meg új hipotézist.
9. Javítsd a hibát: csináld meg újra a kötést, cseréld ki a hibás elemet, vagy javítsd a szigetelést.
10. Ellenőrizd újra a szakaszt méréssel, majd kapcsold be a modellt, és végezz működési próbát.
11. Töltsd ki a hibajegyzőkönyvet.

Ellenőrzési pontok. Folytonosság esetén a jó kötés ellenállása jellemzően 0,1–0,3 Ω alatt van; a szigetelési ellenállásnak a hibás szakasz javítása után a határérték felett kell lennie; a feszültségmérésnél a fázis–nulla feszültség 230 V, a fázis–PE feszültség is 230 V, a nulla–PE feszültség közel 0 V.

Tipikus hibák a gyakorlatban. Az egyik leggyakoribb, hogy a tanuló mérés nélkül cserél alkatrészt, és így nem találja meg a szakadást. Egy másik, hogy feszültség alatt nyúl a kötéshez, pedig hálózati feszültségű modellen feszültségmentesítés nélkül áramütés érheti. A harmadik, hogy a mérési eredményt figyelmen kívül hagyja, és ragaszkodik az első, téves hipotézishez.

40.3.9. Hibakeresési feladatok gyűjteménye

A tanuló a következő hibakártyák (HK1–HK6; a „HK” előtag megkülönbözteti őket a rajz H1 lámpájától) alapján gyakorolhat. A hibát az oktató építi be, a tanuló a tünetből és a mérésekből azonosítja.

1. **HK1 – Szakadás a fázisvezetőben, a kapcsoló előtt.** Tünet: a lámpa nem világít, a kismegszakító nem old le. Elvárt mérés: a kapcsoló előtti szakaszon nincs folytonosság. Megoldás: sorkapocs újrakötése.

2. **HK2 – Szakadás a nullavezetőben.** Tünet: a lámpa nem világít, de fázis jelen van a lámpafoglalatban. Elvárt mérés: a nullaág szakadtan mérhető. Megoldás: nulla sorkapocs vagy csatlakozás javítása.

3. **HK3 – Zárlat az L és N között.** Tünet: bekapcsolásra a kismegszakító azonnal leold. Elvárt mérés: L–N ellenállás közel 0 Ω, szigetelésmérés nulla. Megoldás: sérült szigetelésű szakasz eltávolítása, újra kötés.

4. **HK4 – Szigetelési hiba az L és PE között.** Tünet: az FI-relé leold, a kismegszakító nem feltétlenül. Elvárt mérés: szigetelésmérővel L–PE alacsony érték. Megoldás: nedves vagy sérült szerelvény cseréje, szigetelés helyreállítása.

5. **HK5 – Rossz bekötés váltókapcsolónál.** Tünet: a lámpa a négy kapcsolóállás-kombinációból csak egyben ég (felcserélt közös pont), vagy az egyik kapcsoló teljesen hatástalan (a másik kapcsolónál a két váltóvezeték ugyanarra a kapocsra került). Elvárt mérés: folytonosságméréssel feltérképezni a két váltó összekötő vezetékeit és a közös pontokat. Megoldás: az egyik váltókapcsolónál a felcserélt közös pont és váltókapocs helyes bekötése. (A két váltóvezeték egyszerű cseréje nem hiba, csak a kapcsolóállások jelentése fordul meg.)

6. **HK6 – Fázis és nulla felcserélése az elosztóban.** Tünet: a kikapcsolt kapcsoló mellett is feszültség mérhető a foglalaton (fázisceruza helyett kétpólusú feszültségvizsgálóval ellenőrizd). Elvárt mérés (kétpólusú feszültségvizsgálóval, a modellt felügyelettel feszültség alá helyezve): L–N között 230 V, a fázisként jelölt kapocs és a PE között ≈ 0 V, a nullaként jelölt kapocs és a PE között ≈ 230 V. A kapcsoló ilyenkor a nullát szakítja, a foglalat kikapcsolva is feszültség alatt van. Megoldás: a sínre kötött vezetékek helyesbítése.

40.3.10. Hibajegyzőkönyv és javítási terv

A hibát és a javítást ugyanúgy dokumentálni kell, mint a szabványossági felülvizsgálatnál. A jegyzőkönyv minimális mezői:

- dátum, tanuló neve, modell azonosítója;
- a tünet leírása;
- a felállított hipotézis;
- a mérési eredmények (műszer, mérési pont, mért érték);
- a hibatípus megnevezése;
- a javítás módja;
- az újraellenőrzés eredménye;
- megjegyzés, aláírás.

A javítási terv tartalmazza a szükséges anyagokat, a munkalépéseket, a becsült időt és a biztonsági intézkedéseket. A dokumentálás nem formalitás: ha a hibát később újra jelentik, a jegyzőkönyv segít visszakeresni, mit mértünk és mit javítottunk.

Továbbvitt eredmény. A tünet → hipotézis → mérés → ellenőrzés módszert, valamint a hibajegyzőkönyv kitöltését használni fogod a motor kapocsbekötése és beüzemelése során (Motor kapocsbekötése és beüzemelése), és a gyakorlati vizsgán is ezt a dokumentálási rendet kérik számon (Gyakorlati vizsgafeladatok és hibakeresés, értékelési szempontok).

40.3.11. Tipikus hibák a gondolkodásban és a szerelésben

Hiba 1. Találomra cserélgetés. A tanuló először kicseréli a kapcsolót, majd a lámpát, miközben a szakadás a sorkapocsban van. **Helyes gyakorlat.** Előbb méréssel határold be a szakaszt.

Hiba 2. Feszültség alatt mérés, ha nem jogosult. A hálózati feszültségű modellen a tanuló feszültség alatt próbál folytonosságot mérni. **Helyes gyakorlat.** Feszültségmentesíts, és ellenőrizd a feszültségmentességet.

Hiba 3. A mérési eredmény elutasítása. A tanuló ragaszkodik ahhoz, hogy a hiba a kismegszakítóban van, pedig a mérés szerint a vezeték szakadt. **Helyes gyakorlat.** A mérési eredmény dönt; ha az nem támasztja alá a hipotézist, új hipotézist kell felállítani.

Hiba 4. A nullát és a fázist felcseréli. A kapcsoló a nullát szakítja meg, ezért a fázis feszültség alatt marad a lámpafoglalatban, ami kikapcsolt állapotban is áramütésveszélyt jelent. **Helyes gyakorlat.** A kapcsolónak mindig a fázisvezetőt kell megszakítania.

40.3.12. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A folytonosságmérést mindig feszültség alatt végezzük.
2. **Igaz vagy hamis?** Ha a kismegszakító azonnal leold, az csak szakadásra utalhat.
3. **Gyors számolás.** Mennyi egy 20 m hosszú, 1,5 mm²-es rézvezeték ellenállása?
4. **Rajzolvasás.** A fenti világítási körben a H1 lámpa nem világít, de a Q1 bekapcsolt. A Q1 kimeneti oldalán 0 V-ot mérünk, a bemeneti oldalán 230 V-ot. Hol van a hiba?
5. **Fogalmi kérdés.** Mi a különbség a zárlat és a szigetelési hiba között?
6. **Módszertani kérdés.** Miért kell a mérés előtt felállítani egy ellenőrizhető hipotézist?

40.3.13. Feladatok

1. feladat (A). Definiáld röviden a szakadást, a zárlatot, a szigetelési hibát és a rossz bekötést.

2. feladat (A). Számítsd ki, mekkora ellenállású egy 15 m hosszú, 2,5 mm² keresztmetszetű rézvezeték. A réz fajlagos ellenállása $\rho = 0{,}0178\,\Omega\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$.

3. feladat (B). Egy modellen a lámpa nem világít, az S1 kapcsoló be van kapcsolva. A kismegszakító bekapcsolt, a lámpa foglalatában a fázis és a nulla között 0 V-ot mérünk. A kismegszakító bemeneti oldalán 230 V van. Mi a legvalószínűbb hiba, és milyen méréssel igazolnád?

4. feladat (B). Rajzolj fel egy váltókapcsolós kapcsolást. Jelöld meg, melyik két kivezetés felcserélése okozza azt, hogy a lámpa a négy álláskombináció közül csak egyben ég.

5. feladat (C). Egy áramkörben az FI-relé leold. Az L–PE szigetelésmérés 0,05 MΩ-t mutat. Indokold meg, miért nem elég a kismegszakítót lecserélni, és milyen javítást végeznél.

6. feladat (D). Válassz ki egy hibakártyát a gyűjteményből, és készíts hozzá hibajegyzőkönyvet a következő oszlopokkal: tünet, hipotézis, mérési eredmény, hibatípus, javítás, újraellenőrzés. Adj meg egy javítási tervet is.

40.3.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** A folytonosságmérést feszültségmentes állapotban végezzük; feszültség alatt a műszer és a mérő is károsodhat, és áramütésveszély is fennáll.
2. **Hamis.** A kismegszakító leoldását leggyakrabban zárlat vagy túlterhelés okozza; a szakadás nem jár túlárammal.
3. $$R = 0{,}0178 \cdot \frac{20}{1{,}5} \approx 0{,}237\,\Omega.$$
4. A kismegszakító bemeneti oldalán van feszültség, a kimenetin nincs, tehát a hiba magában a kismegszakítóban, annak kapcsoló érintkezőjében vagy közvetlenül a kimeneti kötésnél lehet.
5. Zárlatnál két különböző potenciálú pont kis ellenálláson keresztül érintkezik, és túláramot okoz. Szigetelési hibánál a fázis és a védővezető (vagy idegen rész) között csökken le a szigetelési ellenállás, ami differenciaáramot okoz. Az FI-relé a szigetelési hibát érzékeli, a kismegszakító a túláramot.
6. A hipotézis nélküli mérés céltalan; a hipotézis megmondja, mit várunk, így a mért értékkel megerősíthetjük vagy cáfolhatjuk, és lépésről lépésre szűkíthetjük a hiba helyét.

Feladatok megoldásai

1. A definíciók a hibatípusok alfejezetben találhatók.

2.
$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} = 0{,}0178 \cdot \frac{15}{2{,}5} = 0{,}1068\,\Omega \approx 0{,}107\,\Omega.$$

3. A 0 V a foglalatban fázisszakadásra és nullaszakadásra is utalhat (a szakadt N a lámpán át fázispotenciálra kerül). Megkülönböztetés: a foglalat fázispontja és a PE között kétpólusú vizsgálóval mérünk (az S1 bekapcsolt állásában): ha 230 V, a nullaág szakadt (HK2 kártya); ha 0 V, a fázisági szakasz (Q1–S1–foglalat) szakadt, amelyet feszültségmentesítés (öt szabály) után

folytonosságméréssel szűkítünk (a kismegszakító kimenete és a foglalat fázispontja között). Ha nincs folytonosság, tovább szűkítjük a szakaszt.

4. A rajzon az egyik váltókapcsoló közös kivezetése a fázisra, a másiké a lámpára csatlakozik, a két másik kivezetés pedig páronként össze van kötve. A hiba: az egyik váltókapcsolónál a közös (L/COM) kapocs és egy váltókapocs vezetéke fel van cserélve (pl. Q2-nél a lámpavezeték egy váltókapocsra, egy váltóvezeték a közös pontra kerül); ilyenkor a lámpa csak a (Q1, Q2) = (1, 1) állásban ég, a másik három kombinációban sötét: (1, 1) ég, (1, 2), (2, 1), (2, 2) sötét. Ha a tünet az, hogy az egyik kapcsoló hatástalan, a másik kapcsolónál mindkét váltóvezeték ugyanarra a kapocsra (vagy a két váltókapocs összeáthidalva) került. A két váltóvezeték egyszerű cseréje nem hiba, csak a kapcsolóállások jelentése fordul meg.

5. A kismegszakító túláramra, az FI-relé differenciaáramra old. A szigetelési hiba miatt a fázis és a PE között kis ellenállású út jön létre, ami differenciaáramot okoz, és az FI-relé leold. A kismegszakító cseréje nem szünteti meg a szigetelési hibát. A javítás: a hibás szakasz szigetelésének helyreállítása vagy a sérült szerelvény cseréje, majd szigetelésmérés a határérték feletti értékkel.

6. A jegyzőkönyv kitöltése a hibajegyzőkönyv alfejezetben bemutatott minta szerint történik. Például:

- Tünet: a lámpa nem világít.
- Hipotézis: szakadás a fázisban a kapcsoló előtt.
- Mérési eredmény: folytonosságmérés a Q1 kimenete és az S1 bemenete között OL.
- Hibatípus: szakadás.
- Javítás: sorkapocs újrakötése.
- Újraellenőrzés: folytonosság 0,1 Ω, működési próba sikeres.

40.3.15. Rövid összefoglaló

A hibakeresés nem találgatás, hanem a tünetből kiinduló, rajzzal támogatott, mérésekkel igazolt eljárás. A tünet rögzítése után fel kell állítani egy ellenőrizhető hipotézist, majd a megfelelő méréssel (folytonosság, ellenállás, feszültség, szigetelés) meg kell határozni a hiba helyét. A négy leggyakoribb hibatípus a szakadás, a zárlat, a szigetelési hiba és a rossz bekötés. A javítást mindig újraellenőrzés és hibajegyzőkönyv zárja. A módszert a későbbi motorbeüzemelési gyakorlatban és a gyakorlati vizsgán is alkalmazni kell. A folytonosságmérést feszültségmentes állapotban, az öt biztonsági szabály betartásával végezzük. A szigetelési hiba elsősorban az FI-relé leoldásában, a zárlat a kismegszakító azonnali leoldásában, a szakadás pedig a fogyasztó működésének elmaradásában mutatkozik meg. A mérési eredményeket mindig össze kell vetni a várható értékkel, és a hibát dokumentálni kell.

40.3.16. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg a magyarországi és európai gyakorlatot tükrözi, elsősorban a kisfeszültségű villamos berendezések ellenőrzésére vonatkozó MSZ HD 60364 sorozat, azon belül is a -6 rész, valamint a vonatkozó munkavédelmi előírások alapján. A konkrét szigetelési határértékek, a kismegszakító kioldási jellemzői és a tanműhelyi vizsgakövetelmények az aktuális szabványok és vizsgaszabályzatok szerint változhatnak **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadás, vizsgaszabályzat, gyártói adatlapok)**.

41 Gépek és vezérlések gyakorlatai

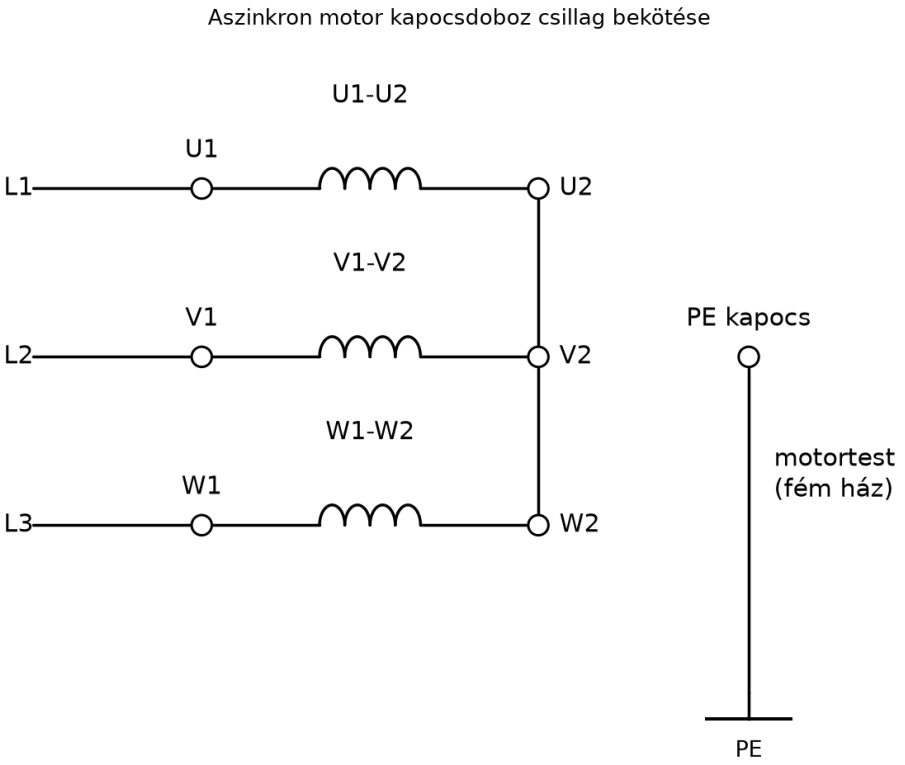
41.1. Motor kapocsbekötése és beüzemelése

41.1.1. Motiváció

Egy háromfázisú aszinkron motort kell bekötni a műhelyben, például egy új szellőzőventilátor hajtásához, majd először feszültség alá helyezni. A motor kapocsdoboza hat kivezetést tartalmaz, és az adattáblán szereplő feszültségjelölés dönti el, hogy csillagba vagy deltába kössük. Ha a szerelő ezt ellenőrzés nélkül, rossz kapcsolással köti be, a tekercsek túlfeszültséget kapnak vagy a motor nem indul el. Ha a szigetelési ellenállás mérését kihagyja, egy nedves vagy sérült szigetelésű motor bekapcsoláskor zárlatot okozhat, leégetheti a tekercset, vagy a védőberendezést is tönkreteheti. Ha a forgásirányt nem ellenőrzi, a ventilátor visszafelé forog, és a gép nem látja el a feladatát. Ez az alfejezet lépésről lépésre megmutatja a biztonságos ellenőrzést, a helyes bekötést és az első indítást.

41.1.2. Szemléltető kép

A motor kapocsdobozának hat kivezetését a következő kapcsolási rajz szemlélteti csillagkapcsolásban. A tekercsek kezdetei (U1, V1, W1) a hálózati fázisokra csatlakoznak, a végeit (U2, V2, W2) közösítjük; ez a közös pont a csillagpont, amely szigetelt marad.



41.1. ábra. Aszinkron motor kapocsdoboz csillag bekötése - A rajz a hat kapcsot (U1, V1, W1 kezdetek és U2, V2, W2 végek) mutatja. A végek (U2, V2, W2) közösítve alkotják a csillagpontot; a táp a kezdetekre csatlakozik. PE a motor testére kötendő.

A kapocsdobozban U1, V1, W1 jelöli a tekercsek kezdeteit, U2, V2, W2 pedig a végeit. Csillagkapcsolásnál a három végpontot kötjük össze, és a három kezdőpontra adjuk a hálózati fázisokat. Deltakapcsolásnál U1–W2, V1–U2, W1–V2 hidakat rakunk fel. A pontos kapcsolási logika a Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány alfejezetben található.

41.1.3. Ellenőrző mérések az indítás előtt

A motor bekötése előtt három alapvető mérést kell elvégezni feszültségmentes állapotban:

- szigetelési ellenállás mérése,
- tekercsellenállás mérése,
- a kapcsolási mód egyeztetése az adattáblával, majd a bekötés ellenőrzése.

Ezek a mérések nem csak „papírmunkát” jelentenek: egy-egy hibás érték utalhat nedvességre, szennyeződésre, szakadt tekercsre vagy menetzárlatra.

41.1.3.1. Szigetelési ellenállás mérése

Definíció. A szigetelési ellenállás a tekercsek és a motor teste, valamint a különböző fázistekercsek közötti szigetelőanyag egyenáramú ellenállása.

A méréshez szigetelésvizsgáló műszert (köznyelvben „megger”) használunk, amely kisfeszültségű gépeknél általában 500 V egyenfeszültséget kapcsol a vizsgált pontokra. A mérés előtt a motort feszültségmentesíteni kell. A test felé mért értékhez a hat tekercskivezetést összekötjük, és a közös pont és a test között mérünk; fázisonkénti méréshez a hidakat levesszük (lásd a gyakorlati útmutató 4. lépését).

Szabály. Kisfeszültségű motoroknál a tekercs és a test közötti szigetelési ellenállásnak legalább 1 MΩ-nak kell lennie **(ellenőrizendő: aktuális szabvány és gyártói adatlap)**. Új vagy száraz, egészséges szigetelésű motornál a mért érték általában 100 MΩ feletti. Ha az érték 0,5 és 1 MΩ közé esik, a motor valószínűleg nedves vagy a szigetelés öregszik; ilyenkor szárítás vagy felújítás szükséges. 0,5 MΩ alatt a motort tilos bekapcsolni.

Példa. Egy 400 V-os motor szigetelésmérésénél a következőket mértük: U tekercs–test: 250 MΩ, V tekercs–test: 220 MΩ, W tekercs–test: 0,8 MΩ. A W tekercs szigetelése nem megfelelő, ezért a motort nem indíthatjuk el, előbb meg kell szárítani vagy javítani.

41.1.3.2. Tekercsellenállás mérése

Definíció. A tekercsellenállás a fázistekercsek egyenáramú ellenállása, amelyet milliohm-mérővel vagy hídkapcsolású műszerrel mérünk. A három fázisnak közel azonosnak kell lennie.

A mérést feszültségmentes állapotban, a kapocsdoboz kivezetésein végezzük. Csillag kapcsolásnál a mérést a kezdetek és a csillagpont között, delta kapcsolásnál pedig a vonali kapcsok között végezhetjük; az értékeléshez mindig az adott kapcsolásnak megfelelően kell számolni.

Szabály. A fázistekercsek ellenállása közötti eltérés általában ne haladja meg a 2–3%-ot **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**. Nagyobb aszimmetria szakadt vagy menetzárlatos tekercsre utalhat.

Példa. Egy motor fázistekercsein mért ellenállások: U tekercs: 2,34 Ω, V tekercs: 2,40 Ω, W tekercs: 2,32 Ω. Az átlag $R_{\text{átl}} = (2{,}34 + 2{,}40 + 2{,}32)/3 = 2{,}35\,\Omega$. A legnagyobb eltérés: $R_{\max} - R_{\min} = 2{,}40 - 2{,}32 = 0{,}08\,\Omega$, ami az átlaghoz képest $0{,}08/2{,}35 \cdot 100\% \approx 3{,}4\%$. Ez meghaladja a tipikus 2–3%-os határt, ezért a motort alaposabban meg kell vizsgálni (pl. tekercselés ellenőrzése, szigetelésvizsgálat).

41.1.3.3. A kapcsolási mód egyeztetése

A bekötés előtt mindig olvassuk le az adattáblát. Az adattábla például 230/400 V Δ/Y jelölést tartalmaz, ami azt jelenti, hogy a tekercs 230 V feszültségre készült; 400 V-os hálózaton ezért csillagba kell kötni. Ha az adattábla 400/690 V Δ/Y, a motor 400 V-os hálózaton deltába kötendő. A helytelen kapcsolás túlfeszültséget ad a tekercsekre, ami gyors túlmelegedéshez és szigetelés-károsodáshoz vezet.

41.1.4. Az első indítás és a forgásirány ellenőrzése

Miután a mérések rendben vannak, és a kapcsolás megfelelő, elvégezhető az első indítás. Ezt lehetőleg üres tengellyel, terhelés nélkül végezzük, hogy a motor áramfelvételét és forgásirányát biztonságosan ellenőrizhessük.

Az első indítás lépései:

1. **Feszültségmentesítés** – az öt biztonsági szabály szerint.

2. **Mechanikai ellenőrzés** – a tengelyt kézzel megforgatjuk; szabadon, szorulás nélkül kell forognia.
3. **Kapocsbekötés** – a csillag- vagy deltahidakat a megfelelő nyomatékkal húzzuk meg, a tápvezetékeket csatlakoztatjuk, a védővezetőt (PE) a motor testére kötjük.
4. **Bekötés ellenőrzése** – szemrevételezés, húzáspróba minden csatlakozón, a fázissorrend és a kapcsolási rajz egyeztetése.
5. **Első indítás** – rövid idejű bekapcsolás, figyeljük a forgásirányt és a hangot.
6. **Forgásirány ellenőrzése** – ha a motor rossz irányba forog, lekapcsolás és feszültségmentesítés után két tápvezetéket felcserélünk (pl. L1–L2). A motoron belüli hidakat nem szabad megváltoztatni!
7. **Áramfelvétel mérése** – lakatfogóval minden fázisban megmérjük az üresjárati áramot.
8. **Hőkioldó beállítása** – a motor névleges áramának megfelelő értékre állítjuk.

Forgásirány. A háromfázisú aszinkron motor forgásiránya a fázissorrendtől függ. L1–L2–L3 sorrend esetén a motor az egyik irányba forog; ha a sorrendet L1–L3–L2-re változtatjuk, a forgásirány megfordul. A gyakorlatban ezt úgy érjük el, hogy **két tápvezetéket felcserélünk**. A forgásirány ellenőrzéséhez elegendő egy rövid pillanatnyi bekapcsolás, de csak akkor, ha a motor terheletlen, és a környezet biztonságos.

41.1.5. Áramfelvétel mérése és a hőkioldó beállítása

Az üresjárati áramot mindhárom fázisban lakatfogóval mérjük. Az áramoknak közel azonosnak kell lenniük; nagy eltérés tekercshibára vagy fázishibára utal. Az üresjárati áram nagysága motoronként eltérő, de tapasztalati ökölszabály szerint a névleges áram 25–40%-a körül alakul **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**. Ez az érték a motor terhelés nélküli veszteségeit és a mágnesező áramot tükrözi; a pontos érték a motor típusától függ.

Példa. Egy 4 kW-os, 400 V Δ kapcsolású motor adattáblája szerint a névleges áram 8,2 A. Lakatfogóval mért üresjárati áramok: L1: 3,1 A, L2: 3,3 A, L3: 3,2 A. Az átlag 3,2 A, ami a névleges 39%-a, tehát elfogadható. A legnagyobb eltérés 0,2 A, ami az átlaghoz képest kb. 6%; ez üresjáratnál általában még elfogadható, de ha nagyobb lenne, további vizsgálat szükséges.

Hőkioldó beállítása. A motor túlterhelés elleni védelmére hőkioldót vagy motorvédő kapcsolót használunk. Közvetlen indításnál a hőkioldót a motor névleges áramára állítjuk, például 8,2 A-re. Csillag–delta indításnál a hőkioldó elhelyezésétől függően a fázisáram alapján kell beállítani, ami a vonali áram $\sqrt{3}$-ad része; erről részletesen az Indítás: közvetlen, csillag–delta, lágyindító, csúszógyűrűs és a Csillag–delta indítás vezérlése alfejezetekben olvashatsz. A pontos beállítást mindig a gyártói adatlap és a kapcsolási rajz alapján kell elvégezni.

41.1.6. Szabványi háttér

Szabvány. A motorok bekötésére, vizsgálatára és védelmére vonatkozó követelményeket elsősorban az **MSZ EN 60034** sorozat (villamos gépek), az **MSZ EN 60204-1** (gépek villamos berendezései) és az **MSZ EN 60947-4-1** (motorvédők és mágneskapcsolók) rögzíti **(ellenőrizendő: aktuális szabványkiadások)**. A szigetelési ellenállás mérésének módszerét és a minimális elfogadási értékeket a gyártói adatlapok és a géprendszerre vonatkozó előírások adják meg. A mérési jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell a mért értékeket, a műszer azonosítóját, a dátumot és a vizsgáló személy aláírását.

41.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Egy üzemcsarnokban új elszívóventilátort szereltek. A szerelő a motort bekötötte, elindította, a motor szépen forgott, ezért úgy gondolta, minden rendben van. Azonban a ventilátor nem szállított levegőt, és a csarnokban gyorsan melegedett a levegő. A hiba oka az volt, hogy a motor rossz irányba forgott, mert a fázissorrend nem volt megfelelő. A forgásirány ellenőrzését kihagyták. A javítás egyszerű volt: feszültségmentesítés után két fázist felcseréltek, és a ventilátor a helyes irányba kezdett forogni. A tanulság: az első indításnál mindig ellenőrizni kell a forgásirányt – lehetőleg még a végleges terhelés rákapcsolása előtt.

Egy másik esetben egy régi, nedves pincéből kiszerelt motort mérés nélkül kapcsoltak be. A szigetelési ellenállás 0,3 MΩ volt, de ezt senki nem mérte meg. Az indítás után a tekercs zárlatos lett, a kismegszakító leoldott, és a motor javíthatatlanná vált. A szigetelésmérés itt megelőzhette volna a kárt.

41.1.8. Gyakorlati útmutató

Cél. Egy háromfázisú aszinkron motor kapocsbekötése, ellenőrzése és első üresjárati indítása.

Eszközök és anyagok. Szigetelésvizsgáló (500 V DC), multiméter vagy milliohm-mérő, lakatfogó, fázissorrend-mérő (opcionális), csavarhúzókészlet, nyomatékkulcs, védőkesztyű, védőszemüveg, zárható főkapcsoló, kitűzők, mérőzsinórok, jegyzőkönyv.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Az első indítás feszültség alatti művelet, ezért csak jogosult személy végezheti.

41.1.8.1. Az öt biztonsági szabály

1. **Lekapcsolás** – a motor áramköreit minden póluson leválasztjuk a hálózatról.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás** – a kapcsolókészüléket lezárjuk, kitűzőt helyezünk el.
3. **Feszültségmentesség ellenőrzése** – kétpólusú feszültségvizsgálóval minden kapcson ellenőrizzük a feszültségmentességet.
4. **Földelés és rövidre zárás** – kisfeszültségű motorkörnél általában nem szükséges; ha a munkairányító elrendeli, a földelést a szigetelésmérés idejére meg kell szüntetni.
5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése** – a kapocsdoboz közelében lévő, feszültség alatt álló alkatrészeket letakarjuk.

41.1.8.2. Lépések

1. **Dokumentáció és adattábla ellenőrzése.** Olvasd le a motor adattábláját: névleges feszültség, kapcsolási jelölés (Δ/Y), névleges áram, fordulatszám. Ellenőrizd a kapocsdoboz kapocsjelöléseit.
2. **Feszültségmentesítés.** Hajtsd végre az öt biztonsági szabályt.
3. **Mechanikai ellenőrzés.** Forgásd meg a motortengelyt kézzel. Szabadon, egyenletesen kell forognia; hallgatózz, nincs-e dörzsölő hang.
4. **Szigetelési ellenállás mérése.** Kösd le a tápkábelt, és vedd le a kapocsdobozi hidakat. a) Mind a hat kivezetést összekötve mérj a közös pont és a motor teste között (egy érték). b) Fázisonként: U → V+W+test, V → U+W+test, W → U+V+test (500 V DC). A mérés után a tekercseket süsd ki (a műszer általában automatikusan). A mért értékeket jegyezzük

fel. 1 MΩ alatt ne indítsd a motort: 0,5–1 MΩ között szárítás és újramérés, 0,5 MΩ alatt javítás szükséges (ellenőrizendő: gyártói adatlap).

5. **Tekercsellenállás mérése.** Mérjük meg minden fázistekercs egyenáramú ellenállását. Hasonlítsuk össze az értékeket; a legnagyobb eltérés ne haladja meg a megengedett értéket.
6. **Kapcsolási mód meghatározása.** Az adattábla alapján döntsd el, hogy csillag vagy delta kapcsolás szükséges. 400 V-os hálózaton a 230/400 V-os motor csillagba, a 400/690 V-os motor deltába kötendő.
7. **Kapocsbekötés.** Helyezd fel a hidakat a kapocsdobozban a kiválasztott kapcsolásnak megfelelően. Csillagnál kösd össze U2–V2–W2-t; deltánál kösd össze U1–W2, V1–U2, W1–V2-t. A csavarokat a gyártó által megadott nyomatékkal húzd meg.
8. **Tápvezetékek csatlakoztatása.** Az L1, L2, L3 fázisvezetőket a megfelelő kapcsokra kötöd. A védővezetőt (PE) a motor testén lévő védőcsatlakozóhoz kötöd. A nulla vezetéket nem használjuk, mert a motor szimmetrikus háromfázisú fogyasztó.
9. **Bekötés ellenőrzése.** Szemrevételezéssel ellenőrizd a hidakat, a húzáspróbával a csatlakozókat. Győződj meg arról, hogy nem maradt idegen tárgy a kapocsdobozban.
10. **Első indítás.** Helyezd feszültség alá, és rövid időre kapcsold be a motort. Figyeld a forgásirányt, a hangot és az esetleges szikrázást.
11. **Forgásirány ellenőrzése.** Ha a forgásirány nem megfelelő, kapcsold le, végezd el a feszültségmentesítést, és cserélj fel két tápvezetéket. Ne bántsd a motoron belüli hidakat.
12. **Üresjárati áram mérése.** Lakatfogóval mérd meg mindhárom fázis áramát. Jegyezd fel az értékeket, és hasonlítsd össze az adattáblán lévő névleges árammal. Az üresjárati áram a névleges 25–40%-a körül várható **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.
13. **Hőkioldó beállítása.** Állítsd be a hőkioldót a motor névleges áramára. Közvetlen indításnál ez a motor névleges árama; csillag–delta indításnál a bekötési pontnak megfelelő fázisáram.
14. **Dokumentálás.** Készíts mérési jegyzőkönyvet: mért szigetelési ellenállás, tekercsellenállás, üresjárati áramok, hőkioldó beállítás, dátum, aláírás.

Ellenőrzési pontok. A szigetelési ellenállás legalább 1 MΩ; a fázisellenállások eltérése 2–3% alatt; az üresjárati áramok közel azonosak; a forgásirány megfelelő; a hőkioldó a névleges áramra van állítva.

Tipikus hibák a gyakorlatban.

- A szigetelésmérést elfelejtik, és nedves motort indítanak el.
- A hidakat rosszul rakják fel, pl. deltát kötnek csillag helyett.
- A forgásirányt nem ellenőrzik, és a gép rossz irányba forog.
- A hőkioldót túl magasra állítják, így az nem védi meg a motort.

41.1.9. Hibakeresési eset

Tünet. A motor a bekapcsolás után nem indul el, csak erős zúgást hallat, és a tengelye nem forog. A motor melegszik, és égett szag érezhető.

Hipotézis. A három fázis közül az egyik hiányzik, vagy az egyik tekercs szakadt, esetleg a csillagpont nincs megfelelően összekötve.

Mérés.

1. **Azonnal kapcsold le a motort** (egyfázisú üzemben percek alatt leég), és biztosítsd visszakapcsolás ellen.

2. **Feszültség alatti mérés – csak jogosult személy**, CAT III 600 V-os kétpólusú feszültségvizsgálóval, a lekapcsolt motorkör betáplálási oldalán – az olvadóbiztosítók kimenetén, illetve a mágneskapcsoló bemeneti (1-3-5) kapcsain, nem a nyitott kapocsdobozban –: L1–L2, L2–L3, L3–L1 ≈ 400 V. Ha egy pár 0 V vagy jóval kisebb, fázis hiányzik; a hiba a megszakító, az olvadóbiztosító vagy a vezeték.
3. **Feszültségmentesítés** az öt szabály szerint, majd feszültségmentesen:
    - Mérjük meg a tekercsellenállásokat a kapocsdobozban. Ha valamelyik szakadt, végtelen nagy ellenállást mérünk.
    - Szigetelésmérést végzünk a tekercsek és a test között.
    - Ellenőrizzük a hidakat: csillagkapcsolásnál a csillagpontnak szigeteltnek és jól összekötöttnek kell lennie.

Ok. A hiba egy kiolvadt olvadóbiztosító volt, ami az egyik fázist megszakította. A motor fázishiányos (két vonali vezetőről, egyfázisúan táplált) zúgással próbált indulni, de a forgó mágneses mező nem alakult ki.

Javítás. A biztosító nem magától olvad ki: előbb meg kell keresni a kiolvadás okát (zárlat, a betét alulméretezése az indítási áramhoz képest, laza érintkezés melegedése), ezért a betét névleges áramát és jelleggörbéjét ellenőrizni kell. A motor a fázishiányos zúgás alatt melegedett (égett szag), ezért a tekercsek szigetelését és ellenállását újra meg kell mérni. Csak ezután cseréljük az olvadóbiztosítót azonos névleges értékű és jellemzőjű betétre (túlméretezett betét vagy áthidalás tilos). A csere után a motor rendesen elindult.

Megelőzés. Fázishiányra is kioldó, helyesen beállított hőkioldó vagy motorvédő kapcsoló (a motorvédelem hiánya vagy hibás beállítása is oka volt a károsodásnak). Minden indítás előtt ellenőrizni kell a fázisfeszültségeket, és a tekercsellenállás-mérést nem szabad kihagyni. A rendszeres karbantartás során az olvadóbiztosítók állapotát is vizsgálni kell.

41.1.10. Tipikus hibák

1. **Szigetelésmérés elhagyása.** Ha a motor nedves vagy szennyezett, a szigetelési ellenállás alacsony, és az indítás zárlatot okozhat. Mindig mérjünk szigetelési ellenállást, és csak akkor indítsuk a motort, ha az érték megfelelő.
2. **Rossz kapcsolási mód választása.** Az adattábla 230/400 V Δ/Y jelölését összekeverik, és 400 V-os hálózaton deltába kötik a motort. A tekercsek 400 V-ot kapnak 230 V helyett, ami gyors túlmelegedést és szigetelésromlást okoz. A kapcsolási módot mindig az adattáblával egyeztetni kell.
3. **Forgásirány ellenőrzésének elhagyása.** A motor jól forog, ezért a szerelő nem törődik a forgásiránnyal. A gép azonban rossz irányba működik, ami a berendezés károsodásához vezethet. Az első indításnál mindig ellenőrizni kell a forgásirányt.
4. **Hőkioldó helytelen beállítása.** Ha a hőkioldót a motor névleges áramánál magasabbra állítják, a motor túlterhelés esetén leég. Ha alacsonyabbra, a hőkioldó tévesen leold. A beállítást a motor névleges áramának megfelelően kell elvégezni.
5. **A védővezető elhagyása.** A motor teste feszültség alá kerülhet hiba esetén, és áramütést okozhat. A védővezetőt mindig csatlakoztatni kell, és folytonosságát ellenőrizni kell.

41.1.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Csillagkapcsolásnál a tekercsek végeit (U2, V2, W2) közösítjük, és a táp a kezdetekre (U1, V1, W1) csatlakozik. Indokold!
2. Milyen egyenfeszültséget használunk kisfeszültségű motor szigetelésméréséhez?
3. A motor adattáblája 400/690 V Δ/Y. Milyen kapcsolást választunk 400 V-os hálózaton?
4. Körülbelül mekkora a motor üresjárati árama a névleges áramhoz képest?
5. Mit kell tenni, ha a motor rossz irányba forog?

41.1.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a motor bekötése előtti három alapvető ellenőrző mérést, és röviden indokold, miért fontosak.

2. feladat (A). Határozd meg a minimálisan elfogadható szigetelési ellenállás értékét egy 400 V-os motornál. (A gyakorlati ökölszabály szerint.)

3. feladat (B). Egy motor fázistekercsein a következő ellenállásokat mértük: U tekercs: 1,25 Ω, V tekercs: 1,26 Ω, W tekercs: 1,22 Ω. Számítsd ki a legnagyobb százalékos eltérést, és döntsd el, hogy a motor valószínűleg megfelelő-e.

4. feladat (B). Egy 400 V Δ kapcsolású motor névleges árama 11,5 A. Az üresjáratban mért fázisáramok: 4,2 A, 4,5 A, 4,3 A. Értékeld az áramértékeket, és add meg a hőkioldó beállítását közvetlen indításnál.

5. feladat (C). Egy motort csillag helyett deltába kötöttek 400 V-os hálózaton, pedig az adattáblája 230/400 V Δ/Y jelölést tartalmaz. Mi történik a tekercsekkel, és milyen következményekkel járhat?

6. feladat (D). A motor nem indul, csak zúg. Ismertesd a lehetséges okokat és a hibakeresés lépéseit a mérési sorrenddel.

41.1.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A csillagkapcsolásnál a tekercsek végeit közösítjük, a kezdetekre adjuk a tápfeszültséget; ekkor a tekercsfeszültség $U_f = U_v/\sqrt{3}$.
2. **500 V DC** (kisfeszültségű motorok esetén).
3. **Deltakapcsolást**, mert a tekercs 400 V-ra készült, és 400 V-os hálózaton a tekercsfeszültség delta kapcsolásnál egyenlő a vonali feszültséggel.
4. **A névleges áram 25–40%-a körül** (ellenőrizendő: gyártói adatlap).
5. **Feszültségmentesítés után két tápvezetéket felcserélni** (pl. L1–L2), és újból ellenőrizni.

1. feladat megoldása. A három alapvető mérés: (1) szigetelési ellenállás mérése – a tekercsek és a test közötti szigetelés állapotának ellenőrzése; (2) tekercsellenállás mérése – a fázisok közötti szimmetria és a szakadás kimutatása; (3) a kapcsolási mód egyeztetése az adattáblával, valamint a bekötés szemrevételezése. Ezek nélkül nem lehet biztonságosan elindítani a motort.

2. feladat megoldása. A gyakorlati ökölszabály szerint a szigetelési ellenállás minimális értéke kisfeszültségű motoroknál **1 MΩ (ellenőrizendő: aktuális szabvány, gyártói adatlap)**. Ez az érték független a motor névleges feszültségétől, amíg az kisfeszültségű.

3. feladat megoldása.

Adott: $R_U = 1{,}25\,\Omega$, $R_V = 1{,}26\,\Omega$, $R_W = 1{,}22\,\Omega$.

Keresett: a legnagyobb százalékos eltérés.

Kiszámítjuk az átlagot:

$$R_{\text{átl}} = \frac{1{,}25 + 1{,}26 + 1{,}22}{3} = \frac{3{,}73}{3} = 1{,}243\,\Omega.$$

A legnagyobb eltérés:

$$\Delta R = R_{\max} - R_{\min} = 1{,}26 - 1{,}22 = 0{,}04\,\Omega.$$

Százalékosan:

$$\frac{0{,}04}{1{,}243} \cdot 100\% \approx 3{,}2\%.$$

Ez kissé meghaladja a 2–3%-os tipikus határt, ezért a motor gyanús, további vizsgálat szükséges **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**.

4. feladat megoldása.

Adott: $I_n = 11{,}5\,\text{A}$; mért üresjárati áramok: 4,2 A, 4,5 A, 4,3 A.

Az átlag: $I_{\text{üres}} = (4{,}2 + 4{,}5 + 4{,}3)/3 = 4{,}33\,\text{A}$.

A névlegeshez viszonyítva: $4{,}33/11{,}5 \cdot 100\% \approx 37{,}7\%$, ami a 25–40%-os tartományba esik, tehát elfogadható.

Az áramok közötti legnagyobb eltérés $4{,}5 - 4{,}2 = 0{,}3\,\text{A}$, ami az átlaghoz képest $0{,}3/4{,}33 \cdot 100\% \approx 6{,}9\%$; ez üresjáratnál általában elfogadható, de ha nagyobb lenne, vizsgálni kell.

A hőkioldó beállítása közvetlen indításnál: $I_{\text{beállítás}} = I_n = 11{,}5\,\text{A}$ (a gyakorlatban a legközelebbi beállítható értékre).

5. feladat megoldása. A 230/400 V Δ/Y jelölés azt mutatja, hogy a tekercs 230 V-ra készült. Deltakapcsolásban a tekercs a vonali feszültséget kapja, ami 400 V; csillagkapcsolásban a tekercsfeszültség $400/\sqrt{3} \approx 230\,\text{V}$. Ha a motort 400 V-os hálózaton deltába kötjük, a tekercsek 400 V-ot kapnak, ami a megengedett $\sqrt{3} \approx 1{,}73$-szorosa. A tekercsekben a mágneses tér erősen túlvezérelt, a vas telítődik, az áramfelvétel drasztikusan megnő, a tekercs gyorsan túlmelegszik, a szigetelés tönkremegy, és a motor leéghet. A védőberendezés lehet, hogy nem old le időben, mert a túláram nem feltétlenül éri el a rövidzárlati szintet.

6. feladat megoldása.

A tünet: a motor nem indul, csak zúg. Ez tipikusan egyfázisú táplálásra vagy szakadt tekercsre utal.

Lehetséges okok:

- Az egyik fázis hiányzik (olvadóbiztosító kiolvadt, megszakító egy pólusa meghibásodott, laza csatlakozás).
- Az egyik tekercs szakadt, vagy a csillagpont nincs bekötve.
- A motor mechanikusan terhelt (pl. a csapágy szorul), bár ekkor általában a három fázis árama megnő, nem pedig zúgás.

Hibakeresés:

0. Azonnal kapcsoljuk le a motort (egyfázisú üzemben percek alatt leég), és biztosítsuk visszakapcsolás ellen.
1. Feszültség alatti mérés (csak jogosult személy, CAT III 600 V-os kétpólusú vizsgálóval, a lekapcsolt motorkör betáplálási oldalán: az olvadóbiztosítók kimenetén, illetve a mágneskapcsoló bemeneti 1-3-5 kapcsain, nem a nyitott kapocsdoboznál): mind a három vonali feszültségnek közel 400 V-nak kell lennie. Ha egy pár 0 V vagy jóval kisebb, fázis hiányzik.

Ezután feszültségmentesítés az öt szabály szerint, és feszültségmentesen:

2. Mérjük meg a tekercsellenállásokat a kapocsdobozban: mindhárom fázisnak hasonló értéket kell mutatnia.
3. Ellenőrizzük a hidakat: csillagkapcsolásnál a csillagpontnak zártnak, de a teste felé szigeteltnek kell lennie.
4. Szigetelésmérést is végezzünk; ha a tekercs testzárlatos, az is okozhat rendellenes működést.

A hiba oka leggyakrabban az egyik fázis hiánya, amit a fenti sorrendben gyorsan fel lehet deríteni. A javítás után újra ellenőrizni kell a feszültségeket, és próbaindítást végezni.

41.1.14. Rövid összefoglaló

A motor kapocsbekötése előtt mindig feszültségmentesíteni kell, és el kell végezni a három alapvető mérést: szigetelési ellenállás (min. 1 MΩ, 500 V DC-vel), tekercsellenállás (a fázisok közötti eltérés max. 2–3%), és az adattábla kapcsolási módjának egyeztetése. Csillagkapcsolásnál a tekercsek végeit közösítjük, deltakapcsolásnál U1–W2, V1–U2, W1–V2 hidakat rakunk fel. A forgásirány a fázissorrendtől függ; ha rossz irányba forog, két tápvezetéket kell felcserélni. Az első indítást üres tengellyel végezzük, mérjük az üresjárati áramot (a névleges 25–40%-a), és a hőkioldót a motor névleges áramára állítjuk. A mérési eredményeket dokumentálni kell. **Továbbvitt eredmény.** Az itt elvégzett motor beüzemelés és a mért értékek dokumentálása alapján építhető fel a teljes motorvezérlés a Vezérlések építése: direkt, reverzáló, Y-Δ alfejezetben.

41.1.15. Források és ellenőrzési hiányok

A kapocsdobozos csillag–delta kapcsolás logikája és a forgásirányváltás elve stabil elektrotechnikai alapismeret. A szigetelési ellenállás minimális értékére (1 MΩ), a tekercsellenállás megengedett aszimmetriájára (2–3%) és az üresjárati áram arányára (25–40%) vonatkozó számok gyakorlati ökölszabályok, amelyeket a mindenkori gyártói adatlapok és a hatályos szabványok pontosíthatnak. A konkrét szabványszámok: MSZ EN 60034 sorozat, MSZ EN 60204-1, MSZ EN 60947-4-1 **(ellenőrizendő: aktuális kiadások és a rájuk vonatkozó határértékek)**. A mérési gyakorlatot mindig a műszerek gyártói utasítása szerint kell végrehajtani.

41.2. Vezérlések építése: direkt, reverzáló, Y-Δ

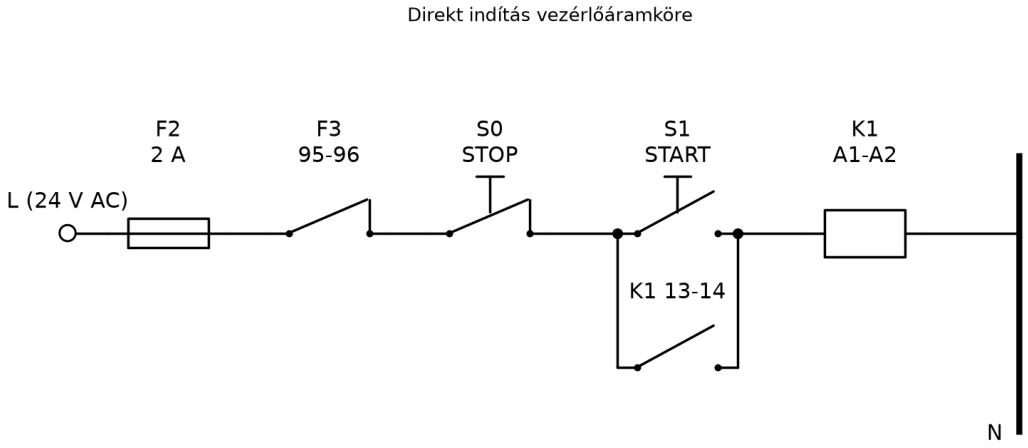
41.2.1. Motiváció

Egy kapcsolószekrényben a motor nem indul, a mágneskapcsoló zúg, a biztosító leold, vagy a forgásirány rossz: ilyen helyzetekben a szerelőnek a kapcsolási rajz alapján gyorsan meg kell találnia a hibát. A tanműhelyben a vezérlések építése nem egyszerűen „vezetékek összekötése”: a rajz–valóság–mérés hármas elsajátítása dönti el, hogy a kész kapcsolás elsőre működik-e, és hogy a hibát meg tudjuk-e találni feszültség alatt nem tapogatva. Ebben az alfejezetben a három legalapvetőbb motorvezérlést építjük meg fokozatosan: a direkt (önfenntartásos) indítást, a

reverzáló (irányváltó) kapcsolást és a csillag–delta (Y-Δ) indítást. Mindegyiknél az építés előtti ellenőrzés, a bekötési logika, a kipróbálás és a dokumentálás a hangsúly.

41.2.2. Szemléletes kép: direkt indítás vezérlőáramköre

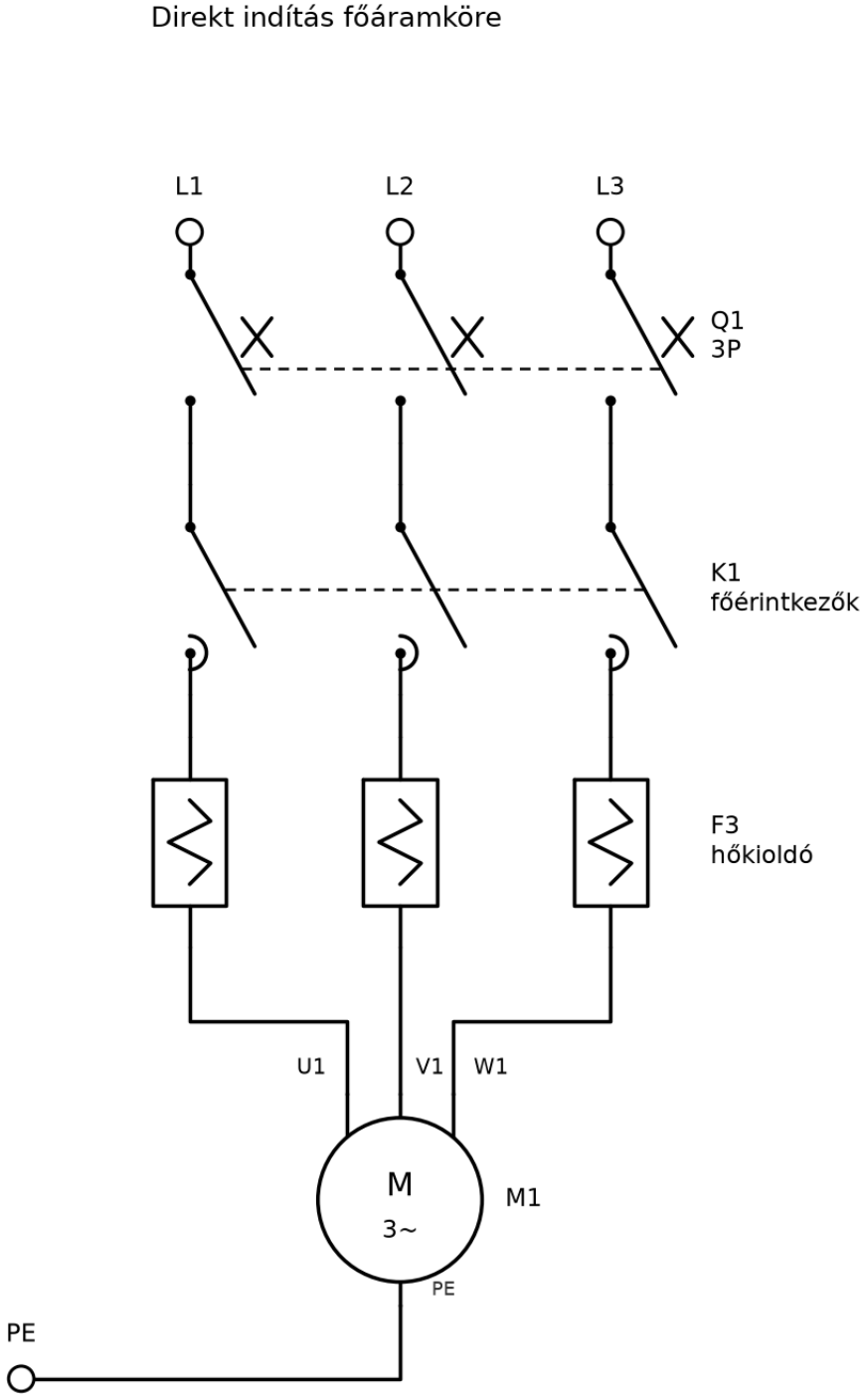
A direkt indítás a legegyszerűbb motorvezérlés: egy mágneskapcsoló (K1) kapcsolja a motor főáramkörét, a vezérlőáramkörben pedig az indító nyomógomb egy pillanatnyi zárása behúzza K1-et, és egy K1 segédérintkező (13–14) önfenntartja a kapcsolást. A stop nyomógomb (S0) sorosan bontja az áramkört.



41.2. ábra. Direkt indítás vezérlőáramköre - Önfenntartásos mágneskapcsoló-vezérlés: L → F2 vezérlőbiztosító → F3 hőkioldó 95-96 (NC) → S0 STOP (NC) → (S1 START (NO) ‖ K1 13-14 önfenntartó) → K1 tekercs (A1-A2) → N. Túlterhelésnél az F3 95-96 bont, és K1 elenged.

A rajzon a vezérlőáramkör fázisa (itt tanműhelyben 24 V AC, de iparban gyakran 230 V AC) a bal oldalról indul. Az F2 vezérlőbiztosító és az F3 hőkioldó 95–96 bontóérintkezője után az S0 NC stop nyomógomb következik. Amikor a start (S1) nyomógombot megnyomjuk, a K1 tekercs áramot kap, behúz, és a 13–14 segédérintkezője párhuzamosan zárja az S1-et. A start gomb elengedése után az áram a 13–14 érintkezőn keresztül folyik tovább, így a kapcsolás „beragad”. A stop megnyomásával megszakítjuk a tekercs áramát, és a kapcsolás kiesik.

A főáramkörben a K1 főérintkezői kapcsolják a motort; a hőkioldó (F3) a motor vezetékeiben méri az áramot, és túlterhelésnél a vezérlőkörbe kötött 95–96 bontóérintkezőjével ejti K1-et:



41.3. ábra. Direkt indítás főáramköre - L1, L2, L3 → Q1 háromfázisú kismegszakító/motorvédő → K1 főérintkezői → F3 hőkioldó (a motor névleges áramára állítva) → M1 (U1, V1, W1); a motor fém testén PE. A K1 tekercsét a vezérlőáramkör kapcsolja.

41.2.3. A vezérlésépítés általános rendje

Szabály. Minden vezérlésépítést ugyanazzal a hármas módszerrel végezzünk: *rajz → valóság → mérés*. Először a rajzot értelmezzük és a kapcsolást bekötjük, majd szemrevételezéssel és tápfeszültség nélküli mérésekkel ellenőrizzük, végül feszültség alatt működési próbát végzünk. Ez megfelel a gépvillamos berendezések szerelésénél előírt szemléletnek, amelyet az Ellenőrzés, mérés és felülvizsgálat fejezetben is használunk (vö. MSZ EN 60204-1 ellenőrzési előírásai; ellenőrizendő).

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Minden szerelés előtt feszültségmentesítünk, és betartjuk az öt biztonsági szabályt: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás, szomszédos feszültség alatti részek lefedése.

41.2.4. Direkt és reverzáló vezérlés építése

41.2.4.1. Direkt indítás építése

Gyakorlat. A direkt indítás vezérlőáramkörét az alábbi anyagokkal építjük fel:

Megnevezés	Rajzjel	Példa típus / érték
Mágneskapcsoló	K1	3 pólusú főérintkező, 1 NO segédérintkező (13–14), 24 V AC tekercs
Nyomógomb NC	S0 (STOP)	piros, bontó érintkező
Nyomógomb NO	S1 (START)	zöld, záró érintkező
Vezérlőbiztosító	F2	2 A, 24 V AC körhöz
Hőkioldó (motorvédő relé)	F3	95–96 bontó, a motor névleges áramára állítva
Jelzőlámpa (opcionális)	H1	24 V AC

Recept. Direkt indítás bekötési algoritmusa:

1. **Szereld fel az alkatrészeket** a kapcsolási rajz sorrendjében, balról jobbra: biztosító, hőkioldó 95–96 bontója, stop, start, mágneskapcsoló.
2. **Kösd be a táp felőli oldalt**: F2 bemenete a 24 V AC fázisra, kimenete az F3 hőkioldó 95. kapcsára; az F3 96. kapcsa az S0 NC bemenetére (11. kapocs; régi/egyszerű jelöléssel 1).
3. **Kösd az S0 kimenetét (12. kapocs; régi jelöléssel 2)** az S1 NO bemenetére (13. kapocs; régi jelöléssel 3) és a K1 segédérintkező 13. kapcsára.
4. **Kösd az S1 kimenetét (14. kapocs; régi jelöléssel 4)** és a K1 segédérintkező 14. kapcsát közösítve a K1 tekercs A1 kapcsára.
5. **Kösd a K1 tekercs A2 kapcsát** a 24 V AC nulla visszatérőre.
6. **Ellenőrizd a csatlakozásokat** a rajz alapján, majd mérd meg a folytonosságot.

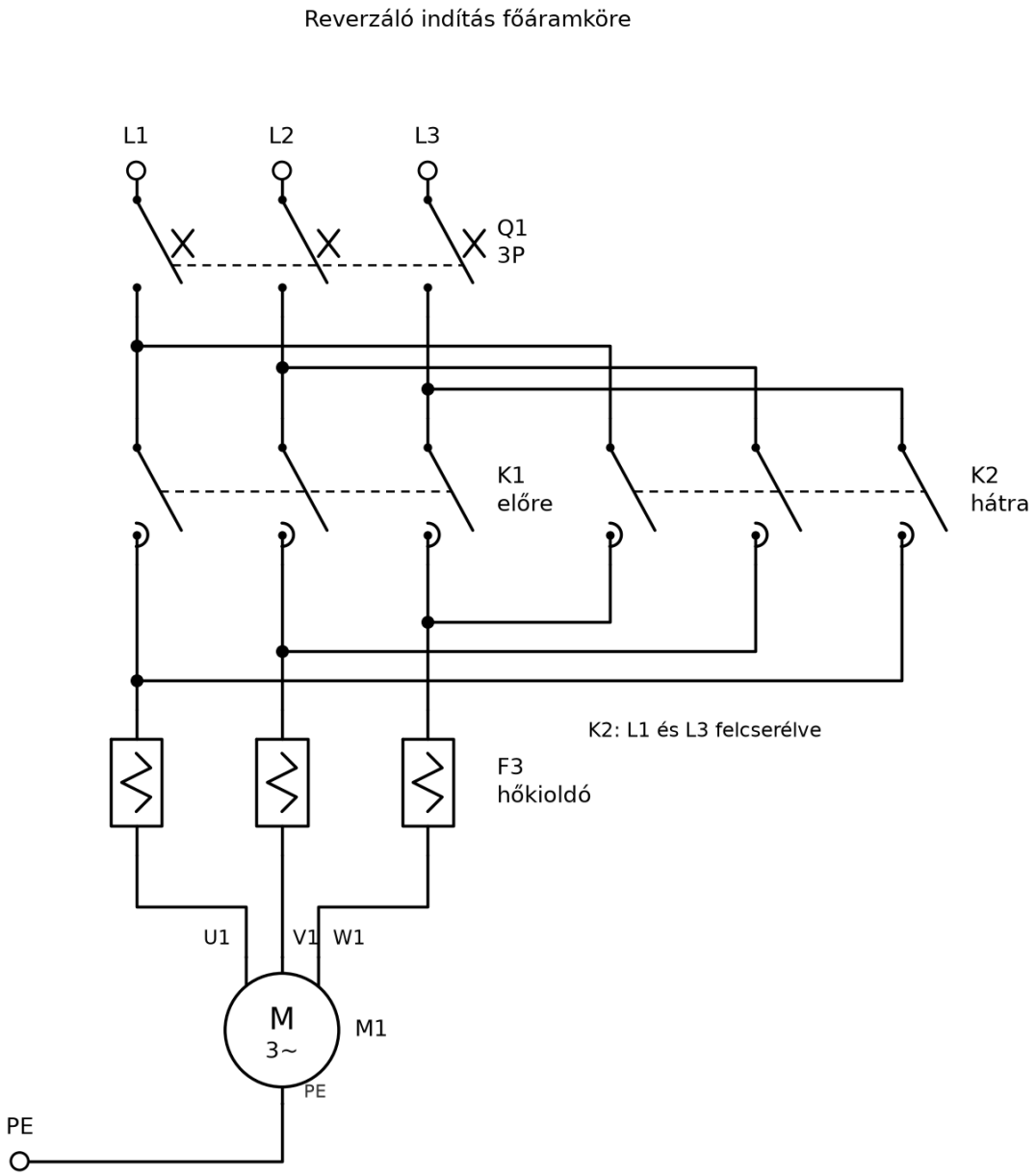
41.2.4.2. Reverzáló (irányváltó) vezérlés építése

A reverzáló kapcsolás két mágneskapcsolót használ: K1 az előre, K2 a hátra irányt kapcsolja. A főáramkörben a két kapcsoló két fázist felcserél, ezért **K1 és K2 egyidejű behúzása tilos**, mert két fázis közvetlenül zárlatba kerül. A reteszelés két szintű: villamos reteszelés (a másik kapcsoló NC segédérintkezője a tekercs áramkörében) és mechanikus reteszelés (a két mágneskapcsoló közé szerelt mechanikus blokk).

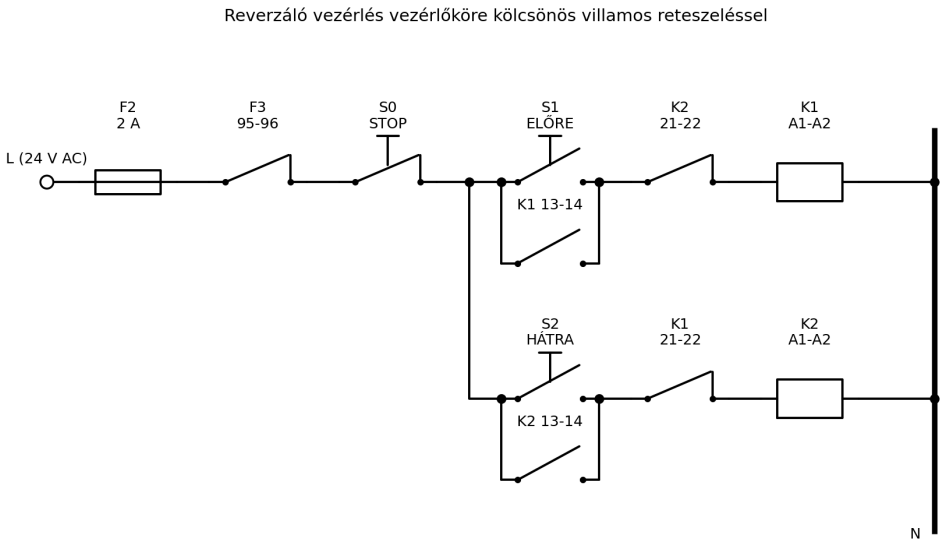
Kapcsolási logika:

- F2 vezérlőbiztosító és F3 hőkioldó 95–96 sorosan a közös ágban, az S0 előtt.
- S0 NC stop nyomógomb közös.
- S1 NO start „előre”, K1 tekercs; K1 NO önfenntartó (13–14) az S1-gyel párhuzamosan.
- S2 NO start „hátra”, K2 tekercs; K2 NO önfenntartó (13–14) az S2-vel párhuzamosan.
- K2 NC segédérintkező (21–22) a K1 tekercs áramkörében sorosan.
- K1 NC segédérintkező (21–22) a K2 tekercs áramkörében sorosan.

A főáramkört és a vezérlőkört az alábbi két rajz mutatja. A főkörben K2 az L1 és az L3 fázist felcseréli; a vezérlőkörben a két start ág közös része F2, F3 95–96 és S0, az egyes ágakban az önfenntartó 13–14 a start gombbal párhuzamos, a másik mágneskapcsoló 21–22 bontója pedig a tekercs előtt sorosan reteszel.



41.4. ábra. Reverzáló indítás főáramköre - K1 (előre) a fázisokat sorrendben (L1→U1, L2→V1, L3→W1), K2 (hátra) az L1 és L3 felcserélésével kapcsolja a motorra; a két mágneskapcsoló egyidejű behúzása fázis–fázis zárlat, ezért villamos és mechanikus reteszelés kell. F3 hőkioldó a közös ágban, a motor névleges áramára állítva; a motortesten PE. A vezeték-keresztezések pont nélkül nem csatlakoznak.



41.5. ábra. Reverzáló vezérlés vezérlőköre: L → F2 → F3 95-96 → S0 → (S1 ‖ K1 13-14) → K2 21-22 → K1, illetve (S2 ‖ K2 13-14) → K1 21-22 → K2 → N

A HTML-kiadásban a vezérlőkör kipróbálható: az S1, S2, S0 gombokkal a mágneskapcsolók behúznak és elengednek, az áramot vivő ág kiemelődik, a „Mindkét start egyszerre” próba pedig megmutatja, hogy a villamos reteszelés miatt csak az egyik mágneskapcsoló húzhat be.

Ellenőrzés tápfeszültség nélkül. Mielőtt feszültséget adnánk, multiméterrel folytonosságot mérünk:

- Az S0 (STOP, NC) nyugalmi állapotban zárt, megnyomva bont. Ha S1 és S2 sincs megnyomva, a vezérlő tápkapocs (F2 kimenete) és a K1, illetve K2 A1 kapcsa között nincs folytonosság.
- S1 megnyomva (S0 nyugalomban): a vezérlő tápkapocs és K1 A1 között folytonosság van. S1 és S0 egyszerre megnyomva: szakadás (a STOP bont).
- K1 kézzel behúzva, S2 megnyomva: a K2 ágában a K1 21–22 bontó nyitott, ezért nincs folytonosság K2 A1-ig. Ugyanez fordítva: K2 kézzel behúzva, S1 megnyomva: nincs folytonosság K1 A1-ig.
- Az önfenntartó érintkezők kézzel történő behúzásával szimulálható, hogy a start gomb elengedése után is zárt marad-e az áramkör.

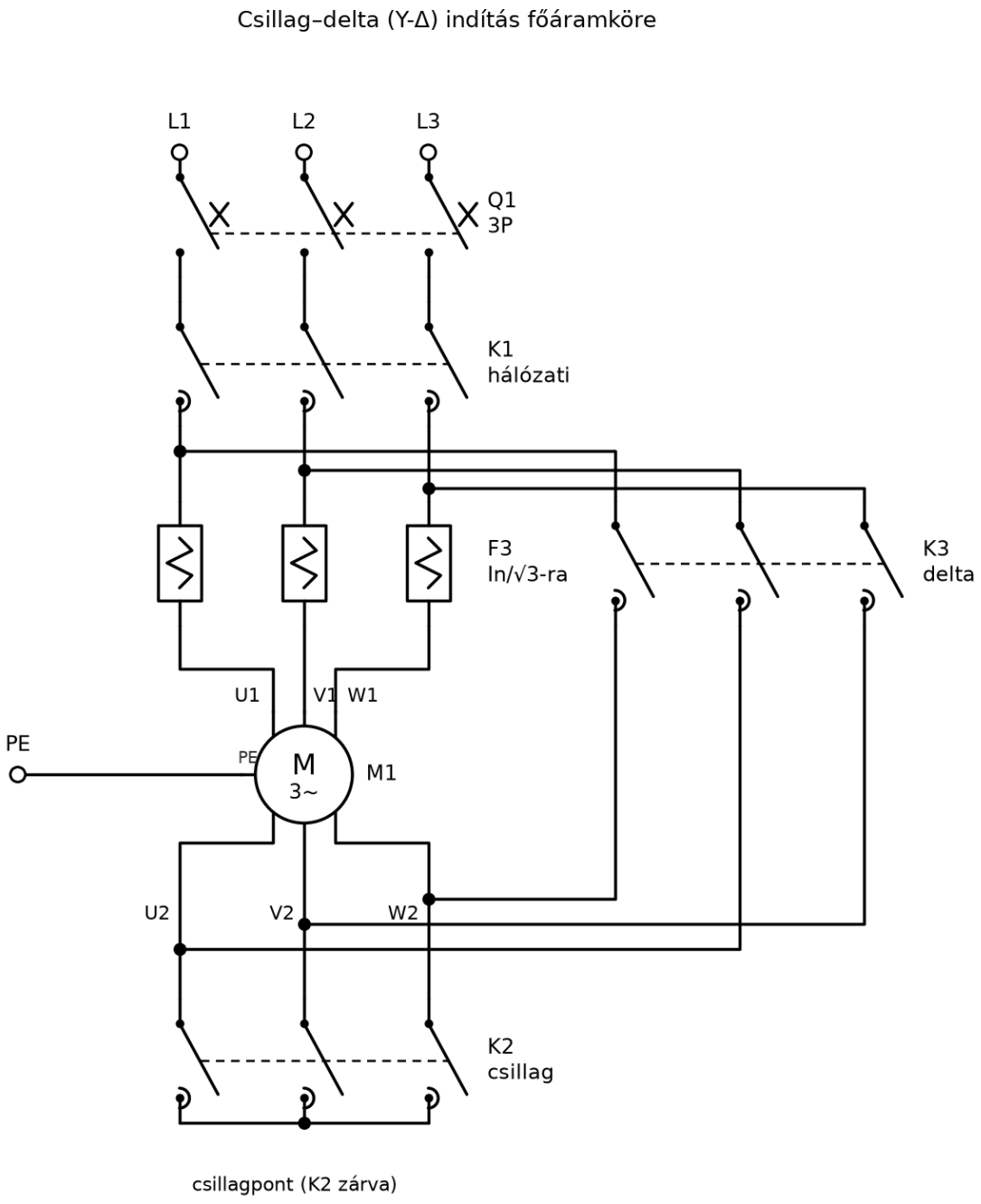
41.2.5. Y-Δ vezérlés és időrelé beállítás

Az Y-Δ indítás elvét a Csillag–delta indítás vezérlése alfejezetben már megismertük. Most a gyakorlati építés a cél. A vezérlőáramkörben három mágneskapcsoló van:

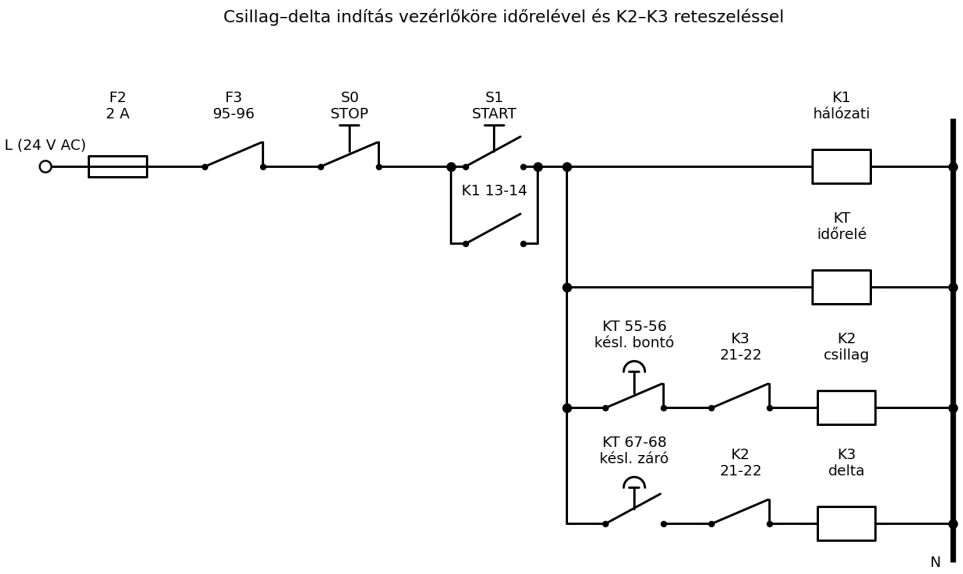
- **K1** – hálózati kapcsoló, a tekercskezdetekre (U1, V1, W1) kapcsolja a tápot.
- **K2** – csillagkapcsoló, a tekercsvégeket (U2, V2, W2) közösítve csillagpontba köti.
- **K3** – deltakapcsoló, a tekercsvégeket delta mintázatba köti (U1–W2, V1–U2, W1–V2).
- **KT** – időrelé, amely az indítási idő letelte után átvált csillagról deltára.

Reteszelés: K2 és K3 soha nem húzhat egyszerre. A főáramkörben ez fáziszárlatot okozna, ezért villamos reteszelés (K2 NC a K3 áramkörében, K3 NC a K2 áramkörében) és mechanikus reteszelés is szükséges.

A csillag–delta indítás főáramkörét és vezérlőkörét az alábbi rajzok mutatják. A főkörben F3 a tekercsáramkörben van, ezért a motor névleges áramának $1/\sqrt{3}$-szorosára állítjuk; a vezérlőkörben START után K1 és K2 (csillag) húz be, KT méri az indítási időt, majd a késleltetve bontó 55–56 ejti K2-t, a késleltetve záró 67–68 behúzza K3-at (delta). A K2 és K3 21–22 bontói kölcsönösen reteszelnek.



41.6. ábra. Csillag–delta (Y-Δ) indítás főáramköre - K1 a hálózatot a tekercskezdetekre (U1, V1, W1) kapcsolja; K2 a végeket (U2, V2, W2) csillagpontba köti; K3 deltába köt (U1–W2, V1–U2, W1–V2: a szabványos kapocstábla függőleges hídjai). F3 a tekercsáramkörben van, ezért a motor névleges áramának $1/\sqrt{3}$-szorosára állítjuk. K2 és K3 egyidejű behúzása zárlat: villamos és mechanikus reteszelés kell. A motortesten PE. A vezeték-keresztezések pont nélkül nem csatlakoznak.



41.7. ábra. Csillag–delta indítás vezérlőköre: K1 önfenntartással, KT időrelé, KT 55-56 → K3 21-22 → K2 (csillag), KT 67-68 → K2 21-22 → K3 (delta)

A HTML-kiadásban a START gombbal indítható a folyamat, az átkapcsolási idő csúszkával állítható, és lépésről lépésre látszik, melyik mágneskapcsoló van behúzva; K2 és K3 egyszerre sosem kap feszültséget. Az időrelé kapocsszámai (55–56, 67–68) tipikus jelölések, a gyártói adatlap szerint ellenőrizendők.

Indítási sorrend:

1. A start nyomógomb behúzza K1-et, amely önfenntart.
2. K1 zárja a K2 áramkörét (a K3 NC érintkezőn keresztül): a motor csillagban indul.
3. Ezzel egyidejűleg az időrelé (KT) feszültséget kap, és elkezdi mérni az indítási időt.
4. Az idő lejárta után a KT késleltetett érintkezője bontja K2-t, majd egy másik késleltetett érintkezője zárja K3-at.
5. A motor deltában fut tovább.

Időrelé beállítása. Az átkapcsolási időt úgy kell beállítani, hogy a motor csillagban elérje a fordulatszámának 80–90%-át. Tipikus értékek: kis motoroknál 3–10 s, nagyobbaknál 10–30 s. A pontos időt az adattábla és a terhelés határozza meg; túl rövid idő esetén a motor még nem gyorsult fel, és nagy áramlökéssel vált deltába, túl hosszú időnél a motor csillagban melegszik. **(ellenőrizendő: a konkrét motor gyártói adatlapja és a terhelési viszonyok)**.

Szabvány. A gépvillamos berendezések vezérléseire az MSZ EN 60204-1, a kapcsolókészülékekre és motorindítókra az MSZ EN 60947 sorozat vonatkozik. A vezérlési rajzokon az MSZ EN 60617 szerinti jelöléseket használjuk. A kapcsolások típusvizsgálati követelményeit, a reteszelés kialakítását és az érintkezők terhelhetőségét a gyártói adatlapok és a hatályos szabványok rögzítik **(ellenőrizendő: aktuális kiadások)**.

41.2.6. Hibakeresés és dokumentáció

A vezérlések építésénél a hibakeresés nem a feszültség alatti tapogatásról szól, hanem a tünet → hipotézis → mérés → ok → javítás → megelőzés láncolatról. Ezt az algoritmust használjuk

később a gyakorlati vizsgán is (Gyakorlati vizsgafeladatok és hibakeresés, értékelési szempontok alfejezet).

Hibakeresési eset. Tünet: a reverzáló kapcsolás „előre” irányban működik, de „hátra” irányban a K2 mágneskapcsoló nem húz be, semmi nem történik (csend).

- **Hipotézisek:** (1) a K1 NC reteszelő érintkező szakadt vagy rossz típusú; (2) a K2 tekercs szakadt; (3) a hátra start nyomógomb érintkezője rossz; (4) szakadás a vezérlőágban. (Zúgás – feszültséget kapó, de be nem húzó tekercs – esetén alacsony tekercsfeszültség, rossz tekercsfeszültség-típus vagy mechanikai szorulás gyanús.)
- **Mérés:** feszültségmentes állapotban (öt szabály) multiméterrel mérjük a vezérlőágat: S0 nyugalomban (zárt), S2 megnyomva, K1 nincs behúzva; az F2 kimenete és a K2 A1 kapocs között folytonosságot várunk (a tekercs ellenállását külön, A1–A2 között mérjük). Ha nincs folytonosság, szakaszosan keressük a hibát: az S2 érintkező, a K1 NC érintkező, a tekercs.
- **Ok:** a K1 NC érintkezőt tévedésből a K1 NO érintkezővel cserélték fel, így álló K1 mellett a K2 ága nem záródik.
- **Figyelem.** Ez a hiba nem ártalmatlan: előre futás közben az S2 megnyomásakor a K1 záró érintkezője épp engedélyezi a K2-t, így K1 és K2 egyszerre lehet behúzva, ami a főáramkörben fázis–fázis zárlat (mechanikus retesz nélkül biztosan). Ezért a próbát először főáramkör nélkül (motor és főérintkezők lekötve) végezzük, és a reteszelés ellenőrzése (K1 kézzel behúzva, a K2 ága szakadt) a működési próba előfeltétele.
- **Javítás:** a megfelelő NC (21–22) érintkezőt bekötni.
- **Megelőzés:** a kapcsolási rajz alapján minden érintkező típusát ellenőrizni, és a bekötés után a reteszelés folytonossági ellenőrzését (K1 kézzel behúzva, a K2 ága szakadt) nem kihagyni.

Dokumentáció. Minden megépített vezérlésről jegyzőkönyvet készítünk, amely tartalmazza: a kapcsolási rajz azonosítóját, az alkatrészek típusát és névleges adatait, a beállított időrelé-értéket, a mérési eredményeket (folytonosság, tekercsellenállás, szigetelés), és a működési próba eredményét. Ez a dokumentáció szolgál alapul a későbbi felülvizsgálathoz és a vizsgán a szóbeli bemutatáshoz.

41.2.7. Gyakorlati útmutató

Cél: megépíteni a direkt, reverzáló és Y-Δ vezérléseket tanműhelyi modellen, és tápfeszültség nélkül, majd feszültség alatt ellenőrizni.

Eszközök és anyagok: mágneskapcsolók (K1, K2, K3), időrelé, nyomógombok (NC/NO), vezérlőbiztosítók, multiméter, 24 V AC vagy DC tápegység (törpefeszültség), csatlakozó vezetékek, csavarhúzó, fogó, szigetelőszalag, kapcsolási rajz.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A feszültségmentesítés öt szabályát minden szerelés előtt be kell tartani.

Recept – lépéssor a szereléshez:

1. **Lekapcsolás és biztosítás.** A modell áramtalanítása, a tápegység kikapcsolása, a visszakapcsolás elleni biztosítás.
2. **Feszültségmentesség ellenőrzése.** Multiméterrel mérjük meg a tápoldali kapcsokon a feszültséget.
3. **Szerelés a rajz szerint.** Először a direkt indítást, majd a reverzálót, végül az Y-Δ-t. Minden alkatrészt a rajz pozíciójába rögzítsünk.

4. **Bekötési ellenőrzés tápfeszültség nélkül.** Folytonosságméréssel ellenőrizzük az összes áramutat, a reteszeléseket és az önfenntartásokat. Rövidzárlatot a tekercs és a kapcsok között ne mérjünk.
5. **Tápfeszültség rákapcsolása (oktató felügyeletével).** Kapcsoljuk be a 24 V-os tápegységet.
6. **Működési próbák.** Direkt indításnál: start → behúz, önfenntartás, stop → kiesik. Reverzálónál: előre start → K1 behúz, hátra start → K2 behúz, egyszerre ne húzhasson be mindkettő. Y-Δ-nél: start → K1+K2 behúz (csillag), az idő letelte után K2 ejt, K3 behúz (delta).
7. **Hibakeresés, ha nem működik.** A hibakeresési algoritmus szerint mérjük a tekercsek feszültségét, az érintkezők folytonosságát.
8. **Dokumentálás.** A mérési eredményeket és a beállított értékeket jegyzőkönyvben rögzítjük.

Ellenőrzési pontok:

- A tekercsellenállás mérése: a 24 V-os tekercsek tipikusan néhány tíz ohmosak. Ha 0 ohmot mérünk, rövidzár van; ha végtelen, szakadt a tekercs.
- A reteszelő NC érintkezők folytonosságát a behúzott állapotban is ellenőrizzük: a K1 kézzel benyomva a K2 áramköre szakadt legyen, és fordítva.
- Az időrelé beállítását stopperrel ellenőrizzük: a beállított idő leteltével a kimenetnek váltania kell.

41.2.8. Tipikus hibák

1. **Az önfenntartó érintkezőt a start nyomógombbal sorosan kötik.** A kapcsolás nem marad behúzva, mert a start gomb elengedésekor az áramkör megszakad. Helyes: a 13–14 érintkezőt az S1-gyel párhuzamosan kell kötni.
2. **A reteszelő NC érintkezők felcserélése vagy elhagyása.** Reverzálónál mindkét irány behúzhat, ami a főáramkörben fáziszárlatot okoz; a biztosító leold, vagy a kapcsoló összeég. Helyes: mindkét irány tekercsének áramkörébe a másik kapcsoló NC érintkezőjét sorosan bekötni.
3. **Az Y-Δ időrelé átkapcsolási idejét túl rövidre állítják.** A motor csillagban nem gyorsul fel kellően, és a delta átváltáskor nagy áramlökés keletkezik, ami leoldhatja a túláramvédelmet. Helyes: az időt a motor és a terhelés alapján úgy megválasztani, hogy a motor elérje a 80–90%-os fordulatszámot.
4. **A főáramkörben a K2 és K3 kapcsolók tekercsvégekhez való bekötését felcserélik.** A motor nem delta mintázatba kapcsol, hanem például egy tekercsre nem jut feszültség, vagy rossz fázissorrend alakul ki. Helyes: a kapocsjelölések (U1, V1, W1, U2, V2, W2) szerinti bekötés.

41.2.9. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** A direkt indításnál az önfenntartó érintkezőt a stop nyomógombbal sorosan kell kötni. Indokold.
2. **Miért kell reteszelés a reverzáló kapcsolásban?** Sorold fel a két reteszelési módot.
3. **Számítsd ki** a vezérlőáramköri biztosító áramát, ha három mágneskapcsoló tekercse egyenként 8 W-ot fogyaszt 24 V DC-n, és az időrelé 2 W-ot fogyaszt ugyanazon a feszültségen. Mekkora legyen a biztosító névleges árama?
4. **Mi a hiba ebben a kapcsolásban?** Egy tanuló a Y-Δ vezérlésnél a K2 és K3 mágneskapcsolók NC reteszelő érintkezőit kihagyta, és csak mechanikus reteszelést szerelt be. Mi történhet, ha a mechanikus reteszelés elhasználódik?

5. **Számítási feladat:** Egy 24 V DC-s kivitelű K1 tekercs ellenállása 60 Ω. Mekkora az árama és a teljesítménye 24 V DC-n? Miért nem lehet ugyanígy számolni egy 24 V AC-s tekercs áramát?
6. **Rajzolvasás:** A direkt indítás rajzán az S1 start nyomógomb kimenete (14. kapocs) és a K1 önfenntartó érintkező 14. kapcsa közösítve van. Miért szükséges ez a közösítés?

41.2.10. Feladatok

1. feladat (A). Rajzold le a direkt indítás vezérlőáramkörét kapcsolási rajzon, és nevezd meg az alkatrészeket, valamint a kapcsok jelölését.

2. feladat (A). Sorold fel a reverzáló vezérlésben használt kontaktusok típusait (NO/NC) és azok szerepét.

3. feladat (B). Egy Y-Δ indító vezérlőáramkörében a K1, K2, K3 mágneskapcsolók tekercsei egyenként 10 VA tartóteljesítményt vesznek fel 230 V AC-n, az időrelé 3 VA-t. Számítsd ki a vezérlőáramkör látszólagos teljesítményét és a tartóáramot. Mekkora legyen a vezérlőbiztosító árama, ha a tekercsek egyidejűleg legfeljebb ketten húznak be (K1+K2 vagy K1+K3)?

4. feladat (B). Tervezd meg a reverzáló vezérlés huzalozási rajzát: a K1 és K2 mágneskapcsolók tekercseit, a reteszelő NC érintkezőket és az önfenntartó NO érintkezőket. A rajzot írd le szövegesen vagy diagramblokkban.

5. feladat (C). Hibaelemzés: A Y-Δ vezérlésnél a start gomb megnyomásakor K1 behúz, de K2 nem húz be, a motor áll, és nem vesz fel áramot (lakatfogó: 0 A). Sorold fel a lehetséges hibákat, és írd le a hibakeresési lépéseket feszültségmentes állapotban.

6. feladat (D). Gyakorlati feladat: Építsd meg a direkt indítás vezérlőáramkörét 24 V AC törpefeszültséggel. Mérd meg a K1 tekercs áramát behúzott állapotban (24 V AC körben soros multiméterrel az A-tartományban – a mérőzsinór az A-aljzatban, mérés után vissza a V-aljzatba –, vagy mA-felbontású lakatfogóval). Ellenőrizd az önfenntartást: a start gomb elengedése után a kapcsolás maradjon behúzva. Dokumentáld a mérést: a mért feszültség, áram, tekercsellenállás.

41.2.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Hamis.** Az önfenntartó érintkezőt a start nyomógombbal párhuzamosan kell kötni. Soros kötésnél a start elengedésekor az áram megszakad, a kapcsoló kiesik.
2. A reteszelés azért kell, mert a reverzáló kapcsolásnál a két mágneskapcsoló egyidejű behúzása két fázis közvetlen zárlatát okozná. Villamos reteszelés (a másik kapcsoló NC érintkezője a tekercs áramkörében) és mechanikus reteszelés (a két mágneskapcsoló közötti mechanikus blokk).
3. Teljes teljesítmény: $P = 3 \cdot 8\,\mathrm{W} + 2\,\mathrm{W} = 26\,\mathrm{W}$. Áram: $I = \frac{P}{U} = \frac{26\,\mathrm{W}}{24\,\mathrm{V}} = 1{,}08\,\mathrm{A}$. A biztosítót 1,6 A-re vagy 2 A-re választjuk, hogy a bekapcsolási áramlökés ne okozza leoldást.
4. Ha a villamos reteszelés hiányzik, és a mechanikus reteszelés elhasználódik (kopás, szennyeződés), mindkét mágneskapcsoló egyszerre behúzhat, ami a főáramkörben fáziszárlatot okoz. A védelmek leoldanak, de a kapcsoló összeéghet, és balesetveszély alakul ki.
5. Ohm törvénye: $I = \frac{U}{R} = \frac{24\,\mathrm{V}}{60\,\Omega} = 0{,}4\,\mathrm{A}$, $P = U \cdot I = 24\,\mathrm{V} \cdot 0{,}4\,\mathrm{A} = 9{,}6\,\mathrm{W}$ (DC tekercsre). Váltakozó áramú tekercsnél az áramot az impedancia (induktív reaktancia) szabja meg, a DC-ellenállás ennek csak kis része, ezért az U/R becslés félrevisz (a meghúzási áram ráadásul a tartóáram sokszorosa); AC tekercs áramát az adatlap VA-értékéből számoljuk: $I = S/U$.

6. A közösítés biztosítja, hogy az áram a start gomb elengedése után a K1 önfenntartó érintkezőn keresztül is eljusson a tekercshez. Ha nem közösítenénk, az önfenntartó érintkező nem tudná átvenni a start gomb szerepét.

Feladatok – megoldások

1. feladat (A). A kapcsolási rajz az alábbi áramutat tartalmazza: a 24 V AC fázisról az F2 biztosítón és az F3 hőkioldó 95–96 bontóján át az S0 NC stop nyomógomb 11. kapcsára, onnan (12. kapocs) az S1 NO start 13. kapcsára, onnan (14. kapocs) a K1 tekercs A1 kapcsára. A K1 önfenntartó NO érintkező (13) az S1 bemenetével közösítve, a (14) az S1 kimenetével és a K1 A1 kapcsával közösítve. A K1 A2 a nulla visszatérőre. A kapcsok: S0: 11–12 (NC, bontó; egyszerűsített jelöléssel 1–2), S1: 13–14 (NO, záró; 3–4), K1: A1–A2, 13–14. A bontó érintkező x1–x2, a záró x3–x4 kapocspárt kap (MSZ EN 60947-5-1; ellenőrizendő: aktuális kiadás).

2. feladat (A). A reverzáló vezérlésben a kontaktusok: - K1 NO 13–14: önfenntartó érintkező a start előre nyomógombbal párhuzamosan. - K2 NO 13–14: önfenntartó érintkező a start hátra nyomógombbal párhuzamosan. - K1 NC 21–22: reteszelő érintkező a K2 tekercs áramkörében. - K2 NC 21–22: reteszelő érintkező a K1 tekercs áramkörében. - S0 NC: stop nyomógomb, sorosan a teljes vezérlőáramkörben. - S1, S2 NO: indító nyomógombok.

3. feladat (B). Egyidejűleg legfeljebb K1+K2 vagy K1+K3 húz be, tehát két tekercs + időrelé. Látszólagos teljesítmény: $S = 2 \cdot 10\,\mathrm{VA} + 3\,\mathrm{VA} = 23\,\mathrm{VA}$. Áram: $I = \frac{S}{U} = \frac{23\,\mathrm{VA}}{230\,\mathrm{V}} = 0{,}1\,\mathrm{A}$. A meghúzási teljesítmény a tartásinak többszöröse (adatlap), ezért a vezérlőbiztosító névleges árama ennél lényegesen nagyobb, például lomha 0,5–1 A (ellenőrizendő: gyártói adatlap és a vezérlőkör védelme).

4. feladat (B). A reverzáló huzalozás leírása: a fázis az F2 biztosítón és az F3 95–96 bontón át az S0 NC stop 11. kapcsára kerül. Az S0 12. kapcsa két ágra oszlik: az egyik ágon az S1 NO start (13–14) és a K1 önfenntartó NO 13–14 párhuzamosan, majd a K2 NC 21–22 reteszelőn át a K1 tekercs A1 kapcsára; a másik ágon az S2 NO start (13–14) és a K2 önfenntartó NO 13–14 párhuzamosan, majd a K1 NC 21–22 reteszelőn át a K2 tekercs A1 kapcsára. Mindkét tekercs A2 kapcsa a nulla visszatérőre csatlakozik. A mechanikus reteszelés a két mágneskapcsoló közé szerelt blokk.

5. feladat (C). Csak K1 behúzott állapotában a tekercsek kezdetei kapnak feszültséget, a végek (U2, V2, W2) nyitottak: zárt áramkör nincs, a motor áll, nem vesz fel áramot, és nem is zúg. Lehetséges hibák: - A K2 tekercs szakadt vagy nem kap feszültséget. - A K3 NC reteszelő érintkezője (21–22) szakadt. - Az időrelé csillagágban lévő érintkezője vagy a K2 tekercs ágának egy érintkezője rossz. - A K2 tekercs áramkörében laza kötés van. (Ha K1 és K2 behúz, de a motor zúg és nem indul, az más hiba: a K2 egyik pólusa nem zár, vagy fázis hiányzik.) Hibakeresés feszültségmentes állapotban: multiméterrel folytonosságot mérünk a vezérlő tápkapocs és a K2 A1 között a K1 kézzel behúzott állapotában. Ha nincs folytonosság, szakaszonként mérünk: a K3 NC érintkező, az időrelé érintkezője, a K2 tekercs ellenállása. Ha a tekercs ellenállása végtelen, a tekercs cseréje szükséges. Ha minden folytonos, a hiba a tápoldalon keresendő (biztosító, vezeték).

6. feladat (D). A mérés során a 24 V AC tápegységről behúzott K1 tekercs árama az adatlap VA-értékéből becsülhető: $I = S/U$ (pl. 7 VA / 24 V ≈ 0,3 A); a DC-ellenállásból nem számolható. A tényleges értéket a 24 V-os törpefeszültségű körben soros multiméterrel (váltakozó áramú A-tartomány, a mérőzsinór az A-aljzatban, mérés után vissza a V-aljzatba), vagy mA-felbontású lakatfogóval mérjük; a hajlékony (Rogowski-tekercses) áramváltós lakatfogó ilyen kis áramra nem alkalmas (ellenőrizendő: műszer-adatlap). A mért feszültségnek 24 V-nak kell lennie, a tekercsellenállásnak pedig a névleges értéknek megfelelőnek. Az önfenntartást úgy ellenőrizzük, hogy a start gombot megnyomjuk, elengedjük, és a kapcsolás továbbra is behúzva marad. A

dokumentációban feljegyezzük a mért feszültséget, áramot, tekercsellenállást, és a működési próba eredményét.

41.2.12. Rövid összefoglaló

A motorvezérlések építése a rajz–valóság–mérés hármas módszerével történik: a kapcsolási rajzot először bekötjük, majd tápfeszültség nélkül folytonosságméréssel ellenőrizzük, végül törpefeszültségen működési próbát végzünk. A direkt indításnál az önfenntartó érintkezőt (13–14) a start nyomógombbal párhuzamosan kötjük; a stop NC nyomógomb sorosan bont. A reverzáló kapcsolás két mágneskapcsolót használ, és a két irány egyidejű behúzását villamos (NC reteszelő érintkezők) és mechanikus reteszeléssel akadályozzuk meg, mert a fáziszárlatot okozna. Az Y-Δ indításnál három mágneskapcsoló (K1 hálózat, K2 csillag, K3 delta) és egy időrelé dolgozik: indításkor K1+K2 húz, majd az idő lejárta után K2 ejt, K3 húz; a K2 és K3 egyidejű behúzása tilos. A hibakeresés tünet → hipotézis → mérés → ok → javítás → megelőzés láncolatban történik, feszültségmentes állapotban. **Továbbvitt eredmény.** Az itt tanult rajzolvasási, bekötési és mérési módszert használjuk a Transzformátor- és gépmérések, a Frekvenciaváltó és lágyindító paraméterezése és a Gyakorlati vizsgafeladatok és hibakeresés, értékelési szempontok alfejezetekben; a dokumentációs fegyelem és a feszültségmentes hibakeresés minden későbbi gyakorlat alapfeltétele.

41.2.13. Források és ellenőrzési hiányok

- MSZ EN 60204-1 (gépek villamos berendezése): a vezérlőáramkörök kialakítására, a védelmek és reteszelések követelményeire vonatkozik; a konkrét szakaszszámokat és határértékeket ellenőrizni kell.
- MSZ EN 60947 sorozat (kapcsolókészülékek): a mágneskapcsolók használati kategóriáit, az érintkezők terhelhetőségét és a motorindítók koordinációját rögzíti **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**.
- MSZ EN 60617 (rajzjelek): a kapcsolási rajzok szabványos jelöléseihez.
- A tekercsellenállás, a bekapcsolási áramlökés és a biztosítóérték példaértékek; a tényleges értékeket a gyártói adatlapok és a mindenkori szabványok határozzák meg. A 80–90%-os fordulatszámarány az Y-Δ átkapcsoláshoz gyakorlati ökölszabály, amely a terheléstől függően pontosítandó.

41.3. Transzformátor- és gépmérések

41.3.1. Motiváció: miért kell mérni a transzformátort és a gépeket?

A szerelő gyakran találkozik olyan helyzettel, amikor egy transzformátort, motort vagy generátort nemcsak be kell kötni, hanem arról is meg kell győződni, hogy a gép belül egészséges, és a névleges adatai a valóságban is teljesülnek. Ilyen helyzet például:

- felújított, tekercselt vagy raktárból elővett gép első üzembe helyezése;
- időszakos karbantartás vagy felülvizsgálat;
- hibagyanú: túlzott melegedés, leoldó védelem, megváltozott hang, égett szag;
- átalakítás vagy csere utáni ellenőrzés.

A transzformátor és a villamos gép „adatlapnyi” jellemzői – üresjárási áram, vasveszteség, rövidzárási feszültség, tekercsveszteség, hatásfok, szigetelési ellenállás – méréssel ellenőrizhetők anélkül, hogy a gépet a névleges terheléssel kellene járatnunk. Ez a fejezet ezeket a mérési módszereket tanítja meg, a gyakorlati jegyzőkönyv elkészítésével együtt.

41.3.2. Szemléletes kép: egy kis transzformátor a mérőpadon

Képzeljünk el egy tanműhelyi mérőpadot. Rajta egy 230/24 V-os, 500 VA-es leválasztótranszformátor. A primer oldalra változtatható feszültségű váltakozó forrás, az áramkörbe ampermérő, a primer kapcsokra voltmérő és wattmérő van kötve. A mérést úgy kezdjük, hogy a szekunder oldal kapcsait nyitva hagyjuk. Amikor a primer feszültséget lassan 230 V-ra emeljük, a voltmérő a névleges feszültséget mutatja, az ampermérőn pedig egy kis, a névleges áramhoz képest néhány százalékos áramot olvasunk. Ez az üresjárási áram. A wattmérő néhány wattot mutat: ez a vasveszteség. Ha ezután a primer feszültséget nullára szabályozzuk és lekapcsoljuk, feszültségmentes állapotban a szekunder kapcsokat egy vastag, rövid vezetékkel összekötjük, majd a primer feszültséget nulláról csak annyira emeljük, hogy a névleges áram folyjon, a szükséges feszültség a névlegesnek csak néhány százaléka. Ez a rövidzárási feszültség. E két mérésből a transzformátor legfontosabb állapotjellemzői meghatározhatók.

41.3.3. Mérési elrendezések és biztonság

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A méréshez a berendezést feszültség alá kell helyezni, ezért a mérőkapcsolás összeállítása és átalakítása előtt mindig feszültségmentesíteni kell.

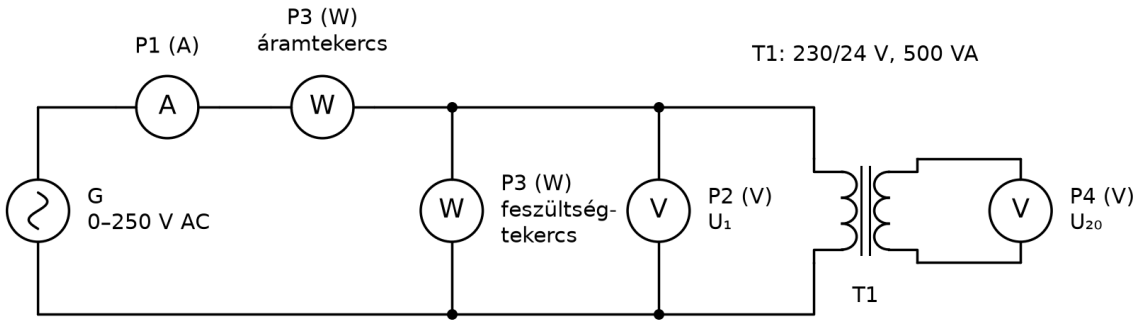
A feszültségmentesítés öt biztonsági szabálya a mérési gyakorlatban is kötelező:

1. Lekapcsolás.
2. Visszakapcsolás elleni biztosítás.
3. Feszültségmentesség ellenőrzése.
4. Földelés és rövidre zárás, ha szükséges.
5. Szomszédos, feszültség alatt álló részek letakarása.

A mérőműszerek kiválasztásánál ügyeljünk a mérési kategóriára (CAT) és a mérőzsinórok állapotára; a mérési határértékeket mindig a várt érték fölé állítsuk, és a mérőműszer bekötését feszültségmentes állapotban végezzük. A wattmérő feszültségtekercsét a mérendő feszültségre párhuzamosan, áramtekercsét az árammal sorbakötjük, a bekötési pontok jelöléseit pedig a gyártói adatlap szerint követjük.

Szemléltető ábra – az üresjárási és a rövidzárási mérés teljes mérőkapcsolása:

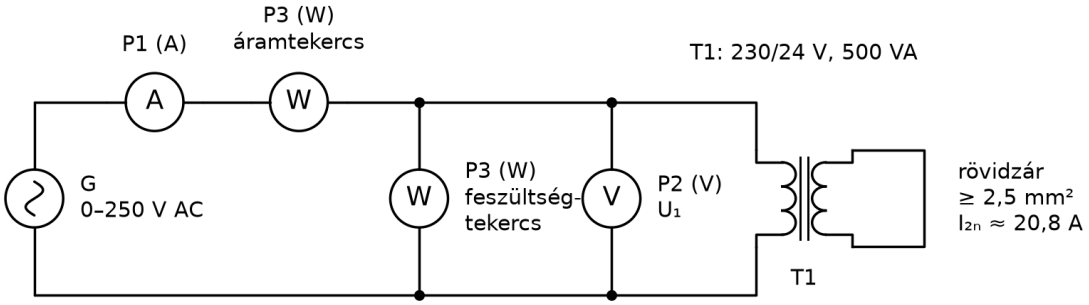
(a) Üresjárási mérés: A, V és W a primer oldalon, voltmérő a nyitott szekunderen



Mért: U_1 = 230 V, I_0 = 0,15 A, P_0 = 8 W, U_{20} = 24,6 V (szekunder nyitva, csak a voltmérő)

41.8. ábra. (a) Üresjárási mérés: A, V és W a primer oldalon, voltmérő a nyitott szekunderen - A P1 ampermérő és a P3 wattmérő áramtekercse sorosan, a P3 feszültségtekercse és a P2 voltmérő a primer kapcsokra párhuzamosan kapcsolódik; a szekunder kapcsok nyitva, csak a nagy belső ellenállású P4 voltmérő méri U_{20}-at. Tanműhelyi, felügyelt mérés.

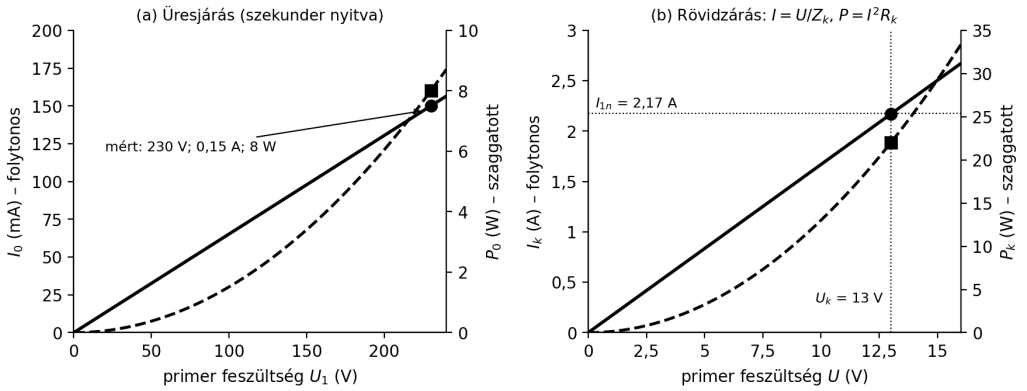
(b) Rövidzárási mérés: ugyanaz a primer műszerezés, szekunder rövidre zárva



Mért: U_k = 13 V (0-ról lassan emelve), $I_k = I_{1n}$ = 2,17 A, P_k = 22 W

41.9. ábra. (b) Rövidzárási mérés: ugyanaz a primer műszerezés, szekunder rövidre zárva - A primer műszerezés azonos az üresjárásival; a szekunder kapcsokat legalább 2,5 mm²-es vezeték zárja rövidre, a primer feszültséget nulláról lassan emeljük, amíg $I_1 = I_{1n}$ = 2,17 A. A P2 méréshatárát a kis U_k-hoz kell választani.

A két rajz primer oldala azonos: a szabályozható AC forrásról a P1 ampermérőn és a P3 wattmérő áramtekercsén át (sorosan) jut az áram a transzformátorhoz, a P3 feszültségtekercse és a P2 voltmérő pedig a primer kapcsokra (párhuzamosan) csatlakozik. A különbség a szekunder oldalon van: üresjárásban a kapcsok nyitottak, csak a P4 voltmérő méri U_{20}-at; rövidzárásban egy vastag vezeték zárja rövidre a tekercset. A mérés közben a szekunder oldali rövidzáró vezetéket úgy kell méretezni, hogy a névleges szekunder áramot melegedés nélkül elviselje.



41.10. ábra. Az üresjárási és a rövidzárási mérés műszerkijelzései a primer feszültség függvényében (a fejezet mért példaadataira illesztett modell)

A statikus ábra bal fele az üresjárást mutatja: I_0 a feszültséggel közel arányosan, P_0 a négyzetével nő, és 230 V-on éri el a mért 0,15 A-t és 8 W-ot. A jobb fele a rövidzárást: már $U_k = 13$ V-nál folyik a névleges 2,17 A, a felvett teljesítmény ekkor 22 W. A HTML-változatban a mérési mód és a primer feszültség csúszkával állítható; rövidzárásban a 13 V fölé emelt feszültségre az oldal figyelmeztet.

41.3.4. Üresjárási mérés

Az üresjárási mérés célja a vasveszteség, az üresjárási áram és az áttétel meghatározása.

Szabály. Az üresjárási mérés során a szekunder kapcsokat nyitva hagyjuk, a primer oldalra pedig a névleges frekvenciájú, névleges feszültségű táplálást kapcsolunk. A primer oldalon mérjük az U_1 feszültséget, az I_0 üresjárási áramot és a P_0 üresjárási teljesítményt, a szekunder oldalon pedig az U_{20} üresjárási feszültséget.

A mérési elrendezésben a wattmérő a primer oldali hatásos teljesítményt méri. Mivel a szekunder oldalon nincs terhelés, a felvett hatásos teljesítmény majdnem teljes egészében vasveszteség: $P_{\text{vas}} \approx P_0$. A tekercsveszteség itt elhanyagolható, mert az üresjárási áram kicsi.

Az üresjárási áram százalékos értéke:

$$i_0\% = \frac{I_0}{I_{1\text{n}}} \cdot 100\%$$

ahol $I_{1\text{n}}$ a primer névleges áram. Az üresjárási teljesítménytényező:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_0}$$

Az áttétel közelítő értéke üresjárásban:

$$a = \frac{U_1}{U_{20}}$$

Példa. Egy 230/24 V-os, 500 VA-es egyfázisú transzformátor üresjárási mérésénél $U_1 = 230$ V, $I_0 = 0{,}15$ A, $P_0 = 8$ W, $U_{20} = 24{,}6$ V. A névleges primer áram $I_{1\text{n}} = 500/230 = 2{,}17$ A. Az üresjárási áram:

$$i_0\% = \frac{0{,}15}{2{,}17} \cdot 100\% = 6{,}9\%$$

Az üresjárási teljesítménytényező:

$$\cos\varphi_0 = \frac{8}{230 \cdot 0{,}15} = 0{,}232$$

Az áttétel:

$$a = \frac{230}{24{,}6} = 9{,}35$$

A vasveszteség $P_{\text{vas}} \approx 8\,\text{W}$. Ez az érték a kistranszformátoroknál tipikusan a névleges teljesítmény 1–3%-a; itt $8/500 = 1{,}6\%$, tehát elfogadható. ∎

41.3.5. Rövidzárási mérés

A rövidzárási méréssel a névleges terheléshez tartozó tekercsveszteséget és a belső impedanciát határozzuk meg anélkül, hogy a transzformátort valódi terheléssel járatnánk.

Szabály. A rövidzárási mérés során a szekunder kapcsokat megfelelő keresztmetszetű vezetékkel rövidre zárjuk, a primer feszültséget pedig nulláról lassan addig emeljük, amíg a primer oldali áram eléri a névleges áramot. Az ehhez szükséges feszültség a rövidzárási feszültség, U_k. Mérjük a primer feszültséget, a primer áramot és a felvett hatásos teljesítményt.

A mért hatásos teljesítmény ekkor a névleges áramhoz tartozó tekercsveszteség:

$$P_{\text{tek}} = P_k$$

A rövidzárási feszültség százalékos értéke:

$$u_k\% = \frac{U_k}{U_{1\text{n}}} \cdot 100\%$$

A rövidzárási impedancia a primer oldalra vonatkoztatva:

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k}$$

A rövidzárási ellenállás:

$$R_k = \frac{P_k}{I_k^2}$$

A rövidzárási reaktancia:

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}$$

Példa. A fenti transzformátornál a szekunder oldalt rövidre zárjuk, majd a primer feszültséget addig emeljük, amíg a primer áram $I_k = 2{,}17\,\mathrm{A}$ nem lesz. Ekkor $U_k = 13\,\mathrm{V}$, $P_k = 22\,\mathrm{W}$. A rövidzárási feszültség:

$$u_k\% = \frac{13}{230} \cdot 100\% = 5{,}65\%$$

A rövidzárási impedancia:

$$Z_k = \frac{13}{2{,}17} = 5{,}99\,\Omega$$

Az ellenállás:

$$R_k = \frac{22}{2{,}17^2} = 4{,}67\,\Omega$$

A reaktancia:

$$X_k = \sqrt{5{,}99^2 - 4{,}67^2} = \sqrt{35{,}9 - 21{,}8} = 3{,}75\,\Omega$$

A tekercsveszteség névleges áramon $P_{\mathrm{tek}} = 22\,\mathrm{W}$. ∎

41.3.6. Hatásfok meghatározása a mérési adatokból

A mért vas- és tekercsveszteségből a hatásfok tetszőleges terhelésre kiszámítható. A Terhelés, hatásfok, veszteségek és kapcsolások alfejezetben tanult összefüggést használjuk:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{\mathrm{vas}} + P_{\mathrm{tek}}}$$

Névleges terhelésnél a leadott hatásos teljesítmény $P_2 = S_{\mathrm{n}} \cos\varphi$.

Példa. A mért adatok alapján $P_{\mathrm{vas}} = 8\,\mathrm{W}$, $P_{\mathrm{tek,n}} = 22\,\mathrm{W}$. Névleges terhelésnél $\cos\varphi = 0{,}8$ esetén:

$$P_2 = 500 \cdot 0{,}8 = 400\,\mathrm{W}$$

$$\eta = \frac{400}{400 + 8 + 22} = \frac{400}{430} = 0{,}930 = 93{,}0\%$$

Ha $\cos\varphi = 1$:

$$P_2 = 500\,\mathrm{W}, \quad \eta = \frac{500}{500 + 8 + 22} = 0{,}943 = 94{,}3\%$$

Ebben a példában a veszteségek változatlanok, mert a látszólagos terhelés (500 VA) ugyanaz; csak a vasveszteség közel állandó, a tekercsveszteség a terhelés négyzetével változik. Részterhelésnél $\beta = S/S_{\mathrm{n}}$ terhelési tényezővel:

$$\eta = \frac{\beta S_{\mathrm{n}} \cos\varphi}{\beta S_{\mathrm{n}} \cos\varphi + P_{\mathrm{vas}} + \beta^2 P_{\mathrm{tek,n}}}.$$

Például $\beta = 0{,}5$, $\cos\varphi = 0{,}8$: $\eta = \dfrac{200}{200 + 8 + 5{,}5} = 0{,}937 = 93{,}7\%$. A hatásfok tehát a terhelés jellegétől és nagyságától is függ. ∎

41.3.7. Tekercsellenállás mérése

A tekercsellenállás mérése mindig **feszültségmentes** állapotban, a tekercsek kisütése után végezhető.

Szabály. A tekercsellenállást legegyszerűbben kalibrált ellenállásmérővel vagy a voltamper-módszerrel mérjük. A voltamper-módszer lényege: a tekercsre egyenáramot kapcsolunk, mérjük a rajt eső feszültséget és az áramot, majd az ellenállást Ohm törvényéből számítjuk:

$$R = \frac{U_{\mathrm{DC}}}{I_{\mathrm{DC}}}$$

Kis ellenállásoknál a mérőzsinór és az érintkezési ellenállások hibát okoznak, ezért célszerű négyvezetékes (Kelvin-) bekötést használni, ha a műszer támogatja. A mért ellenállás függ a hőmérséklettől, ezért a mérési jegyzőkönyvben mindig fel kell tüntetni a tekercs hőmérsékletét.

Hőmérséklet-korrekció rézre:

$$R_{\mathrm{meleg}} = R_{\mathrm{hideg}} \cdot \frac{235 + \vartheta_{\mathrm{meleg}}}{235 + \vartheta_{\mathrm{hideg}}}$$

ahol ϑ a hőmérséklet Celsius-fokban. A 235-ös érték rézre jellemző; más anyagnál a gyártói adatlapot kell követni **(ellenőrizendő: anyagra vonatkozó hőmérsékleti tényező)**.

Példa. Egy motortekercs ellenállását 20 °C-on 0,82 Ω-nak mértük. Mekkora a várható ellenállás 75 °C-on?

$$R_{75} = 0{,}82 \cdot \frac{235 + 75}{235 + 20} = 0{,}82 \cdot \frac{310}{255} \approx 0{,}997\,\Omega$$

Ezt az értéket használhatjuk a meleg tekercs ellenőrzésére, vagy a rézveszteség számításához. ∎

41.3.8. Szigetelési ellenállás mérése

A szigetelési ellenállás mérése a gép vagy transzformátor szigetelésének állapotát jellemzi. A mérést egyenáramú, nagy belső ellenállású szigetelési ellenállásmérővel végezzük.

Szabály. A mérőfeszültséget a vizsgált berendezés névleges feszültségéhez kell választani. Kisfeszültségű gépeknél és transzformátoroknál jellemzően 500 V egyenfeszültséget használunk, magasabb névleges feszültségnél 1000 V-ot **(ellenőrizendő: aktuális szabvány és gyártói adatlap)**. A mérés előtt a tekercseket ki kell sütni, mert a szigetelés kapacitása veszélyes töltést tárolhat.

Mérési pontok:

- primer tekercs – szekunder tekercs;
- primer tekercs – föld (test);
- szekunder tekercs – föld (test).

Értékelés. A mért szigetelési ellenállásnak elegendően nagynak kell lennie. Kisfeszültségű berendezéseknél a gyakorlatban legalább 1 MΩ értéket tekintünk alsó határnak **(ellenőrizendő: a vonatkozó termékszabvány és a gyártói előírás szerint)**. Új, jó állapotú gépeknél több száz MΩ vagy akár GΩ nagyságrendű érték is mérhető. Ha a mért érték alacsony, nedvesség, szennyeződés vagy szigeteléshiba állhat fenn.

Figyelem. A szigetelési ellenállás mérését soha ne végezd feszültség alatt, és a mérés után a vizsgált tekercseket rövidre zárva süsd ki, mielőtt megérintenéd.

41.3.9. Áttétel és kapocsfeszültségek ellenőrzése

Az áttétel legegyszerűbb ellenőrzése az üresjárási mérésből történik: a primer és szekunder oldali feszültség aránya megadja a menetszámáttételt. Egyfázisú transzformátornál:

$$a = \frac{U_1}{U_{20}}$$

Háromfázisú transzformátornál a mérést fázisfeszültségek vagy vonali feszültségek alapján is elvégezhetjük, de figyelni kell a kapcsolási csoportra. Csillag–delta kapcsolásnál a vonali feszültségek aránya nem egyenlő közvetlenül a menetszáma ttétellel, mert a $\sqrt{3}$-as tényező is szerepel. Ezért mindig rögzítsük a kapcsolási jelet, és a mérést a gyártói adatlap szerint értékeljük.

Szabály. Ha a mért üresjárási feszültségáttétel több mint néhány százalékkal eltér a névleges áttételtől, akkor menetszámhibára, rossz bekötésre vagy belső tekercszárlatra kell gyanakodni. A mérésnél a primer feszültséget a névleges értékre állítsuk, és mindkét oldalon azonos típusú műszerrel mérjünk.

41.3.10. Jegyzőkönyv és hibák értelmezése

A mérési jegyzőkönyv célja, hogy a mérés körülményei és eredményei később is visszakövethetők legyenek. A jegyzőkönyv minimális tartalma:

- a vizsgált berendezés azonosító adatai (típus, gyártási szám, névleges adatok);
- a mérés helye, időpontja, környezeti hőmérséklet és páratartalom;
- a használt műszerek típusa, gyári száma, méréshatára, hitelesítési adatai;
- a kapcsolási vázlat;
- a mért értékek táblázata;
- a számítások elvégzése;
- az értékelés, következtetés, megjegyzések;
- a mérést végző neve, aláírása.

A mért értékeket mindig a mértékegységgel együtt, a számított értékeket pedig a felhasznált képletekkel együtt rögzítsük.

Hibák értelmezése:

- **Túl nagy üresjárási áram** (több mint a gyártói jellemző felső határa): menetzárlat, vaslemezhiba, túl magas primer feszültség vagy alacsony frekvencia.

- **Túl nagy vasveszteség**: a vaslemez elöregedése, mechanikai sérülés, rossz minőségű vasanyag.
- **Túl nagy rövidzárási feszültség** (a névleges értéknél nagyobb eltérés): a tekercsek impedanciája nagyobb a tervezettnél, például zárlati erőktől deformálódott tekercs (megnőtt szórás) vagy megnőtt ellenállás (laza vagy hibás kötés; ekkor P_k is nagyobb).
- **Háromfázisú mérésnél jelentős aszimmetria**: fázistekercs-hiba, rossz kapcsolási csoport, vagy az egyik fázisban szakadt/menetrövidzárásos tekercs.
- **Túl alacsony szigetelési ellenállás**: nedvesség, szennyezés, szigeteléselhasználódás.

41.3.11. Valós életbeli alkalmazás

Egy elosztótranszformátor felülvizsgálatánál a mérőcsoport az üresjárási áramot a névleges 2–3% helyett 9%-nak mérte. Az üresjárási veszteség is érezhetően, a korábbi mérés másfél-kétszeresére nőtt (a zárt menet köráramának I^2R vesztesége az üresjárási hatásos teljesítményben jelentkezik). A transzformátor terhelés alatt erősen melegedett, és halk búgó hangot adott. A szigetelési ellenállás mérése nem mutatott földzárlatot. A későbbi megbontásnál az egyik fázistekercsben menetzárlatot találtak. Az eset tanulsága: az üresjárási áram és az üresjárási veszteség együttes növekedése már korai jele lehet a menetzárlatnak, mielőtt a szigetelési ellenállás leromlana. A rövidzárási mérés és a tekercsellenállás mérése segített a hiba helyének szűkítésében.

41.3.12. Gyakorlati útmutató

Cél: egyfázisú, 230/24 V-os, 500 VA-es leválasztótranszformátor üresjárási, rövidzárási, tekercsellenállás és szigetelési mérésének elvégzése és jegyzőkönyv készítése.

Eszközök és anyagok: változtatható feszültségű váltakozó forrás (0–250 V), multiméter, ampermérő, wattmérő, szigetelési ellenállásmérő (500 V DC), hőmérő, rövidzáró vezeték, mérőzsinórok (CAT III), jegyzőkönyv-minta.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

41.3.12.1. Lépések

1. **Feszültségmentesítés.** Kapcsold le a mérőpadot, biztosítsd visszakapcsolás ellen, és ellenőrizd a feszültségmentességet.
2. **Szigetelési ellenállás mérése előkészítése.** Győződj meg arról, hogy a transzformátor kisütött. Mérd meg a primer–szekunder, primer–test és szekunder–test szigetelési ellenállást 500 V-os műszerrel. Jegyezd fel az értékeket.
3. **Tekercsellenállás mérése.** Mérd meg a primer és a szekunder tekercs ellenállását. Jegyezd fel a tekercs hőmérsékletét.
4. **Üresjárási mérés bekötése.** Feszültségmentes állapotban kösd be a mérőkört: a primer oldalra a szabályozható forrást, az ampermérőt sorba, a voltmérőt és a wattmérőt a primer kapcsokra. A szekunder kapcsokat hagyd nyitva.
5. **Üresjárási mérés.** Kapcsold be a forrást, és lassan emeld a feszültséget $U_1 = 230\,\text{V}$-ra. Olvasd le és jegyezd fel: U_1, I_0, P_0, U_{20}. Kapcsold ki a forrást.
6. **Rövidzárási mérés bekötése.** Feszültségmentes állapotban kösd be a szekunder rövidzáró vezetéket. Ellenőrizd, hogy a rövidzáró kötés szoros és a vezeték keresztmetszete megfelelő.
7. **Rövidzárási mérés.** Kapcsold be a forrást, és lassan emeld a feszültséget, amíg az ampermérő a névleges primer áramot mutatja. Olvasd le: U_k, I_k, P_k. Kapcsold ki a forrást.

8. **Feszültségmentesítés.** Bontsd a mérőkört, süsd ki a tekercseket, és csak ezután szereld le a mérőzsinórokat.
9. **Számítások.** Számítsd ki a vas- és tekercsveszteséget, az üresjárási áramot, a rövidzárási feszültséget, az impedanciát és a hatásfokot.
10. **Jegyzőkönyv.** Töltsd ki a jegyzőkönyvet, és értékeld az eredményeket.

Ellenőrzési pontok: az üresjárási áram tipikusan a névleges áram 2–10%-a kistranszformátoroknál; a rövidzárási feszültség 3–12% között szokott lenni **(ellenőrizendő: gyártói adatlap)**; a szigetelési ellenállás legalább 1 MΩ **(ellenőrizendő)**.

Dokumentálás: a jegyzőkönyvben rögzítsd a mért és számított értékeket, a műszeradatokkal és a környezeti feltételekkel együtt.

41.3.13. Tipikus hibák

1. **Névleges feszültség rákapcsolása rövidre zárt szekunderre.** A tanuló a rövidzárási mérésnél rögtön a névleges feszültséget kapcsolja a primerre. Ilyenkor a primer áram $I_k = I_n \cdot 100/u_k$; a példánkban $2{,}17\,\mathrm{A} \cdot 100/5{,}65 \approx 38\,\mathrm{A}$, a névleges közel 18-szorosa, ami tönkreteheti a transzformátort és a műszereket. Helyes: a feszültséget mindig nulláról, lassan emeljük a névleges áramig.

2. **A wattmérő téves bekötése.** A wattmérő áramtekercsét párhuzamosan, feszültségtekercsét sorosan kötik. Ez a mérési eredményt meghamisítja, és a műszert is károsíthatja. Helyes: az áramtekercs a mérendő árammal sorba, a feszültségtekercs a mérendő feszültségre párhuzamosan kerül.

3. **A szigetelési mérés feszültség alatt.** A tanuló elfelejti feszültségmentesíteni a berendezést, és a szigetelési ellenállásmérővel feszültség alatti kapcsokhoz ér. Ez áramütést és a műszer tönkremenetelét okozhatja. Helyes: mindig a feszültségmentesítés öt szabályával kezdj, és a mérés után süsd ki a tekercseket.

4. **A tekercsellenállás mérésénél a zsinórellenállás figyelmen kívül hagyása.** Kis ellenállású tekercsnél (pl. 0,1 Ω alatt) a mérőzsinór ellenállása jelentős hibát okoz. Helyes: használj négyvezetékes mérést, vagy a mért értékből vond le a zsinór ellenállását.

5. **A hőmérséklet-korrekció elhagyása.** A hideg tekercsen mért ellenállást meleg állapotra való átszámítás nélkül használják a veszteségszámításhoz. Helyes: a mért hőmérsékletet és a korrekciós képletet mindig alkalmazd.

6. **Hiányos jegyzőkönyv.** Csak a mért értékeket írják fel, a körülményeket és a műszeradatokat nem. Később nem lehet megítélni, hogy a mérés reprodukálható-e. Helyes: a jegyzőkönyv minden lényeges adatot tartalmazzon.

41.3.14. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az üresjárási mérésnél a szekunder oldalt rövidre zárjuk.
2. Igaz vagy hamis? A rövidzárási mérésnél a primer feszültséget nulláról emeljük, és soha nem kapcsolunk névleges feszültséget rövidre zárt szekunderre.
3. Számítsd ki a hatásfokot, ha $S_\mathrm{n} = 1000\,\mathrm{VA}$, $\cos\varphi = 0{,}8$, $P_\mathrm{vas} = 10\,\mathrm{W}$ és $P_\mathrm{tek,n} = 30\,\mathrm{W}$.
4. Miért egyenárammal mérjük a szigetelési ellenállást, és miért kell a mérés előtt kisütni a tekercseket?
5. Milyen hibára utal, ha az üresjárási áram a szokásos (gyártói) érték többszörösére nő, miközben a szigetelési ellenállás jó?

6. A rövidzárási mérés vázlatán mi a hiba, ha az ampermérőt a szekunder rövidzáró körbe kötjük?

A válaszok a Megoldások elején találhatók.

41.3.15. Feladatok

1. feladat (A). Határozd meg a vas- és tekercsveszteség fogalmát, és mondd meg, melyik mérésből származnak!

2. feladat (A). Egy transzformátor üresjárási mérésénél $U_1 = 230\,\mathrm{V}$, $I_0 = 0{,}20\,\mathrm{A}$, $P_0 = 10\,\mathrm{W}$, $U_{20} = 25{,}0\,\mathrm{V}$. Számítsd ki az áttételt, az üresjárási áram százalékos értékét (a névleges primer áram 2,0 A), és az üresjárási teljesítménytényezőt!

3. feladat (B). Egy transzformátor rövidzárási mérésénél a névleges primer áramnál $U_k = 12\,\mathrm{V}$, $P_k = 20\,\mathrm{W}$, $I_k = 2{,}0\,\mathrm{A}$. Számítsd ki a rövidzárási feszültség százalékos értékét, a rövidzárási impedanciát, ellenállást és reaktanciát!

4. feladat (B). Az előző két feladat adatait felhasználva: $P_{\mathrm{vas}} = 10\,\mathrm{W}$, $P_{\mathrm{tek,n}} = 20\,\mathrm{W}$, $S_{\mathrm{n}} = 230 \cdot 2{,}0 = 460\,\mathrm{VA}$. Számítsd ki a hatásfokot névleges terhelésnél $\cos\varphi = 0{,}85$ esetén!

5. feladat (C). Egy motortekercs ellenállását 20 °C-on 0,75 Ω-nak mértük. Mekkora a várható ellenállás 75 °C-on? A szigetelési ellenállás mérésénél 500 V-os műszerrel 50 MΩ-ot kaptunk. Elég-e ez a szigetelési ellenállás, ha az alsó határ 1 MΩ? Indokold!

6. feladat (D). Egy mérési jegyzőkönyvben az üresjárási áram a névleges áram 18%-a, a vasveszteség a névleges teljesítmény 6%-a, a szigetelési ellenállás 100 MΩ. Mi lehet a hiba? Milyen további mérést végeznél?

41.3.16. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Üresjárási mérésnél a szekunder oldal nyitott, a primerre névleges feszültséget kapcsolunk.
2. Igaz. A rövidzárási mérésnél a feszültséget nulláról emeljük, amíg a névleges áram folyik.
3. $P_2 = 1000 \cdot 0{,}8 = 800\,\mathrm{W}$; $\eta = 800/(800 + 10 + 30) = 0{,}952 = 95{,}2\%$.
4. A szigetelési ellenállást egyenárammal mérjük, mert váltakozó feszültségen a tekercs és a test közötti kapacitáson átfolyó áram elfedné a kis szivárgási áramot; egyenfeszültségnél a kapacitás feltöltődése után csak a szivárgási áram folyik, ebből számolható az ellenállás. A feltöltött kapacitás a mérés után veszélyes feszültséget tarthat, ezért a tekercseket ki kell sütni.
5. A megnövekedett üresjárási áram menetzárlatra vagy vaslemezhibára utalhat, mert a szigetelési ellenállás még nem romlott.
6. Az ampermérőt ilyenkor a rövidzáró körbe téve a rövidzárási mérésnél a szekunder áramot mérnénk, nem a primer névleges áramot; a primer feszültséget pedig nem tudnánk a névleges primer áramhoz igazítani.

1. feladat megoldása. A vasveszteség a vasmágneses átgerjesztés miatti veszteség, amely a feszültségtől és a frekvenciától függ, és üresjárásban mérhető. A tekercsveszteség a tekercsek ohmos ellenállásán az áram hatására keletkező veszteség, amely a terhelő árammal négyzetesen arányos, és rövidzárási méréssel határozható meg.

2. feladat megoldása. Áttétel: $a = 230/25{,}0 = 9{,}2$. Névleges primer áram 2,0 A, az üresjárási áram százalékban: $i_0\% = 0{,}20/2{,}0 \cdot 100 = 10\%$. Teljesítménytényező: $\cos\varphi_0 = 10/(230 \cdot 0{,}20) = 0{,}217$.

3. feladat megoldása. $u_k\% = 12/230 \cdot 100 = 5{,}22\%$. $Z_k = 12/2{,}0 = 6{,}0\,\Omega$. $R_k = 20/2{,}0^2 = 5{,}0\,\Omega$. $X_k = \sqrt{6{,}0^2 - 5{,}0^2} = \sqrt{36 - 25} = \sqrt{11} = 3{,}32\,\Omega$.

4. feladat megoldása. $P_2 = 460 \cdot 0{,}85 = 391\,\mathrm{W}$. $\eta = 391/(391 + 10 + 20) = 391/421 = 0{,}929 = 92{,}9\%$.

5. feladat megoldása. $R_{75} = 0{,}75 \cdot (235 + 75)/(235 + 20) = 0{,}75 \cdot 310/255 = 0{,}912\,\Omega$. A szigetelési ellenállás 50 MΩ, ami jóval nagyobb, mint az 1 MΩ alsó határ, tehát megfelelő.

6. feladat megoldása. A nagy üresjárási áram és a nagy vasveszteség menetzárlatot, vaslemezhibát vagy túl magas primer feszültséget valószínűsít. A jó szigetelési ellenállás miatt a földzárlat kizárható. Továbbá érdemes rövidzárási mérést végezni, hogy a tekercsveszteség és a rövidzárási feszültség is ellenőrizhető legyen, valamint a tekercsellenállásokat fázisonként megmérni.

41.3.17. Rövid összefoglaló

Az üresjárási és rövidzárási mérés együtt a transzformátor legfontosabb állapotjellemzőit adja anélkül, hogy a gépet névleges terheléssel kellene járatni. Az üresjárási mérésből a vasveszteség, az üresjárási áram és az áttétel, a rövidzárási mérésből a tekercsveszteség, a rövidzárási feszültség és a belső impedancia határozható meg. A hatásfok a mért veszteségekből a $\eta = P_2/(P_2 + P_{\mathrm{vas}} + P_{\mathrm{tek}})$ képlettel számítható. A tekercsellenállást feszültségmentes állapotban, Ohm törvénye alapján mérjük, és a hőmérséklet-korrekciót alkalmazzuk. A szigetelési ellenállást egyenfeszültségű műszerrel mérjük, és a mért értéket a gyártói vagy szabványos határértékkel hasonlítjuk össze. A mérési jegyzőkönyvben a mért adatok, a műszeradatok, a környezeti feltételek és a számítások egyaránt szerepelnek. **Továbbvitt eredmény.** A mérési jegyzőkönyv felépítése, a műszerbiztonsági szabályok és a számítási gyakorlat közvetlenül felhasználható a(z) Alapmérések gyakorlata: feszültség, áram, ellenállás, teljesítmény alfejezetben.

41.3.18. Források és ellenőrzési hiányok

A leírt fizikai összefüggések és mérési elvek a klasszikus elektrotechnikai alapokból származnak, és nem igényelnek külön forrásellenőrzést. A konkrét határértékek (szigetelési ellenállás alsó határa, mérőfeszültség, üresjárási áram tipikus tartománya, rövidzárási feszültség tipikus tartománya) a gyártói adatlapoktól és a vonatkozó termékszabványoktól függnek, ezért ezeket a szövegben jelöltem **(ellenőrizendő)**. A szigetelési ellenállás mérőműszerekre vonatkozó szabvány: MSZ EN 61557 **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**. A transzformátorok mérési módszereit a termékszabványok, például az MSZ EN 60076 sorozat írja le **(ellenőrizendő: aktuális kiadás)**.

41.4. Frekvenciaváltó és lágyindító paraméterezése

41.4.1. Motiváció és cél

Egy műhelyben a szerelő összeköt egy frekvenciaváltót vagy lágyindítót egy aszinkronmotorral. A bekötés vezeték szinten rendben van, a fázissorrend is stimmel, mégis feleslegesen kiold a védelem, a gép rángat, vagy egyáltalán nem indul el. A hiba legtöbbször nem a kábelezésben, hanem a paraméterezésben van. A készülék gyárilag egy általános, gyakran túlságosan óvatos

vagy éppen a konkrét motorhoz nem illő beállítással érkezik. Ha nincs beírva a motor tényleges adattáblája, a hajtás nem tudja megfelelően védeni a motort, és a fordulatszám-szabályozás is pontatlan lesz. Ebben az alfejezetben a bekötéstől a próbaindításig, majd a finomhangolásig és a tipikus hibakódok értelmezéséig jutunk el.

41.4.2. Szemléletes kép

Képzelj el egy szellőztető ventilátort egy ipari csarnokban. A motor 3 kW-os, 400 V-os, 6,1 A névleges áramú. A frekvenciaváltót bekötötték, de a ventilátor a gyári beállítással hirtelen ránt be, a szíj megcsúszik, és a hálózati kismegszakító időnként leold. A paraméterezés során beírjuk a motor adatait, beállítunk egy 15 másodperces felfutási időt, és kiválasztjuk a ventilátoros terhelésnek megfelelő kvadratikus U/f-görbét. A motor ezután lágyan indul, az áramfelvétel az indítás alatt a névleges érték alatt marad, és a szíj sem csúszik meg. Ugyanezt a logikát követjük lágyindítónál is: a kezdeti feszültség és a rámpaidő határozza meg, hogy a motor lágyan vagy rángatva indul-e.

41.4.3. Bekötés, védelmek és földelés

Mielőtt bármilyen paramétert megváltoztatunk, ellenőrizzük a fizikai bekötést. A frekvenciaváltó és a lágyindító erősáramú és vezérlőkörei eltérnek egy egyszerű mágneskapcsolós indítástól.

Frekvenciaváltó bekötése (teljesítmény oldal):

- **Bemenet:** L1, L2, L3 háromfázisú hálózat. A bemenet elé mindig kerüljön megfelelő zárlatvédelmi kismegszakító vagy olvadóbiztosító, illetve a gyártó által előírt hálózati fojtó, ha a hálózat szennyezett vagy a zárlati teljesítmény nagy. A bemeneti oldalon fázissorrendet nem kell cserélgetnünk; a váltó ezt belül egyenirányítja.
- **Kimenet:** U, V, W kapcsok a motorra. Itt a fázissorrend cseréje megfordítja a forgásirányt. A kimenetre **tilos** kompenzáló kondenzátort vagy fázisjavító egységet kötni, és tilos a váltó és a motor közötti vezetéket terhelés alatt (modulált kimenetnél) megszakítani. Kimeneti mágneskapcsoló vagy karbantartási leválasztó csak úgy építhető be, hogy a váltó kimenete a kapcsolás előtt tiltva legyen (segédérintkező a váltó engedélyező bemenetére; ellenőrizendő: gyártói kézikönyv).
- **Áram-védőkapcsoló.** Ha a váltó RCD-vel védett körre kerül, háromfázisú váltóhoz B típusú, egyfázisúhoz legalább F típusú RCD kell, mert a hibaáramban egyenáramú/nagyfrekvenciás összetevő lehet, ami az A típusút megvakíthatja; a szűrő szivárgási árama miatt a gyártó kézikönyve adja a választható $I_{\Delta n}$-t (ellenőrizendő: gyártói kézikönyv, MSZ HD 60364-5-53).
- **Földelés:** A váltó védőföldelő kapcsát (PE) kötelező bekötni. A motorkábel legyen árnyékolt, és az árnyékolást mindkét végén 360°-os körbefogó módon, nagy felületen kössük a PE-re, ahogy a Motorvédelmek, lágyindítók és frekvenciaváltók az elosztóban alfejezetben is tárgyaltuk.

Lágyindító bekötése:

- **Bemenet:** L1, L2, L3. A lágyindító a hálózat és a motor közé kerül, sorosan.
- **Kimenet:** U, V, W a motorra.
- **By-pass kontaktor:** Sok lágyindító rendelkezik beépített vagy külső by-pass kontaktorral. Amikor a motor elérte a teljes feszültséget, a kontaktor áthidalja a tirisztorokat, csökkentve a melegedést. Ha külső by-pass kontaktor van, annak vezérlését a lágyindító relé kimenetére kötjük.

- **Védelmek:** A lágyindító elé túláramvédelmet, a motorhoz pedig általában hőkioldót vagy PTC-termisztort kötünk. A lágyindító beépített elektronikus túlterhelésvédelme gyakran kiváltja a külön hőkioldót, de mindig a gyártói dokumentációt kell követni **(ellenőrizendő: a konkrét készülék védelmi funkciói)**.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű) környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A gyakorlati útmutatóban leírt műveletek csak feszültségmentes állapotban, a DC-kör kisülési idejének kivárása után végezhetők.

41.4.4. Motoradatok beírása és az alapparaméterek

A paraméterezés első és legfontosabb lépése a motor adattáblájának beolvasása. A modern készülékek úgynevezett „gyorsbeállítás” vagy „commissioning” menüvel segítenek. A következő adatokra mindenképpen szükség van:

- **Névleges feszültség** (`U_n`): általában 400 V csillagban vagy 230 V deltában (lásd: Kapocsdoboz, csillag–delta bekötés és forgásirány).
- **Névleges áram** (`I_n`): ez alapján számolja a hajtás a túlterhelésvédelmet.
- **Névleges frekvencia** (`f_n`): általában 50 Hz.
- **Névleges fordulatszám** (`n_n`): például 1410 1/min. Ebből számolja a váltó a szlipkompenzációt.
- **Teljesítménytényező** (`cosφ`): például 0,82.
- **Névleges teljesítmény** (`P_n`): például 3 kW.
- **Kapcsolási mód:** Csillag vagy delta. Ez határozza meg, hogy a hajtás kimeneti feszültségét 400 V-ra vagy 230 V-ra paraméterezzük.

Recept: Frekvenciaváltó alapszintű paraméterezése

1. **Feszültségmentesítés.** Kapcsold le az elosztóban a hajtást, biztosítsd visszakapcsolás ellen. Várd ki a készülék burkolatán jelzett kisülési időt (ellenőrizendő: gyártói kézikönyv; a közbenső kör kondenzátorai lekapcsolás után is veszélyes feszültséget tartanak), majd kétpólusú feszültségvizsgálóval (CAT III) ellenőrizd a bemeneti (L1–L2–L3–PE), a DC-köri (DC+/DC−, ha hozzáférhető) és a kimeneti (U–V–W) kapcsok feszültségmentességét. A kijelző kialvása nem jelenti a kondenzátorok kisülését. A nyitott elosztóban a szomszédos, feszültség alatt maradó részeket takard le; kisfeszültségű hajtásnál a földelés és rövidre zárás általában nem szükséges (a munkairányító dönt).
2. **Bekötés ellenőrzése.** Győződj meg arról, hogy a bemenet L1, L2, L3, a kimenet U, V, W, és a PE-kapocs is megfelelően van kötve.
3. **Tápellátás bekapcsolása.** Adj feszültséget a készülékre, és várd meg, amíg a kijelző alapállapotba kerül.
4. **Gyorsbeállítás indítása.** Válaszd ki a „Quick setup” vagy „Start-up” menüt.
5. **Motoradatok bevitele.** Írd be a típustábla adatait (feszültség, áram, frekvencia, fordulatszám, cosφ, kapcsolás).
6. **Vezérlési mód kiválasztása.** Döntsd el, hogy a hajtást a panelről, a kezelőhelyi nyomógombokról vagy buszrendszerről vezérled.
7. **Rámpaidők beállítása.** Állítsd be a felfutási és lefutási időt (például 10 s). Ha túl rövid, a hajtás túláram- vagy túlfeszültség-hibát jelez.
8. **Áramhatár beállítása.** A motor névleges áramának 110–150%-a legyen (például 6,1 A esetén 8 A).
9. **Ellenőrzés.** Indítsd el a motort üresen, és figyeld az áramfelvételt és a forgásirányt.
10. **Naplózás.** Jegyezd fel a paramétereket, vagy mentsd el a készülék paraméterkészletét.

41.4.5. Kidolgozott példa: 3 kW-os szellőzőmotor paraméterezése

Adott: Egy 3 kW-os, 400 V-os, 6,1 A-es, 1410 1/min fordulatszámú, 50 Hz-es aszinkronmotor, csillag kapcsolásban. A terhelés szíjhajtású ventilátor.

Keresett: A beállítandó felfutási és lefutási idő közelítő értéke, valamint a megfelelő U/f-görbe.

Megoldás: - **Motoradatok:** A gyorsbeállításban beírjuk a fenti értékeket. A hajtás a 400 V-os feszültséghez 50 Hz-et rendel. - **U/f-görbe:** Ventilátoros terhelésnél a nyomaték a fordulatszám négyzetével arányos. A lineáris U/f-görbe helyett a kvadratikus görbét választjuk, mert ez alacsony fordulatszámon kisebb feszültséget és fluxust ad, így energiát takarít meg és csökkenti a zajt. - **Rámpaidő:** A szíjhajtás miatt a hirtelen indítás megcsúszást okoz. A gyakorlati tapasztalat szerint ilyen teljesítménynél a 10–20 másodperc közötti felfutási idő elegendő. Válasszunk 15 másodpercet. A lefutási időt hagyjuk 15 másodpercen, de ha a hajtás túlfeszültség-hibát jelez (a motor generátorként visszatáplál), akkor vagy növeljük a lefutási időt, vagy használunk fékező ellenállást (ha a váltó támogatja). - **Indítás:** A motor indítása után az áramfelvétel nem haladhatja meg tartósan a 6,1 A-t. A frekvenciaváltó kijelzőjén ellenőrizzük az `I` (áram) értéket.

∎

41.4.6. Vezérlési mód és finomhangolás

A frekvenciaváltó nem csak egy „díszes csillag-delta indító”. Feladata a fordulatszám szabályozása is. A vezérlési módot három fő csoportba sorolhatjuk:

- **Panel / billentyűzet:** A váltó előlapján lévő nyilakkal és gombokkal indítunk, állítunk. Ez a leggyakoribb üzembe helyezéskor.
- **Külső kapcsok (I/O):** Kétvezetékes vagy háromvezetékes indítás. Itt a nyomógombok vagy relékontaktusok a váltó digitális bemeneteire kerülnek. Például az 1-es bemenet lehet a „Start”, a 2-es az „Irányváltás”. Az analóg bemenetre (pl. 0–10 V vagy 4–20 mA) köthetünk egy potenciométert vagy egy nyomás-/hőmérséklet-távadót.
- **Busz:** Profibus, Modbus, Ethernet/IP stb. Ezt akkor használjuk, ha PLC irányítja a hajtást.

Finomhangolási paraméterek: - **Szlipkompenzáció:** Ha a motor a terhelés hatására lelassul, a váltó a kimeneti frekvenciát kismértékben megnöveli, hogy a fordulatszámot állandóan tartsa. Ezt a motor névleges fordulatszámának beírásával és a szlipkompenzáció engedélyezésével érhetjük el. - **Kapcsolási frekvencia:** A váltó a kimeneti feszültséget impulzusszélesség-modulációval (PWM) állítja elő. Az alacsony kapcsolási frekvencia (pl. 2–4 kHz) nagyobb zajt generál, de kisebb a veszteség a hajtásban. A magas (pl. 12–16 kHz) halkabb motort eredményez, de a váltó melegedését növeli. Gyári beállításként gyakran 4–8 kHz az elfogadható. - **Ugrási frekvenciák:** Néha a motor és a gép egy adott fordulatszámon rezonál, ami zajt vagy vibrációt okoz. Ezt az „skip frequency” funkcióval tudjuk letiltani, hogy a hajtás átugorja ezt a tartományt.

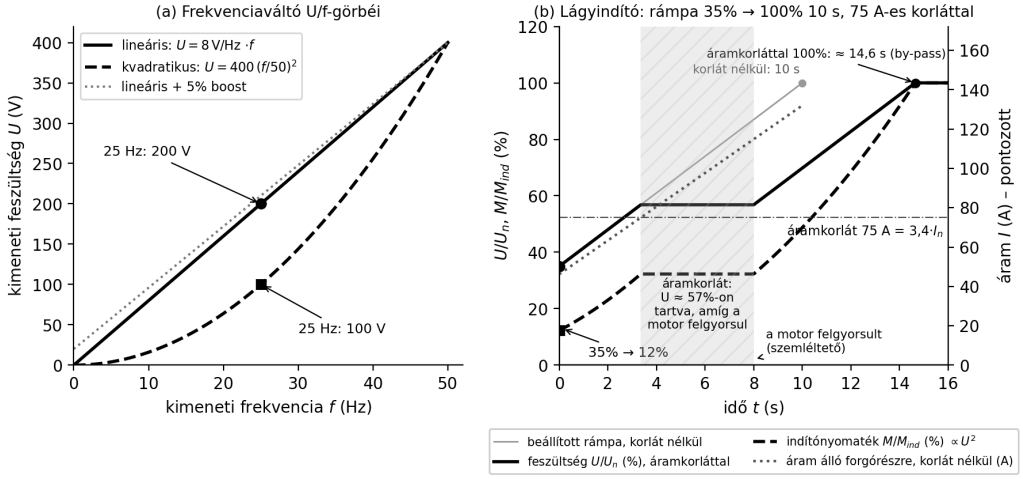
41.4.7. Lágyindító paraméterezése

A lágyindító nem változtatja a frekvenciát, hanem az 50 Hz-es hálózati feszültséget szabályozza tirisztorokkal az indítás során. A beállítandó paraméterek jóval egyszerűbbek:

- **Kezdeti feszültség:** Az a feszültség, amit a lágyindító azonnal kiad. Ha túl alacsony, a motor nem tud megindulni, és lefullad. Ha túl magas, az indítási áramlökés nagy lesz. Jellemző érték a névleges feszültség 30–50%-a.

- **Felfutási idő (rámpa):** Az az idő, amely alatt a feszültség a kezdeti értékről a 100%-ra nő. Jellemzően 5–20 másodperc.
- **Áramkorlát:** Megadhatjuk, hogy az indítás során az áram nem haladhatja meg például a névleges áram 3–4-szeresét. A lágyindító úgy szabályozza a feszültséget, hogy ezt az áramot ne lépje túl.
- **Leállítási mód:** A hirtelen leállítás vízkalapácsot okozhat a szivattyúknál. Itt állíthatunk be „lágy leállítást” például 15 másodperc alatt.

Példa: Lágyindító beállítása szivattyúmotorhoz Adott: 11 kW-os szivattyúmotor, 400 V-os, 22 A névleges áramú. A hálózat gyenge, ezért a maximális indítási áram nem lehet több 75 A-nél. **Beállítás:** 1. Névleges motoráram: 22 A. 2. Indítási áramkorlát: 75 A. A lágyindító ezt az értéket fogja maximálisan engedni az indítás alatt. 3. Kezdeti feszültség: 35% (tapasztalati érték). 4. Rámpaidő: 10 másodperc. 5. Amikor a kimeneti feszültség eléri a 100%-ot (a rámpa végén, áramkorlátozás esetén valamivel később; a motor felpörgött), a lágyindító megadja a „felfutás kész” jelet és behúzza a by-pass kontaktort.



41.11. ábra. U/f-görbék és lágyindító-rámpa: (a) lineáris és kvadratikus U/f-görbe, (b) a beállított rámpa 35%-ról 10 s alatt vinné 100%-ra a feszültséget, a 75 A-es áramkorlát azonban ≈ 57%-on tartja, amíg a motor felgyorsul; az indítónyomaték az U^2-tel arányos

Az ábra (a) része a két U/f-görbét mutatja: 25 Hz-en a lineáris görbe 200 V-ot, a kvadratikus csak 100 V-ot ad, ezért ventilátornál kisebb a fluxus és a veszteség. A (b) rész a fenti szivattyús példa rámpáját mutatja: a 35%-os kezdeti feszültség az indítónyomaték $0{,}35^2 \approx 12\%$-át adja (10%-on csak 1%-át), a szürke sávban pedig a 75 A-es áramkorlát fogja vissza a feszültséget, amíg a motor fel nem gyorsul: a feszültség itt vízszintesen ≈ 57%-on marad (a nyomaték ≈ 32%-on), a halvány vonal a korlát nélküli rámpát mutatja. A felgyorsulás idejét a rajz csak szemlélteti, ezért a 100% és a by-pass a 10 s-nál később (itt ≈ 14,6 s-nál) jön. Az áramgörbe feltételezett $I_{\text{ind}} = 6\,I_n$ indítási áramaránnyal, álló forgórészre becsült szemléltető érték. A HTML-változatban a görbe típusa, a boost, a kezdeti feszültség, a felfutási idő, az áramkorlát és a terhelő nyomaték csúszkával állítható; ha a kezdeti nyomaték a terhelő nyomaték alá esik, az oldal jelzi, hogy a motor nem indul, csak brummog (lásd a 4. feladatot).

41.4.8. Kipróbálás, finomhangolás és naplózás

A beüzemelés során mindig üresen, illetve a terheléstől függetlenül, a tényleges gép nélkül kezdjük a próbát, ha lehetséges.

1. **Üres járatás:** Ellenőrizzük a forgásirányt. Ha a gép nem engedi meg a hátraforgást (pl. csavarkompresszor), akkor a motor és a gép közötti tengelykapcsolót oldjuk. A forgásirányt a váltó paraméteréből vagy a kimeneti két fázis cseréjével állítjuk.
2. **Terhelés alatti teszt:** Ha a forgásirány jó, a gépet ráterheljük. Figyeljük a hajtás kijelzőjén az áramot, a kimeneti frekvenciát és a hajtás hőmérsékletét. Hallgassuk a motort: ha „visít”, növeljük a kapcsolási frekvenciát; ha alacsony fordulaton „brummog” és nehezen indul, ellenőrizzük a motoradatokat, a boostot és a bemeneti fázisokat; ha a közeli érzékelők vagy a PLC zavart kapnak, a földelést és az árnyékolást.
3. **Naplózás:** A modern hajtások naplózzák az üzemórákat, az energiafogyasztást és a legutóbbi hibákat. Üzembe helyezéskor mentsük el a paraméterkészletet a készülék memóriájába, és lehetőség szerint írjuk ki egy listára, vagy mentsük el számítógépre.

Szabvány. A hajtások paraméterezése és bekötése a villamos hajtásokra vonatkozó MSZ EN 61800 sorozat, illetve a készülék gyártói dokumentációja szerint történik. A paraméterezés során a motor védelmének meg kell felelnie a gépek villamos berendezéseire vonatkozó MSZ EN 60204-1 szabványnak. **(ellenőrizendő: a pontos szabványkiadás és a készülék konkrét követelményei)**.

41.4.9. Hibaüzenetek és megoldásuk

A hajtások a hibákat kódokkal jelzik (pl. `OL`, `OV`, `GF`). A hibakódok értelmezése kulcsfontosságú a szerelő számára.

Hibakeresési eset: Frekvenciaváltó túláram-hiba (`OC` / `OI`)

- **Tünet:** A hajtás indításkor vagy gyorsításkor túláram-hibát jelez, a motor meg sem indul, vagy megindul és leáll.
- **Hipotézis:** A rámpaidő túl rövid, a nyomaték az adott U/f-görbénél nem elegendő, vagy mechanikai blokk van.
- **Mérés:** Ellenőrizzük a hajtás kijelzőjén a kimeneti áramot az indítás pillanatában. Ellenőrizzük a motort kézzel: meg lehet-e fordítani a tengelyt?
- **Ok:** A leggyakoribb ok a 2–3 másodperces rámpaidő. A motor nem tudja ilyen gyorsan felpörgetni a terhelést, megcsúszik, és a hajtás túl nagy áramot próbál kiadni.
- **Javítás:** Növeljük a felfutási időt (pl. 10–15 s). Ellenőrizzük, hogy a paraméterben szereplő motorfeszültség (`U_n`) megfelel-e a kapcsolási módnak (csillag/delta). Ha egy szivattyú vagy ventilátor hibás, a járókerék beszorulhat; ezt mechanikailag kell megszüntetni.
- **Megelőzés:** Mindig a terheléshez illő U/f-görbét és fordulatszám-emelkedést állítsunk be, és végezzünk üres próbát.

További tipikus hibaüzenetek:

- `OV` / `OU` **(Overvoltage – Túlfeszültség):** A DC-kör feszültsége túl magas. Általában a lefutási idő túl rövid. A motor generátorrá válik (a tehetetlenség hajtja), és visszatáplál. Megoldás: növeljük a lefutási időt, vagy használjunk fékező ellenállást (brake chopper).
- `UV` / `LU` **(Undervoltage – Alacsony feszültség):** A hálózati feszültség túl alacsony vagy egy fázis kiesett. Ellenőrizzük a bemeneti biztosítót és a hálózati feszültséget.
- `OL` / `I2t` **(Overload – Motor túlterhelés):** A motor tartós árama meghaladja a beállított névleges áramot. Ha a motor adattáblája helyesen lett beírva, akkor valószínűleg túlterhelték a gépet, vagy a hajtás hűtése nem megfelelő.
- `GF` / `EF` **(Ground / Earth Fault – földzárlat):** Szigetelési hiba, földzárlat a motorkábelben vagy a motor kapcsaiban. Ellenőrizzük szigetelési ellenállás-mérővel a kábelt és a motort.

41.4.10. Gyakorlati útmutató

Cél: Egy frekvenciaváltó és egy lágyindító beüzemelése és paraméterezése egy tanműhelyi aszinkronmotorhoz.

Eszközök és anyagok: - Frekvenciaváltó vagy lágyindító, aszinkronmotor (például 0,37 kW vagy 1,1 kW), nyomógombok vagy kapcsolók, potenciométer. - Multiméter, lakatfogó, motor adattábla. - Vezetékek, csavarterminálok, árnyékolt kábel.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A munkát megelőzi az öt biztonsági szabály.

Lépések:

1. **Lekapcsolás, biztosítás:** Kapcsold le az elosztót, zárd le a kapcsolót, és helyezz el „Ne kapcsold be!” táblát.
2. **Kisülési várakozás és feszültségmentesség ellenőrzése:** Várd ki a készülék burkolatán jelzett kisülési időt (ellenőrizendő: gyártói kézikönyv; a közbenső kör kondenzátorai lekapcsolás után is veszélyes feszültséget tartanak), majd kétpólusú feszültségvizsgálóval (CAT III) ellenőrizd a bemeneti (L1–L2–L3–PE), a DC-köri (DC+/DC−, ha hozzáférhető) és a kimeneti (U–V–W) kapcsok feszültségmentességét. A kijelző kialvása nem jelenti a kondenzátorok kisülését. (Multiméter nem feszültségmentesség-vizsgáló.)
3. **Bekötés:** Kösd be a bemeneti és kimeneti teljesítményvezetékeket. Kösd be a földelést. Kösd be a vezérlőjeleket (start, irány).
4. **Paraméterezés:** Írd be a motor adatait a gyorsbeállításban. Állítsd be a rámpaidőt és az áramhatárt.
5. **Bekapcsolás és ellenőrzés:** Adj tápfeszültséget. A váltó kijelzőjén nézd meg a DC-köri feszültséget (400 V-os hálózaton jellemzően 530–570 V körül van) **(ellenőrizendő: a pontos érték a hálózat függvénye)**.
6. **Próbaindítás:** Add ki a start parancsot. Ellenőrizd a forgásirányt. Ha rossz, cserélj két kimeneti fázist, vagy állítsd át a paraméterben.
7. **Mérés:** Lakatfogóval mérj áramot a motoron. Használd a hajtás kijelzőjét az áram és frekvencia ellenőrzésére.
8. **Dokumentálás:** Jegyezz fel minden beállítást, és fényképezd le a kapcsolást.

41.4.11. Tipikus hibák

1. **A motor adatainak elhagyása.** A szerelő csak a rámpaidőt állítja be, de a motor áramát nem. A hajtás nem tudja megvédeni a motort túlterhelés ellen. **Helyes:** Mindig a motortábla adatait írjuk be először.
2. **Kimeneti kapcsoló terhelés alatti nyitása.** A szerelő a frekvenciaváltó és a motor közé mágneskapcsolót tesz, és azt a váltó kimenetének letiltása nélkül, terhelés alatt kapcsolja. Ez tilos, mert a terhelt hajtás kimenetének megszakítása tönkreteheti a váltó kimeneti fokozatát. **Helyes:** A kimeneti kapcsoló csak tiltott kimenetnél kapcsolhat (a váltó segédérintkezőt/engedélyezést ad); a vészleállítást a váltó engedélyező (STO – Safe Torque Off) bemenetén vagy a bemeneti oldalon kell megvalósítani.
3. **Fázisjavító kondenzátor a kimeneten.** Ha a váltó kimenetére kompenzáló kondenzátort kötünk, az a hajtás kimeneti tranzisztorjait azonnal megsemmisíti. **Helyes:** A frekvenciaváltós motort nem kell egyedileg kompenzálni (a váltó bemeneti cosφ-je közel 1). Ha az üzemben központi fázisjavító van, az felharmonikus-szűrő fojtós (detuned) kivitelű legyen (ellenőrizendő: gyártói ajánlás).

4. **Túl hosszú motorkábel árnyékolás nélkül.** A frekvenciaváltó nagyfrekvenciás kapcsolása zavart sugároz, ami megzavarja a közelben lévő PLC-t. **Helyes:** Árnyékolt kábelt kell használni, és az árnyékolást mindkét végén földelni.

41.4.12. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** Egy frekvenciaváltó kimenetére (U, V, W) szabad fázisjavító kondenzátort kötni, ha a motor meddő teljesítményt vesz fel.
2. **Mi a különbség a lineáris és a kvadratikus U/f-görbe között?**
3. **Milyen hibaüzenetet okoz a túl rövid lefutási idő?**
4. Hány százalékos érték a jellemző kezdőfeszültség egy lágyindítónál?

41.4.13. Feladatok

1. feladat (A) Egy 5,5 kW-os, 400 V-os, 11,5 A-es motort csatlakoztatunk egy frekvenciaváltóra. Milyen névleges áramot írunk be a hajtás túlterhelésvédelméhez?

2. feladat (A) Miért nem szabad a frekvenciaváltó kimenetét terhelés alatt (a váltó letiltása nélkül) megszakítani mágneskapcsolóval?

3. feladat (B) Egy szalagpálya indulásakor a hajtás gyakran `OC` hibát jelez. A rámpaidő 3 másodperc. Mi a teendő?

4. feladat (B) Egy lágyindítóra bekötött 7,5 kW-os motor nem indul el, csak brummog, és a lágyindító túlterhelést jelez. A kezdeti feszültség 10%-ra van állítva. Mi a hiba?

5. feladat (C) Egy frekvenciaváltó kijelzőjén a DC-köri feszültség 400 V-os hálózaton 450 V. Jó ez az érték? Milyen hibaüzenet várható?

6. feladat (D) A műhelyben egy frekvenciaváltót építesz be. A motort a kijelzőn indítod, de a motor hátraforog. A géphez nem férsz hozzá könnyen. Hogyan oldod meg a forgásirányt paraméterből és huzalozásból?

41.4.14. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis, tilos: a kondenzátor a kimeneti tranzisztorokat károsítja.
2. A lineáris U/f-görbe közel állandó fluxust tart, ezért állandó nyomatékú terheléshez illik; a kvadratikus a ventilátoros, szivattyús (négyzetes nyomatékú) terheléshez igazodik.
3. `OV` (túlfeszültség), mert a lassuló motor visszatáplál a DC-körbe.
4. 30–50% (ellenőrizendő: gyártói adatlap).

Feladatok megoldásai

1. feladat (A) 11,5 A-t írunk be. Ez a motor névleges árama, ez alapján számol a hajtás.

2. feladat (A) Mert ha a hajtás terhelés alatt van (modulál), és a kimeneti kapcsoló megszakad, a hajtásban lévő induktív energiák miatt nagyon nagy feszültségcsúcsok keletkezhetnek, amelyek a kimeneti IGBT tranzisztorokat tönkreteszik.

3. feladat (B) Növelni kell a felfutási időt (például 3-ról 10-15 másodpercre), hogy a motor lassabban vegye fel a fordulatszámot, és kisebb legyen az indítási áram. Ellenőrizni kell a szalagpálya mechanikáját is, hogy nincs-e beszorulva.

4. feladat (B) A 10%-os kezdeti feszültség túl alacsony. A motor nyomatéka a feszültség négyzetével arányos, így 10%-on a nyomaték mindössze 1%-a a névlegesnek, ami nem tudja elindítani a terhelést. Állítsuk a kezdeti feszültséget 30-50%-ra.

5. feladat (C) A 450 V nem megfelelő. 400 V-os hálózaton a DC-kör feszültsége $U_{\mathrm{DC}} \approx \sqrt{2} \cdot 400\,\mathrm{V} \approx 566\,\mathrm{V}$ körül van. Üresjárásban a csúcsérték kb. 566 V, a terhelt hatpulzusú egyenirányító átlagos DC-feszültsége kb. $1{,}35 \cdot 400\,\mathrm{V} \approx 540\,\mathrm{V}$. Tartósan 450 V a hálózati feszültség erős csökkenésére (kb. $450/1{,}35 \approx 333\,\mathrm{V}$ vonali) vagy a bemeneti egyenirányító/előtöltő kör hibájára utal; fáziskiesésnél a DC-feszültség terhelés alatt erősen hullámzik, ezt a hajtás jellemzően külön „bemeneti fázishiány” hibaként jelzi, nem a 450 V-os átlagérték alapján. Ha a feszültség a gyártói alsó határ alá esik, `UV` (alacsony feszültség) hiba lép fel (ellenőrizendő: gyártói kézikönyv). Teendő: a bemeneti feszültség mérése mindhárom vonali feszültségen (a mérés a mérőműszer megfelelő kategóriájával és a gyártó előírásai szerint, a DC-kör kisülési idejének kivárásával történik), a bemeneti biztosítók ellenőrzése.

6. feladat (D) - Paraméterből: A hajtás menüjében a forgásirányt megcserélhetjük (pl. a beállított frekvencia előjelét váltjuk, vagy az irányváltás bemenetet aktiváljuk). - **Huzalozásból:** A hajtás kimeneti U, V, W kapcsai közül kettőt megcserélünk (pl. U-t V-vel). Figyelem! Ezt kizárólag feszültségmentesítés (öt szabály), a kisülési idő kivárása és a bemeneti, DC-köri és kimeneti kapcsok feszültségmentességének ellenőrzése után szabad elvégezni, mert a közbenső kör kondenzátorai lekapcsolás után is veszélyes feszültséget tartanak.

41.4.15. Rövid összefoglaló

A frekvenciaváltó és a lágyindító paraméterezése a biztonságos és megbízható motorüzem alapfeltétele. A legfontosabb lépés a motor adattáblájának (feszültség, áram, frekvencia, fordulatszám, cosφ) bevitele a készülékbe, mert ebből számolja a hajtás a motor védelmét. A rámpaidőket a terheléshez kell igazítani: túl rövid rámpa túláram (`OC`) vagy túlfeszültség (`OV`) hibát okoz. A frekvenciaváltó kimeneti körében tilos kompenzáló kondenzátort elhelyezni, és tilos a terhelt kimenetet kapcsolni (kimeneti kapcsoló csak letiltott kimenetnél, a váltó segédérintkezőjével használható). A lágyindítónál a kezdeti feszültséget elegendően magasra kell állítani a motor megindulásához. A forgásirányt fáziscserével vagy paraméterrel lehet módosítani. A beüzemelés során mindig üres járatással kezdjünk, és naplózzuk a beállításokat. **Továbbvitt eredmény.** Az itt tanult hibakódok értelmezése és paraméterezési eljárás alkalmazható a Hajtástechnika: gépelemek, tengelykapcsoló, csapágy, szíj és a Motorvédelmek, lágyindítók és frekvenciaváltók az elosztóban alfejezetekben bemutatott rendszerek gyakorlati beüzemelésére, valamint a könyv záró, gyakorlati vizsgafeladataiban.

41.4.16. Források és ellenőrzési hiányok

- Frekvenciaváltók és lágyindítók paraméterezése: MSZ EN 61800 sorozat, gyártói kézikönyvek (pl. ABB, Schneider Electric). **(ellenőrizendő: a konkrét típusok paraméterezési menüje és a hibakódok pontos neve)**.
- Gépek villamos berendezései: MSZ EN 60204-1. **(ellenőrizendő: a pontos szabványkiadás)**.
- Árnyékolás és EMC: a frekvenciaváltó gyártói telepítési kézikönyve. **(ellenőrizendő: a konkrét kábel- és földelési ajánlás)**.

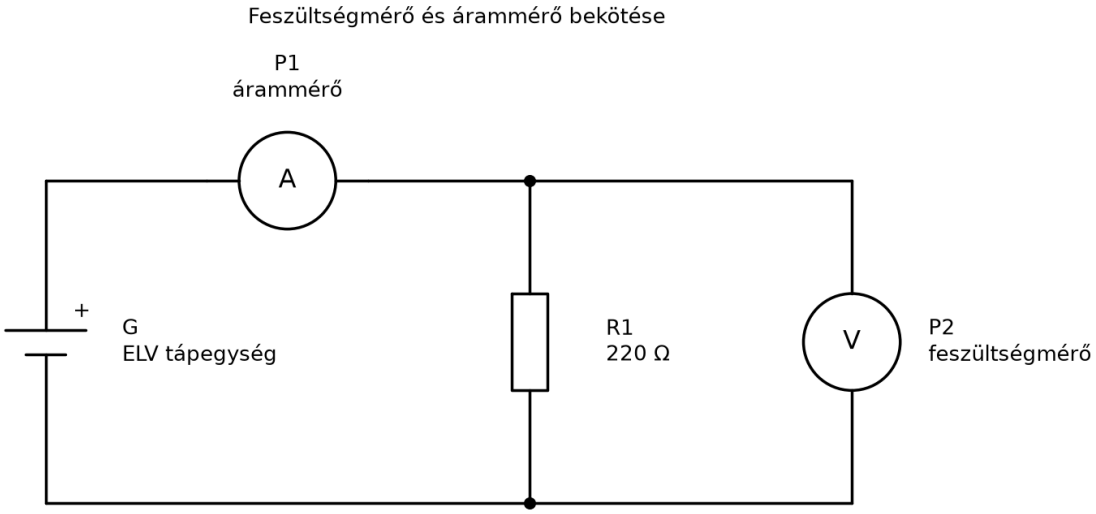
42 Mérési gyakorlatok és jegyzőkönyvek

42.1. Alapmérések gyakorlata: feszültség, áram, ellenállás, teljesítmény

Amikor a tanuló az iskolapadban vagy a tanműhelyben először épít meg egy kapcsolást, két „világ” találkozik: a papíron kiszámolt, ideális áramkör, és a valóságos alkatrészekből álló, kézzelfogható hálózat. A kiszámolt 220 Ω-os ellenállás a valóságban lehet 218 Ω, a vezetéknek is van ellenállása, és a kijelzett feszültség sem mindig pontosan 230 V. Az alapmérések gyakorlata azt tanítja meg, hogyan mérjük meg ezt a valóságot, és hogyan vessük össze a számított értékekkel. Ez a készség alapozza meg a későbbi, Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése alfejezetben tárgyalt méréseket, mert aki itt megtanulja a mérőműszer szakszerű bekötését és a mérési jegyzőkönyv logikáját, az a hibavédelmi vizsgálatoknál már nem a műszer használatával fog vesződni, hanem magára a védelmi jellemzőre tud figyelni.

42.1.1. Szemléletes kép: a mérési áramkör

A villamos alapmérés két „szerszáma” a feszültségmérő és az árammérő (általában egy multiméter kétféle üzemmódban). Azt már tudjuk a Multiméter, lakatfogó és mérési kategóriák alfejezetből, hogy hogyan kell őket kiválasztani; most az elvi kapcsolásukat rakjuk össze.



42.1. ábra. Feszültségmérő és árammérő bekötése - Az árammérőt sorosan, a feszültségmérőt a terheléssel párhuzamosan kötjük. Tanműhelyi ELV-környezetet feltételezünk.

Az ábra lényege: az árammérő (P1) az áram útjába, sorosan van kötve, tehát ugyanaz az áram folyik át rajta, mint a terhelésen. A feszültségmérő (P2) a terhelés két kapcsára van kötve, tehát párhuzamosan. Ez a kép a későbbi összes mérési kapcsolás alapja.

42.1.2. Mérési elrendezés, a műszer beállítása

Mielőtt bármit mérünk, meg kell tervezni a mérési elrendezést. A szerelői gyakorlatban ez ritkán jelenti rajzok gyártását, de mindig jelenti a következő kérdés végig gondolását: **mit akarok mérni, és milyen fizikai módon „látja" azt a műszer?**

42.1.2.1. A mérőműszer beállításának lépései

Recept. A digitális multiméter (DMM) beállítása alapméréshez:

1. **Ellenőrizd a műszert.** Győződj meg arról, hogy sértetlen, a mérőzsinórok szigetelése nem repedt, és az elemtöltöttség elegendő. Ellenőrizd, hogy a műszer és a zsinórok mérési kategóriája (CAT) és feszültsége megfelel a mérés helyének (pl. elosztóban CAT III), és feszültségmérés előtt próbáld ki a műszert ismert feszültségforráson.
2. **Válaszd ki a mérendő mennyiséget.** Feszültség (U), áram (I) vagy ellenállás (R) mérésére készülök?
3. **Állítsd be a jelfajtát.** Egyenáramú (DC) vagy váltakozó áramú (AC) mérésre van szükség?
4. **Válassz méréshatárt.** Ha nem ismered a várható értéket, mindig a **legnagyobb méréshatárral** kezdj, majd lépkedj lefelé a megfelelő pontosságig.
5. **Kösd be a vezetékeket.** Feszültség- és ellenállásméréshez általában a COM és a V/Ω aljzatot; áramméréshez a COM és az A (vagy $mA/\mu A$) aljzatot használd.
6. **Mérj, majd kapcsold ki.** A mérés után árammérésből mindig állítsd vissza a forgókapcsolót ÉS a piros mérőzsinórt a V/Ω aljzatba (az A aljzatban hagyott zsinór rövidzárat okoz a következő feszültségmérésnél: ív, a műszer biztosítójának kiolvadása), hogy a következő mérésnél ne a kis ellenállású árammérővel rövidre zárj egy feszültségforrást.

Szabály. Feszültségmérés párhuzamosan. A feszültségmérő belső ellenállása nagy, ezért a mért alkatrész vagy hálózatrész kapcsaira kötjük. A rajzon a műszer a mért elem két kapcsa közé, azzal párhuzamos ágba kerül.

Szabály. Árammérés sorosan. Az árammérő belső ellenállása kicsi, ezért az áram útjába kell kötni, mintha egy vezeték lenne. A kört meg kell bontani, és a műszert a két megbontott pont közé kell iktatni.

Miért így? Ha egy árammérőt (egy kis belső ellenállású alkatrészt) párhuzamosan kötnénk a feszültségforrásra, az rövidzárat okozna: a kis ellenállás miatt a forrás maximális árama folyna át rajta, tönkretéve a műszert és a forrást is. Ha egy feszültségmérőt (nagy belső ellenállású alkatrészt) sorosan kötnénk az áramkörbe, az lefojtaná az áramot, és a mérési pont hamis értéket mutatna.

42.1.3. Soros, párhuzamos és vegyes kapcsolás mérése

Az ellenállások kapcsolásáról tanultakat itt használjuk fel, de most a mérőműszer bekötése a hangsúly. A mérés célja nem a képlet bemagolása, hanem az, hogy a tanuló **lássa**: a műszer által mutatott értékek milyen kapcsolatban vannak a kapcsolás törvényeivel.

42.1.3.1. Soros kapcsolás mérése

Vegyünk egy ELV tápegységet, és két sorosan kapcsolt ellenállást ($R_1 = 120\,\Omega$, $R_2 = 180\,\Omega$). A tápegység feszültsége $U_{\text{be}} = 24\,\text{V}$.

Számítás. Adott: $U_{\text{be}} = 24\,\text{V}$, $R_1 = 120\,\Omega$, $R_2 = 180\,\Omega$. Keresett: I, U_1, U_2.

A soros eredő ellenállás:

$$R_{\text{eredő}} = R_1 + R_2 = 120\,\Omega + 180\,\Omega = 300\,\Omega$$

Az áramkör árama Ohm törvényéből:

$$I = \frac{U_{\text{be}}}{R_{\text{eredő}}} = \frac{24\,\text{V}}{300\,\Omega} = 0{,}08\,\text{A} = 80\,\text{mA}$$

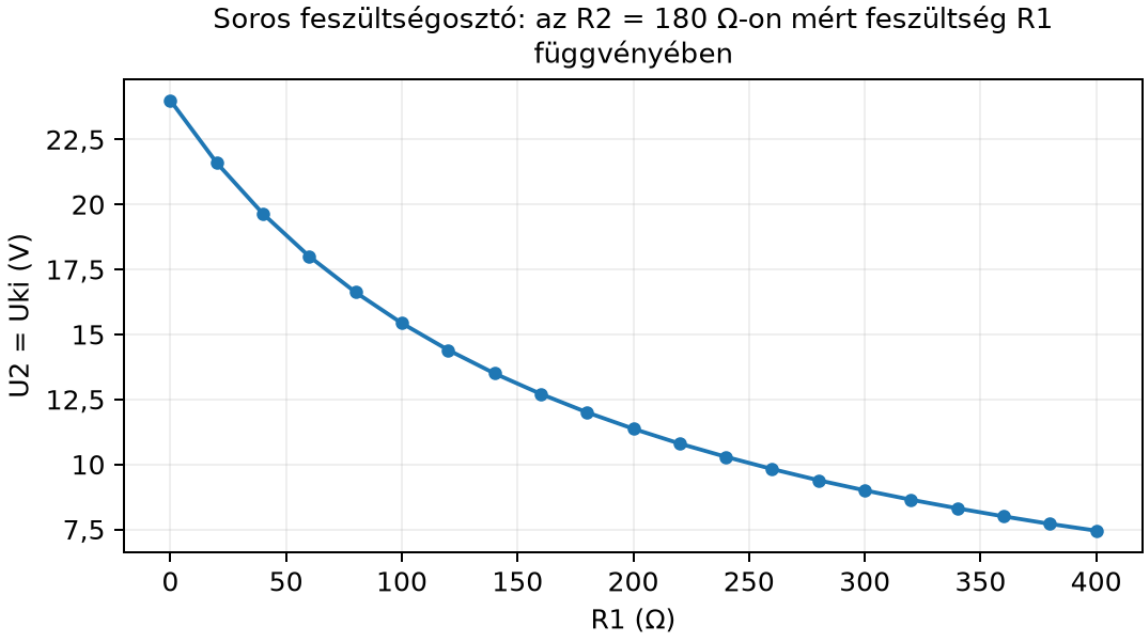
Az egyes ellenállásokon eső feszültség (feszültségosztó képlettel is ellenőrizhető):

$$U_1 = I \cdot R_1 = 0{,}08\,\text{A} \cdot 120\,\Omega = 9{,}6\,\text{V}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 0{,}08\,\text{A} \cdot 180\,\Omega = 14{,}4\,\text{V}$$

Ellenőrzés: $U_1 + U_2 = 9{,}6\,\text{V} + 14{,}4\,\text{V} = 24\,\text{V}$. Ez pontosan megegyezik a bemeneti feszültséggel, tehát a hurokegyenlet teljesül. ∎

Mérés. Az árammérőt a kör bármely pontján sorosan bekötve 80 mA-t kell mérnünk. A feszültségmérőt előbb R_1, majd R_2 kapcsaira téve a kiszámolt 9,6 V-ot és 14,4 V-ot kapjuk. Ha mérjük a bemeneti feszültséget is, annak is 24 V körül kell lennie. A soros feszültségosztást egy diagram is jól szemlélteti:



42.2. ábra. Soros feszültségosztó: az R2 = 180 Ω-on mért feszültség R1 függvényében - Képletből számolt értékek: Uki = U · R2 / (R1 + R2), U = 24 V, R2 = 180 Ω. A fenti példa (R1 = 120 Ω) pontja: Uki = 14,4 V; R1 = 0 Ω-nál a teljes 24 V az R2-n esik.

A grafikon azt mutatja, hogy ha R_1 értéke nő, a kimeneti feszültség (U_{ki}) csökken, mert a feszültségből egyre nagyobb hányadot vesz át R_1.

42.1.3.2. Párhuzamos kapcsolás mérése

Most kössük ugyanezt a két ellenállást párhuzamosan ($R_1 = 120\,\Omega$, $R_2 = 180\,\Omega$), a bemeneti feszültség maradjon 24 V.

Számítás. Adott: $U = 24\,\mathrm{V}$, $R_1 = 120\,\Omega$, $R_2 = 180\,\Omega$. Keresett: I_1, I_2, $I_{\text{összes}}$.

Párhuzamos kapcsolásnál a feszültség mindkét ágon azonos, ezért:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{24\,\mathrm{V}}{120\,\Omega} = 0{,}2\,\mathrm{A}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{24\,\mathrm{V}}{180\,\Omega} = 0{,}133\,\mathrm{A}$$

$$I_{\text{összes}} = I_1 + I_2 = 0{,}2\,\mathrm{A} + 0{,}133\,\mathrm{A} = 0{,}333\,\mathrm{A}$$

Ellenőrzés. A párhuzamos eredő ellenállás:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{120} + \frac{1}{180} = \frac{3}{360} + \frac{2}{360} = \frac{5}{360}$$

$$R_e = \frac{360}{5} = 72\,\Omega$$

$$I_{\text{összes}} = \frac{24\,\mathrm{V}}{72\,\Omega} = 0{,}333\,\mathrm{A}$$

A két úton kapott eredmény megegyezik. ∎

Figyelem. Az ellenállások hőteljesítménye is számít: $P = U^2/R = (24\,\mathrm{V})^2/120\,\Omega = 4{,}8\,\mathrm{W}$ a 120 Ω-os ágon (a 180 Ω-os ágon 3,2 W); ehhez legalább 5 W-os, inkább 10 W-os ellenállás kell, mert egy 0,25 W-os alkatrész másodpercek alatt túlmelegszik és égési sérülést okozhat. Mérés közben ne érintsd az ellenállásokat.

Mérés. A feszültségmérőt bárhová kötjük, 24 V-ot mérünk. Az árammérőt sorosan kötjük először az R_1, majd az R_2 ágába, végül a főágba. A mért áramoknak 0,2 A, 0,133 A és 0,333 A körül kell alakulniuk. A főági áram mérésekor az árammérőt a tápegység és az elágazási pont közé kötjük.

42.1.3.3. Vegyes kapcsolás mérése

Egy vegyes kapcsolásban R_1 sorosan van, R_2 és R_3 párhuzamosan. Legyen $U = 20\,\mathrm{V}$, $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 200\,\Omega$, $R_3 = 300\,\Omega$.

Számítás. Adott: $U = 20\,\mathrm{V}$, $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 200\,\Omega$, $R_3 = 300\,\Omega$. Keresett: I, U_1, U_{23}, I_2, I_3.

Először az R_2 és R_3 párhuzamos eredőjét számoljuk:

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{200 \cdot 300}{200 + 300} = \frac{60\,000}{500} = 120\,\Omega$$

A teljes soros eredő:

$$R_{\text{eredő}} = R_1 + R_{23} = 100\,\Omega + 120\,\Omega = 220\,\Omega$$

A főági áram:

$$I = \frac{U}{R_{\text{eredő}}} = \frac{20\,\mathrm{V}}{220\,\Omega} \approx 0{,}091\,\mathrm{A}$$

Az R_1-en eső feszültség:

$$U_1 = I \cdot R_1 = 0{,}091\,\mathrm{A} \cdot 100\,\Omega = 9{,}1\,\mathrm{V}$$

A párhuzamos részen eső feszültség:

$$U_{23} = U - U_1 = 20\,\mathrm{V} - 9{,}1\,\mathrm{V} = 10{,}9\,\mathrm{V}$$

Az ágáramok:

$$I_2 = \frac{U_{23}}{R_2} = \frac{10{,}9\,\mathrm{V}}{200\,\Omega} = 0{,}0545\,\mathrm{A}$$

$$I_3 = \frac{U_{23}}{R_3} = \frac{10{,}9\,\mathrm{V}}{300\,\Omega} = 0{,}0363\,\mathrm{A}$$

Ellenőrzés: $I_2 + I_3 = 0{,}0545\,\mathrm{A} + 0{,}0363\,\mathrm{A} \approx 0{,}091\,\mathrm{A}$. A csomóponti törvény teljesül. ∎

Mérés. A feszültségmérővel három ponton mérünk: a bemeneten (20 V), R_1-en (9,1 V) és a párhuzamos részen (10,9 V). Az árammérőt sorosan kötjük be a főágba, majd az egyes ágakba. Vegyes kapcsolásnál figyelni kell arra, hogy az árammérő az adott ágban mérjen, ne a főágban, mert akkor rossz értéket kapunk.

42.1.4. Teljesítmény és hatásfok mérése

A mérési gyakorlatokban a teljesítményt gyakran nem közvetlenül wattmérővel, hanem **közvetett úton**, feszültség- és árammérés eredményéből számítjuk. Egyenáramú körben és tiszta ohmos váltakozó áramú körben a hatásos teljesítmény:

$$P = U \cdot I$$

ahol P a teljesítmény wattban (W), U a feszültség voltban (V), I az áram amperben (A).

Kidolgozott példa (Teljesítménymérés közvetett módszerrel). Adott: Egy tanműhelyi fűtőbetét egyenáramú tápegységről üzemel. A feszültségmérő 24 V-ot, az árammérő 2,5 A-t mutat. **Keresett:** A fűtőbetét által felvett teljesítmény. **Képlet:** $P = U \cdot I$. **Behelyettesítés:** $P = 24\,\mathrm{V} \cdot 2{,}5\,\mathrm{A} = 60\,\mathrm{W}$. **Eredmény:** $P = 60\,\mathrm{W}$. **Ellenőrzés:** $R = U/I = 24\,\mathrm{V}/2{,}5\,\mathrm{A} = 9{,}6\,\Omega$; a 60 W egy kis laboratóriumi fűtőbetétre reális nagyságrend. ∎

Ha közvetlenül wattmérőt használunk, annak két tekercselése van: az áramtekercset sorosan, a feszültségtekercset párhuzamosan kötjük. A digitális wattmérők gyakran egyben végzik el a szorzást, és kijelzik a hatásos teljesítményt.

Hatásfok mérése. A gyakorlatban a hatásfokot (η) a leadott és a felvett teljesítmény hányadosaként értékeljük:

$$\eta = \frac{P_{\mathrm{ki}}}{P_{\mathrm{be}}}$$

Kidolgozott példa (Hatásfok mérése). Adott: Egy kis tanműhelyi motor egyenáramú tápegységről üzemel. A motor felvett teljesítménye $P_{\mathrm{be}} = 36\,\mathrm{W}$. A motor tengelyén mért leadott mechanikai teljesítmény $P_{\mathrm{ki}} = 27\,\mathrm{W}$. **Keresett:** A motor hatásfoka. **Képlet:** $\eta = \frac{P_{\mathrm{ki}}}{P_{\mathrm{be}}}$. **Behelyettesítés:** $\eta = \frac{27\,\mathrm{W}}{36\,\mathrm{W}} = 0{,}75$. **Eredmény:** $\eta = 75\,\%$. **Ellenőrzés:** A 75 %-os hatásfok egy kis egyenáramú motornál reális érték. ∎

Váltakozó áramú, induktív vagy kapacitív terhelésnél a teljesítmény képlete $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$, de ezt a könyv váltakozó áramú fejezetei részletesen tárgyalják.

42.1.5. Jegyzőkönyv és kiértékelés

A mérési munka félkész termék, amíg nincs **jegyzőkönyv**. A jegyzőkönyv rögzíti, mit mértünk, mivel mértük, és milyen következtetést vontunk le. A hibakeresésnél és a későbbi, Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése alfejezetben tárgyalt méréseknél a jegyzőkönyv a bizonyíték arra, hogy a munkát elvégeztük, és a berendezés megfelelt az előírásoknak.

Szabvány. A jegyzőkönyv pontos formai követelményeit a megrendelő, a hatóság vagy az eljáró cég minőségirányítási utasítása határozza meg; a villamos berendezések felülvizsgálatánál ezt a kérdést a szabványos és jogi előírások együttesen rendezik (például az ellenőrző méréseket szabályozó sorozatok). A következő szerkezeti elemeket a hazai gyakorlatban minden mérési jegyzőkönyvnek érdemes tartalmaznia:

1. **Fejléc:** a mérés helye, időpontja, a mérést végző neve, a felügyelő oktató vagy megbízó neve.
2. **A mérés tárgya:** az áramkör vagy gép megnevezése, típusa, gyári száma.
3. **A felhasznált műszerek:** a műszer típusa, gyári száma, méréshatára, pontossági osztálya, a hitelesítés vagy kalibrálás időpontja.
4. **Elvi kapcsolási rajz:** a mérési elrendezés rajza.
5. **Mérési adatok:** táblázatos formában, mértékegységgel.
6. **Kiértékelés:** a számított értékek, hibaszámítás, következtetések.
7. **Aláírás és dátum.**

42.1.5.1. A mérési hiba értékelése

A valós alkatrészeknek tűrése van (például az ellenállás $\pm 5\,\%$-kal térhet el a ráírt értéktől). A műszernek is van pontossági osztálya. Ezért a mért és a számított érték soha nem egyezik meg pontosan. A kettő közötti eltérést hibának nevezzük.

Definíció. Abszolút hiba: a mért és a számított (vagy pontosnak tekintett) érték különbségének abszolút értéke.

$$\Delta = |X_{\text{mért}} - X_{\text{számított}}|$$

Definíció. Relatív hiba: az abszolút hiba viszonyítása a tényleges vagy számított értékhez, általában százalékban.

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{számított}}} \cdot 100\%$$

Példa. Egy $120\,\Omega$ névleges értékű ellenállást mérünk. A multiméter $118{,}4\,\Omega$-t mutat. Abszolút hiba: $\Delta = |118{,}4\,\Omega - 120\,\Omega| = 1{,}6\,\Omega$. Relatív hiba: $\delta = \frac{1{,}6}{120} \cdot 100\% = 1{,}33\%$. Ez az érték a szokásos $\pm 5\%$ tűréshatáron belül van, tehát a mérést és az alkatrészt is elfogadjuk. ∎

42.1.6. Valós életbeli alkalmazás

Valós eset. Egy villanyszerelő tanuló egy izzószálas fényforrás teljesítményét számította ki a gyakorlaton. A lámpa névleges feszültsége $12\,\text{V}$, az áramkörbe kötve mért áram $0{,}4\,\text{A}$ volt. A szerelőtanuló a képletet rosszul alkalmazva $P = I \cdot R$ módon próbált teljesítményt számolni, de az ellenállást elfelejtette mérni. A kérdés viszont egyszerű volt: $P = U \cdot I = 12\,\text{V} \cdot 0{,}4\,\text{A} = 4{,}8\,\text{W}$. A tanulság: a teljesítmény méréséhez elég a feszültség- és árammérés, ha a terhelés ohmos; sem a terhelés ellenállását, sem bonyolult képleteket nem kell alkalmazni. A gyakorlatban a villanyszerelő lakatfogóval megfogja az egyik eret, a feszültséget pedig egy aljzatban vagy a kapcsokon méri; a kettő szorzatából rögtön tudja, mekkora a felvett teljesítmény. Ezt a becslést

a korábban tanult Teljesítmény- és energiamérés, fogyasztásmérők alfejezetben tanultak szerint lehet pontosítani a hálózati fogyasztásmérés pontosságával.

Egy másik esetben a mérési hibákra derült fény: ugyanazt az 1 MΩ-os ellenállást két különböző csoport mérte. Az egyik 0,99 MΩ-ot, a másik – két kézzel fogva a mérőcsúcsokat – 0,33 MΩ-ot kapott. A második csoport mérésénél a test (kb. 500 kΩ) párhuzamosan kapcsolódott a mért alkatrésszel: $1 \cdot 0{,}5/(1 + 0{,}5) \approx 0{,}33$ MΩ, lecsökkentve a mért értéket. (Kis, például 120 Ω-os ellenállásnál a test hatása elhanyagolható; a jelenség nagy ellenállásoknál számít.) A tanulság: az ellenállás-mérést úgy kell végezni, hogy kezünkkel nem érintjük a fém részeket, mert a testünk is vezet és befolyásolja a mérést.

42.1.7. Gyakorlati útmutató

Cél: Soros, párhuzamos és vegyes kapcsolás felépítése, mérése, a mért és számított értékek összevetése, jegyzőkönyv készítése.

Eszközök és anyagok:

- ELV tápegység (például 12—24 V egyenfeszültség).
- 2 db digitális multiméter (áram- és feszültségméréshez).
- Ellenállások: 120 Ω és 180 Ω (soros és párhuzamos mérés), 100 Ω, 200 Ω, 300 Ω (vegyes mérés), legalább 5 W-os (a 120 Ω-os ágon 24 V-nál 4,8 W disszipálódik, ezért inkább 10 W-os; 12 V-on a példa értékei felezendők: 40 mA, 4,8 és 7,2 V) (huzal- vagy cement-) ellenállás, sorkapcsos szerelésben (vagy a tanműhelyben rendelkezésre álló, hasonló értékű és teljesítményű alkatrészek). Kenyérlapon csak 0,25 W-os ellenállással és legfeljebb 5 V-tal dolgozz; a példák ellenállásai ennél jóval többet disszipálnak, ezért a gyakorlatban a teljesítményt is ellenőrizni kell ($P = U^2/R$).
- Kenyérlap vagy sorkapcsok, mérőzsinórok.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi (törpefeszültségű, ELV) környezetben végezhető, megfelelő műszerhasználat mellett; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A feszültség alatt lévő áramkörön a kapcsolás módosítása tilos. Mivel itt ELV-környezetről van szó, a teljes feszültségmentesítés fizikailag nem feltétlenül szükséges minden pillanatban a méréshez, de a feszültségmentesség ellenőrzését a bekötés megkezdése előtt és a mérési pont áthelyezésekor is el kell végezni: győződj meg róla, hogy a tápegység kimenete feszültségmentes, amikor a mérőzsinórokat áthelyezed.

Recept. A mérés lépései:

1. **Kapcsolás felépítése (feszültségmentes állapotban):** Építsd fel a soros kapcsolást sorkapcsos szerelőlapon (legalább 5 W-os ellenállásokkal); kenyérlapot csak legfeljebb 5 V-on, 0,25 W-os ellenállással használj. Az árammérőt sorosan kösd be; itt mindegy, hol szakítod meg a kört.
2. **Feszültségmérő bekötése:** A feszültségmérőt kösd a tápegység kimenetére. Állítsd a multimétert egyenfeszültség-mérésre, a várható értéknél nagyobb méréshatárra.
3. **Tápfeszültség bekapcsolása:** Kapcsold be a tápegységet, és állítsd be a kiválasztott feszültséget (a soros példához 24 V, vagy 12 V és a felezett várt értékek); az értéket a feszültségmérőn ellenőrizd.
4. **Mérés:** Olvasd le a műszereket. Írd be az értékeket a jegyzőkönyv-táblázatba. Mérd meg a feszültséget R_1-en és R_2-n is, ehhez a feszültségmérő zsinórjait helyezd át az alkatrész két kapcsára.
5. **Lekapcsolás:** A mérés végén kapcsold le a tápfeszültséget, és csak ezután bonts szét bármilyen alkatrészt.

6. **Új kapcsolás:** Építsd fel a párhuzamos kapcsolást, ismételd meg a mérést.
7. **Kiértékelés:** Számold ki az elvárt értékeket, hasonlítsd össze a mérési eredményekkel, és számold ki a relatív hibát.

Ellenőrzési pontok:

- A soros kapcsolásnál a három feszültségmérési eredmény összege (ha külön mérted a két ellenállást és a bemenetet) a bemeneti feszültséget adja.
- A párhuzamos kapcsolásnál a két ágáram összege a főági áramot adja.
- A mért ellenállásokra Ohm-törvénnyel számított áram és a mért áram közötti eltérés relatív hibája 5–10% alatt van, ha a mérési elrendezés jó.

42.1.8. Tipikus hibák

1. **Az árammérő párhuzamos bekötése.** Ez a leggyakoribb, legsúlyosabb hiba. A kis belső ellenállású árammérő rövidre zárja a feszültségforrást. A műszer olvadóbiztosítója (vagy a tápegység védelme) kiold, de rosszabb esetben a műszer tönkremegy. **Helyesen:** az árammérő mindig sorosan van a mérendő ágban.
2. **A feszültségmérő soros bekötése.** A nagy belső ellenállású feszültségmérő lefojtja az áramkört. A terhelésen szinte nulla feszültség esik. **Helyesen:** a feszültségmérő párhuzamosan kapcsolódik az alkatrészhez.
3. **Ellenállás mérése feszültség alatt.** Ha a multimétert ellenállásmérésre állítjuk, és a mérendő ellenálláson feszültség van, a műszer belső generátorát visszafeszültség éri, hibás értéket mutat, és tönkre is mehet. **Helyesen:** feszültségmentesítsük, és szükség esetén az alkatrészt bontsuk ki a kapcsolásból.
4. **A mérőzsinór fém részének érintése.** Kézzel érintve a mérővezeték csupasz végét, a testünk ellenállása párhuzamosan kapcsolódik, meghamisítva az eredményt. **Helyesen:** fogjuk a zsinórt a szigetelt részén, és a mérőcsúcs csak az alkatrész kivezetését érintse.
5. **Nem megfelelő méréshatár.** Kicsi méréshatárnál a műszer „túlcsordul”, nagy méréshatárnál a felbontás rossz. **Helyesen:** kezdjünk a legnagyobb méréshatárral, majd csökkentsük, amíg a kijelzés a felső harmadba nem esik.

42.1.9. Önellenőrzés

1. **Igaz vagy hamis?** Az árammérőt sorosan, a feszültségmérőt párhuzamosan kötjük az áramkörbe.
2. **Gyors számolás.** Egy 12 V-os kapcsolásban $R_1 = 60\,\Omega$ és $R_2 = 180\,\Omega$ van sorosan. Mekkora az áramkör árama, és mekkora teljesítményt disszipál R_2?
3. **Mi a hiba ebben a mérésben?** A tanuló meg akarja mérni egy ellenállás áramát. A multimétert ellenállás-mérésre állítja, és az ellenállás két kivezetésére teszi a mérőzsinórt. Azt mondja: „A műszer mutatja az ellenállás áramát.” Mi a hiba?
4. **Fogalom.** Hogyan számítjuk ki a relatív hibát?
5. **Rajzolvasás.** A fenti kapcsolási rajzon (a fejezet elején) hová kell bekötni az árammérőt, ha a főágban akarunk mérni, és hová a feszültségmérőt, ha a tápegység kimenetét akarjuk mérni?

42.1.10. Feladatok

1. feladat (A) Sorolj fel legalább négy olyan adatot, amelyet egy mérési jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell.

2. feladat (A) Rajzold le egy fűtőbetét feszültség- és árammérésének kapcsolási vázlatát, a hangsúly a feszültségmérő és az árammérő bekötésén van (csak rajz; hálózati feszültségű mérést jogosult végez).

3. feladat (B) Soros kapcsolásban $R_1 = 220\,\Omega$, $R_2 = 470\,\Omega$. A bemeneti feszültség $U = 24\,\mathrm{V}$. Számítsd ki az eredő ellenállást, az áramkör áramát, és az egyes ellenállásokon eső feszültséget. Ellenőrizd a feszültségek összegét.

4. feladat (B) Egy párhuzamos kapcsolásban $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 150\,\Omega$. A rákapcsolt feszültség $12\,\mathrm{V}$. Számítsd ki az ágáramokat és a főági áramot. Számold ki a párhuzamos eredő ellenállást is.

5. feladat (C) Egy vegyes kapcsolásban $R_1 = 100\,\Omega$ sorosan van R_2 és R_3 párhuzamos kapcsolásával. $R_2 = 200\,\Omega$, $R_3 = 300\,\Omega$. A tápfeszültség $U = 20\,\mathrm{V}$. Számítsd ki a főági áramot, az R_1-en eső feszültséget, a párhuzamos rész feszültségét, és az egyes ágáramokat. Ellenőrizd az eredményt.

6. feladat (D) A mérési jegyzőkönyvben a tanuló a következő értékeket rögzítette: $U_{\text{mért}} = 23{,}8\,\mathrm{V}$, $I_{\text{mért}} = 0{,}079\,\mathrm{A}$. A számított értékek $U_{\text{számított}} = 24\,\mathrm{V}$, $I_{\text{számított}} = 0{,}08\,\mathrm{A}$. Számítsd ki az abszolút és relatív hibát mind a feszültségre, mind az áramra. Elfogadnád-e a mérést, ha a megengedett relatív hiba $\pm 2\%$?

42.1.11. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. **Igaz.** A feszültségmérő belső ellenállása nagy, ezért párhuzamosan; az árammérő belső ellenállása kicsi, ezért sorosan kötendő.
2. $R_{\text{eredő}} = 60 + 180 = 240\,\Omega$. $I = \frac{12\,\mathrm{V}}{240\,\Omega} = 0{,}05\,\mathrm{A} = 50\,\mathrm{mA}$. $P_2 = I^2 R_2 = (0{,}05\,\mathrm{A})^2 \cdot 180\,\Omega = 0{,}45\,\mathrm{W}$, ezért legalább 1 W-os ellenállás kell, sorkapcsos szerelésben (kenyérlapon 12 V-tal nem dolgozunk).
3. Az ellenállás-mérésre állított műszer **nem áramot mér**, hanem a mérendő alkatrész ellenállását. Áramméréshez a műszert árammérő üzemmódba kell állítani, és sorosan kell bekötni az áramkörbe. Ráadásul feszültség alatt tilos elkezdeni a mérést!
4. A relatív hiba az abszolút hiba és a pontosnak tekintett (vagy számított) érték hányadosa szorozva 100-zal: $\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{számított}}} \cdot 100\%$.
5. Az árammérőt a tápegység + kapcsa és R_1 közé kell sorosan kötni (a rajzon a P1 helyére). A feszültségmérőt párhuzamosan kell kötni a tápegység két kapcsára.

1. feladat (A) A mérési jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell például: a mérés helyét és időpontját, a mérést végző nevét, a mérés tárgyát, a felhasznált műszerek típusát és gyári számát, a mérési elrendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatok táblázatát, a kiértékelést és a dátumot.

2. feladat (A) A kapcsolási vázlat: az áramkör L és N között a fűtőbetétet tartalmazza. Az árammérő a fűtőbetéttel sorosan, a feszültségmérő a betét két kapcsára (párhuzamosan) kapcsolódik; a rajz a fejezet elején lévő ábrával azonos, csak a tápegység helyén az L/N hálózat áll. **Biztonsági korlát.** Hálózati áramot a gyakorlatban lakatfogóval mérünk az egyik éren, a kör megbontása nélkül; a feszültséget CAT III 300 V (vagy magasabb) besorolású műszerrel és zsinórral, kétkezes érintés nélkül mérjük. Multiméter soros áramméréséhez a kört feszültségmentesíteni kell (öt szabály), és csak a műszer A-bemenetének névleges áramán (biztosítóján) belül szabad mérni; egy 2 kW-os betét árama kb. 8,7 A, ami a 10 A-es bemenet határán van. Hálózati feszültségű mérést jogosult végez, a tanuló nem.

3. feladat (B) Eredő ellenállás: $R_e = 220 + 470 = 690\,\Omega$. Áram: $I = \frac{24}{690} \approx 0{,}0348\,\text{A} = 34{,}8\,\text{mA}$. $U_1 = 0{,}0348 \cdot 220 \approx 7{,}65\,\text{V}$. $U_2 = 0{,}0348 \cdot 470 \approx 16{,}35\,\text{V}$. Ellenőrzés: $7{,}65 + 16{,}35 = 24{,}0\,\text{V}$. (A köztes eredményt 3 értékes jegyre tartjuk; 0,035 A-re kerekítve $7{,}7 + 16{,}45 = 24{,}15\,\text{V}$ jönne ki, ez kerekítési eltérés.)

4. feladat (B) $I_1 = \frac{12}{100} = 0{,}12\,\text{A}$. $I_2 = \frac{12}{150} = 0{,}08\,\text{A}$. $I_{\text{összes}} = 0{,}12 + 0{,}08 = 0{,}2\,\text{A}$. Eredő ellenállás: $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{100} + \frac{1}{150} = \frac{3}{300} + \frac{2}{300} = \frac{5}{300} \Rightarrow R_e = 60\,\Omega$. Ellenőrzés: $I = \frac{12}{60} = 0{,}2\,\text{A}$.

5. feladat (C) $R_{23} = \frac{200 \cdot 300}{200+300} = 120\,\Omega$. $R_e = 100 + 120 = 220\,\Omega$. $I = \frac{20}{220} \approx 0{,}091\,\text{A}$. $U_1 = 0{,}091 \cdot 100 = 9{,}1\,\text{V}$. $U_{23} = 20 - 9{,}1 = 10{,}9\,\text{V}$. $I_2 = \frac{10{,}9}{200} = 0{,}0545\,\text{A}$. $I_3 = \frac{10{,}9}{300} = 0{,}036\,\text{A}$. Ellenőrzés: $0{,}0545 + 0{,}036 \approx 0{,}091\,\text{A}$.

6. feladat (D) Feszültségre: $\Delta_U = |23{,}8 - 24| = 0{,}2\,\text{V}$. $\delta_U = \frac{0{,}2}{24} \cdot 100 = 0{,}83\%$. Áramra: $\Delta_I = |0{,}079 - 0{,}08| = 0{,}001\,\text{A}$. $\delta_I = \frac{0{,}001}{0{,}08} \cdot 100 = 1{,}25\%$. Mindkét relatív hiba a megengedett $\pm 2\%$-os határon belül van, tehát a mérést elfogadnánk.

42.1.12. Rövid összefoglaló

Az alapmérések során a mérőműszer bekötése a legfontosabb, mert rossz bekötéssel a mérés nem pontos, és a műszer is tönkremehet. **Továbbvitt eredmény:** a fejezetben megtanult mérési módszertan, a feszültség- és árammérő bekötési szabálya (párhuzamosan, illetve sorosan), valamint a mérési jegyzőkönyv vezetésének gyakorlata közvetlenül megalapozza a következő Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése alfejezetet, ahol ugyanezeket a készségeket használjuk majd a szigetelés, a folytonosság, a hurokimpedancia és az áram-védőkapcsoló vizsgálatára. A mérési hibák értékelése nélkül nem tudjuk megmondani, hogy egy eltérés az alkatrész tűrése, a műszer pontossága, vagy a szerelői hiba következménye-e. A teljesítmény mérését egyenáramú körben $P = U \cdot I$, váltakozó áramú körben $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ képlettel végezzük. A jegyzőkönyv a mérési folyamat dokumentálásának eszköze, amely bizonyítja az elvégzett munka helyességét. Aki ezt az alapot megérti, biztonságosan és hatékonyan fog dolgozni a későbbi, bonyolultabb áramkörökön is.

42.1.13. Források és ellenőrzési hiányok

- **MSZ EN 61010-1** – Villamos mérő-, szabályozó- és laboratóriumi készülékek biztonsági előírásai. (A mérési kategóriákra vonatkozó konkrét határértékek a szabvány aktuális kiadásában ellenőrizendők.)
- **Multiméter gyártói adatlapok** – A méréshatárok, a pontossági osztályok és a belső biztosítékok értékei műszerenként eltérhetnek. (Az adott műszer kézikönyve használandó.)

42.2. Védelmi mérések gyakorlata és a jegyzőkönyv kitöltése

42.2.1. Motiváció

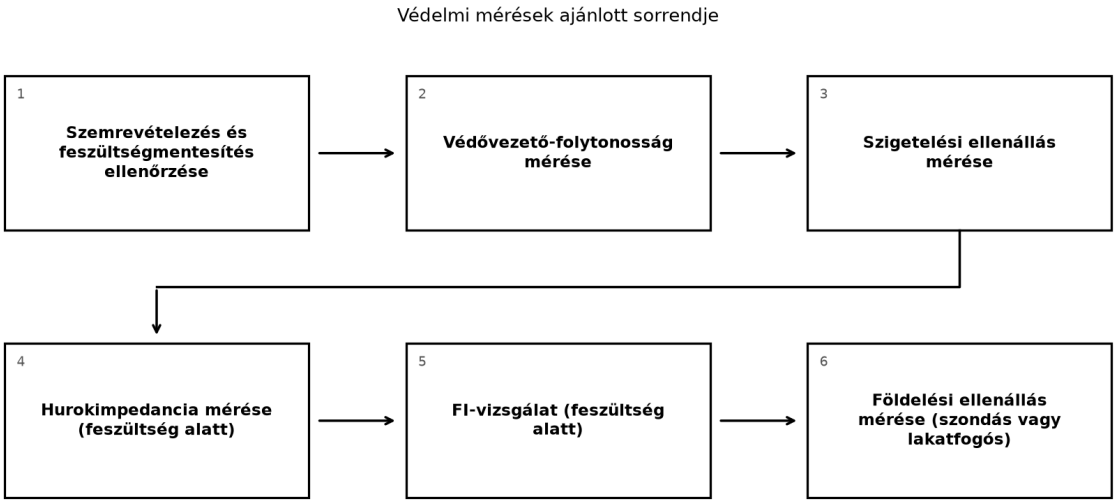
A szabványossági felülvizsgálat nem ér véget a szemrevételezéssel és a kapcsolási rajzok ellenőrzésével. Azt, hogy a hibavédelmi rendszer valóban megvédi az embert egy testzárlat vagy szigetelési hiba esetén, csak műszeres mérésekkel lehet igazolni. Ha a védővezető szakadt, a szigetelési ellenállás túl kicsi, a hurokimpedancia túl nagy, vagy az áram-védőkapcsoló nem old le, a berendezés látszólag működhet, de egy hiba esetén életveszélyes feszültség maradhat az érinthető fémrészeken. Ebben az alfejezetben a mérési gyakorlatok során használt védelmi méréseket végezzük el egy tanműhelyi modellen, a mért értékeket kiértékeljük, és kitöltjük a

mérési jegyzőkönyvet úgy, ahogyan azt egy valós felülvizsgálaton is kell. A korábban megismert alapmérések (Alapmérések gyakorlata: feszültség, áram, ellenállás, teljesítmény) és a mérési jegyzőkönyv követelményei (Jegyzőkönyv, szabványossági felülvizsgálat és hibakeresés) itt válnak egyetlen, gyakorlatban használható folyamattá.

42.2.2. Szemléletes kép

Képzeljünk el egy tanműhelyi elosztómodellt, amely egy lakáselosztót ábrázol. A modellben van egy bejövő hálózat (230/400 V), egy főkapcsoló, egy 30 mA névleges hibaáramú áram-védőkapcsoló (FI-relé), három kismegszakító (B16), és ezekről leválasztott áramkörök: egy világítási kör, egy konnektor kör, valamint egy motor a hozzá tartozó védővezetővel. A szerelő a mérőműszert a feszültségmentesítés után a PE-sín és a védővezető közé csatlakoztatja, megméri a védővezető folytonosságát, majd a szigetelési ellenállást, végül a feszültség visszakapcsolása után a hurokimpedanciát és az FI kioldási idejét. A mérési eredményeket rögzíti a jegyzőkönyvben, és összeveti a határértékekkel.

A védelmi mérések ajánlott sorrendjét egy folyamatábra szemlélteti:



42.3. ábra. Védelmi mérések ajánlott sorrendje - A sorrend indokolt: először a feszültségmentes állapotú méréseket végezzük, majd a feszültség alatti méréseket, mivel a hurokimpedancia és az FI-vizsgálat hálózati feszültséget igényel. A földelési ellenállást a mérési módszertől függően lehet feszültségmentes állapotban is mérni; TN-rendszerben a hurokimpedanciából nem becsülhető.

A folyamatábrán látható, hogy a feszültségmentes méréseket különítjük el, és a feszültség alatti méréseket csak azután végezzük, miután a leválasztott állapotban lévő mérések mind megfeleltek.

42.2.3. Definíciók és szabályok

Definíció. A **védelmi mérés** olyan villamos mérés, amely a hibavédelem és a kiegészítő védelem hatékonyságát igazolja. Ide tartozik a védővezető-folytonosság, a szigetelési ellenállás, a hurokimpedancia, az áram-védőkapcsoló kioldási vizsgálata és a földelési ellenállás mérése.

Szabály. A védelmi méréseket mindig a berendezés **feszültségmentesítése után** kezdjük, kivéve azokat a méréseket, amelyekhez hálózati feszültség szükséges (hurokimpedancia, FI-vizsgálat). A feszültség alatti méréseknél a mérőműszer bekötése csak a mérési pontokon történik, a vezetékek érintése tilos.

Összefüggés. A védővezető-folytonosság mérése során a mért ellenállásnak kicsinek kell lennie. Tanulási célként elfogadott határérték: $R_{\mathrm{PE}} \leq 0{,}3\,\Omega$ rövid, legfeljebb néhány méteres vezetéknél, de a konkrét érték a vezeték hosszától és keresztmetszetétől függ. A hosszabb vezetékszakaszra a várható ellenállást az $R = \rho \cdot l / A$ képlettel kell kiszámolni, és azzal összevetni.

Összefüggés. A szigetelési ellenállás mért értékének legalább $R_{\mathrm{i}} \geq 1\,\mathrm{M}\Omega$ nagyságúnak kell lennie a gyakorlatban, bár a szabvány műszaki táblázatai ennél szigorúbb, feszültségfüggő értékeket is adhatnak. A 230/400 V-os kisfeszültségű rendszerben a vizsgálati feszültség általában 500 V DC.

Összefüggés. A hurokimpedancia mérésekor a mért Z_s értékre teljesülnie kell a kioldási feltételnek:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a},$$

ahol $U_0 = 230\,\mathrm{V}$ a fázisfeszültség, I_a pedig a védelem kioldási árama (kismegszakítónál a zárlati kioldó árama, olvadóbiztosítónál a leolvasott olvadási áram). A feltétel biztosítja, hogy a hibaáram elegendő legyen a védelem automatikus lekapcsolásához a megengedett időn belül. **Mérési korrekció.** Mérésnél a hideg vezetőn mért értéket a melegedés és a feszültségtűrés miatt jellemzően 2/3–0,8-as tényezővel csökkentett határhoz hasonlítjuk (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-6, a műszer kézikönyve); a könyv példáiban és jegyzőkönyv-mintáiban az egyszerűség kedvéért a korrekció nélküli U_0/I_a határt használjuk, kivéve, ahol ezt külön jelezzük.

Összefüggés. Az áram-védőkapcsoló vizsgálatánál a névleges hibaárammal (pl. $I_{\Delta n} = 30\,\mathrm{mA}$) végzett mérésnél a kioldásnak meg kell történnie, és általános (nem késleltetett) típusú RCD-nél a kioldási idő $I_{\Delta n}$-nél legfeljebb 300 ms, S típusúnál 130–500 ms (ellenőrizendő: MSZ EN 61008-1 / MSZ EN 61009-1). A 0,4 s a TN-rendszer 230 V-os végáramköreinek megengedett automatikus lekapcsolási ideje (MSZ HD 60364-4-41), amelyet az RCD a 300 ms-mal teljesít; a kettő nem ugyanaz a fogalom. A szigorúbb értékeket a szabvány táblázatai adják meg.

Szabály. A földelési ellenállás értéke a hálózati rendszertől és a védelmi módtól függ. TT-rendszerben a földelési ellenállásnak elég kicsinek kell lennie ahhoz, hogy a hibaáram kioldja a védelmet; TN-rendszerben a fázis–PE hurok fémesen, a PE/PEN vezetőn át záródik a transzformátor csillagpontjához, ezért a hurokimpedanciából R_A nem határozható meg. TT-rendszerben a fázis–PE hurokimpedancia ($Z_s \approx R_A + R_B + \text{vezetékek}$) felülről becsli R_A-t. A földelési ellenállást 3-pólusú (szondás) vagy lakatfogós földelésmérővel mérjük.

42.2.4. Kidolgozott példák

42.2.4.1. 1. példa – Védővezető-folytonosság mérése

Adott egy tanműhelyi modell, amelyben egy 5 m hosszú, 1,5 mm² réz védővezető köti össze a PE-sínt és a konnektor PE-érintkezőjét. A vezető fajlagos ellenállása $\rho \approx 0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$.

Keresett: a védővezető várható ellenállása, és annak megítélése, hogy egy mért 0,18 Ω érték megfelelő-e.

Képlet:

$$R_{\mathrm{PE}} = \frac{\rho \cdot l}{A}.$$

Behelyettesítés:

$$R_{\mathrm{PE}} = \frac{0{,}0175 \cdot 5}{1{,}5} \approx 0{,}0583\,\Omega.$$

A mért érték $0{,}18\,\Omega$, ami nagyobb, mint a számított várható érték, de az átmeneti ellenállások (sorkapcsok, érintkezők) miatt még elfogadható lehet, ha a határértéket nem lépi túl. Tanulási célként $0{,}3\,\Omega$ alatti érték elfogadható, tehát a mérés megfelelő. Ha a mért érték ennél nagyobb lenne, akkor a kötést kell ellenőrizni.

Ellenőrzés: az egység Ω, a nagyságrend a várt érték közelében van.

42.2.4.2. 2. példa – Hurokimpedancia kiértékelése

Adott egy B16 kismegszakítóval védett konnektor-áramkör. A gyártói adat szerint a kismegszakító zárlati kioldó árama $I_a = 5 \cdot 16 = 80\,\mathrm{A}$. A hurokimpedancia-mérővel mért érték $Z_s = 1{,}4\,\Omega$.

Keresett: a kioldási feltétel teljesül-e?

Képlet:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}.$$

Behelyettesítés:

$$Z_s \leq \frac{230}{80} = 2{,}875\,\Omega.$$

Mivel $1{,}4\,\Omega \leq 2{,}875\,\Omega$, a feltétel teljesül. Ha a mért érték például $3{,}2\,\Omega$ lenne, akkor a védelem nem oldana le a megengedett időn belül, és a kötések, a vezeték hossza vagy a védővezető keresztmetszete vizsgálandó.

Ellenőrzés: a számított határérték nagyobb, mint a mért érték, így a védelmi funkció megfelelő.

42.2.5. Szabványi követelmények

Szabvány. A kisfeszültségű villamos berendezések ellenőrzésére vonatkozó követelményeket az MSZ HD 60364-6 (a sorozat ellenőrzési része) tartalmazza. A mérőműszerekre vonatkozóan az MSZ EN 61557 sorozat adja meg a védelmi mérőműszerek pontossági és használati követelményeit. A gyakorlati mérés során használt készülékeknek rendelkezniük kell a megfelelő mérési kategóriával (CAT III 300 V vagy magasabb), és a mérési feladatnak megfelelő típusúaknak kell lenniük: szigetelésvizsgáló, hurokimpedancia-mérő, FI-vizsgáló, földelésmérő. A szabványok pontos műszaki táblázatait és határértékeit a mérés előtt a hatályos kiadásból kell ellenőrizni, mert azok időben változhatnak.

A mérések során a következő alapelveket kell betartani:

- A folytonosságot legalább 200 mA árammal kell mérni, hogy a gyenge érintkezés is kimutatható legyen.

- A szigetelési ellenállást egyenárammal, a berendezés névleges feszültségénél nagyobb vizsgálófeszültséggel kell mérni (kisfeszültségű hálózatnál jellemzően 500 V DC).
- A hurokimpedanciát a hálózat fázis és védővezető közötti hurkában kell mérni, és a mérési eredményt a kioldási feltétellel összevetni.
- Az FI-vizsgálatnál mind a fél névleges hibaáramnál (nem oldhat ki), mind a névleges hibaáramnál (kioldás szükséges) célszerű vizsgálni.
- A földelési ellenállás mérésénél a mérési szondák elhelyezését a műszer gyártójának utasítása szerint kell végezni, és a mért értéket a védelmi célra előírt határértékkel összevetni.

42.2.6. Valós életbeli alkalmazás

Egy lakásfelújítás során a szerelő a konnektorok védelmi mérését végezte. A folytonosság és a szigetelés megfelelt, de a hurokimpedancia-mérő a konnektornál 7,8 Ω értéket mutatott, miközben a B16-os kismegszakító határértéke 2,875 Ω. A FI 30 mA-es védőkapcsoló viszont rendben kioldott 25 ms alatt. A szerelő a hibát a kötődobozban egy lazán meghúzott, oxidált fázisvezető-kötésben (sorkapocsban) találta – ezt a PE-folytonosság mérés nem láthatta, mert csak a védővezetőt vizsgálja. A csavar meghúzása után a hurokimpedancia 1,1 Ω-ra csökkent, és a kioldási feltétel teljesült. A tanulság: a hurokimpedancia a teljes hibahurkot (fázisvezető, kötések, védővezető) ellenőrzi, ezért olyan hibát is kimutat, amelyet a PE-folytonosság mérés nem; a magas érték gyakran kötési hibára utal.

42.2.7. Gyakorlati útmutató

Cél: Védelmi mérések végrehajtása tanműhelyi modellen, az eredmények kiértékelése és a jegyzőkönyv kitöltése.

Eszközök és anyagok: installációs tesztkészülék (kisohmos mérés ≥ 200 mA, szigetelés, hurok, RCD – MSZ EN 61557; ellenőrizendő: aktuális kiadás) vagy külön kisohmos mérő, szigetelésvizsgáló (500 V DC), hurokimpedancia-mérő FI-méréssel kombinált változatban, földelésmérő (vagy lakatfogó földelésmérő), tanműhelyi elosztómodell, mérési jegyzőkönyv űrlap, szigetelt csavarhúzó, kétpólusú feszültségvizsgáló (a fázisceruza feszültségmentesség ellenőrzésére nem alkalmas).

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. Hálózati feszültségű (230/400 V) munkát csak jogosult, arra képesített személy végezhet, a hatályos előírások szerint.

42.2.7.1. Lépések

1. **Feszültségmentesítés az öt biztonsági szabály szerint:**
    - Lekapcsolás: a modell főkapcsolójának kikapcsolása és a táplálás leválasztása.
    - Visszakapcsolás elleni biztosítás: a főkapcsoló lezárása vagy “Ne kapcsold be!” tábla.
    - Feszültségmentesség ellenőrzése: kétsarkú feszültségvizsgálóval a bejövő kapcsokon és minden fázis-N, fázis-PE között.
    - Földelés és rövidre zárás: a modell csatlakozó pontjain, ha a tanműhelyi előírás szerint szükséges.
    - Szomszédos feszültség alatti részek lefedése: ha van feszültség alatt maradt rész, takarás.

2. **Szemrevételezés:** Ellenőrizzük a kapcsolók, vezetékek, sorkapcsok állapotát, a jelöléseket, a színkódokat, és a modell kapcsolási rajzának megfelelőségét.

3. **Védővezető-folytonosság mérése:** A kisohmos mérőt ($\geq$ 200 mA mérőáram) nullázzuk a mérőzsinórokkal (a szokásos multiméter csipogója néhány mA-rel mér, ezért laza kötést nem mutat ki), és a PE-sín, valamint az egyes fogyasztói berendezések védőérintkezői között mérünk. A mért értékeket rögzítjük.

4. **Szigetelési ellenállás mérése:** A szigetelésvizsgálóval minden fázis-N, fázis-PE, N-PE párt megmérünk 500 V DC vizsgálófeszültséggel. Az N–PE méréshez a N-t a N-sínből (vagy a 2 pólusú FI kikapcsolásával) le kell választani, különben a betáplálási N–PE összeköttetést mérjük (vö. Lakáselosztó építése és bekötése). A mérés előtt a fogyasztókat le kell csatlakoztatni vagy ki kell kapcsolni, hogy a félvezetők ne sérüljenek. A mért értékeket rögzítjük.

5. **Feszültség visszakapcsolása a modellre:** Csak oktatói engedéllyel, a biztosítás feloldása után.

6. **Hurokimpedancia mérése:** A mérőműszert a vizsgált áramkör fázis és PE pontjai közé csatlakoztatjuk. A mérést minden egyes védett áramkörnél elvégezzük. A mért Z_s értékeket feljegyezzük, és összevetjük a kioldási feltétellel.

7. **FI-vizsgálat:** A hurokimpedancia-mérő FI-vizsgáló funkciójával a névleges hibaárammal (30 mA) mérünk, és rögzítjük a kioldási időt. A fél névleges hibaárammal végzett vizsgálatnál a FI nem oldhat ki.

8. **Földelési ellenállás mérése:** Ha a modellben van tényleges földelő, akkor a földelésmérővel (vagy lakatfogóval) megmérjük R_A-t. TN-rendszerben a hurokimpedanciából R_A nem becsülhető; TT-rendszerben a fázis–PE hurokimpedancia csak felső becslést ad ($R_A \leq Z_s$).

9. **Jegyzőkönyv kitöltése:** A mért értékeket a jegyzőkönyv táblázatába írjuk, elvégezzük a kiértékelést, és megadjuk a minősítést.

Ellenőrzési pontok:

- Minden mérési ponton a mért érték a határértéken belül van-e.
- A FI a tesztgombra és a műszerrel is kiold-e.
- A jegyzőkönyv minden rovatában van-e bejegyzés, és a műszer azonosítója szerepel-e.
- A feszültségmentesítés lépései dokumentálva vannak-e.

Tipikus hibák:

- Feszültség alatt próbáljuk mérni a szigetelési ellenállást, ami a műszer meghibásodásához vezethet.
- A fogyasztók nincsenek lekötve a szigetelésmérés előtt, ami hamis, alacsony szigetelési értékhez vezet.
- A FI utáni körben a mérőáram differenciaáramként kioldja a FI-t, ha a műszert nem kioldásmentes (no-trip) üzemmódban használjuk.
- A jegyzőkönyvben nem rögzítjük a mérési pontot, így később nem tudjuk ellenőrizni, melyik konnektornál mértük.

42.2.8. Jegyzőkönyv kitöltése mintával

A védelmi mérések jegyzőkönyve akkor érvényes, ha legalább az alábbi adatokat tartalmazza:

- A felülvizsgáló neve, képesítési azonosítója, aláírása.
- A berendezés megnevezése, címe, azonosítója.
- A mérőműszer típusa, gyári száma, kalibrálási érvényessége.
- A mérés időpontja és a környezeti hőmérséklet.
- A mérési pontok és az egyes mérések eredményei.
- A határértékek, a kiértékelés és a minősítés.

Példa egy kitöltött jegyzőkönyv részletére:

Mérési pont	Mérés típusa	Mért érték	Határérték	Megfelelőség
PE-sín – Konnektor PE	Folytonosság	0,12 Ω	≤ 0,3 Ω	Megfelel
Fázis–N (1. világítási kör)	Szigetelés	12,5 MΩ	≥ 1 MΩ	Megfelel
Fázis–PE (1. világítási kör)	Szigetelés	9,8 MΩ	≥ 1 MΩ	Megfelel
Konnektor 1	Hurokimpedancia	1,4 Ω	≤ 2,875 Ω	Megfelel
FI (30 mA)	Kioldási idő $I_{\Delta n}$-nél	24 ms	≤ 300 ms	Megfelel
Földelés (ismételt földelés / EPH-földelő, TN-C-S)	Földelési ellenállás	82 Ω	a hálózati engedélyes / tervező előírása szerint (ellenőrizendő)	Tájékoztató adat

A minősítés: **Megfelel** (a berendezés biztonságosnak tekinthető) vagy **Nem felel meg** (a hibákat fel kell tüntetni, és a berendezés csak a hibák kijavítása után helyezhető üzembe).

42.2.9. Tipikus hibák

1. **A folytonosságmérésnél túl nagy mérési áramot használunk.** Egyes folytonosságmérők nagy árammal dolgoznak, ami a védővezetőt felmelegítheti, de a gyakorlatban a cél a gyenge érintkezés kimutatása. Helyes gyakorlat: legalább 200 mA áramú mérés, de nem nagyobb a vezető terhelhetőségénél.
2. **A szigetelésmérés előtt nem kapcsoljuk le a fogyasztókat.** Ha a mérési körben elektronikus eszközök, például LED-tápegység vagy fénycső előtét van, azok alacsony ellenállást mutathatnak, vagy a vizsgálófeszültség károsíthatja őket. Helyes gyakorlat: a fogyasztókat le kell választani vagy ki kell kapcsolni.
3. **A hurokimpedancia mérést rossz ponton végezzük.** FI-vel védett körben a FI szükségképpen a hurokban van (az érintkezői a hurok részei, ez helyes), a hagyományos, nagy áramú hurokmérés viszont kioldja. Helyes gyakorlat: a mérést a védett áramkör legkedvezőtlenebb pontján, a FI utáni fázis és PE között, a műszer kioldásmentes (no-trip) üzemmódjában végezzük (ellenőrizendő: a műszer kézikönyve); alternatíva az L–N hurokmérés és a PE-folytonosság alapján számolt Z_s.

4. **A FI-vizsgálatnál csak a tesztgombot nyomjuk meg.** A tesztgomb ellenőrzi a mechanikát, de a műszeres vizsgálat a névleges hibaárammal és a kioldási idővel bizonyítja a védelmi funkciót. Helyes gyakorlat: mindkét vizsgálatot el kell végezni.

42.2.10. Önellenőrzés

Válaszolj a kérdésekre, majd nézd meg a megoldásokat.

1. Miért kell a folytonosságmérést legalább 200 mA árammal végezni?
2. A szigetelési ellenállás mérése előtt miért kell a fogyasztókat lekötni vagy kikapcsolni?
3. A hurokimpedancia mért értéke 2,9 Ω, a B16-os kismegszakító zárlati kioldó árama 80 A. Megfelel-e a mérés? (Indokold számítással!)
4. A 30 mA-es FI a fél névleges hibaáram (15 mA) hatására kioldott. Mi a teendő?
5. Miért kell a jegyzőkönyvben a mérési pontokat pontosan azonosítani?

42.2.11. Feladatok

1. feladat (A)
Sorold fel a védelmi méréseket a javasolt sorrendben, és indokold, miért ez a sorrend.

2. feladat (A)
Egy 2,5 mm² réz védővezető hossza 12 m. Számítsd ki a várható ellenállását! ($\rho = 0{,}0175\,\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

3. feladat (B)
Egy B20 kismegszakítóval védett áramkörben a hurokimpedancia 1,8 Ω. A kismegszakító zárlati kioldó árama $5 \cdot I_n$. Kiold-e a védelem? Végezd el a számítást.

4. feladat (B)
A tanműhelyi modellen a FI-vizsgálat során a 30 mA-es FI kioldási ideje 350 ms. A határérték $I_{\Delta n}$-nél általános típusnál 300 ms (S-típusnál 130–500 ms; ellenőrizendő: MSZ EN 61008-1, a műszer kézikönyve). Értékeld a mérést, és magyarázd el, mi lehet az oka.

5. feladat (C)
Egy TT-rendszerű berendezésben a földelési ellenállás 120 Ω, a hibaáram-védelem egy 30 mA-es FI. A védővezető folytonossága 28 mΩ, az L–N hurokimpedancia 0,6 Ω. Melyik hiba lehetett az oka annak, hogy a FI nem old ki a tesztgombbal? Vázold fel a hibakeresési folyamatot tünet → hipotézis → mérés → ellenőrzés lépésekkel.

6. feladat (D)
A gyakorlati útmutató alapján készíts egy saját mérési jegyzőkönyv-mintát a következő mérési eredményekkel: folytonosság 0,08 Ω, szigetelés (Fázis–N) 15 MΩ, szigetelés (Fázis–PE) 11 MΩ, hurokimpedancia 1,2 Ω (B16, határ 2,875 Ω), FI kioldási idő 45 ms (30 mA), földelési ellenállás 73 Ω (a modell TN-C-S rendszerű, ezért ez ismételt földelés / EPH-földelő tájékoztató adata, a határérték a hálózati engedélyes vagy a tervező előírása szerint ellenőrizendő). Töltsd ki a táblázatot; a földelési sort „tájékoztató adat” minősítéssel töltsd ki, a többire adj minősítést.

42.2.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. A kis mérési árammal előfordulhat, hogy egy gyenge, nagy átmeneti ellenállású kötés megfelelőnek tűnik, mert a kis áram nem hozza létre a hiba kimutatásához szükséges feszültségesést. A legalább 200 mA biztosítja a megbízható kimutatást.
2. A fogyasztók, különösen az elektronikus eszközök, a szigetelésmérés nagy vizsgálófeszültségétől megsérülhetnek, és párhuzamosan alacsony ellenállást képviselve meghamisíthatják a mérési eredményt.
3. Nem felel meg, mert a határérték $Z_{s,\max} = 230/80 = 2{,}875\,\Omega$, és a mért $2{,}9\,\Omega$ ennél nagyobb. A védelmet ellenőrizni kell, és a kötéseket, vezetékhosszakat vizsgálni. **Figyelem.** A mért értéket a gyakorlatban korrekciós tényezővel (pl. $0{,}8 \cdot 2{,}875 \approx 2{,}3\,\Omega$) vetjük össze, mert a mérés hideg vezetőn történik, zárlatkor a vezető felmelegszik, és a hálózati feszültség kisebb is lehet (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-6, a műszer kézikönyve). A 80 A a B jelleggörbe $5 \cdot I_n$ felső határa (MSZ EN 60898-1).
4. A FI hibás vagy nem megfelelően van bekötve, mert fél névleges hibaáramnál nem szabad kioldania. Azonnal vizsgáljuk a FI-t, a bekötést, és ha szükséges, cseréljük.
5. A mérési pontok azonosítása nélkül a jegyzőkönyv nem bizonyítja, hogy a védelmi funkció minden egyes fogyasztói csatlakozásnál megvalósul-e, és későbbi vita esetén nem rekonstruálható a mérés.

Feladatok megoldásai

1. feladat (A)
A sorrend: szemrevételezés és feszültségmentesítés ellenőrzése, védővezető-folytonosság, szigetelési ellenállás, hurokimpedancia, FI-vizsgálat, földelési ellenállás. A feszültségmentes méréseket először végezzük, mert azok nem igénylik a hálózati feszültséget, és a leválasztott állapot ellenőrzése a biztonságos munkavégzés alapja. A feszültség alatti méréseket utólag, a modell feszültség alá helyezése után végezzük.

2. feladat (A)
Képlet: $R = \rho \cdot l / A$. Behelyettesítés: $R = 0{,}0175 \cdot 12 / 2{,}5 = 0{,}084\,\Omega$. A várt ellenállás 84 mΩ, ami jól mérhető, és kisebb a tanulási határértéknél.

3. feladat (B)
A kismegszakító névleges árama 20 A, zárlati kioldó árama $I_a = 5 \cdot 20 = 100\,\text{A}$. Határérték: $Z_{s,\max} = 230/100 = 2{,}3\,\Omega$. A mért $1{,}8\,\Omega$ kisebb, tehát a védelem kiold a megengedett időn belül. Korrekcióval $0{,}8 \cdot 2{,}3 = 1{,}84\,\Omega$; a mért $1{,}8\,\Omega$ ennek is épp megfelel, de tartalék alig van.

4. feladat (B)
350 ms > 300 ms: **nem felel meg**, a FI cserére szorul (öregedés, mechanikai beragadás). A hurokimpedancia nem befolyásolja a kioldási időt (a műszer meghatározott áramot injektál).

5. feladat (C)
Tünet: A FI nem old ki a tesztgombbal.
Hipotézis: (1) A FI hibás mechanikailag; (2) a FI nincs feszültség alatt, mert a fázisvezető nincs bekötve; (3) a FI N-bemenete szakadt vagy nincs bekötve (a tesztkör L–N feszültséget igényel; a védővezető és a földelési ellenállás nem ok, mert a tesztgomb nem függ tőlük).
Mérés: L–N feszültségmérés a FI bemenetén és kimenetén (felügyelettel, kétpólusú vizsgálóval, jogosult személy által), majd a FI tesztgomb nyomása. A feszültségmérés megmutatja, van-e táplálás. A 28 mΩ-os PE- és a 0,6 Ω-os L–N-adat a tesztgomb működését nem befolyásolja, csak a vezetékhibát zárja ki. TT-ben a hibaáram $\approx 230\,\text{V} / 120\,\Omega \approx 1{,}9\,\text{A} \gg 30\,\text{mA}$, tehát a földelés nem akadálya a kioldásnak; $R_A \cdot I_{\Delta n} \le 50\,\text{V}$ alapján $R_A \le 1667\,\Omega$ is teljesül (ellenőrizendő: MSZ

HD 60364-4-41). A FI tesztgombja a FI belső áramkörét teszteli, a földeléstől független, tehát hálózati feszültség jelenlétében ki kell oldania. Ha nem old ki, a FI belső hibája a valószínű. A 120 Ω-os földelési ellenállás ezért a kioldás szempontjából nem ok, de a gyakorlatban ennél kisebb értékre törekszünk (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41 és a hálózati engedélyes előírása).
Ellenőrzés: Cseréljük a FI-t, majd a tesztgombbal és műszerrel is ellenőrizzük. Ha a hiba megszűnt, a diagnózis helyes volt.
Megelőzés: Rendszeres FI-teszt (havonta) a tesztgombbal, és évente műszeres vizsgálat.

6. feladat (D)
A jegyzőkönyv minta:

Mérési pont	Mérés típusa	Mért érték	Határérték	Megfelelőség
PE-sín – Fogyasztó PE	Folytonosság	0,08 Ω	≤ 0,3 Ω	Megfelel
Fázis–N	Szigetelés	15 MΩ	≥ 1 MΩ	Megfelel
Fázis–PE	Szigetelés	11 MΩ	≥ 1 MΩ	Megfelel
Konnektor 1	Hurokimpedancia	1,2 Ω	≤ 2,875 Ω	Megfelel
FI 30 mA	Kioldási idő $I_{\Delta n}$-nél	45 ms	≤ 300 ms	Megfelel
Földelés (ismételt földelés / EPH-földelő, TN-C-S)	Földelési ellenállás	73 Ω	a hálózati engedélyes / tervező előírása szerint (ellenőrizendő)	Tájékoztató adat

Minősítés: **Megfelel**. A berendezés biztonságosnak tekinthető.

42.2.13. Rövid összefoglaló

A védelmi mérések célja annak igazolása, hogy a hibavédelem és a kiegészítő védelem valóban működik. A méréseket meghatározott sorrendben végezzük: először a feszültségmentes állapotú méréseket (folytonosság, szigetelés), majd a feszültség alattiakat (hurokimpedancia, FI-vizsgálat), végül a földelési ellenállást. A mérési eredményeket mindig össze kell vetni a határértékekkel: a védővezető-folytonosság ellenállása kicsi legyen, a szigetelési ellenállás legalább 1 MΩ, a hurokimpedancia teljesítse a $Z_s \le U_0/I_a$ feltételt, a FI a névleges hibaárammal kioldjon, és a földelési ellenállás a védelmi koncepció szerint megfelelő legyen. A mérési jegyzőkönyv kitöltése során minden mérési pontot azonosítani kell, a mért értékeket, határértékeket és a minősítést rögzíteni kell. **Továbbvitt eredmény.** Az itt megtanult mérési sorrend, kiértékelési módszer és jegyzőkönyv-kitöltési gyakorlat közvetlenül felhasználható a Vizsgatérkép és számolási képletgyűjtemény alfejezetben, ahol a vizsgaképlet-gyűjtemény és a gyakorlati vizsga mérési feladatai erre épülnek. A védelmi mérések szakszerű dokumentálása a szabványossági felülvizsgálat alapja.

42.2.14. Források és ellenőrzési hiányok

- **MSZ HD 60364-6** – Kisfeszültségű villamos berendezések ellenőrzése. (A mérési sorrendre, a vizsgálati módszerekre és a határértékekre vonatkozó konkrét követelmények a szabvány aktuális kiadásában ellenőrizendők.)
- **MSZ EN 61557** – Villamos védelmi mérőműszerek. (A mérőműszerek pontossági osztályai, mérési kategóriái és használati követelményei a szabvány aktuális kiadásában ellenőrizendők.)

- **Gyártói adatlapok** – A kismegszakítók zárlati kioldó áramai, a FI-műszerek kioldási jellemzői és a mérőműszerek specifikációi típusonként eltérhetnek. (A konkrét értékeket mindig az adott gyártó aktuális dokumentációjából kell ellenőrizni.)

X. RÉSZ – Szakma, vállalkozás és vizsgafelkészülés

43 Foglalkoztatás és vállalkozás

43.1. Munkaviszony, álláskeresés és munkajog alapjai

43.1.1. Motiváció

A villanyszerelői szakma gyakorlása során nemcsak kapcsolási rajzokat kell olvasni és méréseket végezni, hanem munkát is kell vállalni. Lehetsz alkalmazott egy cégben, dolgozhatsz megbízási jogviszonyban, később pedig vállalkozást is alapíthatsz. A jogi keretek ismerete nélkül könnyen kerülhetsz hátrányos helyzetbe: nem tudod, milyen szerződést írsz alá, nem ismered a szabadságodat vagy a felmondási idődet, és nem tudod, hogyan keress munkát hatékonyan. Ez az alfejezet a munkaviszony és a munkajog alapjait tanítja meg, és segít abban, hogy magabiztosan indulj el az álláskeresésben.

43.1.2. Szemléletes kép

Képzeld el, hogy frissen megszerezted a villanyszerelő szakképesítést. Jelentkezel egy épületvillamossági kivitelező céghez, ahol a vezető azt mondja: „Gyere, bedolgozóként számlázol, úgy egyszerűbb.” Nem tudod, hogy ez mit jelent, és milyen jogokat veszítesz el. Vagy megkapsz egy munkaszerződést, tele jogi kifejezésekkel, és fogalmad sincs, mit ír alá. Ez a fejezet pontosan ezeket a helyzeteket rendezi: megtanítja, mi a munkaviszony, milyen elemei vannak a munkaszerződésnek, és hogyan készülj fel egy állásinterjúra.

43.1.3. Alapfogalmak és foglalkoztatási formák

A munkavállalásnak többféle jogi kerete lehet. A leggyakoribb a **munkaviszony**, amelyet a Munka Törvénykönyvéről szóló 2012. évi I. törvény (Mt.) szabályoz. A munkaviszony a munkáltató és a munkavállaló között jön létre, jellemzője a **függő, alárendelt munkavégzés**: a munkavállaló a munkáltató utasításai szerint, annak szervezetében dolgozik, meghatározott munkaidőben, rendszeres munkabérért.

Definíció. A munkaviszony olyan jogviszony, amelyben a munkavállaló a munkáltató irányítása és ellenőrzése alatt, személyesen, folyamatos jelleggel végez munkát, a munkáltató pedig munkabért fizet.

A munkaviszonytól meg kell különböztetni a polgári jogi (Ptk.) szerződéses formákat, és ismerni kell a munkaviszony különös formáit.

Nem munkaviszony (Ptk.):

- **Megbízási jogviszony** (Polgári Törvénykönyv, Ptk.): a megbízott egy ügy gondos ellátására vállalkozik, az eredményért nem felel; önállóan, nem alárendelten, jellemzően nem tartósan, saját eszközeivel dolgozik, nem feltétlenül személyesen. Munkajogi védelem (fizetett szabadság, felmondási védelem, munkaidő-szabályok) nem illeti meg; a társadalombiztosítási jogosultság a díjazás mértékétől függ (ellenőrizendő: Tbj. aktuális szabályai).

- **Vállalkozási szerződés** (Ptk.) – eredmény létrehozására irányul, a vállalkozó saját felelősségére és kockázatára dolgozik. Ez a forma gyakori a villanyszerelő szakmában, ha valaki egyéni vállalkozóként szerződik egy munkára. Részletesen a Vállalkozási formák, gazdálkodás, árajánlat és számla alfejezetben tárgyaljuk.

A munkaviszony különös formái (a munkavállalót ezekben is munkaviszony védi):

- **Egyszerűsített foglalkoztatás** (pl. alkalmi munka) – munkaviszony egyszerűsített bejelentéssel és korlátozott időtartammal (évente és munkáltatónként korlátozott számú napra; ellenőrizendő: az Efo. tv. aktuális napszámkorlátai és szabályai); néhány munkajogi szabály alól mentesítve.
- **Munkaerő-kölcsönzés** – a munkavállaló a kölcsönbeadóval áll munkaviszonyban, de ténylegesen a kölcsönvevőnél dolgozik (ellenőrizendő: az Mt. kölcsönzésre vonatkozó fejezete).

A villamosiparban gyakori, hogy egy kezdő szerelőt előbb megbízási szerződéssel vagy „számlás bedolgozóként” akarnak foglalkoztatni, pedig valójában munkaviszony jellegű a munkavégzés. Ezt a különbséget az alábbiakban részletesen is elemezzük.

43.1.4. A munkaszerződés elemei

A munkaviszonyt **írásba foglalt munkaszerződés** hozza létre. A törvény szerint a munkaszerződésben kötelezően meg kell határozni a feleket és a munkaviszony lényeges elemeit. A munkaszerződés elmaradása vagy hibája esetén a munkavállaló nem esik el a jogaitól, de a gyakorlatban az írott forma elengedhetetlen.

Szabály. A munkaszerződés kötelező tartalmi elemei (az Mt. szerint; ellenőrizendő):

- a munkáltató és a munkavállaló azonosító adatai,
- a munkakör megnevezése,
- az alapbér.

A törvény szerint a feleknek a munkaszerződésben kötelezően az alapbérben és a munkakörben kell megállapodniuk. A munkaviszony kezdete, időtartama, a munkavégzés helye és a munkaidő alapszabállyal pótolható (határozatlan idő, teljes munkaidő, szokásos munkavégzési hely); ezekről és a kezdő napról a munkáltató 15 napon belül írásban tájékoztat (ellenőrizendő: Mt. 45–46. §). A járulékokat jogszabály állapítja meg, nem szerződési elem.

Ezeken túl a felek megállapodhatnak egyéb feltételekben, például próbaidőben, felmondási időben, versenytilalmi megállapodásban, kikötött juttatásokban.

Próbaidő. A munkaviszony létesítésekor legfeljebb három hónap próbaidő köthető ki (kollektív szerződés eltérően is rendelkezhet). A próbaidő alatt bármelyik fél azonnali hatállyal, indokolás nélkül megszüntetheti a munkaviszonyt. Ez a munkavállalónak is rugalmasságot ad, de a munkáltató számára is lehetőséget a munkavállaló alkalmasságának felmérésére.

Munkaidő. A törvényes teljes napi munkaidő általában 8 óra (heti 40 óra). Ennél rövidebb a részmunkaidő; hosszabb csak törvényi feltételekkel (pl. készenléti jellegű munkakör). A munkaidő beosztását a munkáltató határozza meg, de a munkavállalót a beosztásról előre tájékoztatni kell. A villanyszerelői gyakorlatban gyakori a készenlét, túlóra, ami külön szabályozás alá esik (ellenőrizendő: aktuális Mt. szabályok).

Szabadság. A munkavállalónak évente alapszabadság jár (jelenleg 20 munkanap) és életkor szerinti pótszabadság, valamint egyéb pótszabadságok (pl. gyermekek után, fogyatékosság esetén). A szabadság kiadásának ütemezését a munkáltató határozza meg, de a munkavállaló kérésére

évente legalább 7 munkanapot az általa megjelölt időpontban kell kiadni (ellenőrizendő: aktuális szabály). A szabadság ki nem adott részét pénzben csak a munkaviszony megszűnésekor lehet megváltani.

Munkabér. A munkabér lehet időbér (órabér, havi bér) vagy teljesítménybér, illetve ezek kombinációja. A minimálbér és a garantált bérminimum összegét minden évben kormányrendelet határozza meg. A villanyszerelő szakmunkás minimálbére általában a garantált bérminimum kategóriájába esik, mert szakképesítést igénylő munkakör. A munkabérből a munkáltató levonja az adóelőleget és a járulékokat, a munkavállaló pedig a nettó bért kapja kézhez. A bérfizetésről bérjegyzéket kell adni.

Felmondás, megszüntetés. A munkaviszonyt megszüntetheti a munkáltató felmondással (indokolt esetben), a munkavállaló felmondással (indokolás nélkül), közös megegyezéssel, valamint azonnali hatállyal rendkívüli felmondással. A felmondási idő alapesetben 30 nap; a munkáltatónál töltött idő alapján csak munkáltatói felmondás esetén hosszabbodik, munkavállalói felmondásnál alapesetben 30 nap marad (ellenőrizendő: Mt. 69. §). A munkáltatói felmondást meg kell indokolni, és a munkavállaló jogorvoslattal élhet, ha a felmondást jogellenesnek tartja.

43.1.5. Álláskeresés, önéletrajz, interjú

A friss képesítésű villanyszerelőnek értékes tudása van a munkaerőpiacon, de csak akkor tud érvényesülni, ha megfelelően kommunikálja a képességeit. Az álláskeresés három fő lépése: önéletrajz, álláshirdetések figyelése, interjú.

Önéletrajz. A jó önéletrajz tömör, áttekinthető, és kiemeli a szakmai gyakorlatot, képesítéseket, vizsgákat, nyelvtudást, jogosítványt, speciális készségeket (pl. PLC ismeret, mérőműszer-használat). A villanyszerelői szakmában fontos feltüntetni az elvégzett tanfolyamokat, a megszerzett jogosultságokat (pl. érintésvédelmi, tűzvédelmi, elsősegélynyújtó bizonyítvány), a munkatapasztalatot, még akkor is, ha tanulóként vagy segédmunkásként szerezted. Használj strukturált formát: személyes adatok, szakmai tapasztalat, tanulmányok, egyéb készségek.

Álláshirdetések. Az álláskeresés forrásai lehetnek online állásportálok, cég honlapja, közösségi média, ismerősök, szakmai rendezvények. Érdemes célzottan keresni villanyszerelő, karbantartó, épületvillamossági szerelő, ipari szerelő, kapcsolószekrény-szerelő pozíciókat. A hirdetésben leírt követelményeket hasonlítsd össze a képességeiddel, és a jelentkezésedben reflektálj rájuk.

Interjú. A sikeres interjú alapja a felkészülés: ismerd a cég tevékenységét, a meghirdetett munkakört, gondold át, milyen kérdéseket tehetnek fel (pl. szakmai kérdések, munkatapasztalat, miért szeretnél ott dolgozni), és készíts te is kérdéseket (munkaidő, feladatok, eszközök, képzési lehetőségek). Az interjún légy pontos, öltözz tisztán, beszélj érthetően a szakmai dolgokról. A gyakorlati tudásodat konkrét példákkal támaszd alá: mit szereltél, milyen hibát hogyan javítottál, milyen méréseket végeztél.

43.1.6. Jogszabályi háttér

A munkaviszonyra vonatkozó legfontosabb jogszabály a **Munka Törvénykönyve (2012. évi I. törvény)**. Ezen kívül ide tartoznak a munkaügyi ellenőrzésre, a munkavédelemre és a foglalkoztatásra vonatkozó külön törvények, valamint a minimálbérről szóló kormányrendeletek. A jogszabályok gyakran változnak, ezért az alábbi összefoglaló oktatási célú, és nem helyettesíti a hatályos jogszabályok ismeretét.

Jogszabály. A munkaviszony szabályait a Munka Törvénykönyvéről szóló 2012. évi I. törvény tartalmazza. A munkaviszony létesítésére, a munkaszerződés tartalmára, a munkaidőre, a

szabadságra, a felmondásra, a munkabérre és a munkavállalói jogokra vonatkozó rendelkezések ebből a törvényből ismerhetők meg. A konkrét szabályok – például a minimálbér összege, a garantált bérminimum mértéke, a munkanélküliségi ellátások feltételei – időről időre változnak, ezért mindig a hatályos szabályozást kell ellenőrizni. **(ellenőrizendő: aktuális Mt. és kapcsolódó rendeletek)**

43.1.7. Valós életbeli alkalmazás

Gábor frissen végzett villanyszerelő, és egy építőipari céghez jelentkezett. A cégvezető azt javasolta, hogy „számlás bedolgozóként” dolgozzon, mert így a cégnek egyszerűbb. Gábor aláírta a vállalkozási szerződést, de valójában minden reggel a cég telephelyén vette fel a napi munkát, a cég szerszámait használta, és a főnök utasításai szerint dolgozott. Később kiderült, hogy nem jár neki fizetett szabadság, betegség esetén táppénz, és a bére is rendszertelenül érkezett. Amikor szóvá tette, a cég megszüntette a „szerződést”, mondván, hogy ő vállalkozó, nem alkalmazott.

Gábor esete tanulságos: ha a munkavégzés ténylegesen alárendelt, folyamatos és a munkáltató szervezetében történik, akkor munkaviszonyról van szó, függetlenül attól, hogy a felek vállalkozási szerződést írtak alá. Ilyen esetben a bíróság vagy a munkaügyi hatóság megállapíthatja a munkaviszony fennállását, és a munkáltató köteles pótolni a munkavállalói jogokat. Ezért fontos, hogy már a szerződés aláírása előtt tisztában legyél a foglalkoztatási formák különbségeivel.

43.1.8. Álláskeresési és önéletrajz-készítési útmutató

Az alábbi lépések segítenek abban, hogy szakszerűen készülj fel az álláskeresésre:

1. **Készítsd el az önéletrajzodat.** Gyűjtsd össze a személyes adataidat, iskolai végzettségedet, szakmai képesítéseidet, tanfolyamokat, nyelvtudást, munkatapasztalatot (akár gyakorlati időt is). Fogalmazz tömören, maximum 2 oldalban.
2. **Fogalmazd meg a motivációs levelet.** Röviden írd le, miért jelentkezel az adott pozícióra, miért érdekel a cég, és mit tudsz nyújtani.
3. **Keress állásokat.** Böngészd az állásportálokat, a cégek honlapjait, kérdezz ismerősöket, és jelentkezz a megfelelő hirdetésekre.
4. **Készülj fel az interjúra.** Nézz utána a cégnek, a munkakörnek. Gondold át a lehetséges kérdéseket és válaszokat. Készíts te is kérdéseket a munkakörülményekről, a feladatokról, a fejlődési lehetőségekről.
5. **Az interjún** légy pontos, udvarias, öltözz tisztán. Hallgasd meg a kérdéseket, válaszolj nyugodtan, konkrét példákkal.
6. **Kövesd nyomon a jelentkezéseket.** Ha nem kapsz választ, érdeklődj udvariasan. Ha visszautasítanak, kérd meg a visszajelzést, hogy fejlődhess.

Ez a módszer nemcsak pályakezdőként, hanem később is hasznos, amikor munkahelyet váltasz vagy előléptetésre pályázol.

43.1.9. Tipikus hibák

1. **Nem írják alá a munkaszerződést, csak szóban állapodnak meg.** Ez nagyon kockázatos, mert a munkavállaló nem tudja bizonyítani a feltételeket (bér, munkaidő, munkakör). Mindig kérd a szerződés írásba foglalását, és mielőtt aláírod, olvasd el.

2. **Összekeverik a munkaviszonyt a megbízási/vállalkozási jogviszonnyal.** Ha a munkavégzés alárendelt és folyamatos, akkor munkaviszony jön létre, hiába hívják a szerződést másnak. Ez jogvitához vezethet, és a munkavállaló eleshet a munkajogi védelemtől. Ismerd fel a különbséget: munkaviszony = személyes, utasítás alapján, a munkáltató eszközeivel, rendszeres bér; vállalkozás = eredmény létrehozása, saját felelősség, szabad munkavégzés.

3. **Nem tájékozódnak a munkabér-járulékokról és az adózásról.** Sok kezdő dolgozó nem tudja, mennyi lesz a nettó bére, mert nem érti az adóelőleg és járulékok levonását. Mielőtt munkát vállalsz, kérj bérkalkulációt a munkáltatótól vagy tájékozódj a NAV tájékoztatóiból.

4. **Nem használják ki a próbaidőt és a felmondási jogokat.** A próbaidő alatt a munkavállaló is indokolás nélkül, azonnali hatállyal kiléphet, ha a munka nem felel meg az elvárásainak. Ne maradj egy rossz munkahelyen csak azért, mert nem ismered a jogaidat.

5. **Hiányos önéletrajz vagy felkészületlen interjú.** Sokan nem írják bele a gyakorlati tapasztalataikat, vagy nem készülnek fel az interjúra. A villanyszerelői szakmában a konkrét munkatapasztalat (pl. lakáselosztó szerelése, motor bekötése, hibakeresés) aranyat ér, ezért emeld ki ezeket.

6. **Nem tájékozódnak a munkanélküliségi ellátásokról.** Ha megszűnik a munkaviszony, fontos tudni, milyen ellátásokra (álláskeresési járadék) lehet jogosult, és hogyan kell igényelni. A határidők és feltételek változhatnak, ezért mindig a foglalkoztatási szerv aktuális tájékoztatóját kell követni.

43.1.10. Önellenőrzés

1. **Igaz-e?** A munkaszerződést szóban is meg lehet kötni, és az ugyanolyan érvényes, mint az írásbeli.

2. **Mi a próbaidő maximális hossza a Munka Törvénykönyve szerint?**

3. **Milyen két fő foglalkoztatási forma létezik a munkaviszonyon kívül?**

4. **Sorold fel a munkaszerződés kötelező elemeit, és mondd meg, mi érvényes, ha a munkaidőről nem rendelkeznek!**

5. **Mi a különbség a munkaviszony és a vállalkozási jogviszony között?**

6. **Igaz-e?** A munkavállaló felmondásakor a felmondási idő a munkaviszony hosszával nő.

43.1.11. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel a munkaszerződés kötelező tartalmi elemeit, és mondd meg, mi érvényes, ha a munkaidőről nem rendelkeznek!

2. feladat (A). Határozd meg, mi a különbség a próbaidő alatti és a próbaidő utáni munkavállalói felmondás között!

3. feladat (B). Egy villanyszerelő július 1-jén lép munkába; éves szabadsága (alap- és pótszabadsággal) 25 munkanap. Hány nap szabadság jár neki az adott évre?

4. feladat (B). Készíts rövid vázlatot egy önéletrajzhoz a villanyszerelői álláspályázathoz: milyen fejezeteket vennél fel, és milyen konkrét szakmai tapasztalatokat emelnél ki?

5. feladat (C). Egy cég „megbízási szerződéssel” akar foglalkoztatni egy villanyszerelőt, de a munkavégzés az alábbi jellemzőket mutatja: a szerelő minden reggel 7-re jár a cég telephelyére,

a cég adja a szerszámokat, a főnök minden nap beosztja, milyen munkát végezzen, a szerelő nem dolgozhat másnak, és a fizetése havonta fix összeg. Milyen jogviszonyról van szó valójában? Milyen kockázatai vannak a szerelőre nézve, ha elfogadja a megbízási szerződést?

6. feladat (D). Álláskeresési gyakorlat: Írj egy rövid motivációs levelet (max. 10 mondat) egy villanyszerelői álláshirdetésre, amelyben az alábbi elvárások szerepelnek: „Munkakör: épületvillamossági karbantartó. Elvárások: villanyszerelő szakképesítés, B kategóriás jogosítvány, legalább 1 év gyakorlat, önálló munkavégzés.” Hivatkozz a saját képességeidre, és fogalmazd meg, miért lennél jó ebben a munkakörben.

43.1.12. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis. Bár a munkaviszony létrejöhet ráutaló magatartással is, a törvény előírja az írásba foglalást; a hiányzó írásbeli szerződés a munkavállaló hátrányára lehet, mert a feltételeket nehéz bizonyítani.
2. Alapesetben legfeljebb 3 hónap (kollektív szerződés eltérően is rendelkezhet; ellenőrizendő: aktuális Mt.).
3. Megbízási jogviszony és vállalkozási szerződés.
4. A felek adatai, az alapbér és a munkakör. Ha a szerződés a munkaidőről, a határozott/határozatlan időtartamról vagy a munkavégzés helyéről nem rendelkezik, törvényi alapszabály pótolja (határozatlan idő, teljes munkaidő, szokásos munkavégzési hely); ezekről és a kezdő napról a munkáltató 15 napon belül írásban tájékoztat (ellenőrizendő: Mt. 45–46. §).
5. Munkaviszony = alárendelt, személyes, folyamatos, munkabér; vállalkozás = eredmény, saját kockázat, szabad munkavégzés.
6. Hamis. A meghosszabbodás csak munkáltatói felmondásnál jár; munkavállalói felmondásnál alapesetben 30 nap (ellenőrizendő: Mt. 69. §).

Feladatok megoldásai

1. feladat megoldása. Kötelező: a felek adatai, az alapbér és a munkakör. Ha a szerződés a munkaidőről nem rendelkezik, teljes munkaidő érvényes (határozatlan idejű munkaviszony, szokásos munkavégzési hely); ezekről és a kezdő napról a munkáltató 15 napon belül írásban tájékoztat (ellenőrizendő: Mt. 45–46. §).

2. feladat megoldása. A próbaidő alatt a munkavállaló indokolás nélkül, azonnali hatállyal megszüntetheti a munkaviszonyt. A próbaidő után a munkavállaló felmondással élhet, amelynek van felmondási ideje (alapesetben 30 nap; a munkáltatói felmondásnál hosszabbodhat, a munkavállalóinál nem – ellenőrizendő: Mt. 69. §), és a felmondást írásban kell közölni. A munkáltatói felmondásnak indokolt jellegűnek kell lennie.

3. feladat megoldása. Az éves szabadság 25 munkanap. A júliusi belépés miatt arányosan jár: $25 \cdot 6/12 = 12{,}5$ munkanap. A fél napot elérő töredéknap egész munkanapnak számít, így **13 munkanap** (ellenőrizendő: Mt. 121. §; a szabadság kiadásának részletes szabályait az aktuális Mt. határozza meg).

4. feladat megoldása. Egy lehetséges önéletrajz-vázlat:

- Személyes adatok (név, elérhetőség, cím)
- Szakmai tapasztalat (legutóbbi munkahelytől visszafelé: kivitelező cégnél szerelő, tanulóként gyakorlat, segédmunkás)
- Végzettség, képesítések (villanyszerelő szakképesítés, érintésvédelmi tanfolyam, tűzvédelmi vizsga, elsősegélynyújtó)

- Egyéb ismeretek (B kategóriás jogosítvány, PLC alapismeret, mérőműszer-használat)
- Nyelvtudás (ha van)
- Hobbik, referenciák (ha releváns)

Kiemelendő szakmai tapasztalatok: lakáselosztó cseréje, világítási áramkörök szerelése, kapcsolószekrény-építés, hibakeresés multiméterrel, védelmi mérések.

5. feladat megoldása. A leírt körülmények egyértelműen munkaviszonyra utalnak: alárendelt munkavégzés (főnök beosztja a munkát), személyes munkavégzés (a szerelő nem küldhet mást maga helyett), a munkáltató eszközeivel, fix havi díjazás, folyamatos jelleg. Ha a felek mégis megbízási/vállalkozási szerződést kötnek, az jogellenes, és a munkavállaló elesik a munkajogi védelemtől (fizetett szabadság, felmondási védelem, túlóra-pótlék; a társadalombiztosítási jogosultság a díjazástól függ – ellenőrizendő: Tbj.). A szerelő kockázata: adó- és járulékproblémák, nincs betegszabadság, nincs fizetett szabadság, nehezebb a jogérvényesítés. Ilyen esetben a munkavállaló kérheti a munkaviszony megállapítását a munkaügyi hatóságnál.

6. feladat megoldása. Példa motivációs levélre (rövidítve):

„Tisztelt Cégvezető!

Örömmel jelentkezem az önök által meghirdetett épületvillamossági karbantartó állásra. Rendelkezem villanyszerelő szakképesítéssel, B kategóriás jogosítvánnyal, és több mint egy év gyakorlati tapasztalattal rendelkezem lakossági és ipari szerelésekben. Képes vagyok önálló munkavégzésre, hibakeresésre, elosztók szerelésére. Pontos, megbízható munkavégzésemmel szeretném hozzájárulni cégük színvonalas szolgáltatásaihoz. Mellékelten csatolom önéletrajzomat, és várom szíves visszajelzésüket.

Tisztelettel: …”

(A levél természetesen bővíthető, és a konkrét hirdetésre kell szabni.)

43.1.13. Rövid összefoglaló

Ebben az alfejezetben a munkaviszony és a munkajog alapjait tekintettük át. A munkaviszony a munkáltató és a munkavállaló közötti függő, alárendelt jogviszony, amelyet a Munka Törvénykönyve szabályoz. A munkaszerződésnek kötelező tartalmi elemei vannak, és írásba kell foglalni. Megismerkedtünk a próbaidő, a munkaidő, a szabadság, a munkabér és a felmondás alapvető szabályaival. Megkülönböztettük a munkaviszonyt a megbízási és vállalkozási jogviszonytól, hangsúlyozva, hogy ha a munkavégzés alárendelt és folyamatos, akkor munkaviszony jön létre. Az álláskereséshez és interjúhoz kapcsolódóan bemutattunk egy lépésenkénti útmutatót (önéletrajz, motivációs levél, interjúfelkészülés). A továbbvitt eredmények: a foglalkoztatási formák, a munkabér, az adózás és a járulékok fogalmi keretei közvetlenül alapozzák meg a Vállalkozási formák, gazdálkodás, árajánlat és számla alfejezetet, ahol a vállalkozóvá válás feltételeit és a számlázási szabályokat tárgyaljuk.

43.1.14. Források és ellenőrzési hiányok

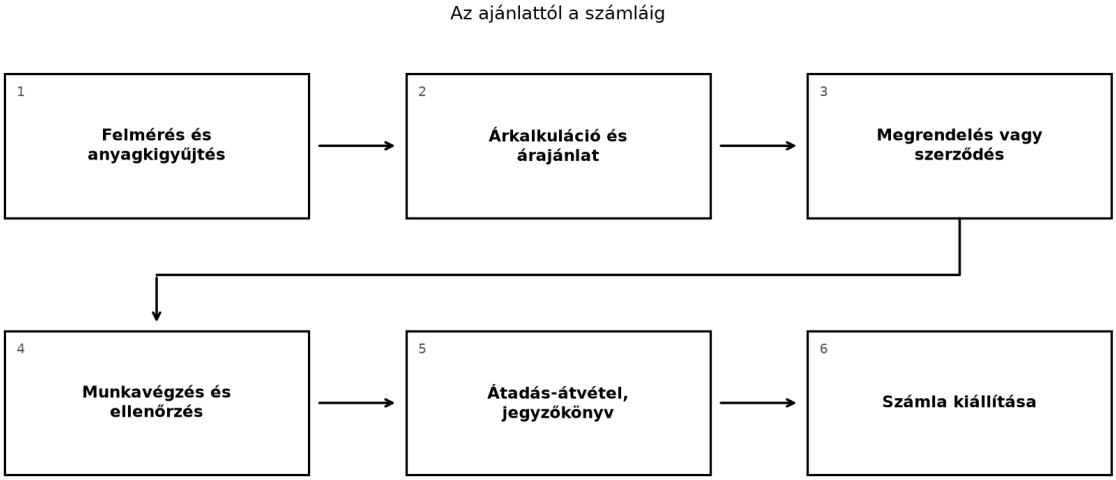
Az alfejezet a Munka Törvénykönyve (2012. évi I. törvény) általános szabályaira támaszkodik. A konkrét minimálbér, garantált bérminimum, munkanélküliségi ellátások, felmondási idő és szabadság mértéke időről időre változhat, ezért ezeket az aktuális jogszabályok és a NAV tájékoztatók alapján ellenőrizni kell. **(ellenőrizendő: aktuális Mt. és kapcsolódó rendeletek)** A könyv oktatási célú, nem helyettesíti a hivatalos jogi tanácsadást.

43.2. Vállalkozási formák, gazdálkodás, árajánlat és számla

A vállalkozói lét nem attól kezdődik, hogy valaki kiváltja a vállalkozói igazolványt, hanem attól, hogy a szerelési munka mellett az árajánlat, a költségszámítás és a számla is szakszerű. Egy villanyszerelő vállalkozás akkor működik jól, ha a szakmai minőség mellett a pénzügyi folyamat is átlátható: az ügyfél tudja, mit és miért fizet, a vállalkozó pedig látja, hogy a kalkulált ár fedezi az anyagot, a munkát, az autót, a könyvelőt, a műszereket és a tartalékot is.

43.2.1. Szemléletes kép: a munkától a számláig

Képzeld el, hogy a megrendelő felhív: a lakáselosztót ki kellene cserélni, és két új áramkört szeretne. Első lépés a felmérés, majd anyaglista és árkalkuláció készül. Az árajánlat elfogadása után szerződés vagy írásos megrendelés következik, utána a munka, a műszaki ellenőrzés, az átadás-átvétel, végül a számla. Az alábbi folyamatábra ezt a láncot mutatja.



43.1. ábra. Az ajánlattól a számláig - Egyszerűsített vállalkozói folyamat: felmérés, kalkuláció, ajánlat, megrendelés, munkavégzés, átadás, számla.

A folyamat elején a műszaki tartalom, a végén a pénzügyi elszámolás áll. Ha bármelyik lépés hiányzik vagy pontatlan, akkor a legszebb szerelés is vitához, késedelmes fizetéshez vagy veszteséghez vezethet.

43.2.2. Vállalkozási formák: mit válasszon egy villanyszerelő?

Definíció. A vállalkozási forma azt a jogi keretet jelenti, amelyben a villanyszerelő a tevékenységét végzi, szerződést köt, adózik és felelősséget visel. A három leggyakoribb forma Magyarországon az egyéni vállalkozó, a korlátolt felelősségű társaság (kft.) és ritkábban a betéti társaság (bt.).

A gyakorlati szempontok alapján a következő fő különbségek láthatók:

Szempont	Egyéni vállalkozó	Kft.	Bt.
Alapítás, adminisztráció	egyszerűbb, gyorsabb	alapító okirat, cégbíróság, több adminisztráció	cégbíróság, társasági szerződés
Felelősség	a vállalkozó teljes magánvagyonával felel	a társaság a saját vagyonával felel; a tag főszabály szerint csak a vállalt vagyoni hozzájárulás (törzsbetét) szolgáltatásáig kötelezett, a társaság tartozásaiért nem felel (ellenőrizendő: Ptk. 3:159. §)	beltag teljes vagyonával, kültag általában tőkehozzájárulásáig
Adózási lehetőség	szja vagy átalányadó, tételes adó lehet feltételekkel	társasági adó, osztalék, esetleg kiva	társasági adó
Hitelképesség, pályázat	gyengébb, banki megítélés változó	gyakran erősebb, pályázatoknál, nagyobb projekteknél előny	korlátozott
Kinek ajánlott?	önálló szakember, kisebb volumen, lakossági munka	nagyobb vállalkozás, közbeszerzés, alvállalkozói lánc, több ember	ritkán indokolt

A legtöbb kezdő, önállóan dolgozó villanyszerelő egyéni vállalkozóként indul, mert az alapítás egyszerűbb, és a könyvelés is kisebb feladat. Ha a munka már több embert, nagyobb projekteket, raktárt, hitelt vagy pályázatot igényel, akkor a kft. létrehozása gyakran a járható út. A bt. villanyszerelői tevékenységre ritkábban éri meg, mert a beltag felelőssége éppúgy teljes, mint az egyéni vállalkozóé, viszont a cégadminisztráció megmarad.

Megjegyzés. A vállalkozási forma megválasztása mellett a tevékenység feltételeit is tisztázni kell: a villanyszerelői munkához szükséges szakképesítést, nyilvántartásba vételt, kamarai tagságot, felelősségbiztosítást, valamint az adott tevékenységre vonatkozó engedélyeket mindig az adott időpontban hatályos szabályok szerint kell ellenőrizni. A konkrét feltételek a tevékenységi kör szerint eltérhetnek, ezért a célzott jogszabályi és kamarai tájékoztatók az irányadók **(ellenőrizendő: tevékenység-engedélyezési és képesítési feltételek)**.

43.2.3. Adózás alapjai és az áfa

Szabály. A vállalkozási formára, az adózásra, az áfára, a számlázásra és a jótállásra vonatkozó mindenkor hatályos magyar jogszabályok, a NAV tájékoztatói és az ágazati előírások az irányadók. Az itt bemutatott kulcsok és összeghatárok **csak tanulási példák**, nem helyettesítik az adott adóévre vagy ügyletre érvényes szabály ismeretét. A példák a **számítási módszert** mutatják, nem adótanácsot adnak.

Az adózás alapfogalmai:

- **Bevétel** (árbevétel) az az összeg, amit az ügyfél a munkáért és az anyagért fizet.

- **Költség** az az igazoltan a tevékenység érdekében felmerült kiadás, amelyet a bevételből el lehet számolni.
- **Jövedelem** a bevétel és a költség különbözete; ez az összeg képezi a jövedelemadó alapját.
- **Járulékok** a társadalombiztosítási és egyéb közterhek; ezeket a jövedelem vagy a foglalkoztatás után kell megfizetni.
- **Áfa** (általános forgalmi adó) a termék és szolgáltatás értékesítése után felszámított forgalmi adó. A vállalkozó a kiállított számlában felszámítja, a bejövő számlákban szereplő áfát pedig adott feltételekkel levonhatja.

A vállalkozó dönthet úgy, hogy **alanyi adómentes** lesz, ha az éves bevétele a mindenkori értékhatár alatt marad **(ellenőrizendő: aktuális értékhatár)**. Az alanyi mentes vállalkozó nem számít fel áfát az ügyfélnek, ugyanakkor a beszerzéseiben felszámított áfát sem vonhatja le. Ez a lakossági munkánál egyszerűbb kommunikációt tesz lehetővé, de nagyobb anyagbeszerzésnél vagy áfás megrendelőnél hátrányos lehet.

Példa. Ha egy számla nettó összege $N = 80\,000$ Ft, az áfakulcs 27%, akkor

$$\text{áfa} = N \cdot \frac{27}{100} = 80\,000 \cdot 0{,}27 = 21\,600 \text{ Ft}$$

$$\text{bruttó} = N + \text{áfa} = 80\,000 + 21\,600 = 101\,600 \text{ Ft}$$

Figyelem. Az áfakulcs mértéke és az adófizetési szabályok időben változhatnak; a példában szereplő 27% a számítási logika bemutatására szolgál, az éles számlázás előtt mindig az aktuális előírást kell ellenőrizni.

43.2.4. Árkalkuláció: anyag, munkadíj, rezsi, nyereség

Az árkalkuláció célja, hogy a vállalkozó ne csak a közvetlen anyag és a munkaórák költségét lássa, hanem minden olyan tételt, amely a vállalkozás működéséhez szükséges. A korábban megismert Anyag- és eszközkiválasztás, árajánlat alfejezetben az anyagkigyűjtés és a munkadíj szerepe már előkerült; itt ezt bővítjük teljes vállalkozói kalkulációvá.

Összefüggés. A költségalapú ár képlete:

$$C_{\text{közvetlen}} = C_{\text{anyag}} + C_{\text{segéd}} + C_{\text{munka}}$$

Ahol:

- C_{anyag} a tételes anyagköltség, például vezeték, kapcsoló, elosztó, kismegszakító,
- $C_{\text{segéd}}$ a segédanyagok, rögzítéstechnika, jelölés, kábeláthúzó anyag, veszteségi ráhagyás,
- C_{munka} a tervezett munkaórák és a nettó óradíj szorzata.

A munkadíj számítása:

$$C_{\text{munka}} = t \cdot d$$

ahol t a tervezett óraszám, d pedig a vállalkozói óradíj.

A vállalkozói óradíj nem egyenlő az alkalmazotti órabérrel. Tartalmaznia kell:

- a tulajdonos munkájának bérét,

- a társadalombiztosítási és adókötelezettségeket,
- a fizetett szabadságot, betegállást, adminisztratív napokat,
- a szerszám- és mérőműszer-kopást, kalibrálást,
- a gépjármű üzemeltetését,
- a képzést, vizsgadíjat, könyvelést, biztosítást,
- a vállalkozói kockázat egy részét.

A közvetlen költségekre rá kell számolni a **rezsiköltséget**:

$$R = r \cdot C_{\text{közvetlen}}$$

A rezsi százalékértékét minden vállalkozás a saját éves költségeiből, tapasztalataiból képzi. Jellemző tételei az iroda, telefon, internet, könyvelő, bankköltség, autó, tárolóhely, munkaruha, biztosítás.

A **nyereség** a vállalkozás fejlődését, tartalékát és a tulajdonosi hozamot fedezi:

$$P = p \cdot (C_{\text{közvetlen}} + R)$$

A **nettó ajánlati árat** ezután így számolhatjuk:

$$A_{\text{nettó}} = C_{\text{közvetlen}} + R + P$$

A **bruttó ajánlati árhoz** pedig hozzáadjuk az áfát:

$$A_{\text{bruttó}} = A_{\text{nettó}} \cdot \left(1 + \frac{\text{áfakulcs}}{100}\right)$$

A százalékok csak példák; minden vállalkozásnak a saját helyzetére kell hangolnia őket. A fontos, hogy a kalkuláció minden lényeges tételt számszerűsítsen.

43.2.4.1. Kidolgozott példa: lakáselosztó-csere árkalkulációja

Számítás. Egy vállalkozó lakáselosztó-cserére készít ajánlatot. A tételes anyaglista nettó összege 120 000 Ft, a segédanyagot 10%-kal számolja, a tervezett munkaidő 16 óra, a vállalkozói óradíj 6 000 Ft/h, a rezsi 12%, a nyereség 8%.

1. **Anyagköltség:**

$$C_{\text{anyag}} = 120\,000 \text{ Ft}$$

2. **Segédanyag:**

$$C_{\text{segéd}} = 0{,}10 \cdot 120\,000 = 12\,000 \text{ Ft}$$

3. **Munkadíj:**

$$C_{\text{munka}} = 16 \text{ h} \cdot 6\,000 \text{ Ft/h} = 96\,000 \text{ Ft}$$

4. **Közvetlen költség:**

$$C_{\text{közvetlen}} = 120\,000 + 12\,000 + 96\,000 = 228\,000 \text{ Ft}$$

5. **Rezsi:**

$$R = 0{,}12 \cdot 228\,000 = 27\,360 \text{ Ft}$$

6. **Nyereség:**

Az alap a közvetlen költség és a rezsi összege:

$$C_{\text{közvetlen}} + R = 228\,000 + 27\,360 = 255\,360 \text{ Ft}$$

$$P = 0{,}08 \cdot 255\,360 = 20\,429 \text{ Ft}$$

7. **Nettó ajánlati ár:**

$$A_{\text{nettó}} = 228\,000 + 27\,360 + 20\,429 = 275\,789 \text{ Ft}$$

A kalkulált összeget a vállalkozó célszerűen felfelé kerekíti, például 276 000 Ft nettó ajánlati árra. Ha áfás számlát ad, akkor 27% áfakulccsal számolva:

$$\text{áfa} = 276\,000 \cdot 0{,}27 = 74\,520 \text{ Ft}$$

$$A_{\text{bruttó}} = 276\,000 + 74\,520 = 350\,520 \text{ Ft}$$

Ellenőrzés. Visszafelé számolva a bruttóból a nettó $350\,520/1{,}27 \approx 276\,000$ Ft, tehát az áfa és a nettó összeg együtt helyes. A munkadíj $16 \cdot 6\,000 = 96\,000$ Ft külön is látszik; a végső ár nagyságrendje a feladathoz képest reális tanulási példa.

43.2.5. Árajánlat, szerződés és a vállalkozói feltételek

Definíció. Az árajánlat olyan írásos, tételes ajánlat, amely a leendő megrendelő számára rögzíti a munka műszaki tartalmát, az anyag- és munkadíjat, a fizetési feltételeket, a határidőt és az érvényességi időt. Az ajánlat nem számla, és nem feltétlenül szerződés; a megrendelő elfogadó nyilatkozata, illetve az aláírt vállalkozási szerződés hozza létre a kölcsönös kötelezettségeket.

Szabály. Az árajánlatnak és a szerződésnek olyan nyelvezetet kell használnia, amely az ügyfél számára is érthetően lehatárolja a teljesítendő feladatot. A konkrét jogi követelményeket – így a vállalkozási szerződés szabályait, a fogyasztóvédelmi előírásokat, az elállási és szavatossági jogokat – a mindenkor hatályos magyar jogszabályok tartalmazzák **(ellenőrizendő: Ptk. és fogyasztóvédelmi előírások)**.

A jó árajánlat minimális tartalma:

- a vállalkozó neve, székhelye, adószáma, elérhetősége,
- a megrendelő neve, címe,

- a munkavégzés helyszíne,
- a munka pontos műszaki leírása, felhasznált anyagok tételes listája,
- a vállalt határidő vagy ütemezés,
- a nettó munkadíj, anyagdíj, rezsi, egyéb költségek,
- az áfa feltüntetése, ha az adott vállalkozó áfás,
- a fizetési ütemezés, előleg vagy részteljesítés feltételei,
- az ajánlat érvényességi ideje,
- a nem vállalt munkák, kizárások, például „a meglévő szerelvények esztétikai javítása nem része a munkának”,
- a jótállás vagy szavatossági vállalás megfogalmazása.

A villanyszerelői munkánál az is előfordul, hogy a felmérés után a fal, a régi vezeték vagy az elosztó állapota eltér a tervtől. Ilyenkor a szerződésben érdemes rögzíteni, hogy a **pótmunka** milyen módon kerül elszámolásra, például a feltárt többletmunkát írásos jóváhagyás után óradíjas alapon végzik el.

43.2.6. Számla

Definíció. A számla olyan számviteli bizonylat, amely egy értékesítés vagy szolgáltatás ellenértékét igazolja. A számla jogilag meghatározott adattartalommal bír, és a kiállítása után a vállalkozó adóbevallási, adatszolgáltatási kötelezettsége keletkezhet.

Szabály. A számla kötelező tartalma jellemzően a következők (a pontos formátumot a mindenkor hatályos áfa- és számviteli előírások határozzák meg; **ellenőrizendő: NAV számla-adatszolgáltatási és adattartalmi előírások**):

- a számla sorszáma,
- a kiállítás kelte,
- a teljesítés időpontja,
- a kibocsátó neve, címe, adószáma,
- a vevő neve, címe (és adószáma, ha belföldi adóalany vagy jogszabály előírja),
- a termék vagy szolgáltatás megnevezése, mennyisége, egységára,
- az adóalap, az áfakulcs, az áfa összege,
- a számla végösszege (nettó, áfa, bruttó),
- a fizetés módja és határideje (szokásos, de nem minden esetben kötelező elem; ellenőrizendő).

Megjegyzés. Alvállalkozóként végzett építési-szerelési munkánál meghatározott feltételekkel fordított adózás alkalmazandó: a számlán nincs áfa, a „fordított adózás” szöveg szerepel (ellenőrizendő: Áfa tv., NAV tájékoztató).

A villanyszerelői gyakorlatban a számlán a **beépített anyagot** és a **munkadíjat** külön soron vagy tételesen érdemes feltüntetni. Ez fontos az ügyfélnek, a könyvelőnek és az esetleges későbbi reklamáció kezelésénél is.

Példa: tételes műszaki számla szerkezete.

A vállalkozó egy kisebb aljzatbővítést végzett el:

- anyag: 3 db villanyszerelési doboz és szerelvény, nettó összesen 46 000 Ft,
- munkadíj: 3 munkaóra $\cdot 7\,500$ Ft/h $= 22\,500$ Ft,
- nettó összesen:

$$N = 46\,000 + 22\,500 = 68\,500 \text{ Ft}$$

- áfa 27%:

$$\text{áfa} = 68\,500 \cdot 0{,}27 = 18\,495 \text{ Ft}$$

- bruttó:

$$68\,500 + 18\,495 = 86\,995 \text{ Ft}$$

Megjegyzés. Az áfatartalom és a tételes bontás a gyakorlatban a számlázóprogramban automatikusan is készülhet. A cél az, hogy a vállalkozó szemmel tudja ellenőrizni a program által számított értékeket, mert a tizedesvessző, az áfakulcs vagy a mennyiség elütése azonnal látszik az ilyen egyszerű visszaszámolásban.

43.2.7. Jótállás, garancia és felelősség

Fogalom. A **kellékszavatosság** azt jelenti, hogy a vállalkozó a munka hibás teljesítéséért a jogszabályban meghatározott módon felel. A **jótállás** ezen túlmenő, jellemzően időtartamban meghatározott kötelezettség, amelyet jogszabály vagy szerződés írhat elő. A hétköznapi nyelvben a kettő gyakran összefolyik, ezért a vállalkozói ajánlatban érdemes pontosan megírni, milyen időtartamra és milyen hibákra vállal felelősséget a szerelő.

A villanyszerelői munkánál a szerelő a saját kivitelezéséért felel. A beépített készülékekre, például kismegszakítóra, áram-védőkapcsolóra, lámpára, frekvenciaváltóra elsősorban a gyártó adhat termékgaranciát. A jótállási viták akkor kerülhetők el, ha már az ajánlatban rögzítik:

- meddig terjed a munkára vállalt jótállás,
- mi történik a gyártói garanciás termékkel,
- mit nem tartalmaz a vállalás, például az ügyfél által okozott rongálás vagy idegen kivitelező beavatkozása,
- hogyan kell a hibát bejelenteni.

43.2.8. Valós életbeli alkalmazás

Egy egyéni vállalkozó egy régi lakáselosztó cseréjére adott fix áras ajánlatot. A felméréskor a lakás csillárkapcsolásai rendezettnek tűntek, de a bontás után kiderült, hogy az alumínium vezetékek szigetelése több helyen törékeny, és a falon belüli csatlakozókat is javítani kell. A szerelő a szerződésben rögzítette, hogy a feltárt többletmunkát óradíjas elszámolással, írásos jóváhagyás után végzi el. Az ügyfél elfogadta az óradíjat, a szerelő pedig a többletmunkáról külön munkalapot készített, fényképekkel dokumentálta a feltárt hibát, és csak ezután folytatta a szerelést. A számlán a vállalt alapmunka és a jóváhagyott pótmunka külön soron szerepelt. Így a fizetés is rendezett volt, és nem a kész átadáskor derült ki a vita a többletköltségről.

Tanulság. A pontos szerződés és a pótmunka írásos jóváhagyása nem udvariatlanság, hanem a szakmai munka része. Ez a dokumentáció később az Ügyfélkapcsolat, PR, szakmai etika és garancia alfejezetben is visszaköszön: az átlátható ajánlat és a jóváhagyott pótmunka az ügyfélbizalom alapja.

43.2.9. Gyakorlati útmutató: árajánlat-készítési ellenőrzőlista

Recept. A következő lépéssor az árajánlat és a számla előkészítését segíti. A vállalkozási döntéseknél a tényleges adó- és jogszabályi feltételeket külön ellenőrizni kell.

1. **Felmérés pontosítása.** Mérés, fényképezés, a meglévő hálózat, védőcső, anyagok, csatlakozási feltételek rögzítése.
2. **Anyag- és eszközkigyűjtés.** Tételes anyaglista készítése, a mennyiséghez hozzáadva a ráhagyást és a segédanyagokat.
3. **Idő- és munkadíj-számítás.** A műveletek óraigényének becslése, a vállalkozói óradíj meghatározása.
4. **Rezsi és nyereség kalkulálása.** A vállalkozás éves költségeiből képzett százalékok alkalmazása.
5. **Kockázati tétel beépítése.** Rejtett hibák, anyagáremelkedés, időjárás, pótmunka kockázatának figyelembevétele.
6. **Ajánlat megírása.** Tételes, számszerű, kizárásokat és feltételeket tartalmazó ajánlat készítése.
7. **Megrendelés vagy szerződés rögzítése.** A munka tartalmának és a pótmunka elszámolásának írásos lezárása.
8. **Munkavégzés és dokumentálás.** Fényképek, mérési jegyzőkönyv, beépített anyagok kimutatása.
9. **Átadás-átvétel.** Ügyfél tájékoztatása, esetleges hiányok lezárása.
10. **Számla kiállítása.** A teljesítés adatainak és a tételes ellenértéknek a rögzítése.

Ellenőrzési pont. Mielőtt a számlát kiállítod, nézd át: stimmel-e a teljesítési idő, a mennyiség, az egységár, a nettó adóalap, az áfakulcs és a bruttó összeg? Ha a vevő nem áfás magánszemély, a számlán akkor is a vállalkozó adózási státuszának megfelelően kell az áfát feltüntetni vagy éppen nem feltüntetni.

43.2.10. Tipikus hibák

1. **Az óradíjat az alkalmazotti órabérrel azonosítja.** A vállalkozói óradíjnak fedeznie kell a járulékokat, szabadságot, autót, könyvelőt, szerszámkopást és a bizonytalan időszakokat is. Ellenkező esetben a vállalkozás forgalma nő, de a tulajdonos mégis folyamatosan lemarad.
2. **Nem rögzíti a pótmunkát.** A szóbeli „majd megbeszéljük” a műszaki munka során könnyen vitához vezet. A helyes gyakorlat az írásos jóváhagyás, munkalap és fényképes dokumentálás.
3. **Az árajánlatból kimarad az érvényességi idő és a kizárások.** Ezáltal a megrendelő hónapokkal később is hivatkozhat a régi árra, vagy olyan munkát is beleért, amelyet a szerelő nem vállalt.
4. **Az áfát tévesen kezeli.** Az alanyi mentes vállalkozó áfás számlát ad, vagy áfás vállalkozó nem tünteti fel az áfát. Ez nemcsak az ügyféllel szemben hibás, hanem adóhiányt is okozhat.
5. **A számla hiányos.** A teljesítési idő, a tételes megnevezés vagy a mennyiség hiányában a számla nem töltheti be bizonylati szerepét, és garanciális vitában sem támasztja alá a munkát.
6. **A jótállást csak szóban ígéri.** A „mindenre garancia van” kijelentés helyett rögzíteni kell, mire, mennyi ideig, milyen feltételekkel vonatkozik.

43.2.11. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? Az egyéni vállalkozó a vállalkozási tevékenységéért soha nem felel a magánvagyonával, mert a felelősség mindig a társaságra korlátozódik.
2. Igaz vagy hamis? Az alanyi adómentes villanyszerelő a műszaki szerelési munka után is köteles áfát felszámítani a számlában.
3. Egy munkánál az anyagköltség nettó 150 000 Ft, a segédanyag 10%, a munkadíj 12 óra ·5 500 Ft/h, a rezsi 10%, a nyereség 8%. Mennyi a nettó közvetlen költség, és mennyi a kalkulált nettó ajánlati ár a rezsi és nyereség után?
4. Egy áfás számla nettó összege 92 000 Ft, az áfakulcs 27%. Mennyi az áfa és a bruttó?
5. Mi a hiba abban a számlában, amelyben a munkadíj soron csak annyi szerepel: „szerelési munka: 120 000 Ft”, és sem a teljesítés napja, sem az anyag- és munkadíj bontása nincs feltüntetve?
6. Miért fontos az árajánlatban rögzíteni a pótmunka elszámolásának módját?

43.2.12. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel az árajánlat minimálisan elvárt adattartalmából legalább öt elemet.

2. feladat (A). Egy vállalkozó nettó 75 000 Ft értékű anyagot és 9 000 Ft segédanyagot használ fel, a munkadíj 8 óra ·6 200 Ft/h. Számold ki a közvetlen költséget.

3. feladat (B). Az előző feladat adataiból kiindulva a rezsi 15%, a nyereség 7%. Add meg a kalkulált nettó ajánlati árat, majd 27% áfakulccsal a bruttó árat.

4. feladat (B). Egy áfás számlán a vevő nettó anyagdíjat 58 000 Ft, nettó munkadíjat 31 000 Ft, áfát 24 030 Ft, bruttót 113 030 Ft talál. Ellenőrizd, helyes-e az áfaösszeg 27%-os kulccsal. Ha hibás, mennyi lenne a helyes áfa és bruttó?

5. feladat (C). Egy vállalkozó éves rezsiköltsége 1 800 000 Ft, az éves tervezett számlázható munkaórák száma 1 000 óra. A tulajdonos havi nettó bérszerű jövedelemigénye 350 000 Ft; ezen felül az adó- és járulékterheit óvatos becsléssel 30%-kal kell számolni. Határozd meg, hogy mekkora óradíjjal induljon a vállalkozó ahhoz, hogy ezt a két tételt fedezze, ha a jövedelemigényt 12 hónapra kell fedeznie (a szabadság és betegállás is az óradíjból térül meg).

6. feladat (D). Készíts írásos árkalkulációt és fiktív számlatervet egy kétszobás lakás villanyszerelési felújítására. A műszaki tartalom: 5 db új aljzatkör, 3 db világítási kapcsolás, 1 db elosztócsere 6 kismegszakítóval és 2 áram-védőkapcsolóval. Az anyagköltségeket becsüld meg példaárakon, a munkadíjat 18 óra és 6 500 Ft/h fajlagos óradíj alapján számold. Jelöld a rezsit 12%-kal, a nyereséget 8%-kal, majd add meg a nettó ajánlati árat és a bruttó árat 27% áfával.

43.2.13. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Hamis: az egyéni vállalkozó teljes magánvagyonával felel.
2. Hamis: az alanyi adómentes vállalkozó nem számít fel áfát.
3. Közvetlen költség: $150\,000 + 15\,000 + 12 \cdot 5\,500 = 231\,000$ Ft; rezsi 10%: 23 100 Ft; nyereség: $0{,}08 \cdot 254\,100 = 20\,328$ Ft; nettó ajánlati ár 274 428 Ft ($\approx$ 274 500 Ft).
4. Áfa: $92\,000 \cdot 0{,}27 = 24\,840$ Ft; bruttó: 116 840 Ft.
5. Hiányzik a teljesítés időpontja és az anyag-/munkadíj tételes bontása, így a számla nem tölti be bizonylati szerepét, és reklamációnál nem támasztja alá a munkát.

6. A pótmunka elszámolási módjának rögzítése megelőzi a vitát arról, mi tartozik az eredeti ajánlathoz és mi számít külön díjazandó többletmunkának.

Feladatok megoldásai

1. feladat. A felsorolandó elemek közé tartozik: a vállalkozó és a megrendelő adatai, a munkavégzés helyszíne, a munka műszaki tartalma, a tételes anyaglista, a munkadíj, az áfa, a fizetési ütemezés, a határidő és az érvényességi idő.

2. feladat.

$$C_{\text{anyag}} = 75\,000 \text{ Ft}$$

$$C_{\text{segéd}} = 9\,000 \text{ Ft}$$

$$C_{\text{munka}} = 8 \text{ h} \cdot 6\,200 \text{ Ft/h} = 49\,600 \text{ Ft}$$

$$C_{\text{közvetlen}} = 75\,000 + 9\,000 + 49\,600 = 133\,600 \text{ Ft}$$

3. feladat.

$$R = 0{,}15 \cdot 133\,600 = 20\,040 \text{ Ft}$$

$$C_{\text{közvetlen}} + R = 133\,600 + 20\,040 = 153\,640 \text{ Ft}$$

$$P = 0{,}07 \cdot 153\,640 = 10\,755 \text{ Ft}$$

$$A_{\text{nettó}} = 133\,600 + 20\,040 + 10\,755 = 164\,395 \text{ Ft}$$

Kerekítve 164 400 Ft. Áfa:

$$164\,400 \cdot 0{,}27 = 44\,388 \text{ Ft}$$

$$A_{\text{bruttó}} = 164\,400 + 44\,388 = 208\,788 \text{ Ft}$$

4. feladat. A nettó összeg:

$$58\,000 + 31\,000 = 89\,000 \text{ Ft}$$

A helyes áfa:

$$89\,000 \cdot 0{,}27 = 24\,030 \text{ Ft}$$

A megadott áfa helyes. A bruttó:

$$89\,000 + 24\,030 = 113\,030 \text{ Ft}$$

Tehát a számla adatai 27% áfakulccsal rendben vannak.

5. feladat. A tulajdonosnak 12 hónapig kell megélnie, a szabadság és a betegállás idejére is; ezt az időt nem lehet kiszámlázni, ezért szerepel a feladatban csak 1000 számlázható óra. A havi jövedelemigény éves szinten:

$$350\,000 \cdot 12 = 4\,200\,000 \text{ Ft}$$

Az adó- és járulékteher (tanulási feltevés, 30%; a valós közteher ennél nagyobb lehet – ellenőrizendő: aktuális szja/járulék/szocho):

$$0{,}30 \cdot 4\,200\,000 = 1\,260\,000 \text{ Ft}$$

A rezsi: 1 800 000 Ft. A fedezendő összeg:

$$4\,200\,000 + 1\,260\,000 + 1\,800\,000 = 7\,260\,000 \text{ Ft}$$

A minimális fedezeti óradíj:

$$\frac{7\,260\,000}{1\,000} = 7\,260 \text{ Ft/h}$$

Ezért a vállalkozónak legalább ennyit kellene érvényesítenie az óradíjban; a gyakorlatban még tartalékot, nyereséget, anyagbeszerzési kockázatot és kihasználatlanságot is hozzá kell gondolnia.

6. feladat. A feladat megoldásához saját árkalkuláció készítése szükséges. Egy lehetséges becslés:

Tétel	Nettó összeg
Aljzatkörök anyaga, védőcső, vezeték, szerelvény	90 000 Ft
Világítási kapcsolások anyaga	45 000 Ft
Elosztó, kismegszakítók, áram-védőkapcsolók	105 000 Ft
Segédanyag	24 000 Ft
Munkadíj: 18 h · 6 500 Ft/h	117 000 Ft

Közvetlen költség:

$$90\,000 + 45\,000 + 105\,000 + 24\,000 + 117\,000 = 381\,000 \text{ Ft}$$

Rezsi:

$$0{,}12 \cdot 381\,000 = 45\,720 \text{ Ft}$$

Nyereség:

$$0{,}08 \cdot (381\,000 + 45\,720) = 0{,}08 \cdot 426\,720 = 34\,138 \text{ Ft}$$

Nettó ajánlati ár:

$$381\,000 + 45\,720 + 34\,138 = 460\,858 \text{ Ft}$$

Kerekítve 461 000 Ft. Áfa 27%:

$$461\,000 \cdot 0{,}27 = 124\,470 \text{ Ft}$$

Bruttó:

$$461\,000 + 124\,470 = 585\,470 \text{ Ft}$$

Megjegyzés. Az anyag- és munkadíjak tanulási példák; éles ajánlatnál a tényleges beszerzési árakat, a gyártói adatlapokat és az adott település szerinti fajlagos munkadíjakat kell használni.

43.2.14. Rövid összefoglaló

A vállalkozási forma megválasztása a felelősség, az adminisztráció, az adózás és a pályázati lehetőségek együttes mérlegelését jelenti. A kezdő villanyszerelő leggyakrabban egyéni vállalkozóként indul, míg a nagyobb szervezetet, több embert és nagyobb projekteket igénylő munka esetén a kft. a jellemző forma. Az árkalkuláció a közvetlen anyag, segédanyag és munkadíj összegéből indul; ehhez járul a rezsi, majd a nyereség. A nettó ajánlati árhoz az áfa hozzáadásával kapjuk a bruttó árat. Az árajánlat akkor használható, ha tételes, tartalmazza a műszaki tartalmat, a feltételeket, a kizárásokat, a fizetési ütemezést, a határidőt és az érvényességi időt. A számla a teljesítés ellenértékét igazoló szigorú bizonylat, amelynek sorszámot, keltezést, teljesítési időt, felek adatait, tételes megnevezést, adóalapot, áfát és bruttó összeget kell tartalmaznia. **Továbbvitt eredmény.** Az itt megismert forma-választási szempontokat, árkalkulációt, ajánlat- és számlaszerkezetet az Ügyfélkapcsolat, PR, szakmai etika és garancia alfejezetben használjuk fel: a tételes, érthető ajánlat és a pontos számla a bizalmi kapcsolat és a reklamációkezelés alapja.

43.2.15. Források és ellenőrzési hiányok

A fejezet jogi és adózási keretét a magyar jogszabályok, a NAV tájékoztatói és a vállalkozás alapítására vonatkozó cégjogi előírások adják. A források kiindulópontjai: a net.jogtar.hu és a nav.gov.hu **(ellenőrizendő: hatályos jogszabályok, adómértékek, számla-adattartalom, jótállási és szavatossági szabályok)**. A példabeli anyagárak, munkadíjak, áfakulcs, rezsi- és nyereségszázalékok tanulási értékek, nem kivitelezői vagy adótanácsadói előírások; az éles vállalkozói döntés előtt az aktuális adatokat mindig ellenőrizni kell.

43.3. Ügyfélkapcsolat, PR, szakmai etika és garancia

Egy villanyszerelő munkája két lábon áll: a szaktudáson és a bizalmon. Az ügyfél nem a kapcsolási rajzot nézi, hanem azt, hogy időben érkeztél-e, érthetően elmagyaráztad-e, mit csinálsz, betartottad-e, amit ígértél, és ha valami hiba van, vállalod-e a felelősséget. Ez az alfejezet ezt a vállalkozói oldalt tanítja meg, gyakorlati példákon és felelős magatartáson keresztül.

43.3.1. Ügyfélkommunikáció és árajánlat-megbeszélés

A villanyszerelő leggyakoribb kommunikációs helyzetei: telefonhívás, helyszíni felmérés, árajánlat megbeszélése, munka közbeni tájékoztatás, átadás és reklamációkezelés. Mindegyikben ugyanaz a cél: **a megrendelő pontosan tudja, mit kap, mennyiért, milyen határidővel, és milyen feltételekkel.**

Szabály. Minden lényeges megállapodást írásban rögzíts. A szóbeli ígéret nem bizonyítható, és félreértéshez vezet. Írásbeli lehet az árajánlat, a megrendelő visszaigazolás, az e-mail vagy akár egy SMS, de a legjobb egy aláírt vállalkozási szerződés vagy megrendelő lap.

Az árajánlat-megbeszélés lépései:

1. **Helyszíni felmérés**: ne adj fix árat anélkül, hogy látnád a munkaterületet. A felmérés során azonosítod a meglévő hálózat állapotát, a szerelési módot, a szükséges anyagokat és a munkavédelmi kockázatokat.
2. **Ajánlatkészítés**: írásban, tételesen. Tartalmazza az elvégzendő munkát, az anyagköltséget, a munkadíjat, a fizetési feltételeket, a határidőt, a garancia feltételeit, és hogy az ár mire nem vonatkozik (pl. csatlakozási díj, hálózati engedélyes eljárás).
3. **Átbeszélés**: egyszerű, közérthető nyelven magyarázd el a műszaki tartalmat. Ha a megrendelő nem érti, miért kell például új vezetéket húzni, rajzolj vagy mutass rajzot, és kösd össze a biztonsággal.
4. **Változáskezelés**: ha a munka közben derül ki, hogy több anyag vagy munka szükséges, ezt azonnal jelezd írásban, és csak a megrendelő jóváhagyása után dolgozz tovább. Az "utólag majd meglátjuk" a leggyakoribb viták forrása.

Példa. A megrendelő telefonon kérdezi, mennyibe kerül egy lakáselosztó cseréje. Helyes válasz: „A pontos árat felmérés után tudom megmondani, mert a meglévő vezetékezés állapotától, a szerelvények számától és a szabványosságtól függ. Mikor tudok elmenni megnézni?" Ezzel nem ígérsz lehetetlent, és időpontot adsz.

43.3.2. Hirdetés, honlap, vélemények

A vállalkozás hírneve ma már online dől el. A legalapvetőbb marketing egy jól kitöltött Google Céges profil, egy egyszerű honlap vagy Facebook-oldal, valamint a járművön és névjegyen szereplő elérhetőség.

Szabály. Csak igaz, ellenőrizhető állításokat tegyél közzé. Tilos olyan munkát hirdetni, amelyre nincs jogosultságod, vagy amelyhez nincs megfelelő eszközöd. A „minden villanyszerelést vállalok" ígéret félrevezető, ha például nincs megfelelő mérőműszered a szabványossági felülvizsgálathoz.

A honlapon tüntesd fel: - a tevékenységi körödet (pl. lakossági szerelések, elosztó csere, gépbekötés), - a jogosultságodat (pl. szerelői regisztráció, végzettség), - a szolgáltatási területet, - az elérhetőséget és az árajánlatkérést, - referenciákat, de csak az ügyfél hozzájárulásával, a GDPR betartásával.

A vélemények kérése és kezelése: - Kérj visszajelzést elégedett ügyféltől, lehetőleg a munka átadása után pár nappal. - Ha negatív vélemény érkezik, ne minősítsd az ügyfelet, ne vitatkozz nyilvánosan, hanem tárgyszerűen válaszolj: „Köszönjük a jelzést, keressük fel személyesen, hogy megoldjuk." Ez más olvasók számára is a felelősségvállalást mutatja. - Soha ne írass magadnak hamis pozitív értékelést, és ne próbáld meg töröltetni a jogos kritikát.

43.3.3. Szakmai etika: ami nem engedhető meg

A szakmai etika nem csak „udvariasság”: a villanyszerelő munkája életbiztonságot érint. Ezért vannak olyan gyakorlatok, amelyek nem megengedhetők, és nem is tárgyalási alapok.

Tilos. 1. **Feketemunka, számla nélküli munka.** Aki számla nélkül vállal munkát, az adót csal, kijátssza a versenytársakat, és megfosztja a megrendelőt a garanciális jogok bizonyíthatóságától. Ha a munka hibás, a megrendelőnek nincs hivatalos irata, amire hivatkozhat. 2. **Hamis jegyzőkönyv, hamis szabványossági nyilatkozat.** Tilos olyan munkát leigazolni, amelyet nem te végeztél el, vagy amely nem felelt meg a szabványoknak. Az ilyen dokumentum baleset esetén büntetőjogi felelősséget hoz, és a valódi hibát elrejti. 3. **Védelmek kiiktatása vagy áthidalása.** A kismegszakító, az áram-védőkapcsoló (FI) vagy a védővezető elhagyása, illetve a gyártói védelmek megkerülése tilos, még akkor is, ha az ügyfél kéri, mert „nem akar leoldást”. Ez életveszélyes, és a szerelő felelőssége nem hárítható át az ügyfélre. 4. **Nem megfelelő anyagok, hamisított termékek.** A jelöletlen, nem szabványos vagy hamisított anyag beépítése tűz- és balesetveszélyes. A szerelő felelőssége, hogy csak megbízható, tanúsított anyagot építsen be. 5. **Megvesztegetés, „borravaló a hivatalnak”.** A hálózati engedélyes, hatóság vagy felülvizsgáló befolyásolása tilos, és a korrupció bűncselekmény.

Ezek a tiltások nem a szerelőt védik, hanem az ügyfelet, a közösséget és magát a szakmát. Aki ezeket megszegi, elveszíti a hírnevét, és adott esetben a szabadságát is.

43.3.4. Garancia, jótállás, felelősség

A mindennapi beszédben a „garancia” a jótállás köznyelvi neve; a szavatosság ettől jogilag különálló fogalom.

Definíció. - **Szavatosság**: a hibás teljesítésért való helytállás a Polgári Törvénykönyv szerint. A szolgáltatót terheli, ha a munka hibás, például rossz kötés, nem megfelelő vezeték, nem szabványos szerelés. - **Jótállás** (köznyelvben: garancia): szerződésben önként vállalt vagy jogszabály által előírt (kötelező) helytállás meghatározott időre; a jótállás alatt a vállalkozónak kell bizonyítania, hogy a hiba oka a teljesítés után keletkezett (ellenőrizendő: Ptk. 6:171. §, a kötelező jótállásról szóló kormányrendeletek; építési-szerelési munkára vonatkozó külön kötelező jótállási szabály meglétét is ellenőrizd). - **Kötelező jótállás**: jogszabály írja elő, főként fogyasztói szerződéseknél, egyes termékeknél. - **Önkéntes jótállás**: a kivitelező vállalhat például 2 év jótállást („garanciát”) a munkájára, de ezt célszerű írásban rögzíteni.

Példa. Ha a villanyszerelő beszerel egy aljzatot, és az egy hónap múlva nem működik, az a szavatossági eset, mert a munka hibás. Ha a gyártó által adott jótállás lejárta előtt maga az aljzat hibásodik meg, akkor a gyártói jótállás alapján cserélik, de a szerelőnek is közre kell működnie a bejelentésben. Ha a szerelő a saját garanciájában vállalta, hogy 1 évig minden problémát ingyen javít, akkor ez önkéntes jótállás („szerződéses garancia”).

A felelősség azt jelenti: a szerelő anyagi és jogi felelősséggel tartozik az általa okozott kárért. Ezért kell dokumentálni: - a munkafolyamatot (fényképek, jegyzőkönyvek), - az átadás-átvételt (aláírt jegyzőkönyv, amely rögzíti, mit végeztek el), - a mérési jegyzőkönyvet (szigetelés, hurokimpedancia, FI-vizsgálat), - minden olyan változást, amelyet a megrendelő kért.

Ha a megrendelő például megtagadja a régi, balesetveszélyes vezeték cseréjét, írásban rögzítsd a feltárt hibát és a kockázatot, és íratsd alá vele. Közvetlen életveszélyt jelentő hibánál (pl. hiányzó vagy szakadt védővezető, sérült szigetelés) az érintett áramkört ne helyezd üzembe, és az új munkarészt ne kösd rá a veszélyes hálózatra; ha ezt a megrendelő nem fogadja el, a munkát ne vállald. A nyilatkozat dokumentál, de a szakmai felelősségedet nem szünteti meg (ellenőrizendő: a felülvizsgálatra és az üzemeltetésre vonatkozó hatályos előírások).

Valós eset. Egy lakásfelújítás után a megrendelő panaszkodik, hogy az egyik konnektor nem működik. A szerelő nem utasítja el, hanem elmegy, megvizsgálja, és kideríti: a hiba a régi, nem cserélt vezetékszakaszban van, ami nem volt része a munkának. A szerelő ezt tárgyszerűen elmagyarázza, bemutatja a mérést, és írásos ajánlatot ad a vezeték cseréjére. A megrendelő elfogadja, és a szerelőt ajánlja tovább. A tanulság: a jó kommunikáció és a mérésre alapozott érvelés még egy kényes vitát is megold.

43.3.5. Panaszkezelési forgatókönyv

Recept. Ha egy megrendelő garanciális vagy minőségi panasszal jelentkezik, kövesd ezeket a lépéseket:

0. **Biztonsági intézkedés.** Veszélyre utaló panasz (melegedés, égett szag, szikrázás, áramütés) esetén telefonon kérd meg az ügyfelet, hogy a dugaszt húzza ki, a kör kismegszakítóját kapcsolja le, és ne használja a kört a szemléig; soron kívül menj ki, és a javítás előtt feszültségmentesíts az öt szabály szerint.
1. **Panasz rögzítése írásban.** Kérd meg az ügyfelet, hogy írja le röviden a hibát, és rögzítsd a dátumot. Ha telefonon jelentkezik, te magad jegyzetelj, és küldj visszaigazoló e-mailt.
2. **Helyszíni szemle, lehetőleg a megrendelő jelenlétében.** Ne csak telefon alapján dönts. Nézd meg a munkát, és ha lehetséges, mérésekkel azonosítsd a hiba okát.
3. **Jegyzőkönyv felvétele.** Írd le, mi a tünet, mi a valószínű ok, és ki a felelős. Ha a hiba a te munkád, akkor ezt ismerd el, és ajánld fel a javítást.
4. **Megoldási javaslat közlése.** Közöld, mit javítasz, mennyiért, és ki viseli a költséget. Ha garanciális, akkor a javítás ingyenes. Ha nem a te munkád hibája, akkor adhatsz ajánlatot.
5. **Javítás elvégzése, dokumentálás, elégedettség-visszajelzés.** A javítást ugyanolyan minőségben végezd el, majd adj át írásos jegyzőkönyvet, és kérdezd meg, elégedett-e az ügyfél. A lezárás utáni pár napban kérhetsz értékelést.

Megjegyzés. A fenti lépések általános útmutatók, nem helyettesítik a jogi tanácsadást. A garanciális és jótállási határidőket, illetve a fogyasztóvédelmi szabályokat ellenőrizd a hatályos jogszabályokban.

43.3.6. Tipikus hibák

1. **Csak szóbeli megállapodás.** Ha nincs írásos ajánlat vagy szerződés, a későbbi vitában lehetetlen bizonyítani, mit vállaltál.
2. **A garancia feltételeit nem rögzítik.** A „van garancia” ígéret nem elég; le kell írni, mire, mennyi ideig és milyen feltételekkel vonatkozik.
3. **A reklamációra nem reagálnak, vagy bagatellizálják.** Az „ilyen előfordul” vagy „nem az én hibám” reakció elveszti az ügyfelet, és rossz hírt szül.
4. **Hamis pozitív vélemények vásárlása.** A hamis vélemény lebuktat, és a bizalom végleg elveszik.
5. **A megrendelő nem kap dokumentációt.** A jegyzőkönyv, a mérési lap és a számla hiánya kiszolgáltatottá teszi a megrendelőt, és növeli a szerelő felelősségi kockázatát.

43.3.7. Önellenőrzés

1. Igaz-e, hogy minden elvégzett munkáról bizonylatot kell adni? Indokold.
2. Sorolj fel legalább három elemet, amelynek szerepelnie kell az árajánlatban.
3. Mi a különbség a szavatosság, a jótállás és a garancia között?

4. Hogyan kezelnéd, ha az ügyfél hamis jegyzőkönyvet kér egy olyan munkáról, amelyet nem te végeztél?
5. Melyik a helyes reakció egy negatív online véleményre? Válassz: (a) leállok vitatkozni az ügyféllel, (b) nyilvánosan minősítem az ügyfelet, (c) udvariasan megköszönöm és felajánlom a kapcsolatfelvételt.
6. Miért veszélyes a feketemunka a megrendelőre nézve?

A válaszok a Megoldások elején találhatók.

43.3.8. Feladatok

1. feladat (A). Sorold fel, mi kerüljön egy villanyszerelői árajánlatba legalább öt tételben.

2. feladat (A). Magyarázd el, miért fontos a munkavégzés dokumentálása (jegyzőkönyv, fotók, számla) a szerelő és a megrendelő szempontjából is.

3. feladat (B). Írj egy rövid, professzionális választ egy negatív internetes értékelésre, amely szerint „a szerelő későn jött, és a munka után rendetlenséget hagyott”.

4. feladat (B). Egy megrendelő azt kéri, hogy a számla összegét csökkentsd, mert „úgyis ráérünk, és más is megcsinálná olcsóbban”. Hogyan kommunikálj vele etikusan?

5. feladat (C). Egy korábbi munkád után a megrendelő garanciális panasszal hív: a beszerelt aljzat túlmelegszik. Milyen lépéseket teszel a panaszkezelési forgatókönyv szerint? Írd le a lépéseket, és hogy milyen dokumentumot készítesz.

6. feladat (C). Elemezd: az ügyfél kéri, hogy a régi, nem szabványos vezetéket ne cseréld ki, mert spórolni akar. Te tudod, hogy ez balesetveszélyes. Hogyan jársz el, és mit rögzítesz írásban?

7. feladat (D). Készíts egy egyszerű panaszkezelési jegyzőkönyv sablont. Sorold fel a szükséges mezőket, és írj bele egy minta hibaleírást.

43.3.9. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok

1. Igen: minden ellenértékes munkáról bizonylatot (számlát, vagy magánszemély vevőnek, ha nem kér számlát, nyugtát) kell adni (ellenőrizendő: Áfa tv. számla- és nyugtaadási szabályai, NAV tájékoztató). A bizonylat nélküli munka adócsalás, és a megrendelőnek nincs irata a garanciához.
2. Például: elvégzendő munka leírása, anyagköltség, munkadíj, fizetési feltételek, határidő, garancia feltételei, érvényesség.
3. Szavatosság: hibás teljesítésért való helytállás a Ptk. szerint. Jótállás (köznyelvben garancia): önként vállalt vagy jogszabály által előírt helytállás meghatározott időre (ellenőrizendő: Ptk. 6:171. §).
4. Visszautasítom, és elmagyarázom, hogy hamis jegyzőkönyv kiállítása bűncselekmény, és baleset esetén súlyos felelősséggel jár. A munkát nem igazolhatom le.
5. A (c) a helyes: udvariasan megköszönöm, és felajánlom a kapcsolatfelvételt.
6. A megrendelő nem rendelkezik számlával, ezért nem tudja bizonyítani a vállalkozási jogviszonyt, nem érvényesíthet garanciát, és adott esetben az elvégzett munka nem dokumentált, így kockázatot vállal.

1. feladat (A) megoldása. Az árajánlat tartalma: a felek neve és elérhetősége, az elvégzendő munka pontos leírása, az anyagok tételes felsorolása, a munkadíj, a fizetési feltételek (előleg, határidő), a munka becsült időtartama, a garancia feltételei, az érvényességi idő, valamint az árat befolyásoló tényezők (pl. ha a meglévő hálózat állapota változást okoz).

2. feladat (A) megoldása. A dokumentáció a szerelőt védi, mert bizonyítja, hogy a munka el lett végezve, szabványosan, és hogy a mérések a határértékeken belül voltak. A megrendelőt védi, mert hivatalos irata van a munkáról, a garanciáról és a szabványosságról. Vita esetén a dokumentáció a döntő bizonyíték.

3. feladat (B) megoldása. „Köszönjük a visszajelzést. Sajnáljuk, hogy kellemetlenség érte. Kérjük, vegye fel velünk a kapcsolatot, hogy személyesen, mielőbb orvosolhassuk a problémát. Fontos számunkra az elégedettsége.” Ez nem vitatkozik, felelősséget mutat, és a további párbeszédet privátba tereli.

4. feladat (B) megoldása. Tárgyszerűen elmagyarázom, hogy az ár a szabványos, biztonságos munka anyag- és időigényét fedezi, és tartalmazza a garanciális helytállás költségét is. Nem ígérek olcsóbbat, ha az a minőség vagy a biztonság rovására menne. Ha a megrendelő ragaszkodik, elmondom, hogy a biztonsági előírásokat nem lehet leértékelni, és más szolgáltató is ugyanezzel szembesülne.

5. feladat (C) megoldása. A panaszkezelési forgatókönyv szerint: 0) telefonon kérem az ügyfelet, hogy a dugaszt húzza ki, a kör kismegszakítóját kapcsolja le, és ne használja a kört a szemléig; a javítás előtt feszültségmentesítek az öt szabály szerint; 1) rögzítem a panaszt írásban, 2) helyszíni szemlét tartok, 3) jegyzőkönyvet veszek fel, amelyben rögzítem a tünetet (túlmelegedés) és a valószínű okot (pl. rossz kötés, laza csatlakozás), 4) javaslatot teszek: ha a hiba a munkámban van, akkor garanciálisan javítom, 5) elvégzem a javítást, új mérésekkel igazolom a szabványosságot, és átadom a jegyzőkönyvet. A dokumentum: panaszfelvételi lap, mérési jegyzőkönyv, javítási jegyzőkönyv.

6. feladat (C) megoldása. Elmagyarázom, hogy a régi vezeték nem felel meg a szabványos élet- és tűzvédelemnek, ezért nem hagyható. Ha az ügyfél ragaszkodik hozzá, írásban rögzítem a feltárt hibát és a kockázatot, és aláíratom vele. Közvetlen életveszélyt jelentő hibánál (pl. hiányzó védővezető, sérült szigetelés) az érintett áramkört nem helyezem üzembe, és az új munkarészt nem kötöm rá; ha az ügyfél ezt nem fogadja el, a munkát nem vállalom. A nyilatkozat dokumentál, de a szakmai felelősségemet nem veszi le, ezért a „felelősséget nem vállalok” kitétel nem mentesít.

7. feladat (D) megoldása. Panaszkezelési jegyzőkönyv mezői: az ügyfél neve, elérhetősége, a panasz bejelentésének időpontja, a hiba leírása, a helyszíni szemle időpontja, a hiba oka, a javítás módja, a javításért felelős, a javítás határideje, a költségviselő, a lezárás dátuma és az ügyfél aláírása. Minta hibaleírás: „A bejelentés szerint a konyhai dugaszoló aljzat használata közben égett szag érezhető. Szemle alapján az aljzat csatlakozó kapcsa meglazult, a vezeték melegedett. Javítás: új aljzat beszerelése és hurokimpedancia mérés, FI-vizsgálat. Költség: jótállási. Lezárva: [dátum].”

Továbbvitt eredmény. Az itt tanult ügyfélkommunikációs, etikai és panaszkezelési alapelvek közvetlenül felhasználhatók a Vizsgatérkép és számolási képletgyűjtemény alfejezetben, ahol szituációs kérdések és esetleírások várhatók a gyakorlati vizsgán.

43.3.10. Rövid összefoglaló

Ez az alfejezet azt tanította meg, hogy a villanyszerelő vállalkozás sikere a szaktudás mellett az ügyfélbizalmon múlik. A professzionális kommunikáció alapja az írásbeli megállapodás: az árajánlat tételes, közérthető, és a változásokat is rögzítik. A hirdetésben és a honlapon csak

igaz állítások szerepelhetnek, a véleményeket tárgyszerűen kell kezelni. A szakmai etika tiltja a feketemunkát, a hamis jegyzőkönyvet, a védelmek kiiktatását és a nem szabványos anyagok beépítését. A szavatosság a hibás teljesítésért való helytállás, a jótállás (köznyelvben garancia) lehet önként vállalt vagy jogszabályon alapuló kötelező helytállás. A panaszkezelés veszélyre utaló panasznál biztonsági intézkedéssel indul (a kör lekapcsoltatása, soron kívüli kiszállás, feszültségmentesítés), majd öt lépésben folytatódik: panasz rögzítése, szemle, jegyzőkönyv, megoldási javaslat, javítás és lezárás. A felelős dokumentáció és az etikus magatartás nem csak jogi kockázatot csökkent, hanem hosszú távú megrendelői kapcsolatot épít. **(A jogi határidőket és feltételeket ellenőrizd a hatályos szabályozásban.)**

43.3.11. Források és ellenőrzési hiányok

A szavatossági, jótállási és fogyasztóvédelmi szabályok a Polgári Törvénykönyvben és a fogyasztóvédelmi jogszabályokban változhatnak; konkrét ügyben ellenőrizendők. Az alfejezet üzleti-jogi jellegű, ezért mértékegységekre vagy szabványszámokra nem hivatkozik. A példákban szereplő nevek és szituációk fiktívek.

44 Vizsgafelkészülés

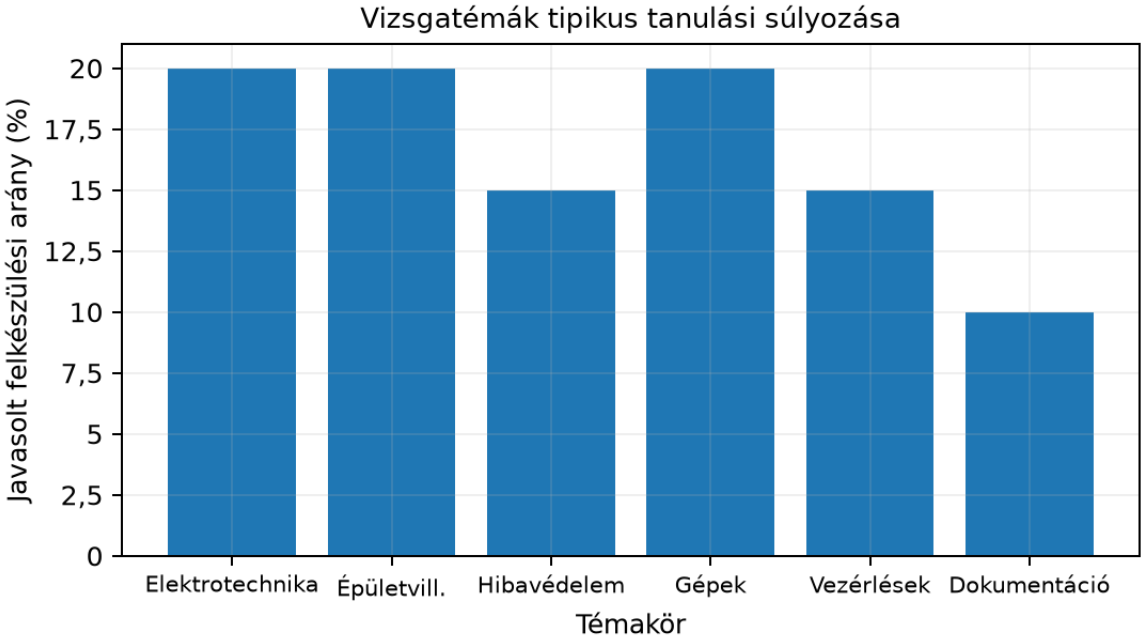
44.1. Vizsgatérkép és számolási képletgyűjtemény

A vizsgára készülés nem arról szól, hogy a több mint száz alfejezetet egymás után újraolvasod, hanem arról, hogy egy „műszaki GPS-szel” és egy jól rendezett „szerszámosládával” a kezedben beméred a terepet. Ebben az alfejezetben felépítjük a vizsgatémák térképét, összerendezzük a leggyakrabban kért számolási képleteket, és megtanuljuk, hogyan kerüld el a tipikus buktatókat. Ha ezt az alfejezetet megérted, a következő, Elméleti mintafeladatsor megoldásokkal alfejezetben már magabiztosan mozogsz majd.

A vizsga előtt a legrosszabb érzés az, amikor minden tételt ismersz külön-külön, de nem látod, mihez kapcsolódik. Kezdjük ezért a térképpel.

44.1.1. Vizsgatémák térképe és súlyozásuk

A szakmai vizsga összetétele és a súlyozás folyamatosan változhat a jogszabályi környezet és a képzési program függvényében **(ellenőrizendő: aktuális vizsgaszabályzat, a képző intézmény vizsgakövetelményei)**. Az alábbi ábra egy tanulási célú, tipikus súlyozást mutat, hogy tudd, hová összpontosíts:



44.1. ábra. Vizsgatémák tipikus tanulási súlyozása - Szemléltető, tanulási sorrend és arány – a hivatalos vizsgasúlyt az aktuális szabályzat határozza meg. Témakörök: elektrotechnika és mérés; épületvillamosság és elosztók; hibavédelem és földelés; villamos gépek és hajtások; kapcsolók és vezérlések; dokumentáció és vizsgatechnika.

Mit jelent ez a gyakorlatban? 1. **Tisztán számolós témakörök** (Elektrotechnika, Gépek, Hibavédelem): ezeken a legkönnyebb pontot gyűjteni, mert a képletek készségszintű alkalmazása begyakorolható. 2. **Ismeretközpontú témakörök** (Épületvillamosság, Vezérlések): rajzolvasást, szabványismeretet és szerelési logikát kérnek. 3. **Biztonsági keretek**: az öt biztonsági szabály és a hibavédelem elve szinte minden írásbeli és gyakorlati tételben visszaköszön.

44.1.2. Számolási képletgyűjtemény

Az alábbi gyűjtemény a könyvben korábban részletesen levezetett összefüggések tömör rendszere. Nem elég a képleteket megtanulni: a vizsgán tudni kell kiválasztani a megfelelőt, és a mértékegységeket helyesen összeilleszteni.

44.1.2.1. 1. Egyenáramú alapok

Ohm törvénye és az ellenállás:

$$U = R \cdot I, \quad R = \frac{U}{I}, \quad I = \frac{U}{R}$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

a U feszültség (V), I áram (A), R ellenállás (Ω), ρ fajlagos ellenállás (Ω · m), l hossz (m), A keresztmetszet (m^2). Réz: $\rho \approx 0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$ (20 °C-on; üzemi hőmérsékleten nagyobb). A könyv számpéldái 0,017 és 0,0178 közötti kerekített értékeket is használnak, a feladatban megadott adat a mérvadó. Ha ρ-t $\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$-ben adod meg, a keresztmetszetet mm^2-ben, a hosszt m-ben helyettesítsd be.

Villamos teljesítmény és munka:

$$P = U \cdot I \quad \Rightarrow \quad I = \frac{P}{U}, \quad U = \frac{P}{I}$$

$$W = P \cdot t$$

44.1.2.2. 2. Váltakozó áramú és háromfázisú rendszer

Impedancia:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L, \quad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Teljesítmények:

$$S = U \cdot I, \quad P = U \cdot I \cdot \cos\varphi, \quad Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$$

$$P = S \cdot \cos\varphi$$

Háromfázisú rendszer:

$$U_v = \sqrt{3} \cdot U_f \quad \text{(csillag)}$$

$$P_{3\mathrm{f}} = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v \cdot \cos\varphi$$

44.1.2.3. 3. Villamos gépek

Transzformátor áttétele:

$$a = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

Aszinkron motor:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (p \text{ a póluspárszám})$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (\text{szlip})$$

$$I_{\text{motor}} = \frac{P_{\text{leadott}}}{\sqrt{3} \cdot U_v \cdot \cos\varphi \cdot \eta}$$

(Állandó: $f = 50\,Hz$, $U_v = 400\,V$ a hazai hálózaton.)

44.1.2.4. 4. Védelem és méretezés

Vezeték-védelem koordináció (aranyszabály):

$$I_b \le I_n \le I_z$$

Feszültségesés (egyfázisban, egyszerűsített; l az egyszeres nyomvonalhossz, a 2 az oda- és visszavezető miatt van; részletesen: Feszültségesés és a vezeték méretezése):

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \rho}{A}$$

Feszültségesés (háromfázisban, szimmetrikus terhelés):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot \rho \cdot \cos\varphi}{A}, \qquad \Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_v} \cdot 100$$

Fázisjavítás (részletesen: Fázisjavítás méretezése):

$$Q_C = P \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2), \qquad C = \frac{Q_C}{U^2 \cdot \omega} \text{ (egyfázisú)}$$

Háromfázisú telepnél (Q_C a teljes meddőteljesítmény, U_v a vonali feszültség) deltába kötve fázisonként $C_\Delta = \frac{Q_C}{3 \cdot U_v^2 \cdot \omega}$, csillagba kötve $C_Y = \frac{Q_C}{U_v^2 \cdot \omega}$ $(= 3 \cdot C_\Delta)$. Jelölések: Q_C [var], P [W], U [V], $\omega = 2\pi f$ [1/s], C [F].

Transzformátor névleges és rövidzárási árama:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_v}, \qquad I_k = I_n \cdot \frac{100}{u_k\%}$$

Nyomaték:

$$M = 9550 \cdot \frac{P[\text{kW}]}{n[1/\text{min}]}\ [\text{N} \cdot \text{m}]$$

Hibahurok és kioldási feltétel (TN-rendszerben):

$$Z_s \cdot I_a \le U_0$$

$$I_k = \frac{U_0}{Z_s}$$

44.1.3. Kidolgozott példák a vizsga stílusában

A vizsgán a legjobb pontszerző a pontos, kézzel levezetett számolás.

1. példa (B szint): Háromfázisú motor névleges árama.

Adott: Egy aszinkron motor adattáblája: $P = 5{,}5\,\text{kW}$, $\cos\varphi = 0{,}82$, $\eta = 0{,}85$, $U_v = 400\,\text{V}$. **Keresett:** A motor névleges vonali árama (I_v). **Képlet:** $I_v = \frac{P}{\sqrt{3}\cdot U_v \cdot \cos\varphi \cdot \eta}$ **Behelyettesítés:**

$$I_v = \frac{5\,500\,\text{W}}{1{,}73 \cdot 400\,\text{V} \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}85}$$

$$I_v = \frac{5\,500}{482{,}3} \approx 11{,}4\,\text{A}$$

Ellenőrzés: Nagyságrendileg 5,5 kW motorra 10 A körüli áram reális 400 V-on. ∎

2. példa (B szint): Vezetékvédelmi koordináció.

Adott: A fenti motor árama $I_b = 11{,}4\,\text{A}$. Kismegszakítót kell választani. A szerelés szerint $I_z = 16\,\text{A}$. **Keresett:** Az I_n névleges megszakító áram. **Szabály:** $I_b \le I_n \le I_z$. **Megoldás:** $11{,}4\,\text{A} \le I_n \le 16\,\text{A}$. **Választás:** $I_n = 13\,\text{A}$ (ha kapható), vagy a leggyakoribb $C16$-os kismegszakító, ha az indítási áram nem oldja le. ∎

3. példa (C szint): Hibahurok ellenőrzése.

Adott: TN hálózat, $U_0 = 230\,\text{V}$. C16-os kismegszakító, amelynek $I_a = 10 \cdot I_n = 160\,\text{A}$. Mért hurokimpedancia $Z_s = 0{,}9\,\Omega$. **Keresett:** Teljesül-e a kioldási feltétel? **Képlet:** $Z_s \cdot I_a \le U_0$ **Megoldás:** $0{,}9\,\Omega \cdot 160\,\text{A} = 144\,\text{V}$. **Ellenőrzés:** $144\,\text{V} \le 230\,\text{V}$. **Következtetés:** A feltétel teljesül, a megszakító a megengedett időn belül leold. ∎

44.1.4. Gyakori számolási hibák és ellenőrzési módszerek

A legjobb megtanulni mások hibáiból.

1. **A $\sqrt{3}$ hibás használata.**
   - *Hiba:* Fázisfeszültséget úgy számol, hogy a vonalit osztja $\sqrt{3}$ helyett szorozza, vagy fordítva.
   - *Ellenőrzés:* A vonali feszültség (400 V) mindig NAGYOBB, mint a fázisfeszültség (230 V). Ha az eredmény nem így jön ki, cserélte a műveletet.
2. **A hatásfok elfelejtése.**
   - *Hiba:* A motor áramát a leadott teljesítményből számolja, és elfelejti a veszteséget (η).
   - *Következmény:* Alacsonyabb áramot kap, alulméretezi a vezetéket és a védelmet.
   - *Ellenőrzés:* A motor áramképlete mindig tartalmazza az η nevezőjét, mert a felvett teljesítmény nagyobb a leadottnál.
3. **Mértékegység-keverés.**
   - *Hiba:* a kW-ot nem váltja át W-ra, vagy a ρ-t $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$-ben, a keresztmetszetet m^2-ben (vagy fordítva) helyettesíti be.
   - *Ellenőrzés:* A számolás közben minden szám mellé írjuk a mértékegységet, és a végén az egységnek stimmelnie kell. A végén az eredmény egysége egyezzen a keresett mennyiség egységével (áramnál A, feszültségnél V, teljesítménynél W, VA vagy var, fordulatszámnál 1/min, nyomatéknál $\text{N} \cdot \text{m}$).

44.1.5. Valós életbeli alkalmazás

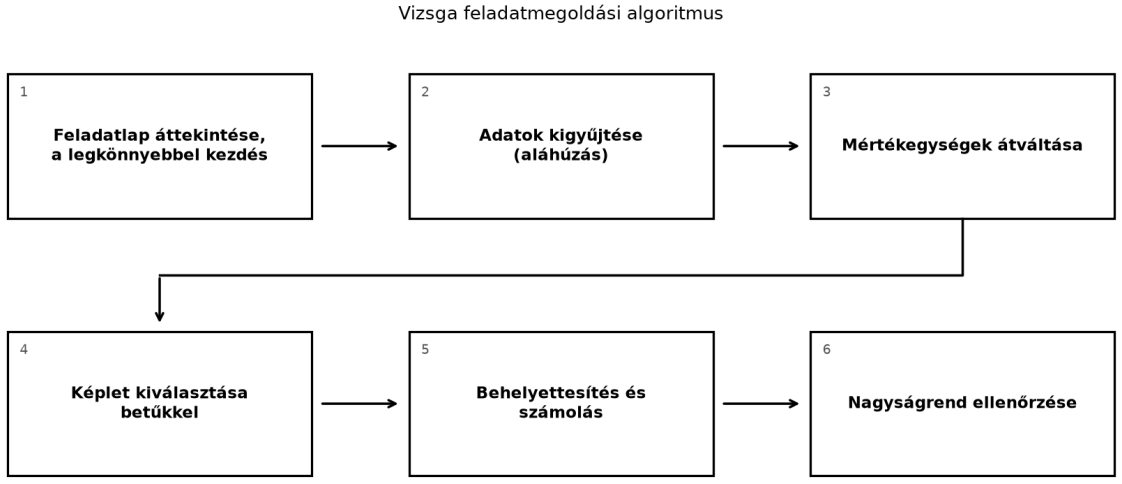
Egy gyakorlati vizsgán a tanuló azt a feladatot kapta, hogy méretezzen egy háromfázisú aljzatkört egy 7,5 kW-os kompresszornak. A számolás során a tanuló a teljesítményt W-ra átváltotta, de a $\sqrt{3}$ tényezőt elfelejtette. ($\cos\varphi = 0{,}85$, $\eta = 0{,}88$ mellett a helyes áram $I = 7500/(\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0{,}85\cdot 0{,}88) \approx 14{,}5$ A.) Az áram így 14,5 A helyett kb. 25 A-t adott ki. Szerencsére a szóbeli kifejtésnél észrevette, hogy a 25 A-es vezeték indokolatlanul vastag lenne, és javított. A vizsgán nem a hiba a lényeg, hanem az önellenőrzés.

44.1.6. Időbeosztás és vizsgatechnika (recept)

Az írásbeli vizsgán a jól bevált algoritmus segít elkerülni a pánikot.

Recept – hat lépés a vizsgafeladatok megoldásához: 1. **Térkép áttekintése:** Nézd át a feladatlapot, és kezdd a számodra legkönnyebb feladatokkal. 2. **Adatok kiemelése:** Húzd alá az ismert mennyiségeket és mértékegységeket. 3. **Mértékegység-rendezés:** Írd át a kW-ot W-ra, a mm^2-t m^2-re, ha a képlet úgy kívánja. 4. **Képlet kiválasztása:** Írd fel az összefüggést betűkkel. 5. **Behelyettesítés és számolás:** Zsebszámológéppel, a mértékegységeket kiírva. 6. **Nagyságrend-ellenőrzés:** Reális-e az eredmény? 230 V mellé nem írhatok 1000 A-t.

Az alábbi folyamatábra ezt szemlélteti:



44.2. ábra. Vizsga feladatmegoldási algoritmus - A számolási feladatokhoz ajánlott következetes lépéssor.

44.1.7. Önellenőrzés

1. A háromfázisú teljesítmény képlete $P = \sqrt{3}\cdot U\cdot I\cdot\cos\varphi$. Mit jelent az U ebben a képletben? (Vonali vagy fázisfeszültséget?)
2. Mi történik a hurokimpedanciával, ha a védővezető hosszát növeljük?
3. Igaz-e: egy 5,5 kW-os, 400 V-os motor árama pontosan 13,75 A, mert $5\,500/400 = 13{,}75$?
4. Mikor használjuk a hatásfokot (η) a motor áramának számításánál?
5. Mi az $I_b \le I_n \le I_z$ szabály három tagjának a neve?
6. Mi a leggyakoribb hiba a vonali és fázisfeszültség átszámításánál?

(Válaszok a Megoldások részben.)

44.1.8. Feladatok

1. feladat (A): Írd fel az Ohm-törvény három alakját, és nevezd meg a mennyiségeket a mértékegységükkel.

2. feladat (A): Egy egyfázisú fogyasztó 500 W-ot vesz fel 230 V hálózatról. Mekkora az árama?

3. feladat (B): Egy 3 kW-os, 230 V-os (egyfázisú) motor $\cos\varphi = 0{,}8$, $\eta = 0{,}85$. Mekkora a felvett hatásos teljesítménye és a névleges árama?

4. feladat (B): Egy háromfázisú, 11 kW-os motor $\cos\varphi = 0{,}86$, $\eta = 0{,}88$, $U_v = 400\,\text{V}$. Számold ki, mekkora kismegszakító illik a vezetékére, ha a vezeték terhelhetősége $I_z = 25\,\text{A}$?

5. feladat (C): Egy egyfázisú áramkör nyomvonalhossza 40 m, L és N vezetője 1,5 mm^2 keresztmetszetű réz ($\rho = 0{,}0175\,\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$). Mekkora egy ér ellenállása, és ha rajta 10 A folyik, mekkora a feszültségesés (oda- és visszavezetővel)? (Használd a $R = \rho \cdot l/A$ képletet közvetlenül mm^2-rel.)

6. feladat (D): TN hálózaton mértünk egy aljzatot. A mért hurokimpedancia $Z_s = 1{,}2\,\Omega$. Az áramkör védelme B16-os kismegszakító ($I_a = 5 \cdot I_n$). Teljesül-e a védővezetős hibavédelem feltétele? Ha nem, milyen műszaki megoldást javasolnál?

44.1.9. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok: 1. Vonali feszültséget (400 V). 2. Növekszik az ellenállása, tehát a hurokimpedancia is nő. 3. Hamis. A 400 V-ra 13,75 A jönne ki, de itt van $\sqrt{3}$, $\cos\varphi$ és η is. 4. Mindig, amikor a leadott mechanikai teljesítményből (P_2) számoljuk a felvett villamos teljesítményt (P_1). 5. I_b = üzemi áram, I_n = védelmi eszköz névleges árama, I_z = vezeték terhelhetősége. 6. A leggyakoribb hiba az osztás és szorzás felcserélése: vonalit akarunk fázissá tenni, és szorzunk a $\sqrt{3}$-mal.

1. feladat megoldása:

$$U = R \cdot I, \quad R = \frac{U}{I}, \quad I = \frac{U}{R}$$

U: feszültség (V), I: áram (A), R: ellenállás (Ω). ∎

2. feladat megoldása: Adott: $P = 500\,\text{W}$, $U = 230\,\text{V}$. **Keresett:** I. **Képlet:** $P = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{U}$. **Behelyettesítés:** $I = \frac{500\,\text{W}}{230\,\text{V}} = 2{,}17\,\text{A}$. **Ellenőrzés:** $2{,}17\,\text{A} \cdot 230\,\text{V} = 499{,}1\,\text{W} \approx 500\,\text{W}$. ∎

3. feladat megoldása: Adott: $P_{\text{leadott}} = 3\,000\,\text{W}$, $U = 230\,\text{V}$, $\cos\varphi = 0{,}8$, $\eta = 0{,}85$. **Keresett:** P_{felvett}, I. **1. lépés: Hatásos teljesítmény felvétele:** $P_{\text{felvett}} = \frac{P_{\text{leadott}}}{\eta} = \frac{3\,000\,\text{W}}{0{,}85} = 3\,529\,\text{W}$. **2. lépés: Látszólagos teljesítmény:** $S = \frac{P_{\text{felvett}}}{\cos\varphi} = \frac{3\,529\,\text{W}}{0{,}8} = 4\,411\,\text{VA}$. **3. lépés: Áram:** $I = \frac{S}{U} = \frac{4\,411\,\text{VA}}{230\,\text{V}} \approx 19{,}2\,\text{A}$. **Ellenőrzés:** A hatásfok miatt az áram valóban magasabb, mint a puszta teljesítmény és feszültség hányadosa. ∎

4. feladat megoldása: Adott: $P = 11\,000\,\text{W}$, $U_v = 400\,\text{V}$, $\cos\varphi = 0{,}86$, $\eta = 0{,}88$, $I_z = 25\,\text{A}$. **Keresett:** I_n (kismegszakító). **1. lépés: Motor áram (I_b):** $I_b = \frac{P}{\sqrt{3}\cdot U_v \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{11\,000}{1{,}732 \cdot 400 \cdot 0{,}86 \cdot 0{,}88} = \frac{11\,000}{524{,}3} \approx 21{,}0\,\text{A}$. **2. lépés: kismegszakító választása:** $I_b \le I_n \le I_z \Rightarrow 21\,\text{A} \le I_n \le 25\,\text{A}$. **Választás:** $I_n = 25\,\text{A}$ ($21 \le 25 \le 25$). Az indítási áram ($\approx 7 \cdot 21 \approx 150\,\text{A}$) miatt C-jellegnél leoldás lehetséges: D-jellegű kismegszakító vagy motorvédő kapcsoló (beállítás $\approx 21\,\text{A}$) javasolt. A motor túlterhelés-védelmét a kismegszakító nem adja, azt hőkioldó/motorvédő kapcsoló látja el (ellenőrizendő: gyártói kiválasztási táblázat). ∎

5. feladat megoldása: Adott: $A = 1{,}5\,\mathrm{mm}^2$, $l = 40\,\mathrm{m}$, $\rho = 0{,}0175\,\Omega\cdot\mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$, $I = 10\,\mathrm{A}$. **Keresett:** R, ΔU. **1. lépés: Ellenállás:** $R = \rho\cdot\frac{l}{A} = 0{,}0175\cdot\frac{40}{1{,}5} \approx 0{,}467\,\Omega$ (egy ér); a hurok (L+N): $0{,}933\,\Omega$. **2. lépés: Feszültségesés:** $\Delta U = 0{,}933\,\Omega\cdot 10\,\mathrm{A} \approx 9{,}3\,\mathrm{V}$, ami $9{,}3/230 \approx 4{,}1\%$. **Ellenőrzés:** a képletgyűjtemény $\Delta U = 2lI\rho/A$ képletével egyezik. Összevetés a megengedett eséssel (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-5-52, elosztói előírás). ∎

6. feladat megoldása: Adott: $Z_s = 1{,}2\,\Omega$, $I_a = 5\cdot 16\,\mathrm{A} = 80\,\mathrm{A}$, $U_0 = 230\,\mathrm{V}$. **Képlet:** $Z_s\cdot I_a \le U_0$. **Behelyettesítés:** $1{,}2\cdot 80 = 96\,\mathrm{V}$. **Ellenőrzés:** $96 \le 230$. **Következtetés:** Igen, a feltétel teljesül. A kismegszakító megbízhatóan leold. ∎

44.1.10. Rövid összefoglaló

A vizsgafelkészülés alapja a rendszerszemlélet. Ebben az alfejezetben felépítettünk egy vizsgatérképet, amely segít a tanulási idő arányos elosztásában. A témák közül az elektrotechnika, a gépek és a hibavédelem számolós tételei adják a legjobban előkészíthető pontokat. A képletgyűjteményben rendszereztük az egyenáramú alapokat ($U = R\cdot I$, $P = U\cdot I$), a váltakozó áramú teljesítményeket ($P = U\cdot I\cdot\cos\varphi$) és a háromfázisú rendszereket ($P = \sqrt{3}\cdot U_v\cdot I_v\cdot\cos\varphi$). A gépeknél elengedhetetlen a hatásfok (η) és a teljesítménytényező ($\cos\varphi$) használata. A védelemnél a legfontosabb koordinációs szabály az $I_b \le I_n \le I_z$, valamint a hibahurokra vonatkozó kioldási feltétel $Z_s\cdot I_a \le U_0$. Megtanultuk az egységellenőrzés fontosságát, és azt a hat lépésből álló vizsgatechnikát, amely megakadályozza a kapkodást. **Továbbvitt eredmény:** Az itt összegyűjtött fogalmak és képességek az alapjai az Elméleti mintafeladatsor megoldásokkal alfejezetben található mintafeladatsor megoldásának, ezért ezt a képletgyűjteményt érdemes a gyakorló feladatok megoldása közben is nyitva tartani.

44.1.11. Források és ellenőrzési hiányok

A számolási képletek az elektrotechnika stabil, klasszikus összefüggései. A vizsgasúlyozásra és a hivatalos vizsgakövetelményekre vonatkozó állítások a jogszabályi környezet változása miatt **ellenőrizendők** (aktuális OKJ/jogutód képzési és vizsgaszabályzat, képző intézmény tájékoztatója). A kismegszakítók zárlati kioldási feltételeinek pontos paraméterei (pl. B, C, D görbe, kioldási idők) a gyártói adatlapokon, illetve az MSZ HD 60364 sorozat aktuális kiadásában **ellenőrizendők**.

44.2. Elméleti mintafeladatsor megoldásokkal

A mintafeladatsor akkor éri el a célját, ha utánozza a vizsga helyzetét, és utána a megoldásból pontosan látod, melyik témakörben kell ismételned. Ezt a feladatsort úgy építettem fel, hogy lefedje a teljes eddigi tananyagot: alapfogalmak, hálózatszámítás, vezetékméretezés, fázisjavítás, gépek, védelmek, mérések, rajzolvasás és vezérlések. A megoldások nem csak a végeredményt adják meg, hanem a gondolkodás menetét is, ezért a hibaelemzés után pontosan láthatod, mit gyakorolj még.

44.2.1. A mintafeladatsor célja, felépítése és értékelése

Gyakorlati szabály. A vizsgán először nézd át a teljes feladatsort, és a pontszámok arányában ossz be időt. Ha elakadsz egy feladattal, lépj tovább; a vizsga végén térj vissza hozzá. Minden számításnál írd ki a képletet, a behelyettesítést és a mértékegységet – még akkor is, ha az eredmény hibás, a helyes elv és a mértékegység sok pontot ér.

Rész	Tartalom	Feladatok	Javasolt idő
A	Alapfogalmak, védelem, mérés	2×5 rövid kérdés	25 perc
B	Rövid válaszok, rajzolvasás	3 feladat	25 perc
C	Számolási feladatok	5 feladat	50 perc
D	Gyakorlati hibakeresés, vezérlésértékelés	1 feladat	20 perc

A minta **100 pontos**, a javasolt idő **120 perc**. A vizsgaidő tájékoztató jellegű; a képzési követelmények szerint ellenőrizendő.

44.2.2. A1. Feleletválasztós alapfogalmak

Minden helyes válasz **2 pont**, indoklás nélkül is jár, de az órai elemzésben indokold.

A1/A. Melyik vezetékszín jelöli a védővezetőt?
a) barna, b) világoskék, c) zöld-sárga, d) szürke
Megoldás: c) zöld-sárga. A barna/fekete/szürke a fázis, a világoskék a nulla.

A1/B. Melyik készülék nyújt 30 mA érzékenységgel kiegészítő védelmet alapvédelmi hiba esetén?
a) olvadóbiztosító, b) kismegszakító, c) áram-védőkapcsoló, d) hőkioldó
Megoldás: c) áram-védőkapcsoló (RCD). A 30 mA névleges hibaáramú kivitel a személyvédelmi célú kiegészítő védelem.

A1/C. Hány volt a vonali feszültség a hazai 230/400 V-os hálózatban?
a) 230 V, b) 380 V, c) 400 V, d) 420 V
Megoldás: c) $U_v = 400\,\mathrm{V}$.

A1/D. Mekkora a hatásos teljesítmény, ha $U = 230\,\mathrm{V}$, $I = 10\,\mathrm{A}$, $\cos\varphi = 1$?
a) 2,3 kW, b) 23 kW, c) 4,6 kW, d) 0,23 kW
Megoldás: a) $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 230 \cdot 10 \cdot 1 = 2300\,\mathrm{W} = 2{,}3\,\mathrm{kW}$.

A1/E. A motor pólusszáma $2p = 4$, a hálózati frekvencia 50 Hz. Mekkora a szinkron fordulatszám?
a) 750 1/min, b) 1000 1/min, c) 1500 1/min, d) 3000 1/min
Megoldás: c) $n_s = \frac{60 f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500\,\mathrm{1/min}$, mert $2p = 4$ pólus esetén a póluspárszám $p = 2$.

44.2.3. A2. Védelem és mérés – rövid válaszok

Minden válasz **2 pont**.

A2/A. Mi a célja a hurokimpedancia mérésének TN-rendszerben?
Megoldás: Annak ellenőrzése, hogy a védőeszköz a megengedett időn belül leold-e: $Z_s \cdot I_a \le U_0$, ahol Z_s a hibahurok impedancia, I_a a védő kioldási árama, $U_0 = 230\,\mathrm{V}$.

A2/B. Milyen feszültséggel mérjük jellemzően az épületvillamos berendezés szigetelési ellenállását?
Megoldás: 500 V egyenfeszültséggel. A határértékek szabvány szerint változhatnak, ezért a mérési jegyzőkönyvben a ténylegesen alkalmazott követelményt kell rögzíteni **(ellenőrizendő: aktuális MSZ HD 60364-6 és a vizsgakövetelmény)**.

A2/C. Mit jelent az IP44 jelölés második számjegye?
Megoldás: A második számjegy a víz elleni védettséget jelöli; a 4 fröccsenő víz elleni védelmet jelent. Az első számjegy a szilárd testek elleni védelmet jelzi, itt 1 mm-nél nagyobb tárgyak ellen.

A2/D. Melyik hálózati rendszerben van külön PE és N vezető a teljes fogyasztói hálózaton?
Megoldás: TN-S rendszerben. TN-C-S-ben a csatlakozási hely után válik szét a PEN; a fogyasztói oldalon már szintén külön kell vezetni a PE-t és N-t.

A2/E. Mi a célja a mérési kategória (CAT) jelölésnek a multiméteren?
Megoldás: Megmutatja, hogy a műszer milyen hálózati környezetben használható biztonságosan, mekkora tranziens feszülcsúcsot képes elviselni. Ipari elosztóban CAT III vagy CAT IV szükséges.

44.2.4. B1. Fogalmak összekötése, rövid indoklás

Feladat (8 pont). Párosítsd a fogalmat a jellemző készülékkel vagy szerepével, és indokold egy mondatban!

- alapvédelem
- hibavédelem
- túláramvédelem
- kiegészítő védelem

a) $I_n \leq I_z$ elv teljesülése, a vezeték túlmelegedésének elkerülése

b) szigetelés, burkolat

c) 30 mA áram-védőkapcsoló

d) automatikus lekapcsolás a hibahurok és védőeszköz segítségével

Megoldás:
alapvédelem → b, mert a feszültség alatti részek közvetlen érintését gátolja;
hibavédelem → d, mert hiba esetén a védőeszköz leválaszt;
túláramvédelem → a, mert a védőeszköz névleges árama nem lehet nagyobb a vezeték terhelhetőségénél;
kiegészítő védelem → c, mert többletvédelmet ad.

44.2.5. B2. Képletgyűjteményi rövid feladat

Feladat (8 pont). Írd fel a vezeték méretezésénél használt két legfontosabb szabályt, és magyarázd el egy konkrét, $I_b = 16\,\mathrm{A}$ üzemi áramú, $I_z = 25\,\mathrm{A}$ terhelhetőségű vezetéknél.

Megoldás:
A méretezési alapelvek az $I_b \le I_n \le I_z$ és a védő egyezményes kioldóáramára vonatkozó második feltétel (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-43).

A tanulható alak:

$$I_b \le I_n \le I_z, \qquad I_2 \le 1{,}45 \cdot I_z$$

ahol I_b az üzemi áram, I_n a védő névleges árama, I_z a vezeték tartós terhelhetősége, I_2 a védő kioldó áramának szabványos egyezményes értéke. Példa: $I_b = 16\,\mathrm{A}$ üzemi áram, $I_z = 25\,\mathrm{A} \rightarrow I_n = 20\,\mathrm{A}$ vagy $25\,\mathrm{A}$ választható. Kismegszakítónál $I_2 = 1{,}45 \cdot I_n = 1{,}45 \cdot 20 = 29\,\mathrm{A} \le 1{,}45 \cdot 25 = 36{,}3\,\mathrm{A}$ teljesül ($I_n \le I_z$ esetén automatikusan). A védő a zárlati és hurokimpedancia-vizsgálat után megfelelő.

A fogalmi megfogalmazás mellett a képlet pontosságánál nem szabad olyan értéket kimondani, amit a szabványkiadás módosíthat; a **mértékegység-ellenőrzés** mindig helyes.

44.2.6. B3. Rajzolvasás: önfenntartó mágneskapcsoló

Feladat (12 pont). Az alábbi kapcsolást építed meg tanműhelyben: S0 nyitó nyomógomb (STOP), S1 záró nyomógomb (START), K1 mágneskapcsoló A1/A2 tekercs, a 13/14 segédzáró párhuzamosan az S1-gyel, és a 95/96 hőkioldó nyitó érintkező sorba kötve a tekercskörrel. Bekapcsoláskor a motor elindul, de a nyomógomb elengedésekor azonnal leáll. Rajzold le, mi a hiba, és milyen méréssel igazolod?

Megoldás: A nyomógomb elengedése után kizárólag az önfenntartó 13/14 érintkező tarthatná meg a K1 tekercset. A hiba az, hogy a 13/14 segédkapocs nem párhuzamos az S1 kapcsolóval, vagy a segédzáró érintkezője nem zár rendesen.

Méréssel: feszültségmentes állapotban csengessük ki az S1 kötéspontjaitól a K1 13/14 kapcsokig. Ha a huzalozás helyes, feszültségmentes állapotban a mágneskapcsoló mozgó részét kézzel (vagy a próbabenyomóval) behúzva a 13/14 kapcsok között közel $0\,\Omega$-ot, elengedve szakadást kell mérni. Tipikus hiba, hogy a 13/14 nem zár, mert a segédérintkező-blokk mechanikus kapcsolata megszakadt vagy az érintkező szorul, illetve a K1 14-es kapcsára nem kötöttük be az S1 14-es kapcsától (a tekercs A1 felől) jövő vezetéket.

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.

44.2.7. C1. Szigetelési ellenállás párhuzamos kapcsolása

Feladat (8 pont). Két áramkört közös elosztóban, kikapcsolt állapotban vizsgálsz. Az első szigetelési ellenállása $R_1 = 200\,\mathrm{M\Omega}$, a másodiké $R_2 = 50\,\mathrm{M\Omega}$. Ha a két mért áramkört párhuzamosan kapcsolva méred, mekkora eredő ellenállást várhatsz?

Adott: $R_1 = 200\,\mathrm{M\Omega}$, $R_2 = 50\,\mathrm{M\Omega}$
Keresett: R_e
Képlet: párhuzamos kapcsolás:

$$R_e = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Behelyettesítés:

$$R_e = \frac{200 \cdot 50}{200 + 50} = \frac{10000}{250} = 40\,\mathrm{M\Omega}$$

Ellenőrzés: $40\,\mathrm{M\Omega}$ kisebb a $50\,\mathrm{M\Omega}$-nál is, ami párhuzamos kapcsolásnál helyes.

44.2.8. C2. Vezeték keresztmetszetének meghatározása feszültségesésből

Feladat (8 pont). 230 V-os, 16 A áramú áramkört építesz $l = 40\,\mathrm{m}$ hosszú rézvezetékkel. A megengedett feszültségesés 3%. Mekkora minimális vezető-keresztmetszet kell? $\rho_{\mathrm{Cu}} = 0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$.

Adott: $U = 230\,\mathrm{V}$, $I = 16\,\mathrm{A}$, $l = 40\,\mathrm{m}$, $\Delta U = 0{,}03 \cdot 230 = 6{,}9\,\mathrm{V}$, $\rho = 0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$.
Keresett: $A_{\min}$.
Képlet: Kétvezetős egyfázisú körben a teljes oda-vissza vezeték hossza $2l$, így

$$R_{\max} = \frac{\Delta U}{I}, \qquad A_{\min} = \rho \cdot \frac{2l}{R_{\max}}.$$

Behelyettesítés:

$$R_{\max} = \frac{6{,}9}{16} = 0{,}43125\,\Omega$$

$$A_{\min} = \frac{0{,}0175 \cdot 80}{0{,}43125} = \frac{1{,}4}{0{,}43125} \approx 3{,}25\,\mathrm{mm}^2.$$

Eredmény: A szabványos keresztmetszet-lépcsőből $4\,\mathbf{mm}^2$ vezetéket választunk.
Ellenőrzés: A 4 mm²-es vezető ellenállása $\frac{0{,}0175 \cdot 80}{4} = 0{,}35\,\Omega$, a feszültségesés $16 \cdot 0{,}35 = 5{,}6\,\mathrm{V}$, ami 2,43%, tehát a megengedett 3% alatt marad.

44.2.9. C3. Fázisjavítás méretezése

Feladat (10 pont). Egy aszinkronmotor adattáblája: $P_m = 7{,}5\,\text{kW}$, $\eta = 0{,}88$, $\cos\varphi_1 = 0{,}82$. A cél $\cos\varphi_2 = 0{,}95$. Mekkora kondenzátortelep teljesítményt kell beépíteni?

Adott: $P_m = 7{,}5\,\text{kW}$, $\eta = 0{,}88$, $\cos\varphi_1 = 0{,}82$, $\cos\varphi_2 = 0{,}95$.
Keresett: Q_C.

Első lépés: a hálózatból felvett hatásos teljesítmény.

$$P_1 = \frac{P_m}{\eta} = \frac{7500}{0{,}88} = 8522{,}7\,\text{W} = 8{,}523\,\text{kW}.$$

Második lépés: a meddő teljesítmények.

A $\tan\varphi = \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi}$ összefüggésből:

$$\tan\varphi_1 = \frac{\sqrt{1-0{,}82^2}}{0{,}82} = \frac{0{,}5724}{0{,}82} = 0{,}698,$$

$$\tan\varphi_2 = \frac{\sqrt{1-0{,}95^2}}{0{,}95} = \frac{0{,}3122}{0{,}95} = 0{,}3287.$$

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan\varphi_1 = 8{,}523 \cdot 0{,}698 = 5{,}95\,\text{kvar},$$

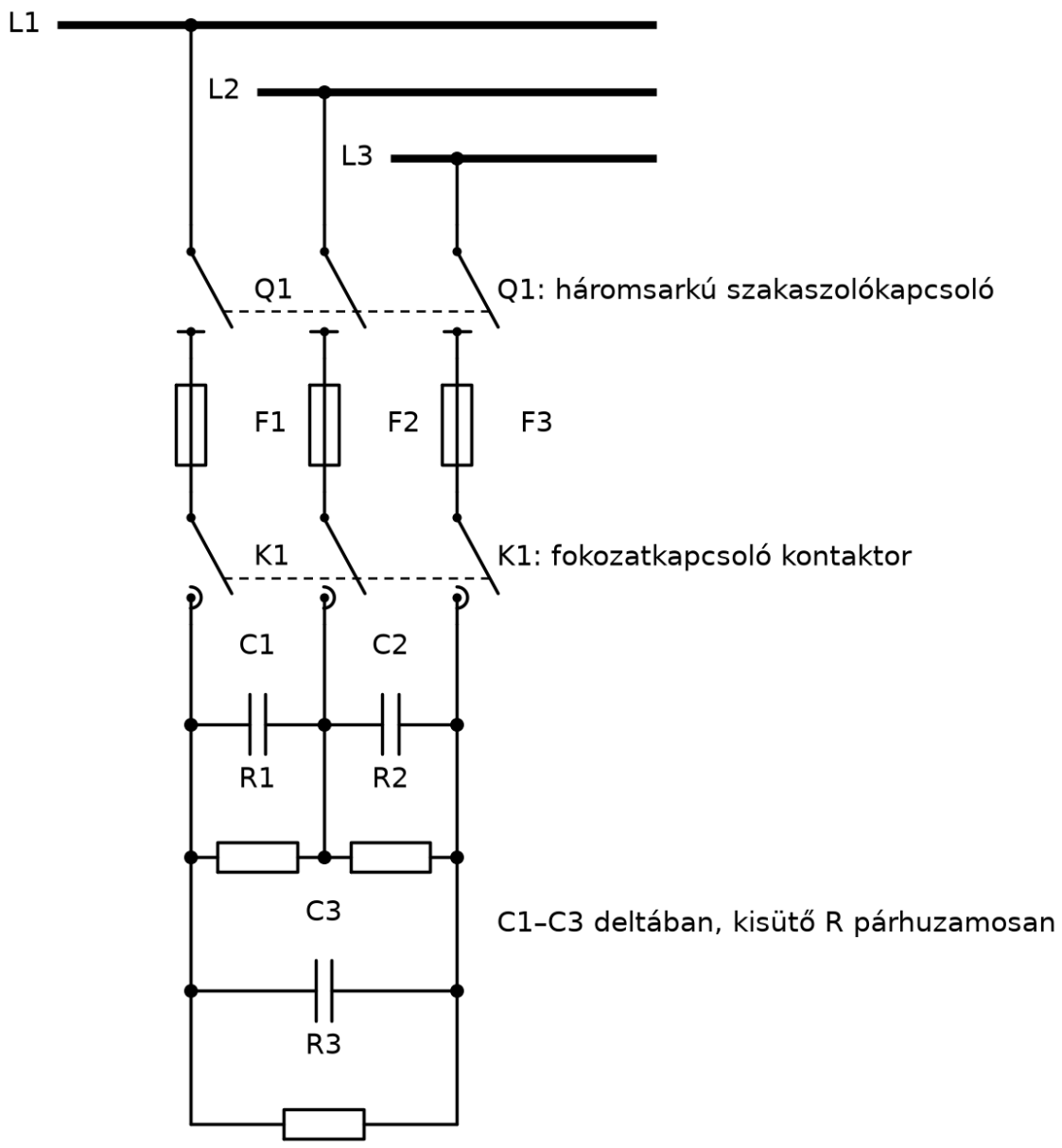
$$Q_2 = P_1 \cdot \tan\varphi_2 = 8{,}523 \cdot 0{,}3287 = 2{,}80\,\text{kvar}.$$

Harmadik lépés: a szükséges kondenzátorteljesítmény.

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = 5{,}95 - 2{,}80 = 3{,}15\,\text{kvar}.$$

Eredmény: A legközelebbi szabványos lépcső $3\,\textbf{kvar}$ ($\cos\varphi \approx 0{,}945$, a cél közel teljesül) vagy $4\,\text{kvar}$ ($\cos\varphi \approx 0{,}975$); az $5\,\text{kvar}$ túlméretezett (maradó meddő $5{,}95 - 5 = 0{,}95\,\text{kvar}$, $\cos\varphi \approx 0{,}994$, és a lekapcsolt, kifutó motor önmágnesezése túlfeszültséget okozhat). Egyedi motorkompenzálásnál a kondenzátor ne haladja meg a motor üresjárási meddőjének kb. 90%-át (ellenőrizendő: gyártói adat). Ne kompenzáld a teljes meddőt. Az ábrán egy kondenzátortelep elvi bekötése látható.

Fázisjavító kondenzátorfokozat bekötése (háromvonalas elvi rajz)



44.3. ábra. Fázisjavító kondenzátorfokozat bekötése (háromvonalas elvi rajz) - A gyűjtősínről a háromsarkú Q1 szakaszolókapcsolón, az F1–F3 olvadóbiztosítókon és a K1 fokozatkapcsoló kontaktoron át kapcsolódik a deltába kötött C1–C3 kondenzátorfokozat; mindegyik kondenzátorral párhuzamosan egy kisütő ellenállás (R1–R3) van, amely a lekapcsolt kondenzátort kisüti (ellenőrizendő: a kisütési időre és maradékfeszültségre vonatkozó előírás, MSZ EN 60831). Elvi vázlat, nem kivitelezési rajz; a fém tokozat PE-bekötése nincs feltüntetve.

A rajzon a három fázisvezető a Q1 szakaszolókapcsolón, az F1–F3 biztosítókon és a K1 fokozatkapcsoló kontaktoron át jut a deltába kötött három kondenzátorhoz (C1: L1–L2, C2: L2–L3, C3:

L3–L1); minden kondenzátorral párhuzamosan egy kisütő ellenállás van, így a lekapcsolt fokozat kondenzátorai az ellenálláson keresztül kisülnek.

44.2.10. C4. Aszinkronmotor szlipje és forgórészfrekvencia

Feladat (8 pont). Egy 4 pólusú aszinkronmotor adattáblája szerint a névleges fordulatszám $n = 1440\,1/\text{min}$, a hálózati frekvencia $f = 50\,\text{Hz}$. Számítsd ki a szinkron fordulatszámot, a szlipet és a forgórészben indukált feszültség frekvenciáját névleges üzemben!

Adott: $2p = 4$ pólus, tehát póluspárszám $p = 2$; $n = 1440\,1/\text{min}$, $f = 50\,\text{Hz}$.
Keresett: n_s, s, f_r.

Szinkron fordulatszám:

$$n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500\,1/\text{min}.$$

Szlip:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1440}{1500} = \frac{60}{1500} = 0{,}04 = 4\%.$$

Forgórészfrekvencia:

$$f_r = s \cdot f = 0{,}04 \cdot 50 = 2\,\text{Hz}.$$

Ellenőrzés: Kis teljesítményű aszinkronmotornál névleges terhelésen a 3–5%-os szlip reális.

44.2.11. C5. Transzformátor zárlati árama a $u_k\%$ alapján

Feladat (8 pont). Egy háromfázisú elosztótranszformátor adatai: $S_n = 630\,\text{kVA}$, $U_v = 400\,\text{V}$, $u_k = 6\%$. Mekkora a névleges vonali áram és az elvi zárlati áram a kisfeszültségű kapcsokon, ha a hálózati oldal merevnek tekinthető?

Adott: $S_n = 630\,\text{kVA}$, $U_v = 400\,\text{V}$, $u_k = 6\% = 0{,}06$.
Keresett: I_n és I_k.

Névleges vonali áram:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}\,U_v} = \frac{630000}{1{,}732 \cdot 400} = 909{,}3\,\text{A}.$$

Elvi zárlati áram:

$$I_k = I_n \cdot \frac{100}{u_k\%} = 909{,}3 \cdot \frac{100}{6} = 15155\,\text{A} = 15{,}2\,\text{kA}.$$

Ellenőrzés: $S_k = \frac{S_n}{u_k} = \frac{630}{0{,}06} = 10{,}5\,\text{MVA}$, ebből $I_k = \frac{10\,500\,000}{\sqrt{3}\cdot 400} \approx 15{,}2\,\text{kA}$.

Ezért a főelosztó megszakítójának a megszakítóképességét a várható zárlati áramnál nagyobbra kell választani.

44.2.12. D1. Vezérlési hiba diagnosztikai feladat

Feladat (10 pont). Egy reverzáló motorvezérlésnél a motor csak az egyik irányba indul. A másik irány nyomógombjának megnyomásakor semmi nem történik, és nem is húz be a megfelelő mágneskapcsoló. Ismertesd a hibakeresés lépéseit!

Megoldás: tünet, mérés, lehetséges ok, javítás.
A hibát a **rajz–valóság–mérés** hármas szerint keressük.

1. **Tünet:** K1 irány működik, K2 irány nem húz be.

2. **Hipotézisek:**
   - a K2 irány nyomógombja nem zár;
   - a K1/K2 kölcsönös reteszelő érintkezője nyitva marad;
   - a K2 mágneskapcsoló tekercse vagy annak köre szakadt;
   - a közös ágban lévő hőkioldó 95/96 bontója vagy az S0 STOP szakadt: ez mindkét irányt érintené, tehát nem magyarázza az aszimmetriát.

3. **Megengedett mérés feszültségmentes állapotban:**
   - nyomógomb folytonosság ellenőrzése;
   - a reteszelő nyitó érintkezők csengessenek zárva, amikor a mágneskapcsoló elenged;
   - a K2 tekercs ellenállása gyártói adat szerint.

4. **Ok:** leggyakrabban a nyomógomb kötése vagy a mechanikus retesz kontaktusa hibás, ritkábban a K2 tekercs szakadt.

5. **Javítás:** a hibás kapcsot cserélni, a tekercset visszakötni, a retesz érintkezőt újból bekötni.

6. **Megelőzés:** a vezérlési rajzon minden kapocsszámot feliratozni, és a mérést a kapocssorrendnek megfelelően jegyzőkönyvezni.

Biztonsági korlát. A vezérlési hibakeresés tanműhelyi környezetben vagy jogosult oktató felügyeletével történjen. Hálózati feszültségű munka esetén mindig az öt biztonsági szabályt kell betartani.

44.2.13. Pontozás és önértékelés

A vizsgán nem elég „tudni”, a pontszerzéshez a megoldást is úgy kell leírni, hogy az értékelő követni tudja. A **pontszámodat több tényező csökkenti**: hiányzó mértékegység, képlet nélküli behelyettesítés, hibás nagyságrend, nem ellenőrzött eredmény, rajzjel helytelen használata, biztonsági lépések elhagyása a gyakorlati feladatban.

A mintafeladatsor után készíts egyszerű hibanaplót:

Témakör	Feladat	Kapott pont	Hibát okozó ok	Melyik alfejezetet ismételd?
Alapfogalmak	A1	…	…	…
Védelem és mérés	A2	…	…	…
Rajzolvasás	B3	…	…	…
Szigetelési ellenállás	C1	…	…	…
Vezetékméretezés	C2	…	…	…
Fázisjavítás	C3	…	…	…
Gépek	C4	…	…	…
Transzformátor	C5	…	…	…
Hibakeresés	D1	…	…	…

44.2.14. Tipikus hibák

Hiba 1: a számolásban csak a végeredményt írod ki.
A vizsgán a levezetés pontot ér. Ha a képlet jó, de a behelyettesítés hibás, még mindig kapsz részpontot.

Hiba 2: a mértékegységet csak az eredménynél hagyod el.
A $230 \cdot 10 = 2300$ önmagában nem elég, mert nem tudjuk, miből lett watt. A mértékegység a fizikai ellenőrzés része.

Hiba 3: a hibakeresésnél rögtön méregetsz, mielőtt elolvasnád a kapcsolást.
A műszert csak a rajz alapján felállított hipotézis ellenőrzésére használd; a céltalan méregetés időt és pontot visz el, és véletlen érintéshez, zárlathoz vezethet.

Hiba 4: a fázisjavításnál az összes meddőt kompenzálod.
Ez túlkompenzálást és kapacitív üzemet eredményezhet. A méretezésnél a cél $\cos\varphi$-t és a szabályozási tartalékot is figyelembe kell venni.

44.2.15. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A zöld-sárga vezeték nulla vezetőként is használható, ha a kék elfogyott.

2. Mekkora a 7,5 kW-os, 0,85 hatásfokú motor hálózati felvett hatásos teljesítménye?

3. Egy 4 pólusú, 50 Hz-es aszinkronmotor szinkron fordulatszáma 3000 1/min. Helyes-e?

4. Mi a hiba abban a méretezésben, ha $I_b = 30\,\text{A}$, $I_n = 20\,\text{A}$, $I_z = 25\,\text{A}$?

5. Hogyan ellenőrzöd feszültségmentes állapotban, hogy a mágneskapcsoló önfenntartó segédzáró érintkezője zár?

Megoldások – Önellenőrzés:
1. Hamis. A zöld-sárga szín a védővezetőé; tilos más célra használni.
2. $P_1 = P_m/\eta = 7500/0{,}85 = 8823{,}5\,\text{W} = 8{,}82\,\text{kW}$.
3. Hamis. 4 pólus esetén a póluspár-szám 2, tehát $n_s = 60 \cdot 50/2 = 1500\,1/\text{min}$. 3000 1/min a 2 pólusú gépnél lenne.
4. I_n kisebb az üzemi áramnál, ezért a védő tartós üzemben leoldhat; az $I_b \le I_n$ feltétel sérül.
5. Feszültségmentesen, ellenállásmérővel a K1 13/14 kapcsain: elengedett (nem működtetett) mágneskapcsolónál szakadás, a mozgó részt kézzel benyomva közel 0 Ω.

44.2.16. Feladatok

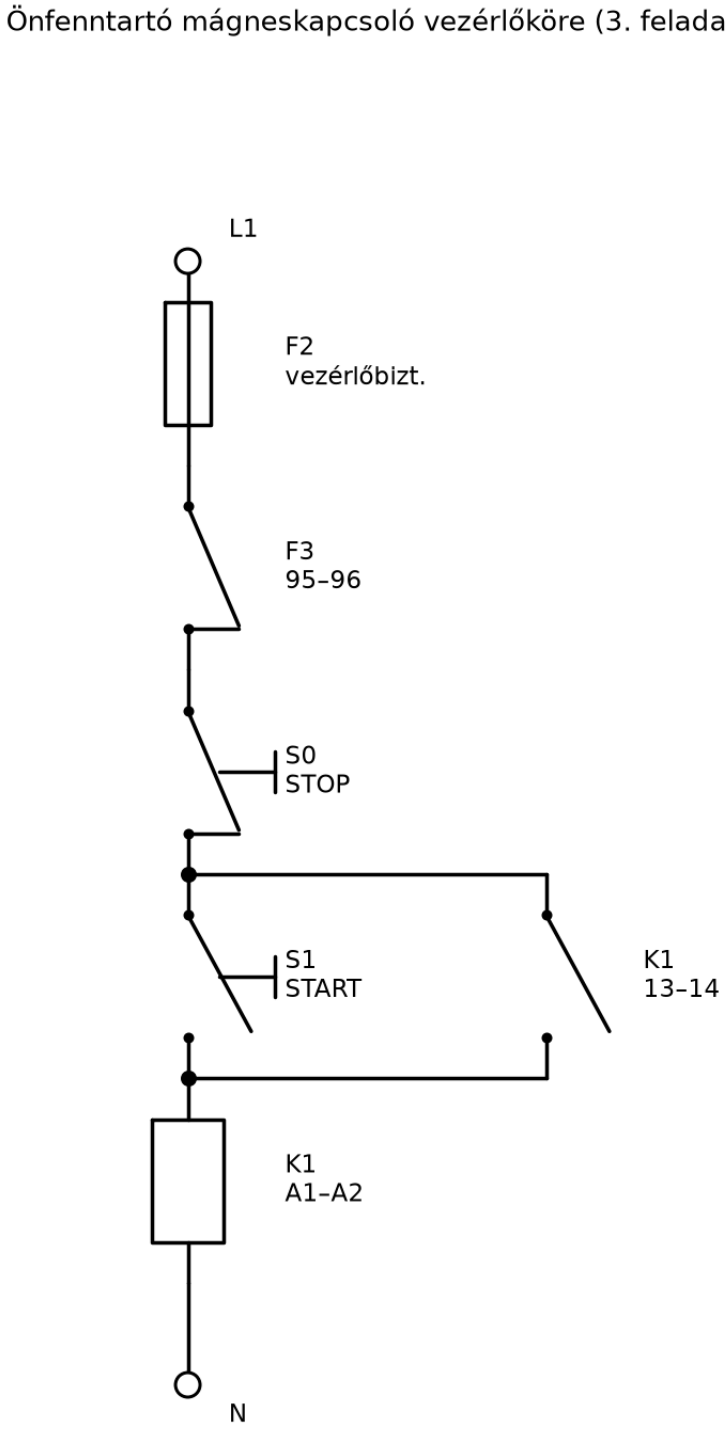
1. feladat (A). Számítsd ki egy 230 V-os, 6 A-es fűtőtest ellenállását.
2. feladat (B). Mekkora keresztmetszet kell 230 V, 25 A, 30 m-es körnél, ha a megengedett feszültségesés 4%?
3. feladat (B). Rajzold le szövegesen a szövegben leírt önfenntartó kapcsolás huzalozási vázlatát.
4. feladat (C). Hasonlítsd össze a TN-S és TN-C-S rendszer előnyeit a mért hibahurok szempontjából.
5. feladat (C). Egy motor 0,85-ös teljesítménytényezőről 0,95-re javítása esetén 15 kW elektromos felvett teljesítmény mellett mekkora Q_C kell?
6. feladat (D). A motor hőkioldója leold, de a kismegszakító nem. Milyen mérést végzel, és milyen okra gyanakszol?

44.2.17. Megoldások

1. feladat.
$R = U/I = 230/6 = 38{,}3\,\Omega$.

2. feladat.
$\Delta U = 0{,}04 \cdot 230 = 9{,}2\,\text{V}$, $R_{\max} = 9{,}2/25 = 0{,}368\,\Omega$, $l = 30\,\text{m}$, oda-vissza 60 m.
$A_{\min} = 0{,}0175 \cdot 60/0{,}368 = 2{,}85\,\text{mm}^2$, a szabványos lépcsőből $4\,\mathbf{mm^2}$ választandó.

3. feladat.
Áramút a vezérlőkörben (soros lánc): L1 → F2 vezérlőbiztosító → F3 hőkioldó 95–96 nyitó érintkezője → S0 STOP nyitó nyomógomb (11–12) → [S1 START záró nyomógomb (13–14) párhuzamosan a K1 13–14 segédzáróval] → K1 tekercs A1; K1 A2 → N. A párhuzamos S1 ‖ 13–14 ág a soros lánc része, ezért a tekercs csak a START megnyomása után kap feszültséget, elengedés után a 13–14 tartja. A főkörben: L1, L2, L3 → K1 1/3/5 → 2/4/6 → hőkioldó (F3) → motor U1, V1, W1, a motortest PE-re kötve.



44.4. ábra. Önfenntartó mágneskapcsoló vezérlőköre (3. feladat) - Alapállapot (feszültségmentes, nem működtetett). A soros láncban az S1 ‖ K1 13–14 záró ág miatt a K1 tekercs csak START után kap feszültséget; STOP (S0) vagy a hőkioldó (F3 95–96) bontja az önfenntartást.

4. feladat.

TN-C-S-ben a csatlakozási pontig közös PEN van, ami anyagmegtakarítást ad, de a PEN szakadása veszélyes érintési feszültséget és fázis-nulla rendellenes üzemet okozhat. TN-S-ben már a fogyasztó felé külön PE és N fut, ami a hibahurok mérésekor stabilabb védővezetői utat ad. A kioldási feltétel mindkét rendszerben $Z_s \cdot I_a \leq U_0$.

5. feladat.
$P = 15\,\text{kW}$, $\tan\varphi_1 = \tan(\arccos 0{,}85) = 0{,}6197$, $\tan\varphi_2 = \tan(\arccos 0{,}95) = 0{,}3287$.
$Q_C = 15 \cdot (0{,}6197 - 0{,}3287) = 15 \cdot 0{,}291 = 4{,}37\,\text{kvar}$. Válassz 5 kvar fokozatot.

6. feladat.
A hőkioldó leoldása tartós túlterhelésre utal. Mérj áramot lakatfogóval üzemszerű terhelésnél, és hasonlítsd össze a motor adattáblájával. Ha az áram a névlegesnél nagyobb, a hőkioldó beállítása alacsony, tengely vagy hajtás mechanikai túlterhelés, fázishiba, csapágyhiba vagy csökkent hálózati feszültség lehet. Ha az áram normális, a hőkioldó lehet rosszul beállított vagy hibás. Mindig az öt biztonsági szabállyal kezdj, hálózati feszültségen önállóan ne dolgozz.

44.2.18. Rövid összefoglaló

A villamos szakmai vizsga elméleti része nem csupán ismeretanyagot, hanem a számítások sorrendiségét, a mértékegységek használatát, a kapcsolási rajzok értelmezését és a hibakeresés logikáját méri. A mintafeladatsor az alapfogalmak (vezetékszínek, hálózati feszültségszintek, teljesítmény), a védelmi mérések (szigetelési ellenállás, hurokimpedancia, RCD) és a gépjellemzők (szlip, fordulatszám, zárlati áram) mellett a vezetékméretezés és a fázisjavítás számszerű példáját is lefedi. A számolásnál a képletek felírása és az ellenőrzés ugyanolyan fontos, mint az eredmény.

A legfontosabb továbbvitt eredmények: a vezetékméretezés feltétele $I_b \leq I_n \leq I_z$, a feszültségesés $\Delta U = I \cdot R$, ahol $R = \rho \cdot 2l/A$; a fázisjavítás $Q_C = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$; a szinkron fordulatszám $n_s = 60f/p$; a transzformátor elvi zárlati árama $I_k = I_n \cdot 100/u_k\%$; a hibakeresés pedig a **rajz–valóság–mérés** hármas szerint halad. A biztonsági keret változatlan: hálózati feszültségű munkát csak jogosult végezhet, a méréseknél a mérési kategória és az öt biztonsági szabály kötelező.

Ezt a pontszám- és hibanapló-szemléletet használd a Gyakorlati vizsgafeladatok és hibakeresés, értékelési szempontok alfejezetben is.

44.2.19. Források és ellenőrzési hiányok

A mintafeladatsorban szereplő szabványos védelmi határértékek, vizsgaidő és pontozási súlyok tanulási példák. A szigetelési ellenállás, hurokimpedancia, $u_k\%$, fázisjavító fokozatok és kioldási értékek a hatályos MSZ HD 60364 sorozat, az MSZ EN 61439, az MSZ EN 60898-1, a gyártói adatlapok és a képzési követelmények szerint ellenőrizendők.

44.3. Gyakorlati vizsgafeladatok és hibakeresés, értékelési szempontok

44.3.1. Motiváció

A szakmai vizsga gyakorlati része nem azt méri, hogy a tanuló „majdnem jól” dolgozik-e, hanem azt, hogy a vizsgafeladatot a szakmai szabályok, a biztonsági előírások és a dokumentációs

követelmények szerint, önállóan és ellenőrizhetően végre tudja-e hajtani. A vizsgahelyzetben a szerelési idő szűkös, a feladatgyűjtemény változatos, és a vizsgáztató végig figyeli a munkafogásokat, nemcsak a végeredményt. Aki csak a kapcsolást ismeri elméletben, de a vizsgán először szembesül az időnyomással, a hibás méréssel vagy a sorrendi hibákkal, az gyakran pontokat veszít olyan részleteken, amelyek a műhelyben már rutinná válhattak volna. Ez az alfejezet a gyakorlati vizsga feladattípusait, az értékelési szempontokat, a tipikus vizsgahibákat és egy teljes kidolgozott vizsgafeladatot mutat be abból a célból, hogy a tanuló a vizsgán a tanműhelyi gyakorlatot tudja reprodukálni, ne pedig kapkodva improvizáljon.

44.3.2. Gyakorlati vizsgafeladatok típusai

A gyakorlati vizsgafeladat általában a képzés szakirányához igazodik, és a tanműhelyben rendelkezésre álló eszközökön, oktatótáblákon, szerelőfalakon vagy zárt elosztószekrény-dobozban hajtják végre. A feladatok a következő fő csoportokba sorolhatók **(ellenőrizendő: az aktuális vizsgaszabályzat szerinti feladattípusok és azok aránya)**:

- **Szerelési feladat:** adott villamos szerelvény, áramkör vagy elosztó fizikai megépítése. Például egy világítási áramkör (egypólusú, váltó vagy keresztkapcsoló) felszerelése, dugaszoló aljzat bekötése, vagy lakáselosztó kismegszakítóval és áram-védőkapcsolóval való összeállítása. A feladat a szerelési technológiát, a vezetékek kiválasztását, a bekötési sorrendet és a mechanikai rögzítést együtt értékeli.
- **Vezérlési feladat:** motorvezérlő áramkör megépítése, például direkt indítás önfenntartással, reverzáló kapcsolás vagy csillag–delta indítás. A vezérlési rajz alapján kell bekötni a mágneskapcsolókat, nyomógombokat, reléket, motorvédő kapcsolót és a motor kapocsdobozát. A feladat hangsúlya a rajz–valóság megfelelésen, a kapocsjelöléseken és a működési próbán van.
- **Mérési feladat:** meghatározott villamos mennyiségek mérése egy meglévő vagy az előzőleg megépített áramkörön. Ilyen lehet feszültség, áramerősség, ellenállás, szigetelési ellenállás, folytonosság, hurokimpedancia vagy az áram-védőkapcsoló kioldási ideje. A mérési jegyzőkönyv kitöltése, a mért értékek értelmezése és a biztonsági mérési sorrend betartása mind értékelési szempont.
- **Hibakeresési feladat:** előre meghatározott hibával rendelkező áramkör vagy készülék vizsgálata. A hibát meg kell találni, az okot meg kell nevezni, és a javítás után működési próbával ellenőrizni kell. A hiba lehet szakadás, zárlat, szigetelési hiba, rossz bekötés vagy hibás alkatrész. A vizsgán a cél nem csak a hiba megtalálása, hanem a szisztematikus hibakeresési módszer bemutatása.

A vizsgafeladat szinte mindig tartalmaz egy rövid dokumentációs részt is: a tanulónak be kell jelölnie a bekötött kapcsokat, ki kell töltenie a mérési jegyzőkönyv vagy a hibajegyzőkönyv vonatkozó rovatait, és esetenként meg kell neveznie a használt védelmi módot.

44.3.3. A gyakorlati vizsga felkészülési ellenőrzőlista

A gyakorlati vizsgán a következő ellenőrzőlista segít abban, hogy a tanuló a feladatot a sorrend és a biztonság szempontjából helyesen hajtsa végre. Ez a lista egyben a vizsgáztatók által figyelt fő pontok összefoglalása is.

Recept. Gyakorlati vizsga felkészülési ellenőrzőlista:

1. **Olvasd el a feladatot kétszer.** Húzd alá a kért funkciót, a rendelkezésre álló feszültségszintet, a védelmi eszközöket és a dokumentációs kötelezettséget.

2. **Készíts vázlatot.** Rajzold le a kapcsolási rajzot vagy az áramúti rajzot, és jelöld be a kapocsjelöléseket (U1–V1–W1, 1/2, 13/14, A1/A2 stb.). A vázlat ne helyettesítse a hivatalos rajzot, de a bekötéshez vezérfonal.
3. **Válaszd ki az anyagokat és szerszámokat.** Ellenőrizd a vezetékkeresztmetszetet, a színjelölést, a kapcsolókészülékek névleges értékeit, a szükséges kéziszerszámokat és a mérőműszert. A mérőműszeren ellenőrizd a mérési kategóriát (CAT) és a mérőzsinórok állapotát.
4. **Biztonsági korlát.** A feladat tanműhelyi környezetre vagy jogosult oktató felügyeletére vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd.
5. **Feszültségmentesíts.** Az öt biztonsági szabály szerint járj el: lekapcsolás, visszakapcsolás elleni biztosítás, feszültségmentesség ellenőrzése, földelés és rövidre zárás (ha a feladat megköveteli), szomszédos feszültség alatti részek lefedése. A vizsgán a feszültségmentességet a vizsgáztató előtt, megfelelő feszültségvizsgálóval kell igazolni.
6. **Végezd el a szerelést vagy bekötést.** A vezetékeket a rajz szerint, a színjelölésnek megfelelően, mechanikailag feszesen, de nem túlfeszítve kösd be. A csavaros kapcsokat a megadott nyomatékkal húzd meg **(ellenőrizendő: gyártói csavarnyomaték)**.
7. **Végezz önellenőrzést.** Feszültségmentes állapotban ellenőrizd a folytonosságot, a bekötési sorrendet, a kapocsjelöléseket és a vezetékek rögzítését. Hasonlítsd össze a kapcsolást a rajzzal: **rajz–valóság–mérés** hármas.
8. **Kérj engedélyt a feszültség alá helyezésre.** Csak a vizsgáztató engedélye után kapcsolj rá a hálózatra. Előtte győződj meg arról, hogy a munkaterület rendezett, és senki sem érintheti a feszültség alatti részeket.
9. **Végezd el a működési próbát.** Kapcsold be a rendszert a vizsgáztató által előírt sorrendben, és figyeld a várt működést (lámpa felkapcsol, motor forog a kívánt irányban, védelmek nem oldanak le).
10. **Végezd el a méréseket.** A mérési feladatnál a megfelelő műszert, méréshatárt és mérési módot válaszd ki; a mérési eredményt rögzítsd a jegyzőkönyvben.
11. **Dokumentálj.** Töltsd ki a jegyzőkönyvet, jelöld be a kapcsokat, és írd alá. A dokumentáció akkor is értékelhető, ha a szerelés közben apró hibát vétettél, ezért ne hagyd ki.
12. **Rendezd a munkaterületet.** A vizsga végén a szerszámokat tedd a helyükre, a hulladékot gyűjtsd össze, és a vizsgáztatónak jelentsd a feladat befejezését.

Ez az ellenőrzőlista a vizsgán is használható, de a gyakorlati időbeosztás miatt érdemes már a felkészülés során begyakorolni, hogy a lépések automatikusan kövessék egymást.

44.3.4. Szerelési és vezérlési feladat lépésről lépésre

Példa. Tekintsük a következő gyakori vizsgafeladatot: **építsen meg egy egyfázisú világítási áramkört egypólusú kapcsolóval és egy dugaszoló aljzattal, majd végezzen folytonosság- és szigetelési mérést.** A feladathoz a tanműhelyben rendelkezésre áll egy szerelőfal, egy kismegszakító (B10), egy 30 mA-es áram-védőkapcsoló (RCD, A típusú), egy egypólusú kapcsoló, egy lámpa foglalat, egy dugaszoló aljzat, valamint megfelelő keresztmetszetű, színjelölt vezetékek (barna fázis, világoskék nulla, zöld-sárga védővezető). A feladat az áramkör bekötése, a védővezető folytonosságának mérése és a szigetelési ellenállás ellenőrzése.

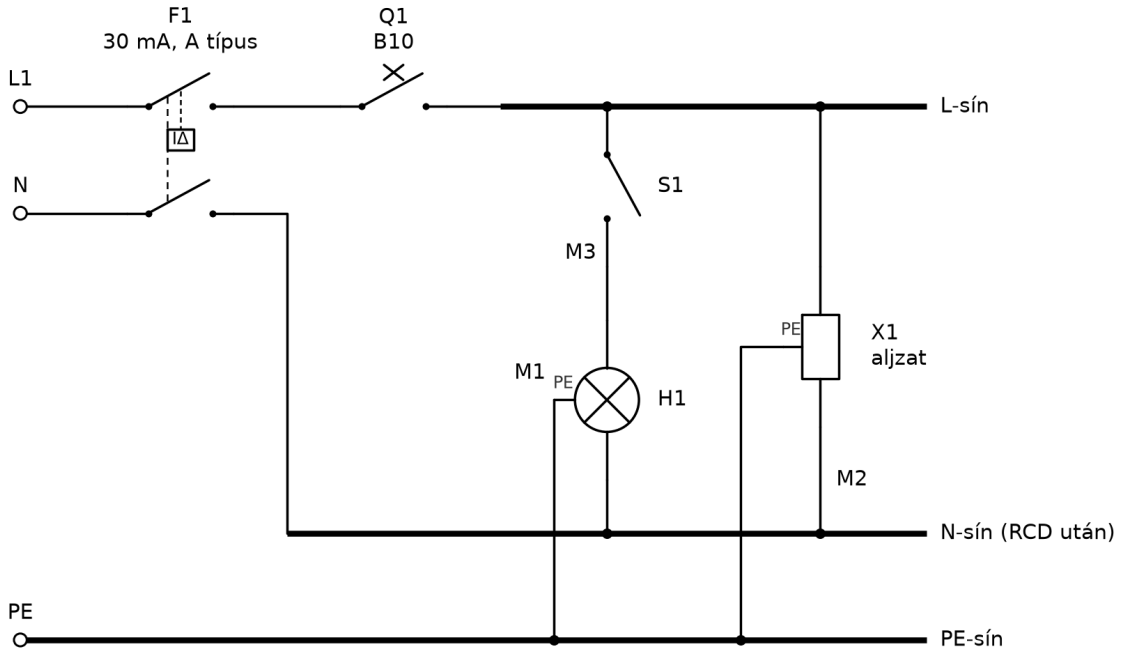
44.3.4.1. A vizsgafeladat végrehajtása

Biztonsági korlát. A feladat tanműhelyi környezetre vonatkozik; hálózati feszültségen önállóan ne végezd. A vizsgán a feladat feszültségmentes állapotban kezdődik, és a feszültség alá helyezést csak a vizsgáztató engedélyezi.

1. **Feladatértelmezés.** A tanuló elolvassa a feladatot, és megállapítja, hogy egy egyszerű világítási áramkört kell kiépíteni, amelyben a fázist a kismegszakítóról az egypólusú kapcsolóhoz, onnan a lámpához, a nullát közvetlenül a lámpához és a dugaszoló aljzathoz, a védővezetőt pedig minden érinthető fémrészhez be kell kötni.
2. **Vázlat készítése.** A tanuló felrajzolja a kapcsolási rajzot: L1 fázis – F1 RCD (30 mA, L és N is átmegy rajta) – Q1 B10 kismegszakító – egyrészt S1 egypólusú kapcsoló – H1 lámpa, másrészt az X1 aljzat fázis kapcsa; N az RCD N kimenetéről – H1 és X1 aljzat; PE – H1 lámpatest (fém burkolat) védőcsatlakozója, X1 és a szerelődobozok fém részei. A foglalat menetes része a nullavezetőé; a védővezető sosem a foglalatra, hanem a lámpatest védőkapcsára csatlakozik. A rajzon feltünteti a színjelöléseket.

A vázlat helyes változata alább látható: F1 kétpólusú áram-védőkapcsolón az L és az N is áthalad, a Q1 B10 kismegszakító után az S1 kapcsoló a fázisban, a H1 lámpa és az X1 aljzat az RCD utáni N-sínre csatlakozik, a PE-sínről pedig a lámpatest védőkapcsa és az aljzat védőérintkezője kap védővezetőt. Az M1–M3 jelölés a 6. lépés folytonossági méréseinek helyét mutatja.

A vizsgafeladat kapcsolási rajza: 30 mA-es RCD, B10 kismegszakító,
egypólusú kapcsoló, lámpa és aljzat, a folytonossági mérési pontokkal



Folytonossági mérési pontok: M1 PE-sín – H1 lámpatest; M2 N-sín – X1 N-kapocs;

M3 L-sín – S1 kimenete (S1 nyitva: OL, zárva: ≈ 0,3 Ω). PE nem halad át F1-en.

Színek: L barna, N világoskék, PE zöld-sárga. A PE-vezeték az N-sínt csatlakozás nélkül keresztezi.

44.5. ábra. A vizsgafeladat kapcsolási rajza: 30 mA-es RCD, B10 kismegszakító, egypólusú kapcsoló, lámpa és aljzat, a folytonossági mérési pontokkal - Alapállapot (feszültségmentes, S1 nyitva). F1 kétpólusú, 30 mA-es, A típusú áram-védőkapcsoló: az L és az N is áthalad rajta (a két pólust a szaggatott vonal köti össze), a PE nem. Q1 B10 kismegszakító az L-ben; az L-sínről S1 egypólusú kapcsoló a fázisban → H1 lámpa → N-sín, valamint X1 dugaszoló aljzat L–N. A PE-sínről a H1 fém lámpatestének védőkapcsa és az X1 védőérintkezője kap PE-t (a foglalat menetes része az N-é). M1–M3: a 6. lépés folytonossági mérései. Szemléltető rajz, nem kiviteli terv.

3. **Anyag- és szerszámellenőrzés.** A tanuló ellenőrzi, hogy a vezetékek keresztmetszete legalább 1,5 mm² réz, a színjelölés barna, világoskék és zöld-sárga, a kismegszakító B10 névleges áramú, az RCD 30 mA-es, az aljzat és a kapcsoló megfelelő védettségű. Kiválasztja a szükséges szerszámokat: kombinált fogó, csavarhúzó, kés, érvéghüvely-fogó, feszültségvizsgáló, multiméter, szigetelésvizsgáló.
4. **Feszültségmentesítés.** A tanuló a vizsgáztató jelenlétében elvégzi a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát: lekapcsolja a tápot, biztosítja a visszakapcsolás ellen, feszültségvizsgálóval (kétpólusú, megfelelő mérési kategóriájú) ellenőrzi a feszültségmentességet, földel és rövidre zár, ha szükséges, és lefedi a szomszédos feszültség alatti részeket. A vizsgán általában elegendő a lekapcsolás, a biztosítás és a feszültségmentesség ellenőrzése, de a vizsgáztató elvárhatja a teljes eljárás felsorolását. **(ellenőrizendő: a vizsgaszabályzat szerinti biztonsági eljárás)**
5. **Szerelés.** A tanuló felszereli a szerelvényeket a szerelőfalra, a vezetékeket méretre vágja, a végeket meghámozza és érvéghüvelyezi. A barna fázist az RCD-n és a kismegszakítón át a

kapcsolóhoz és az aljzat fáziskapcsához, a kapcsoló kimenetéről a lámpa fáziscsatlakozójához köti; a világoskéket az RCD utáni nulla sínről a lámpa és az aljzat nullacsatlakozójához; a zöld-sárgát a védősínről a lámpa fém részéhez, az aljzat védőérintkezőjéhez és a dobozok földelőcsavarjaihoz.

6. **Önellenőrzés feszültségmentes állapotban.** A tanuló kisohmos mérővel ($\geq$ 200 mA mérőáram; a multiméter csipogója erre nem alkalmas) ellenőrzi a folytonosságot: a PE sín és a lámpa fém része között a mérés kb. 0 Ω-ot mutat; a nulla sín és az aljzat nulla csatlakozója között szintén 0 Ω; a fázis sín és a kapcsoló kimenete (vagy a lámpa fázispontja) között a kapcsoló nyitott állapotában szakadás (OL), zárt állapotában $\approx$ 0,3 Ω. A szigetelésmérés előtt kicsavarja a fényforrást, kihúzza a fogyasztókat, a kapcsolót BE-kapcsolja; L–N, L–PE, valamint – a kör N-vezetőjét a N-sínről leválasztva vagy a kétpólusú RCD-t kikapcsolva – N–PE között 500 V DC-vel mér (utána a műszer kisüti a kört), és a mért érték nagyobb legyen a vizsgaszabályzatban megadott határértéknél, jellemzően 1 MΩ felett **(ellenőrizendő: aktuális határérték)**.
7. **Feszültség alá helyezés és működési próba.** A vizsgáztató engedélye után a tanuló felkapcsolja a kismegszakítót, a kapcsolóval működteti a lámpát, majd az aljzatba egy megfelelő fogyasztót (pl. jelzőlámpát vagy mérődugót) helyezve igazolja az aljzat működését. **FI-próba:** tesztgomb, majd FI-tesztműszerrel kioldási idő $I_{\Delta n}$-nél (határérték ellenőrizendő: MSZ EN 61008-1). Dugaszolóaljzat-kör 30 mA-es kiegészítő védelem nélkül nem adható át (ellenőrizendő: MSZ HD 60364-4-41).
8. **Dokumentáció.** A tanuló kitölti a mérési jegyzőkönyvet: rögzíti a folytonosságmérés és a szigetelésmérés értékeit, a használt műszer típusát, a mérési feszültséget, és aláírja a jegyzőkönyvet. A rajzon jelöli a bekötött kapcsokat.

44.3.5. Mérés és hibakeresés vizsgahelyzetben

A mérési feladat a gyakorlati vizsgán nem csupán a mérőműszer leolvasását jelenti, hanem a biztonságos mérési sorrend betartását, a megfelelő mérési kategória és mérőzsinór használatát, valamint a mért értékek értékelését. A vizsgáztató figyeli, hogy a tanuló a feszültségmentességet mérés előtt ellenőrzi-e, a méréshatárt helyesen választja-e, és a mérési eredményt a jegyzőkönyvben rögzíti-e.

Hibakeresési eset. Példa egy hibakeresési vizsgafeladatra: **a megépített áramkört a vizsgáztató egy előre meghatározott hibával látta el, például a lámpa fázisoldali vezetékét (a kapcsoló kimenetét) a nulla sínre kötötte be, vagy a védővezetőt elhagyta az aljzatból.** A tanuló feladata a hiba megtalálása, az ok megnevezése és a javítás.

A hibakeresési vizsgafeladat végrehajtása:

1. **Tünet rögzítése és feszültségmentesítés.** A tanuló rögzíti a vizsgáztató által megadott tünetet: a lámpa nem világít, vagy az aljzat nem működik, vagy a kapcsoló bekapcsolásakor azonnal leold a kismegszakító / FI-relé. Ezután az öt biztonsági szabály szerint feszültségmentesít, a feszültségmentességet kétpólusú feszültségvizsgálóval igazolja, és ezt jelzi a vizsgáztatónak.
2. **Feszültségmentes előzetes ellenőrzés.** Szemrevételezés, majd zárt kapcsolóállásnál (fényforrás kicsavarva) L–N és L–PE ellenállás-, illetve szigetelésmérés. Közel 0 Ω az L–N között zárlatot jelez; ilyenkor a kör feszültség alá nem helyezhető. Csak hibátlan előzetes mérés után, a vizsgáztató engedélyével következhet a működési próba (7. lépés).
3. **Hipotézis felállítása.** A tünet alapján a tanuló felsorolja a lehetséges okokat: szakadás a fázisvezetőben, a nulla bekötésének hibája, a védővezető elmaradása, a kapcsoló hibája, a lámpa foglalat hibája.

4. **Mérés.** A tanuló folytonosságméréssel ellenőrzi a vezetékeket a megfelelő pontokon. Ha a fázisvezető a kapcsoló bemenetétől a lámpáig folytonos, de a lámpa mégis nem világít, akkor a nulla bekötést vizsgálja. A szigetelési mérés a fázis és a védővezető közötti esetleges zárlatot is kimutathatja.
5. **Hiba megtalálása.** A mérés alapján a tanuló azonosítja a hibát, például a lámpa fázisoldali vezetéke (a kapcsoló kimenete) a nulla sínre van kötve – a kapcsoló kimenete és a N-sín között folytonosság mérhető. Ezt a rajz és a valóság összevetésével is alátámasztja.
6. **Javítás.** A tanuló feszültségmentes állapotban átteszi a vezetéket a helyes kapocsba, majd újraellenőrzi a folytonosságot.
7. **Működési próba.** Az engedély után ismét feszültség alá helyezi az áramkört, és ellenőrzi a lámpa működését.
8. **Dokumentáció.** A tanuló rögzíti a hibajegyzőkönyvben a tünetet, a hibát, a mérési eredményeket, a javítást és az újraellenőrzés eredményét.

A hibakeresési feladatban a vizsgáztató nem csak a hibát javító eredményt értékeli, hanem azt is, hogy a tanuló a biztonsági sorrendet betartotta, a méréseket a megfelelő eszközzel végezte, és a hibakeresés módszeres volt, nem találgatás.

44.3.6. Értékelési szempontok, biztonsági pontok, gyakori hibák

A gyakorlati vizsgafeladat értékelése általában a következő szempontok szerint történik **(ellenőrizendő: a konkrét vizsgaszabályzat vagy a vizsgaszervező által kiadott értékelési útmutató)**:

- **Munkabiztonság:** feszültségmentesítés, védőeszközök használata, a feszültségmentesség ellenőrzése, a munkaterület rendezettsége. A biztonsági hibák azonnali pontlevonást vagy a vizsgafeladat megszakítását vonhatják maguk után.
- **Szerelési minőség:** a vezetékek méretre vágása, érvéghüvelyek, csavarnyomatékok, a színjelölés betartása, a szerelvények rögzítése, a kapcsok bekötési sorrendje.
- **Bekötési helyesség:** a rajz szerinti kapcsolás, a kapocsjelölések (U1, V1, W1, 1/2, 13/14, A1/A2) megfelelő használata, a védővezető folytonossága.
- **Mérési feladat:** a mérőműszer kiválasztása, a méréshatár, a mérési eljárás, a mért értékek helyessége, a jegyzőkönyv kitöltése.
- **Hibakeresés:** a tünet rögzítése, a hipotézis, a mérési módszer, a hiba azonosítása, a javítás, a dokumentáció.
- **Működési próba:** a kész áramkör a várt funkciót teljesíti-e; a védelmek nem oldanak-e le indokolatlanul; a motor forgásiránya megfelelő-e.
- **Dokumentáció:** a kapcsolási rajz, a mérési jegyzőkönyv, a hibajegyzőkönyv feliratai, a kapocsjelölések bejelölése.

A biztonsági pontok az értékelésben kiemeltek: a feszültségmentesítés öt szabályának hiánya, a feszültség alatti mérés tiltása, a védővezető elhagyása vagy a védelmek kiiktatása súlyos szabálytalanságnak számít, és a vizsgafeladatot érvényteleníthetik.

44.3.7. Tipikus hibák

A gyakorlati vizsgán a leggyakoribb hibák a következők:

Hibás kapocsbekötés. A tanuló a fázist a nulla sínre, a nullát a védővezető sínre köti, vagy váltókapcsolónál a közös pont és egy váltókapocs vezetékét felcseréli. (Egypólusú kapcsoló két kapcsa

egyenértékű; ott a hiba az, ha a kapcsoló a nullát szakítja.) A kapcsoló egypólusú bekötésénél a fázisnak a kapcsoló bemenetére kell kerülnie; a nulla soha nem kerülhet kapcsolóba.

Helytelen mérési sorrend. A tanuló a feszültségmentességet nem ellenőrzi, vagy feszültség alatt próbál ellenállást mérni. Az ellenállásmérést mindig feszültségmentes állapotban, a feszültségvizsgálóval való ellenőrzés után kell végezni.

A rajz és a valóság eltérése. A tanuló nem egyezteti a bekötést a kapcsolási rajzzal, így a kész áramkör nem a feladatban kért funkciót valósítja meg. A vizsgán a **rajz–valóság–mérés** hármas állandó ellenőrzése elengedhetetlen.

Hiányos dokumentáció. A tanuló a mérési jegyzőkönyvet nem tölti ki, a mért értékekhez nem ír mértékegységet, vagy nem jelöli be a kapcsokat a rajzon. A dokumentáció önmagában is pontszámot ér.

Kapkodás a működési próbánál. A tanuló a feszültség alá helyezés előtt nem ellenőrzi a munkaterületet, vagy a vizsgáztató engedélye nélkül kapcsol rá a hálózatra. Ez biztonsági szempontból súlyos hiba.

44.3.8. Önellenőrzés

1. Igaz vagy hamis? A gyakorlati vizsgán a feszültségmentességet elegendő a vizsgáztató bemondása alapján elfogadni, nem kell műszerrel ellenőrizni.
2. Sorold fel a gyakorlati vizsgafeladat négy fő típusát.
3. Mi a teendő, ha a vizsgafeladatban egy motorvezérlésnél a mágneskapcsoló behúz, de a motor nem forog?
4. Milyen színű vezetéket kötünk a védőérintkezős dugaszoló aljzat védőcsatlakozójához?
5. Miért fontos a mérési jegyzőkönyv kitöltése akkor is, ha a szerelés nem teljesen hibátlan?
6. Milyen mérési kategóriájú (CAT) műszert használjunk hálózati feszültségű méréshez?

44.3.9. Feladatok

1. feladat (A) Nevezd meg a gyakorlati vizsgafeladat négy fő típusát, és mindegyikhez adj egy-egy konkrét példát a tanműhelyi gyakorlatból.

2. feladat (A) Rajzold fel egy egypólusú kapcsolóval vezérelt lámpa áramúti rajzát L1, N és PE jelöléssel, és írd a vezetékek színjelölését.

3. feladat (B) Egy vizsgafeladatban a tanuló a következő mérési eredményeket kapta feszültségmentes állapotban: PE sín – lámpatest védőcsatlakozója között 0,2 Ω; L1 fázissín – kapcsoló kimenete között nyitott kapcsolónál OL (szakadás), zárt kapcsolónál ≈ 0,3 Ω; N sín – aljzat nulla csatlakozó között OL. Melyik mérési eredmény utal hibára, és mi lehet a hiba?

4. feladat (B) Írd le a feszültségmentesítés öt biztonsági szabályát, és indokold meg, miért fontos mindegyik a vizsgafeladat során.

5. feladat (C) Egy motorvezérlő vizsgafeladatban a direkt indítású aszinkron motor a bekapcsolás után nem forog, de a mágneskapcsoló behúz, és a kismegszakító nem old le. Sorold fel a lehetséges hibákat, és írd le, milyen mérésekkel különböztetnéd meg őket.

6. feladat (D) A vizsgafeladatban egy hibás áramkört kapsz: a lámpa világít, de a dugaszoló aljzatból hiányzik a védőérintkező. Milyen méréssel igazolod a védővezető hiányát, és mi a biztonsági következménye? Hogyan javítod?

44.3.10. Megoldások

Önellenőrzés – válaszok:

1. **Hamis.** A feszültségmentességet saját magunknak, megfelelő feszültségvizsgálóval kell ellenőrizni, mert a biztonság nem alapulhat mások bemondásán.
2. Szerelési feladat, vezérlési feladat, mérési feladat, hibakeresési feladat.
3. Először feszültségmentesíteni kell, majd ellenőrizni a motor kapocsdobozának bekötését, a motorvédő kapcsoló állapotát, a mágneskapcsoló főérintkezőit és a motor tekercseinek folytonosságát. A hibát méréssel kell behatárolni, nem találgatással.
4. Zöld-sárga védővezetőt.
5. A dokumentáció önálló vizsgarész, és a hibás szerelés ellenére is mutatja a tanuló mérési és adminisztrációs készségét; emellett a javításhoz is alapot ad.
6. Hálózati feszültségű méréshez legalább CAT III, illetve a mérési ponthoz illeszkedő kategóriájú műszert és mérőzsinórokat kell használni **(ellenőrizendő: aktuális mérési kategória-előírások)**.

Feladatok megoldásai

1. feladat (A)
A négy típus:
- **Szerelési feladat:** pl. világítási áramkör építése egypólusú kapcsolóval.
- **Vezérlési feladat:** pl. direkt indítású motorvezérlés önfenntartással.
- **Mérési feladat:** pl. szigetelési ellenállás mérése 500 V DC-vel.
- **Hibakeresési feladat:** pl. előre meghatározott szakadás megkeresése és javítása.

2. feladat (A)
A kapcsolási rajz szöveges leírása: L1 fázis – Q1 kismegszakító – S1 egypólusú kapcsoló – H1 lámpa; N nulla – H1 lámpa másik kapcsa (a foglalat menetes része); PE – H1 lámpatest (fém burkolat) védőcsatlakozója. A vezetékek színe: L1 barna, N világoskék, PE zöld-sárga. A kapcsolóba csak a fázis megy be; a nulla közvetlenül a lámpához csatlakozik.

3. feladat (B)
Az N sín és az aljzat nulla csatlakozója közötti OL mérés szakadást jelez, tehát a nulla vezeték nincs bekötve vagy megszakadt. Ez hibás, mert az aljzat nem fog működni. A hiba oka lehet rossz bekötés, laza kapocs vagy hibás vezeték. Javítás: feszültségmentes állapotban a nulla vezetéket a megfelelő csatlakozóba kötjük, és újra mérjük a folytonosságot.

4. feladat (B)
Az öt biztonsági szabály:
1. **Lekapcsolás:** a hálózat leválasztása a munkavégzés helyén.
2. **Visszakapcsolás elleni biztosítás:** a kapcsoló lezárása, kitáblázása, lakatolása.
3. **Feszültségmentesség ellenőrzése:** megfelelő feszültségvizsgálóval minden fázis és nulla ellenőrzése.
4. **Földelés és rövidre zárás:** ha a feladat megköveteli, a munkaterület közvetlen közelében.
5. **Szomszédos feszültség alatti részek lefedése:** az érintésvédelem és a véletlen érintés megakadályozása.
Mindegyik azért fontos, mert a feszültség alatt végzett munka áramütést okozhat; a sorrend betartása biztosítja, hogy a munkavégzés közben ne kerüljön feszültség a berendezésre.

5. feladat (C)
Lehetséges hibák:
- A motor kapocsdobozában a csillagpont bekötése hibás: a csillaghíd hiányzik (ekkor nincs áram, a motor nem zúg), vagy csak két tekercsvéget köt össze (ekkor a motor zúg, nem indul, gyorsan

melegszik). A forgásirányt csak a fázissorrend befolyásolja, a csillagpont nem.
- A motorvédő kapcsoló (a főkörben) leoldott, vagy a beállítási érték nem megfelelő (a 95–96 hőkioldó-érintkező leoldásakor a mágneskapcsoló sem húzna be, ez a tünettel ellentétes).
- A mágneskapcsoló főérintkezői nem zárnak rendesen (pl. szennyezett vagy sérült érintkező).
- A motor tekercse szakadt, vagy a tápfeszültség nem jut el a motorig.
Mérések: feszültségmérés (csak jogosult, CAT III műszerrel, vizsgáztatói engedéllyel) a mágneskapcsoló kimenetén (a motor felé) a fázisok között; folytonosságmérés a motor kapcsain (U1–U2, V1–V2, W1–W2) feszültségmentes állapotban; a motorvédő kapcsoló bemeneti és kimeneti feszültségének ellenőrzése. A mágneskapcsoló érintkezőinek folytonosságmérése is szükséges.

6. feladat (D)
A védővezető hiányát folytonosságméréssel igazoljuk: a dugaszoló aljzat védőcsatlakozója és a PE sín között a mérés OL-t mutat, ha a védővezető szakadt vagy elmaradt. A biztonsági következmény: az aljzatba csatlakoztatott I. osztályú készülék testzárlata esetén a hibaáram nem tud elfolyni, a készülék teste feszültség alá kerülhet, és áramütés veszélye áll fenn. Javítás: feszültségmentes állapotban a zöld-sárga vezetéket be kell kötni az aljzat védőcsatlakozójához és a PE sínhez, majd a folytonosságot újra mérni.

44.3.11. Rövid összefoglaló

A gyakorlati vizsga a szakmai ismeretek alkalmazását méri biztonságos és dokumentált keretek között. A feladatok négy fő típusa a szerelési, vezérlési, mérési és hibakeresési feladat. A sikeres vizsgafeladat alapja a felkészülési ellenőrzőlista: a feladat értelmezése, vázlat, anyag- és szerszámellenőrzés, feszültségmentesítés az öt biztonsági szabály szerint, gondos szerelés, önellenőrzés, engedély a feszültség alá helyezésre, működési próba, mérés és dokumentáció. A hibakeresési feladatban a szisztematikus módszer a tünet rögzítéséből, hipotézis felállításából, mérésből, a hiba azonosításából, javításból és újraellenőrzésből áll. Az értékelés a munkabiztonságot, a szerelési minőséget, a bekötés helyességét, a mérést, a hibakeresést, a működési próbát és a dokumentációt egyaránt figyeli. A leggyakoribb hibák: rossz kapocsbekötés, helytelen mérési sorrend, a rajz és a valóság eltérése, hiányos dokumentáció és kapkodás a működési próbánál. A biztonsági szabályok megsértése a legsúlyosabb értékelési hiba, ezért a feszültségmentesítés és a mérési kategória betartása megkerülhetetlen.

44.3.12. Források és ellenőrzési hiányok

A szöveg a magyarországi szakképzési gyakorlatot, a kisfeszültségű villamos berendezésekre vonatkozó MSZ HD 60364 sorozat ellenőrzési elveit és a munkavédelmi előírásokat követi. A konkrét vizsgafeladat-típusok, az értékelési szempontok, a mérési határértékek és a vizsgaszabályzat szerinti eljárások az aktuális szakképzési és vizsgaszabályozás szerint változhatnak **(ellenőrizendő: aktuális vizsgaszabályzat, értékelési útmutató, szabványkiadás, gyártói adatlapok)**.

Függelékek

Fogalomtár (magyar–angol)

Ez a függelék a könyv kulcsfogalmait rögzíti egységes magyar és angol (vagy régi hazai) névvel, a magyar kifejezés szerinti ábécésorrendben. A zárójeles szám a fogalmat bevezető fejezet.alfejezet (a nyomtatott könyv számozása). A képleteket a Képlet- és jelölésgyűjtemény függelék tartalmazza.

Terminológiai elv. A könyv a mai szabványok szerinti magyar szakszót használja (alapvédelem, hibavédelem, kiegészítő védelem), de megadja a régi, a gyakorlatban még élő szavakat is: az *érintésvédelem* a hibavédelem régi neve, a *nullázás* a TN-rendszerű hibavédelem, a *védőföldelés* a TT-rendszerű, a *FI-relé* az áram-védőkapcsoló köznyelvi neve. A régi MSZ-rajzjeleket csak ‘régi terveken ezt találod’ megjegyzéssel említjük (ellenőrizendő: a pontos megfeleltetés a hatályos szabvány szerint).

Magyar	English	Jelentés (hol vezetjük be)
alapvédelem	basic protection	az áramütés elleni védelem alapszintje: a feszültség alatti részek közvetlen érintése elleni védelem (szigetelés, burkolat) (21.1)
áram-védőkapcsoló (FI)	residual current device (RCD)	a differenciaáramot figyelő védelem; 30 mA-es kiegészítő védelemként (21.4)
áramváltó	current transformer	mérőtranszformátor, a szekunderét sosem szabad szakadásban hagyni (25.4)
aszinkron motor	induction (asynchronous) motor	a forgórész a forgó mezőnél lassabban forog; a szlip miatt indukálódik benne feszültség (26.1)
áttétel	turns ratio	a transzformátor primer és szekunder feszültségének (menetszámának) aránya (25.1)
billenőnyomaték	pull-out (breakdown) torque	az aszinkron motor maximális nyomatéka (26.2)
busz (épületautomatikai)	bus	közös adatvezetéken kommunikáló rendszer, pl. KNX, DALI (20.3)
csillagkapcsolás	star (wye) connection	a három tekercs egy végpontja közös (csillagpont) (7.2)

Magyar	English	Jelentés (hol vezetjük be)
csillag–delta indítás	star-delta starting	az indítási áram csökkentése a tekercsek ideiglenes csillagkapcsolásával (26.4, 32.3)
csúcsérték	peak value	a váltakozó mennyiség pillanatnyi maximuma; 230 V effektívnek 325 V csúcs felel meg (6.1)
dióda	diode	egyirányú vezetésű félvezető (37.1)
effektív érték	RMS value	az egyenértékű hőhatású egyenáramú érték (6.1)
egyenpotenciálra hozás (EPH)	equipotential bonding	a vezetőképes részek összekötése azonos potenciálra (22.2)
egyvonalas rajz	single-line diagram	az elosztó vagy hálózat egyszerűsített rajza egy vonallal a három fázis helyett (12.3)
elosztóberendezés	switchgear and controlgear assembly	kapcsolókészülékek, sínek és szekrény összeépített egysége (34.1)
EPH	equipotential bonding	lásd: egyenpotenciálra hozás (22.2)
erősáram	heavy current / power	energiaátvitelre és -elosztásra használt villamos áram; a gyengeárammal szemben (1.1)
fázisjavítás	power factor correction	a meddőteljesítmény kompenzálása a cosφ növelésére (36.1)
fázissorrend	phase sequence	a fázisok csúcsértékeinek időbeli sorrendje; megszabja a forgásirányt (7.4)
fázisszög	phase angle	a feszültség és az áram időbeli eltolódása szögben kifejezve (6.2)
fázor	phasor	a szinuszos mennyiség vektoros ábrázolása (6.1)
feszültségesés	voltage drop	a vezeték ellenállásán/impedanciáján eső feszültség (10.4)
feszültségmentesítés	isolation / de-energising	a munkahely biztonságos kikapcsolása az öt biztonsági szabály szerint (2.4)
feszültségosztó	voltage divider	soros ellenállásokon megosztott feszültség (4.1)
fogyasztásmérő	energy meter	a villamos energiát mérő készülék (8.4)

Magyar	English	Jelentés (hol vezetjük be)
frekvenciaváltó	variable frequency drive (VFD)	az aszinkron motor fordulatszámát a tápfrekvencia változtatásával szabályozó készülék (26.5, 41.4)
háromfázisú rendszer	three-phase system	három, 120°-kal eltolt feszültség rendszere (7.1)
hatásfok	efficiency	a hasznos és a felvett teljesítmény hányadosa (3.3)
hatásos teljesítmény	active (real) power	a hasznos munkát végző teljesítmény, W (6.4)
hibavédelem	fault protection	az áramütés elleni védelem hibahelyzetre (régi: érintésvédelem) (21.1)
hőkioldó	thermal overload relay	a motor túlterhelés elleni védelme bimetállal (31.3)
hurokimpedancia	loop impedance	a hibahurok impedanciája, a kioldási feltétel alapja (21.3, 24.3)
induktivitás	inductance	a tekercs önindukciós képessége, H (5.4)
IP-védettség	ingress protection (IP code)	por és víz elleni védettségi kód (34.3)
kapacitás	capacitance	a kondenzátor töltéstároló képessége, F (5.1)
kapocsdoboz	terminal box	a motor tekercsvégeinek csatlakozási helye (26.3)
kiegészítő védelem	additional protection	pl. 30 mA-es FI az aljzatköröknél (21.4)
kioldási feltétel	disconnection condition	a védelemnek az előírt időn belül ki kell oldania hibánál (21.3)
Kirchhoff-törvények	Kirchhoff's laws	csomóponti és hurok törvény (4.4)
kismegszakító	miniature circuit breaker (MCB)	termikus és mágneses kioldású túláramvédelem, B/C/D jelleg (18.2)
kondenzátor	capacitor	töltést tároló passzív alkatrész (5.1)
kötődoboz	junction box	vezetékek csatlakoztatására szolgáló doboz (16.1)
lágyindító	soft starter	az indítási áramot és nyomatékot a feszültség növelésével szabályozó készülék (26.4)
látszólagos teljesítmény	apparent power	$S = U \cdot I$, VA (6.4)
mágneskapcsoló	contactor	elektromágnesesen működtetett kapcsolókészülék (31.2)

Magyar	English	Jelentés (hol vezetjük be)
meddő teljesítmény	reactive power	az elektromágneses terek építésére fordított teljesítmény, var (6.4)
megszakítóképesség	breaking capacity	az a legnagyobb zárlati áram, amit a készülék biztonságosan megszakít (18.4)
motorvédő kapcsoló	motor protection circuit breaker	kombinált zárlat- és túlterhelés-védelem (31.3)
névleges áram	rated current	a készülék tartós áramterhelhetősége (18.2)
nullavezető	neutral conductor	N, világoskék (7.3)
Ohm törvénye	Ohm's law	$U = I \cdot R$ (3.3)
olvadóbiztosító	fuse	a túláramot megolvadással megszakító védelem (18.1)
PE (védővezető)	protective conductor	zöld-sárga vezető a hibavédelemhez (22.3)
PEN-vezető	PEN conductor	védő- és nullavezetőként egyaránt működő vezető (22.3)
PLC	programmable logic controller	programozható vezérlő (32.6)
rezonancia	resonance	az induktív és kapacitív reaktancia kiegyenlítődése (6.3)
szakaszoló	disconnector	terhelés nélkül kapcsoló készülék a biztonságos leválasztáshoz (31.3)
szelektivitás	selectivity	csak a hibahelyhez legközelebbi védelem old ki (18.4)
szigetelési ellenállás	insulation resistance	a szigetelés ellenállása, mérése megaohmmérővel (24.2)
szinkron gép	synchronous machine	a forgórész a forgó mezővel azonos fordulatszámon forog (27.1)
szlip	slip	a szinkron és a tényleges fordulatszám relatív különbsége (26.2)
terhelhetőség	current-carrying capacity	a vezeték tartós megengedett árama (Iz) (10.3)
tirisztor	thyristor	vezérelhető egyirányú erősáramú félvezető (37.4)
transzformátor	transformer	váltakozó feszültséget átalakító gép (25.1)
túláram	overcurrent	a névlegest meghaladó áram (18.1)
túlfeszültség-védelem (SPD)	surge protective device	a túlfeszültséget levezető készülék (23.3)
UPS	uninterruptible power supply	szünetmentes áramforrás (36.2)
vezeték / kábel	wire / cable	szigetelt vezető(k); jelölésük és szerelési módjuk (10.1)

Magyar	English	Jelentés (hol vezetjük be)
villámvédelem	lightning protection	külső és belső rendszer a becsapás hatásai ellen (23.2)
zárlati áram	short-circuit current	a hibahelyen folyó nagy áram (18.3)

Képlet- és jelölésgyűjtemény

Ez a függelék a könyv legfontosabb képleteit és jelöléseit gyűjti egy helyre. A feltételeket (szimmetrikus terhelés, szinuszos jelalak, névleges adatok) mindig ellenőrizni kell; a pontos kimondás a zárójelben megadott fejezet.alfejezetben található. A védelmi határértékek, időkorlátok és terhelhetőségek **tanulási példák**: tervezéskor és ellenőrzéskor mindig a hatályos szabvány és a gyártói adatlap a mérvadó (ellenőrizendő).

Jelölések

- Feszültség U, áram I, ellenállás R, vezetés G, teljesítmény P (hatásos), Q (meddő), S (látszólagos), energia W, hatásfok η, frekvencia f, körfrekvencia $\omega = 2\pi f$, impedancia Z, reaktancia X, fázisszög φ.
- Hálózat: $U_0 = 230\,\mathrm{V}$ (fázisfeszültség), $U_v = 400\,\mathrm{V}$ (vonali), $f = 50\,\mathrm{Hz}$.
- Védelem: I_b üzemi áram, I_n névleges áram, I_z terhelhetőség, I_a kioldási áram, Z_s hurokimpedancia, $I_{\Delta n}$ differenciaáram.

Egyenáram és alapfogalmak (3.3–4.5)

- Ohm: $U = I \cdot R$, $I = U/R$, $R = U/I$ (3.3).
- Teljesítmény: $P = U \cdot I = I^2 R = U^2/R$; energia $W = P \cdot t$; hatásfok $\eta = P_{\mathrm{ki}}/P_{\mathrm{be}}$ (3.3).
- Ellenállás: $R = \rho \dfrac{l}{A}$; hőmérsékletfüggés $R_2 = R_1(1 + \alpha\,\Delta\vartheta)$ (3.4).
- Soros eredő: $R_e = R_1 + R_2 + \ldots$; feszültségosztó $U_2 = U \dfrac{R_2}{R_1 + R_2}$ (4.1).
- Párhuzamos eredő: $\dfrac{1}{R_e} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}$; áramosztó $I_1 = I \dfrac{R_2}{R_1 + R_2}$ (4.2).
- Kirchhoff: $\sum I = 0$ (csomópont), $\sum U = 0$ (hurok) (4.4).
- Valódi forrás: $U_k = U_0 - I\,R_b$; zárlati áram $I_z = U_0/R_b$; illesztés $R_t = R_b$ (4.5).

Villamos és mágneses tér (5.1–5.4)

- Kapacitás $C = Q/U$; lemezes kondenzátor $C = \varepsilon\,A/d$; energia $W = \tfrac{1}{2} C U^2$ (5.1).
- Soros és párhuzamos eredő kapacitás: $\dfrac{1}{C_e} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2}$, $C_e = C_1 + C_2$; időállandó $\tau = RC$ (5.2).
- Indukált feszültség $u = -N \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$; önindukció $u = -L \dfrac{\Delta i}{\Delta t}$; energia $W = \tfrac{1}{2} L I^2$; $\tau = L/R$ (5.4).

Váltakozó áram (6.1–6.4)

- $T = 1/f$; $U_{\text{eff}} = U_{\max}/\sqrt{2}$ (6.1).
- $X_L = \omega L$, $X_C = \dfrac{1}{\omega C}$ (6.2).
- Soros RLC: $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$, $\tan\varphi = \dfrac{X_L - X_C}{R}$; rezonancia $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (6.3).
- $P = UI\cos\varphi$, $Q = UI\sin\varphi$, $S = UI$, $S^2 = P^2 + Q^2$, $\cos\varphi = P/S$ (6.4).

Háromfázisú rendszer (7.1–7.4)

- Csillag: $U_v = \sqrt{3}\,U_f$, $I_v = I_f$; delta: $U_v = U_f$, $I_v = \sqrt{3}\,I_f$ (7.2).
- $P = \sqrt{3}\,U_v I_v \cos\varphi$, $Q = \sqrt{3}\,U_v I_v \sin\varphi$, $S = \sqrt{3}\,U_v I_v$ (7.3).

Vezeték és védelem (10.3–18.4, 21.3)

- Feszültségesés egyfázisú: $\Delta U = 2\,I\,R\cos\varphi$ (egyszerűsített), háromfázisú: $\Delta U = \sqrt{3}\,I\,R\cos\varphi$; százalékosan $\Delta u\% = \dfrac{\Delta U}{U}\cdot 100$ (10.4).
- Vezetékvédelem: $I_b \le I_n \le I_z$ és $I_2 \le 1{,}45\,I_z$ (18.3).
- Kioldási feltétel TN-rendszerben: $Z_s \cdot I_a \le U_0$ (21.3). Zárlati áram: $I_k = U_0/Z_s$ (18.3).
- TT-rendszerben: $R_A \cdot I_a \le 50\,\text{V}$ (ellenőrizendő: határérték) (21.3).

Transzformátor és gépek (25.1–26.5)

- Áttétel: $\vartheta = \dfrac{U_1}{U_2} = \dfrac{N_1}{N_2} = \dfrac{I_2}{I_1}$ (25.1).
- Hatásfok: $\eta = \dfrac{P_2}{P_2 + P_{\text{Fe}} + P_{\text{Cu}}}$ (25.2).
- Szinkron fordulatszám: $n_s = \dfrac{60f}{p}$ (p a póluspárok száma); szlip $s = \dfrac{n_s - n}{n_s}$ (26.1, 26.2).
- Motor teljesítménye: $P_{\text{be}} = \sqrt{3}\,UI\cos\varphi$, $P_{\text{ki}} = P_{\text{be}}\,\eta$; nyomaték $M = \dfrac{P}{2\pi n}$ (n másodpercenkénti fordulat) (26.2).
- Y-Δ indításnál az indítási áram és nyomaték a közvetlen indítás 1/3-a (26.4).

Fázisjavítás és fényforrások (36.1, 19.1)

- $Q_c = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$; $C = \dfrac{Q_c}{\omega U^2}$ (delta-kapcsolású telepnél fázisonként) (36.1).
- Megvilágítás $E = \Phi/A$ (lux); fényhasznosítás $\eta_v = \Phi/P$ (lm/W) (19.1).

Elektronika (37.1–38.1)

- LED előtét-ellenállás: $R = \dfrac{U_t - U_F}{I_F}$ (37.1).
- Hídegyenirányító szinuszos bemenetnél: $U_{\text{egy}} \approx 0{,}9\,U_{\text{eff}}$ (terheletlenül $\sqrt{2}\,U_{\text{eff}}$ simítással) (38.1).

Rajzjelek, betűjelek és kapocsjelölések

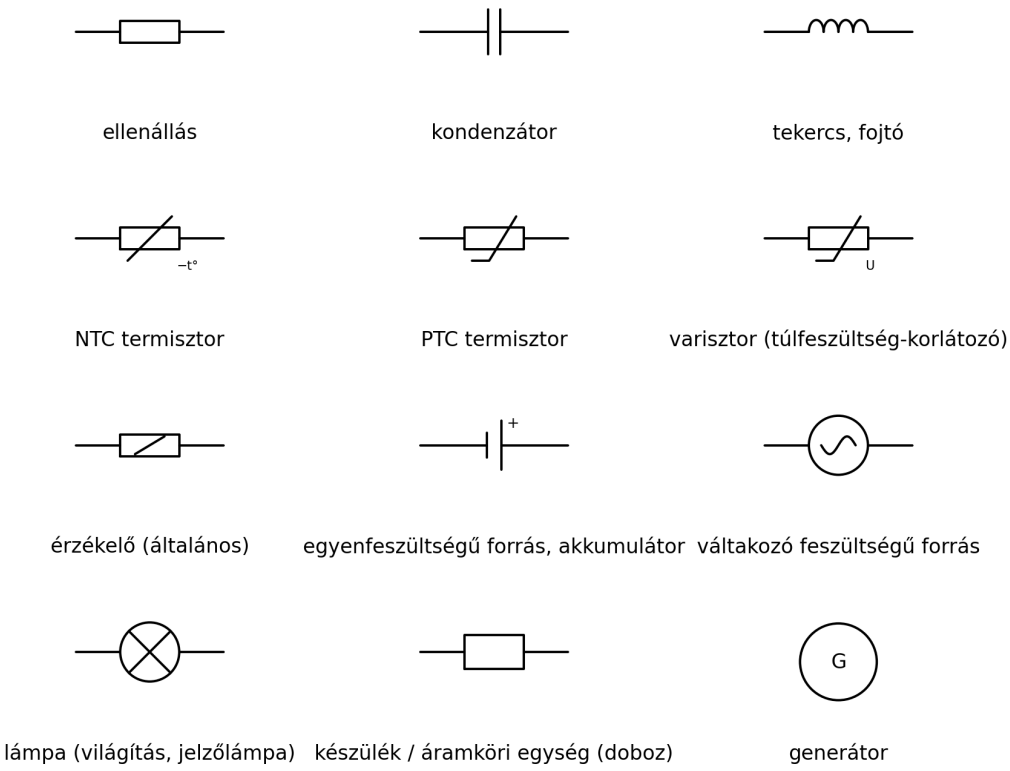
Ez a függelék a könyv kapcsolási rajzain előforduló összes jelölést gyűjti egy helyre: a rajzjeleket (MSZ EN 60617 / IEC 60617 szerinti egyszerűsített ábrázolásban), a készülékek betűjeleit (MSZ EN IEC 81346-2), a kapocs- és vezetőjelöléseket (MSZ EN 60445, MSZ EN 60947 sorozat), valamint a rajzolási megállapodásokat. A rajzjeleket ugyanaz a rajzoló készítette, amely a fejezetek ábráit, így pontosan úgy néznek ki, ahogy a fejezetekben. A szabványszámok és a betűjel-hozzárendelések tanulási segédletek; a hatályos szabványszöveg és a tervdokumentáció jelmagyarázata a mérvadó (ellenőrizendő: MSZ EN 60617 adatbázis, MSZ EN IEC 81346-2, MSZ EN 60445).

Rajzolási megállapodások

- **Alapállapot.** A kapcsolási rajz feszültségmentes, nem működtetett állapotot mutat: a záró érintkező nyitva, a bontó zárva, a mágneskapcsoló nincs behúzva. Működtetett állapotot csak a működést szemléltető ábra mutat, és a felirata ezt jelzi.
- **Kötés és keresztezés.** A vezetékek tömör ponttal jelölt találkozása villamos kötés; a pont nélküli keresztezés **nem** kötés.
- **Mechanikus kapcsolat.** A szaggatott vonal az együtt mozgó érintkezőket köti össze (többpólusú kismegszakító, áram-védőkapcsoló, mágneskapcsoló pólusai, összetartozó nyomógomb-érintkezők). Villamos kapcsolatot nem jelent. Ha a szaggatott vonal közepén **háromszög (▽)** áll, az **mechanikus reteszelés**: a két készülék (pl. irányváltó K1–K2, csillag–delta K2–K3) nem működtethető egyszerre.
- **Egyvonalas (egyvonalú) rajz.** Egy vonal több vezetőt képvisel; a vezetők számát a vonalon ferde vonások (pl. három vonás = három fázisvezető) vagy szám (pl. „/ 4”) jelzi.
- **Áramút-rajz (vezérlés).** A vezérlőkör a felső tápvonaltól (L, L1 vagy +) az alsóig (N vagy −) halad; a kapcsolóelemek a tekercs fázisoldalán, a tekercs (A1–A2) a nulla oldalán áll.
- **Vezetőszínek** (MSZ EN 60445): fázisvezető (L1, L2, L3) barna, fekete, szürke; nullavezető (N) világoskék; védővezető (PE) zöld-sárga. A PEN vezető zöld-sárga, a végein világoskék jelöléssel (vagy fordítva – ellenőrizendő: MSZ EN 60445).

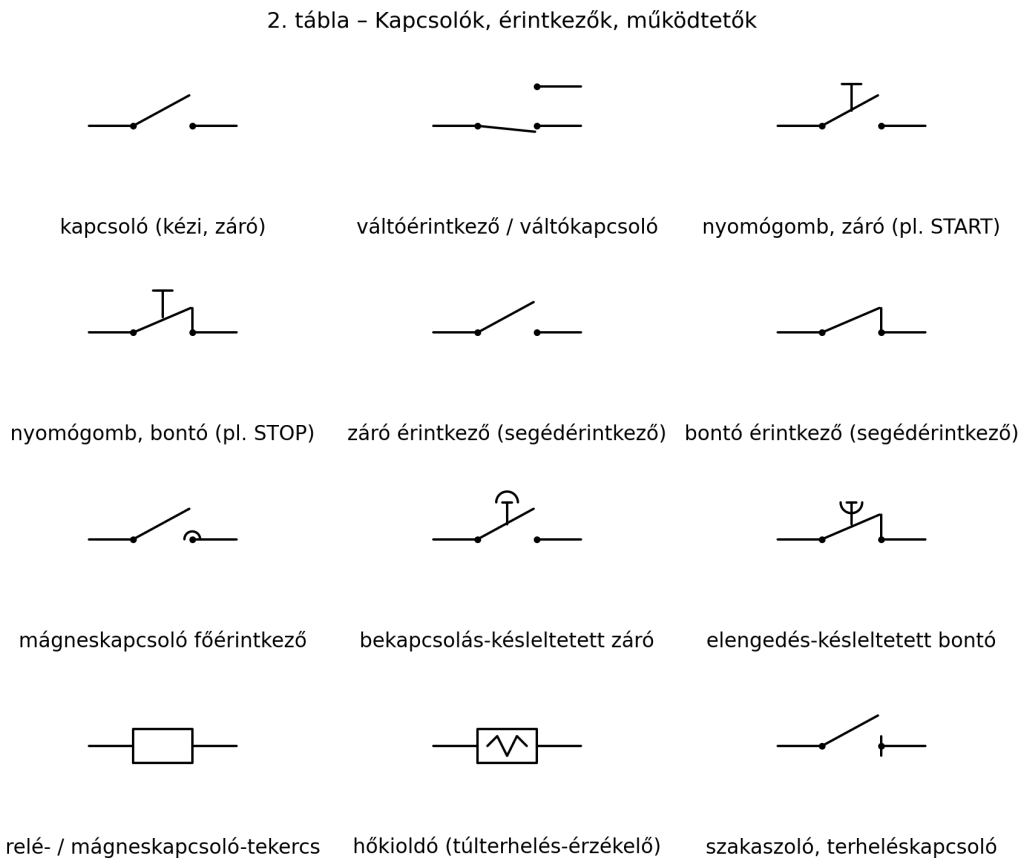
Rajzjelek

1. tábla – Passzív elemek, források, fogyasztók



44.6. ábra. Passzív elemek, források és fogyasztók rajzjelei

Rajzjel	Jellemző betűjel	Megjegyzés
ellenállás	R	értéke a jel mellett (pl. 10 kΩ)
kondenzátor	C	
tekercs, fojtó	L, R (fojtó)	a fojtótekercs áramkorlátozó szerepű
NTC / PTC termisztor	R, B (érzékelőként)	a ferde vonal a változó ellenállást, a „−t°” a negatív hőfokténye zőt jelzi
varisztor	F, R	túlfeszültség-korlátozás
érzékelő (általános)	B	
egyenfeszültségű forrás, akkumulátor	G	a hosszabb lemez a pozitív (+) pólus
váltakozó feszültségű forrás	G	
lámpa	E (világítás), P vagy H (jelzőlámpa)	lásd a betűjeltáblát
készülék, áramköri egység	A, U	a doboz feliratában a funkció
generátor	G	

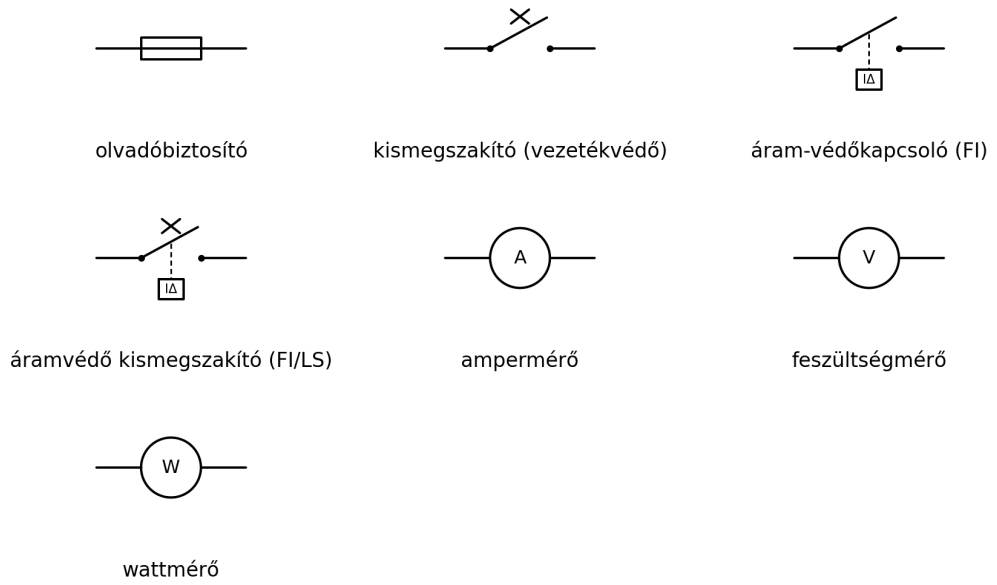


44.7. ábra. Kapcsolók, érintkezők és működtetők rajzjelei

Rajzjel	Jellemző betűjel	Kapocsjelölés	Megjegyzés
kapcsoló (kézi)	S, Q		világítási kapcsoló: S
váltóérintkező / váltókapcsoló	S, K	közös: x1, bontó: x2, záró: x4 (pl. 11–12–14)	alapállapotban a bontó ág zárt
záró nyomógomb (START)	S1	13–14 (x3–x4)	
bontó nyomógomb (STOP)	S0	11–12 (x1–x2)	a STOP mindig bontó, sorosan
záró segédérintkező	K (a tekercs betűjelével)	13–14, 23–24, 43–44 … (x3–x4)	önfenntartás: K1 13–14
bontó segédérintkező	K	21–22, 31–32 … (x1–x2)	reteszelés: a másik kontaktor bontója
mágneskapcsoló főérintkező	K (Q)	1–2, 3–4, 5–6 (L1–T1, L2–T2, L3–T3)	félkör a rögzített érintkezőnél
késleltetett érintkező	K, KT	55–56 (bontó), 67–68 (záró)	az ív iránya a késleltetés fajtáját jelzi (ellenőrizendő: MSZ EN 60617, MSZ EN 60947-5-1)

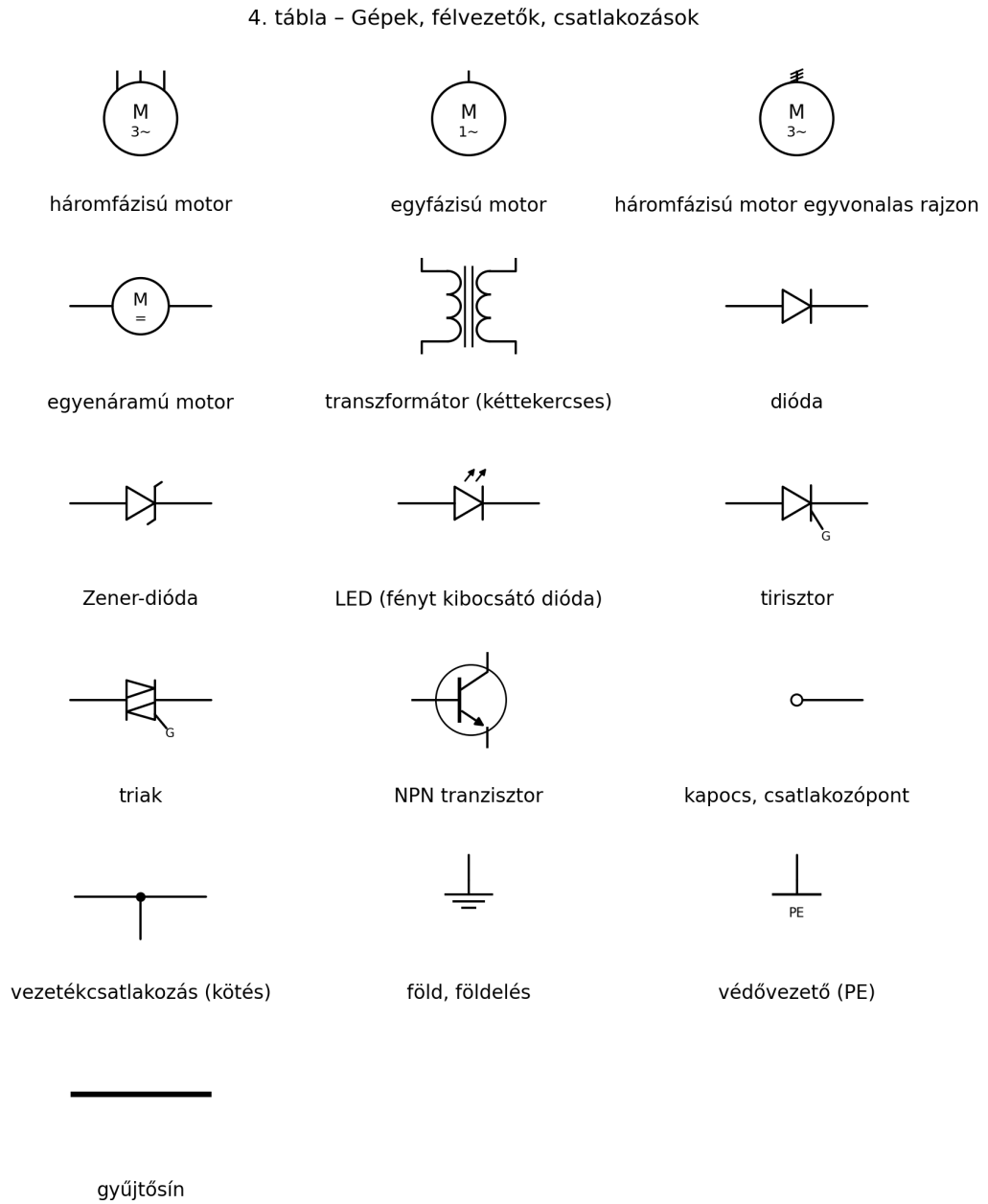
Rajzjel	Jellemző betűjel	Kapocsjelölés	Megjegyzés
relé- / mágneskapcsoló-tekercs	K	A1–A2	
hőkioldó (hőelemek a főáramkörben)	F	főáram: 1–2, 3–4, 5–6; bontó: 95–96; záró: 97–98	a 95–96 a vezérlőkörben
szakaszoló, terheléskapcsoló	Q		a rögzített érintkezőnél rövid merőleges vonal

3. tábla – Védelmi készülékek és mérőműszerek



44.8. ábra. Védelmi készülékek és mérőműszerek rajzjelei

Rajzjel	Jellemző betűjel	Megjegyzés
olvadóbiztosító	F	a téglalapon átmenő vonal az olvadószál
kismegszakító (vezetékvédő)	F, Q	az X a túláramkioldó; kioldási jelleg és névleges áram a jel mellett (pl. B16)
áram-védőkapcsoló (FI, MSZ EN 61008)	F, Q	az IΔ doboz a differenciaáram-érzékelő, szaggatott vonallal a késhez kötve; felirat pl. 40 A / 30 mA
áramvédő kismegszakító (FI/LS, MSZ EN 61009)	F	túláramkioldó (X) és differenciaáram-kioldó együtt
ampermérő, feszültségmérő, wattmérő	P	a kör betűje a mért mennyiség (A, V, W)



44.9. ábra. Gépek, félvezetők és csatlakozások rajzjelei

Rajzjel	Jellemző betűjel	Kapocsjelölés	Megjegyzés
háromfázisú motor	M	U1, V1, W1 / U2, V2, W2; PE	a „3~” a fázisszámot jelzi
egyfázisú motor	M	U1–U2 (fő), Z1–Z2 (segédtekercs)	
egyenáramú motor	M	A1–A2 (armatúra), E1–E2 (sönt), D1–D2 (soros), F1–F2 (külső gerjesztés)	

Rajzjel	Jellemző betűjel	Kapocsjelölés	Megjegyzés
transzformátor	T	1U1–1U2 primer, 2U1–2U2 szekunder (háromfázisúnál 1U/1V/1W, 2U/2V/2W, n)	
dióda, Zener-dióda, LED	V (R), LED: E/P	anód – katód (a háromszög csúcsa a katód felé)	
tirisztor, triak	V, Q	anód, katód, G vezérlőelektróda; triak: A1, A2, G	
NPN tranzisztor	V, Q, K	B bázis, C kollektor, E emitter (nyíl az emitteren)	
kapocs, sorkapocs	X	X1:1, X1:2 … (sorkapocsléc:kapocs)	
kötés (csatlakozási pont)	–		lásd a rajzolási megállapodásokat
föld, földelés	–	E	
védővezető	–	PE (PEN)	
gyűjtősín	W	L1, L2, L3, N, PE	

Készülék-betűjelek

A könyv a magyar oktatási és szerelői gyakorlatban elterjedt betűjeleket használja; ezek nagyrészt egyeznek az MSZ EN IEC 81346-2 osztályaival. Ahol a szabvány mást ír elő, azt a harmadik oszlop jelzi. A tervrajzokon mindig a rajz saját jelmagyarázata a mérvadó.

Betűjel	Jelentés a könyvben	Példa	Megjegyzés (MSZ EN IEC 81346-2)
A	összetett készülék, egység	A1 PLC, frekvenciaváltó	
B	érzékelő, jeladó	B1 mozgásérzékelő, végálláskapcsoló	
C	kondenzátor	C1 fázisjavító	
E	világítás, fűtés	E1 lámpatest	
F	védelmi készülék	F1 hőkioldó, F2 biztosító, F3 kismegszakító	a kismegszakító és a FI Q is lehet
G	forrás, generátor	G1 akkumulátor, aggregátor	
H	jelzőlámpa, jelzőkészülék	H1 üzemjelző	a szabvány szerint P (régebbi gyakorlat: H) – ellenőrizendő

Betűjel	Jelentés a könyvben	Példa	Megjegyzés (MSZ EN IEC 81346-2)
K	relé, mágneskapcsoló, időrelé	K1, K2, KT1	a szabvány a fő áramkört kapcsoló kontaktort Q-val jelöli; a K a jelfeldolgozó relé – ellenőrizendő
M	motor	M1	
P	mérőműszer, kijelző	P1 ampermérő, P2 fogyasztásmérő	
Q	erősáramú kapcsolókészülék	Q1 főkapcsoló, szakaszoló, megszakító, FI	
R	ellenállás, fojtó	R1	
S	kézi működtetésű kapcsoló, nyomógomb	S0 STOP, S1 START, S2	a szabvány csak az S betűt írja elő; a könyv a STOP „0” és a START „I” működtetőjeléhez (MSZ EN 60204-1) igazodva S0 = STOP, S1 = START (irányváltásnál S1 előre, S2 hátra)
T	transzformátor	T1 vezérlőtranszformátor	
V	félvezető	V1 dióda, V2 tirisztor	
W	vezeték, kábel, gyűjtősín	W1	
X	kapocs, csatlakozó, aljzat	X1 sorkapocsléc, X2 aljzat	

Kapocs- és vezetőjelölések

Jelölés	Jelentés
L1, L2, L3	fázisvezetők (háromfázisú hálózat)
L	fázisvezető (egyfázisú kör)
N	nullavezető (középvezető)
PE	védővezető
PEN	egyesített védő- és nullavezető (TN-C rendszerrész)
L+, L−, M	egyenáramú pozitív és negatív vezető, középvezető

Jelölés	Jelentés
U1, V1, W1 – U2, V2, W2	háromfázisú motor tekercseinek eleje és vége (MSZ EN 60034-8); a kapocstáblán az egyik sorban U1 V1 W1, a másikban eltolva W2 U2 V2 (a kapocsdobozban a W2 U2 V2 sor gyakran felül van); csillag: W2–U2–V2 összekötve; delta: U1–W2, V1–U2, W1–V2 függőleges hidak
T1, T2, T3	mágneskapcsoló, motorvédő kimeneti (terhelés felőli) kapcsai
A1, A2	relé- és mágneskapcsoló-tekercs kapcsai (A2 a nulla felé)
1–2, 3–4, 5–6	főérintkezők pólusai
13–14, 23–24 …	záró segédérintkező (első számjegy: sorszám, második: 3–4 = záró)
11–12, 21–22 …	bontó segédérintkező (1–2 = bontó)
95–96, 97–98	hőkioldó bontó- és záró érintkezője
55–56, 67–68	késleltetett bontó és záró érintkező (időrelé)
X1:1 …	sorkapocsléc és kapocsszám
M1, M2 … (mérőpont)	a hibakeresési rajzokon a feszültségmérés helye (a motor betűjelétől a szövegkörnyezet különbözteti meg)

Kompetenciatérkép és tanulási útvonal

A könyv célprofilja: a villanyszerelő szakmai vizsgára és a munkahelyre felkészülő felnőtt tanuló, aki a villamos berendezés- és készülékszerelő szakirányon önállóan, a hazai szabványok szerint tud számolni, rajzot olvasni, szerelni, mérni és hibát keresni. A nyomtatott könyv fejezet.alfejezet számozását használjuk (például „18.2”).

Belépési és kilépési feltételek

Belépés. Középiskolai szintű alapműveletek és egyenletrendezés. A belépő teszt a 1.2 alfejezetben van; aki 12-ből 9 kérdésre helyesen válaszol, a 3.1 alfejezettel kezdhet, egyébként a 3.2 alfejezetet is gyakorolja.

Kilépés. A tanuló (1) mértékegységekkel biztosan számol egyen- és váltakozó áramú, valamint háromfázisú áramköröket, (2) olvassa és rajzolja az áramúti, kapcsolási, huzalozási és vezérlési rajzokat, (3) méretezi a vezetéket és a védelmet (Ib ≤ In ≤ Iz, feszültségesés, zárlat), (4) ismeri és ellenőrzi a hibavédelmet (hálózati rendszerek, kioldási feltétel, FI, EPH, földelés), (5) beköti és vezérli a motorokat és transzformátorokat, (6) kiválasztja és beszereli a kapcsoló- és védőkészülékeket és az elosztóberendezéseket, (7) elvégzi a védelmi méréseket és kitölti a jegyzőkönyvet, (8) hibát keres módszeresen, (9) betartja a munkavédelmi szabályokat. Mérési kritérium: az elméleti mintafeladatsoron legalább 60%, és a gyakorlati vizsgafeladatok ellenőrzőlistája teljesítve (44.2, 44.3).

Tizenkét kompetencia és ellenőrző pontjai

#	Kompetencia	Mit tud a tanuló?	Ellenőrző pont	Bizonyíték
1	Munkabiztonság	az öt szabály, áramütés elleni elsősegély, védőeszközök	2.4	a feszültségmentesítés sorrendjének helyes végrehajtása
2	Elektrotechnikai számítások	Ohm, hálózatok, teljesítmény, hatásfok	4.3	vegyes kapcsolás hibátlan megoldása
3	Váltakozó áram és háromfázis	fázor, impedancia, P-Q-S, csillag/delta	7.3	háromfázisú teljesítmény- és áramszámítás
4	Mérések	multiméter, lakatfogó, oszcilloszkóp, teljesítmény	8.2	mérési jegyzőkönyv mérési hibákkal
5	Anyagok, vezetékek, kábelek	típusjelölés, színek, terhelhetőség, ΔU	10.4	vezeték méretezése terhelhetőségre és ΔU-ra
6	Rajzolvasás és dokumentáció	rajzjelek, áramúti és egyvonalas rajz, kapocsjelölés	13.3	motorvezérlés rajzának értelmezése
7	Épületvillamossági szerelés	szerelési módok, kapcsolások, aljzatkörök, lakáselosztó	17.2	lakáselosztó egyvonalas rajza és bekötése
8	Túláram- és hibavédelem	MCB, biztosító, kioldási feltétel, FI, EPH, SPD	21.4	kioldási feltétel ellenőrzése számítással
9	Villamos gépek	transzformátor, aszinkron- és szinkrongép, bekötés, indítás	26.5	motor kiválasztása és indítási módja
10	Kapcsoló- és vezérlőkészülékek	mágneskapcsoló, hőkioldó, vezérlések, PLC-alapok	32.5	direkt, reverzáló és Y-Δ vezérlés megrajzolása és hibakeresése
11	Ipari elosztók és fogyasztók	szekrény, IP, sínek, méretezés, fázisjavítás, UPS, napelem	36.3	ipari leágazás méretezése és dokumentálása
12	Ellenőrzés és hibakeresés	szemrevételezés, szigetelés, hurokimpedancia, FI-mérés, jegyzőkönyv	42.2	védelmi mérések és jegyzőkönyv

A képzési követelmények (kerettanterv) és a könyv megfeleltetése

A kerettanterv tantárgyai és témakörei a szakirányokra (épületvillamosság, villamos készülék és berendezés) közösek vagy szakirányspecifikusak. A táblázat megmutatja, melyik tantárgyat melyik fejezet fedi (a fejezetszám a nyomtatott könyv számozása; a tantárgy-nevek a kerettanterv szerintiek, a pontos óraszámok a helyi tantervben vannak – ellenőrizendő).

Tantárgy / témakör	Szakirány	Fejezetek
Munkahelyi egészség és biztonság	közös	2 (munkavédelem; az 1. fejezet az útmutató)
Műszaki informatika, irodai alkalmazások, hálózatok	közös	14 (minőségbiztosítás, informatika, hálózatok)
Műszaki ismeretek: egyenáramú áramkörök, mágneses tér és váltakozó áram	közös	3–8
Műszaki ismeretek: szakrajz alapjai	közös	11
Műszaki ismeretek: fémek, nemfémes anyagok, minőségbiztosítás	közös	9, 14
Elektrotechnikai számítások (Elektrotechnika 1–2)	közös	3–7
Műszaki gyakorlatok	közös	39, 42
Épületvillamossági szerelés (hálózatok, berendezések, érintésvédelem, villámvédelem)	közös	10, 12, 15–24
Épületvillamossági mérések gyakorlata	közös	8, 24, 42
Ipari elektronika	közös	37–38
Vállalkozási ismeretek, foglalkoztatás	közös	43
Villamosipari anyagismeret (vezetékek, szigetelők, elektronikai alkatrészek, gépek anyagai)	berendezés- és készülékszerelő	9–10, 29
Villamos gépek és berendezések (forgógépek, transzformátorok, javítás, ipari berendezés szerelése)	berendezés- és készülékszerelő	25–36
Villamos műszaki ábrázolás (dokumentálás 1–2)	berendezés- és készülékszerelő	12–13
Villamos gépek és berendezések üzemvitelének, mérésének gyakorlata	berendezés- és készülékszerelő	39–42
Vizsgafelkészülés	közös	44

Tanulási útvonalak

- **Teljes útvonal (0-ról):** a könyv sorrendjében, fejezetenként az Önellenőrzéssel; ajánlott heti ütem 4–6 alfejezet, a gyakorlati útmutatókat oktatói felügyelettel vagy tanműhelyben.
- **Kiegészítő útvonal (az órák mellé):** kövesd az előadások sorrendjét, és a hiányosságot a megfeleltető táblázat szerint pótold; mindenhol az Önellenőrzésből indulj.
- **Vizsgafelkészítő útvonal:** a Rövid összefoglalók és a Képletgyűjtemény, majd a 44.1, 44.2, 44.3 alfejezetek, a hibás pontok visszaolvasásával.

Bibliográfia és forráskulcsok

Ezek a tervben szereplő kiindulópontok, nem ebben a tervben ellenőrzött források. Az URL nélküli tételeknél a kiadói vagy szabványügyi oldalt a `research` lépés keresse meg; URL-t, kiadást, szabványszakaszt, jogszabályszámot, paragrafust vagy oldalszámot ne találj ki. **Minden szabvány- és jogszabályszám, hatályosság, határérték és időkorlát ellenőrzendő a kiadás előtt** (a szövegben „(ellenőrizendő: …)” jelzéssel), mert a magyar és európai szabályozás időben változik, és a szabványok jelentős része fizetős.

Fejezetenként közös forráscsomag. A fejezet-leírás fókusza és URL-jei az elsődlegesek; az alábbi lista referencia-térkép. Minimum három releváns forrás szükséges, olvasott szakasz/állítás szerint. A konvenciók forrásonként eltérnek (hazai régi és új szabványok, gyártói gyakorlat, hálózati engedélyes előírása); minden forrásnál rögzíteni kell a használt konvenciót és az esetleges eltérést a könyv context.md-beli konvenciójától. Továbbtanulás further_reading; hiány gaps.

Magyar szabványügy és jogi környezet

- https://www.mszt.hu/ (Magyar Szabványügyi Testület: MSZ, MSZ EN, MSZ HD szabványok, szabványkereső, előfizetés)
- https://net.jogtar.hu/ (Nemzeti Jogszabálytár: hatályos törvények és rendeletek: munkavédelem, tűzvédelem, villamos berendezések)
- https://magyarkozlony.hu/ (Magyar Közlöny: jogszabályok kihirdetése)
- https://www.mekh.hu/ (Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal: csatlakozás, kiserőművek, engedélyesek)
- https://www.mee.hu/ (Magyar Elektrotechnikai Egyesület: szakmai anyagok, villamos biztonsági témák)
- https://www.katasztrofavedelem.hu/ (katasztrófavédelem: tűzvédelmi szabályozás, OTSZ – ellenőrizendő)
- https://nav.gov.hu/ (adózás, vállalkozás – a vállalkozási fejezethez)

Európai és nemzetközi szabványügy

- https://www.cenelec.eu/ (CENELEC: európai villamos szabványok, HD dokumentumok)
- https://www.iec.ch/ (IEC: nemzetközi szabványok, IEC 60617 rajzjelek)
- https://www.electropedia.org/ (IEV: a nemzetközi elektrotechnikai szótár – terminológiához)
- https://www.bipm.org/en/measurement-units (SI-rendszer)

Szabványcsaládok (ellenőrizendő szám és kiadás; a kapcsolódó alfejezetben)

- MSZ HD 60364 sorozat: kisfeszültségű villamos berendezések (alapfogalmak, áramütés elleni védelem, túláram- és túlfeszültség-védelem, szerelési módok és terhelhetőség, földelés és EPH, ellenőrzés, különleges helyiségek, napelemes rendszerek).
- MSZ EN 62305 sorozat: villámvédelem.
- MSZ EN 61439 sorozat: kisfeszültségű kapcsoló- és vezérlőberendezések (elosztók).
- MSZ EN 60947 sorozat: kisfeszültségű kapcsolókészülékek; MSZ EN 60898-1: kismegszakítók; MSZ EN 61008/61009: áram-védőkapcsolók.
- MSZ EN 60204-1: gépek villamos berendezései; MSZ EN 60529: IP-kód; MSZ EN 62262: IK-kód.
- MSZ EN 60617 (IEC 60617): grafikus jelek; MSZ EN 61082: dokumentáció; MSZ EN 81346: referenciajelölés (ellenőrizendő).
- MSZ EN 61557 sorozat: védelmi mérések eszközei; MSZ EN 61010: mérési kategóriák, műszerbiztonság.
- MSZ EN 60034 sorozat: forgó villamos gépek; MSZ EN 60076 sorozat: teljesítménytranszformátorok.
- MSZ HD 308: vezetékek azonosítása színekkel (ellenőrizendő), MSZ EN 12464-1 (munkahelyi világítás), MSZ EN 1838 (vészvilágítás).
- Régi, lecserélt vagy átalakult szabványok (csak „régi terveken ezt találod” megjegyzéssel): MSZ 1600, MSZ 2364, MSZ 172, MSZ 170 (ellenőrizendő a jogutódok).

Tankönyvek, szakmai kiadványok (típusok; konkrét címek ellenőrizendők)

- A szakképzési kerettanterv és szakmai és vizsgakövetelmény (SZVK) a villanyszerelő szakmához – a helyi képzés tantervével együtt.
- Magyar szakközépiskolai/szakképzési villanyszerelő tankönyvek (Nemzeti Tankönyvkiadó, Műszaki Könyvkiadó – konkrét címek ellenőrizendők).
- Általános elektrotechnika- és villamosgép-tankönyvek (egyetemi, ellenőrizendő a kiadás).
- Gyártói alkalmazástechnikai kézikönyvek (kapcsolókészülékek, elosztók, motorvezérlés): ellenőrizendő a magyar nyelvű változatok.

Gyártók és alkalmazástechnikai források (kiindulópontok; nem termékajánlás)

- https://new.abb.com/low-voltage (kisfeszültségű kapcsolókészülékek, alkalmazástechnika)
- https://www.se.com/hu/hu/ (Schneider Electric: kapcsolók, motorvezérlés, épületautomatika)
- https://www.siemens.com/ (kapcsolókészülékek és hajtások; ellenőrizendő a magyar oldal)
- https://www.hager.hu/ , https://www.legrand.hu/ (lakás- és épületelosztók, szerelvények – ellenőrizendő az aktuális hazai oldal)
- https://www.phoenixcontact.com/hu-hu , https://www.wago.com/ (kapcsok, csatlakoztatás)
- https://www.rittal.com/hu-hu (kapcsolószekrények, hűtés)
- https://www.dehn.hu/ (villám- és túlfeszültség-védelem – ellenőrizendő)
- https://www.knx.org/ , https://www.dali-alliance.org/ (épületautomatika)
- https://www.fluke.com/ , https://www.metrel.si/ (mérőműszerek; mérési módszerek – ellenőrizendő a magyar oldal)