

Akkumulátorok

Villamosenergia tárolás

Akkumulátor

- ▶ Az akkumulátorok a kémiai áramforrások (segítségükkel a villamos energia termelése kémiai anyagok átalakulása révén történik) azon csoportja, amelyekben az átalakulás megfordítható, azaz villamos áram bevezetésével a kémiai anyagok visszaalakíthatók eredeti állapotukba, az áram termeléskor átalakult anyagok ellentétes irányú áram átadásával regenerálhatók.

Töltés és kisütés

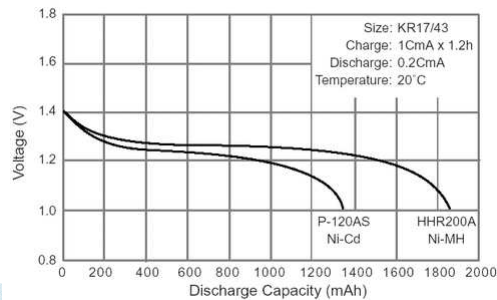
- ▶ **Kisütés** közben az akkumulátor úgy működik, mint egy galvánelem; a töltésszétválasztó folyamat közben elektródáinak anyaga átalakul.
- ▶ **Töltés** közben az akkumulátor energiát vesz föl, elektródjai átalakulnak. A pozitív aktív elektród oxidálódik, negatív redukálódik elektronokat nyel el. Ezek az elektronok hozzák létre a töltőáramot a külső áramkörben.
- ▶ Az elektrolit vagy elektronpufferként (Li-Ion, NiCd), vagy a reakció aktív résztvevőjeként funkcionál.

Fogalmak

- ▶ **Kapacitás:** A terhelő áramnak és a terhelési időnek a szorzata, amíg névleges feszültség fölért vagyunk. Mértékegysége az Ah, mAh (amperóra, milliamperóra)
- ▶ **Forrásfeszültség:** A feszültségforrásnak az elektrokémiai folyamatok által meghatározott, terhelés nélkül mért feszültsége.
- ▶ **Kapocsfeszültség:** A feszültségforrás sarkain terhelés közben mért feszültség. Mindig kisebb, mint a forrásfeszültség.

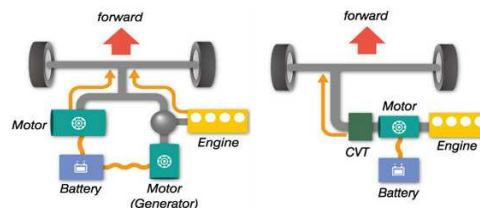
Fogalmak

- ▶ **Belső ellenállás:** A terheléskor jelentkező feszültségcsökkenésnek és a terhelőáramnak a hányadosa. Az ideális feszültségforrás belső ellenállása nulla.
- ▶ **Kisütési görbe:** Állandó áramú terhelés mellett a feszültségforrás kapocsfeszültségének időfüggvénye.



Felhasználásuk I.

- ▶ Elektronika
 - Hordozható eszközök
 - Nem felejtő memóriák táplálása
- ▶ Közlekedés
 - Indítóakkumulátor
 - Elektromos járművek
 - Hibrid járművek



Felhasználásuk II.

► Energetika

- Szünetmentes áramforrások
- Terhelés kiegyenlítés
 - Megújuló energiaforrások mellé
- Feszültség- és frekvenciastabilizálás
 - Feszültségstabilizálás: Fairbanks Alaska, 27 MW, 15 perc
 - Frekvenciastabilizálás: Puerto Rico 20 MW, 10 perc

Akkumulátorok fajtái

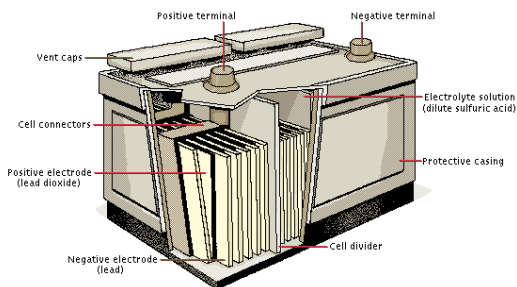
Akkumulátor	Feszültség [V]	Töltési-kisütési ciklusok	Ön-kisülés [%/hó]	Energia sűrűség [Wh/kg]	Hatékonyság [%]
Ólom	2,0	500–800	3–4	30–40	70–92
Zárt ólom	2,0		–	–	70–92
Nikkel-kadmium (NiCd)	1,2	1500	20	40–60	70–90
Nikkel metál-hidrid (NiMH)	1,2	1000	20	30–80	66
Lítium-ion (Li-ion)	3,7	1200	5–10	160	99,9
Lítium-polimer (Li-polymer)	3,7	500–1000		130–200	99,8

Ólom, vagy savas akkumulátor

- ▶ Három aktív anyag játszik szerepet a savas ólomakkumulátor működésében:
 - a fém ólom (Pb), amely működéskor a negatív elektród, ólomrácsra rákent szivacsos fém ólomlemez formájában,
 - az ólomdioxid (PbO_2), amely működéskor a pozitív elektród, villamosan vezető ólomrácsra rákent szivacsos lemez formájában,
 - az ún. elektrolitként is szolgáló kénsav (H_2SO_4), amely a lemezeket körbeveszi és azok pórusait is kitölti.

Ólom vagy savas akkumulátor

- ▶ Elektrolit: hígított kénsav
- ▶ Feltöltött állapotban:
 - Anód: ólom
 - Katód: ólom–dioxid (PbO_2)
- ▶ Kisülésekor mindkét elektród ólom–szulfáttá alakul.



Ólom vagy savas akkumulátor

- ▶ Egy üzemelő cella névleges feszültsége 2 volt
- ▶ A cellák sorba kapcsolásával telepek alakíthatók ki. (pl. 6 cella 12 V)
- ▶ Igen elterjedt
- ▶ Kis belső ellenállás
- ▶ Ez teszi lehetővé azt, hogy a töltő és kisütő feszültség között ne legyen túl nagy különbség, így üzem közben is tölthető, a fogyasztók nem károsodnak.
- ▶ Igen nagy kisütőáram (gépkocsik indításkor ez 100 A nagyságrendű)

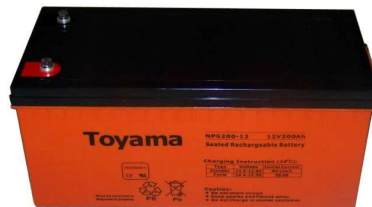
Ólom vagy savas akkumulátor

- ▶ Problémái:
 - 2,39 volt cellafeszültség fölött jelentkező vízbontás, durranógáz keletkezik, az akkumulátor felrobbanhat
 - Gondozásmentes akkumulátor: katalizátor visszaalakítja vízzé a durranógázt
 - Környezetszennyezés: ólom



Oxigénrekombinációs, zárt ólomakkumulátor

- ▶ Az 1990-es évek konstrukciós változása: zárt konstrukció megjelenése és tömeges elterjedése.
- ▶ Az oxigén rekombinációs akkumulátorokat használnak is autókban, számítógépek szünetmentes áramforrásaiban, riasztókészülékek áramforrásaiban, stb.

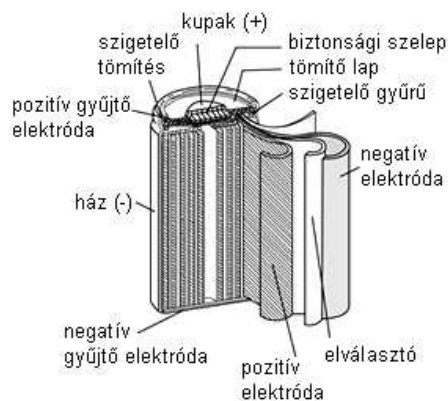


Oxigénrekombinációs, zárt ólomakkumulátor

- ▶ A zselés akkumulátorok felhasználási területe napjainkban eléggé beszűkült a nagy terjedelemhez és súlyhoz tartozó aránylag kis kapacitás és kismértékű terhelhetőség miatt. Főként szünetmentes tápegységekben, tölthető lámpákban, riasztókban találkozhatunk velük.
- ▶ Áruk kedvező, töltésük viszonylag lassan történik és gondozásmentesek (kisütést nem igényelnek).

Nikkel–kadmium akkumulátor (NiCd)

- ▶ Feszültség: kereken 1,2 volt (cellánként)
- ▶ Elektrolit: kálilúg (KOH) vizes oldata
- ▶ Anód: kadmium
- ▶ Katód: nikkel–vegyület



Nikkel–kadmium akkumulátor (NiCd)

- ▶ Egyes típusaik igen nagy kisütőáramot (a névleges tízszeresét) viselnek el.
- ▶ A kadmium rendkívül mérgező.
- ▶ A töltést kb. egy hónap alatt fogyasztás nélkül is elveszti (önkisülés).
- ▶ Memóriaeffektus: az akkumulátor „emlékszik” a kisütési pontra. Nem teljes kisütés esetén a kisütési pont után csak kisebb feszültséggel fog üzemelni. Oka: kristályképződés

Nikkel–kadmium akkumulátor (NiCd)

- ▶ Kristályképződés: az akkumulátor aktív részecskéi hajlamosak nagyobb kristályokba összeállni, ami csökkenti az akku kapacitását.
- ▶ Használata során úgy érhető el a maximális élettartam, hogy minden alkalommal teljesen lemerítjük töltés előtt.
- ▶ Önmerülése kicsi, a gyorsöltést jól bírja.

Nikkel metál–hidrid akkumulátor (NiMh)

- ▶ A pozitív oldalon a NiCd akkukhoz hasonlóan nikkelt találunk, a negatív oldalon viszont egy speciális hidrogén–megkötő fémötvözet veszi át a kadmium helyét, nikkel–oxid–hidroxid (NiOOH)
- ▶ Töltéskor ez a fémötvözet megkötö a savas elektrolit hidrogénjét, kisütéskor pedig leadja azt.
- ▶ Feszültsége 1–1,25 V.
- ▶ A nikkel–kadmiumhoz képest 2–3-szoros energiát képesek tárolni azonos méretben

Nikkel metál–hidrid akkumulátor (NiMH)

- ▶ A NiMH akku töltése sokkal bonyolultabb, mint a NiCd-é. A megfelelő töltésszint eléréséhez az akkumulátor hőmérsékletét is figyelembe vevő, bonyolult töltési algoritmus szükséges, ami megdrágítja a töltőáramköröket.
- ▶ Memóriaeffektusuk gyakorlatilag elhanyagolható.

Lítium–ion akkumulátor (Li-ion)

- ▶ A töltés tárolásáról lítium–ionok gondoskodnak, amelyek töltéskor a negatív, szén alapú elektródához, kisütéskor pedig a pozitív fénoxid elektródához vándorolnak.
- ▶ Az anódot és a katódot szerves elektrolit választja el egymástól.
- ▶ A kapacitása és cellafeszültsége a NiCd akkukénak kétszerese
- ▶ A kimerült cella is képes legalább 3 V–ot szolgáltatni. Teljesen feltöltött állapotban mintegy 4 V a cellafeszültség.
- ▶ Kis súly
- ▶ Nem képződnek kristályok.

Lítium-polimer akkumulátor

- ▶ A Li-ion utódja, a lítium-polimer (Li-polymer) akkumulátor.
- ▶ Előnye, hogy nem, vagy csak nagyon kis mennyiségben tartalmaz folyékony elektrolitot, helyette speciális polimer választja el az anódot és a katódot.
- ▶ Ez nagyon vékony és nagyon rugalmas cellákat eredményezhet, mivel nem kell vastag falú burkolattal védekezni a folyadék kifolyása ellen.



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport

SZÁMÍTÓGÉPES TERVEZÉS

Dr. Kiss István
Novák Balázs
Tamus Ádám

V1 épület 1. emelet

TÁRGYKÖVETELMÉNYEK

- Részvétel az órákon a TVSZ-ben előírt szabályok szerint
- Féléves házi feladat készítése
- Vizsga

TEMATIKA

- Műszaki kommunikáció, elméleti alapok
- Tervezési alapismeretek, tervfajták
- Az épületvillamosítás területén alkalmazott tervek
- Műszaki ábrázolási alapismeretek
- Villamos rendszerek rajzai
- Számítógépes tervdokumentáció készítés, tervező rendszerek
- Konkrét tervezési feladatok megoldása

KONTAKT ÓRÁK

- Előadás: heti 2x45 perc, tantermi
- Gyakorlat: heti 2x45 perc, szg. labor
 - V1 épület, 109 terem
 - Egyidejűleg 12 hallgató
 - Max. 12 fős csoportokat kell alkotni
 - Ha van rá lehetőség, az egyik csoport a péntek 12:15-ös alkalom helyett jöjjön hétfőn 14:15-től, vagy péntek 14:15-től
 - Felhasználónév: szgterv
 - Jelszó: szgterv

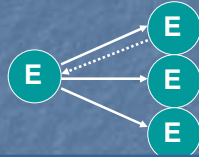
A MŰSZAKI KOMMUNIKÁCIÓ ALAPJAI

- Az ember-ember interakció néhány (a későbbiek szempontjából fontos) típusa

Interperszonális



Multipersonális



Közvetett



Információáramlás



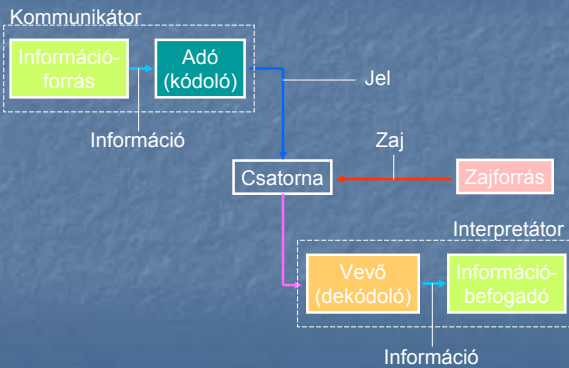
Metakommunikáció



AZ INFORMÁCIÓKÖZLÉS ÉS A BEFOGADÁS/REAKCIÓ VISZONYA

IDŐ Egyidejű Egymás utáni	Tervtár, irattár	Levél
	Előadás, beszélgetés	Televízió, telefon, INTERNET
	Egybeeső	Elkülönülő
	TÉR	

INFORMÁCIÓ-ÁTVITEL



KOMMUNIKÁCIÓS FELADATOK

- **Ismeretelméleti** probléma: van-e közlésre alkalmas információ, ill. ez iránti igény
- **Technikai** probléma: milyen pontosan vihetők át a jelek (jel/zaj viszony javítása)
- **Szemantikai** probléma: az információ mennyire pontosan hordozza a kívánt jelentést
- **Hatékonysági** probléma: az információ milyen hatékonysággal váltja ki a kívánt hatást

MŰSZAKI KOMMUNIKÁCIÓ

- Az információ **műszaki-technikai rendszerrel kapcsolatos** (felépítés, megvalósítás, működés, működtetés, stb.)
- A kommunikátornak és az interpretátornak birtokában kell lennie a kódoláshoz illetve dekódoláshoz szükséges **kódkészletnek**
- Formái:
 - Műszaki nyelv (terminológia, jelölésrendszer)
 - Rajzi csatorna (képi, geometriai)
 - Matematikai csatorna

NYELVI CSATORNA

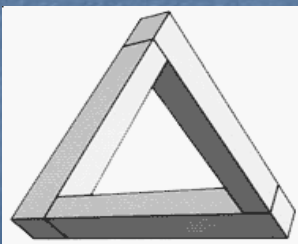
- Írásbeli
 - Műszaki leírás
 - Mérési jegyzőkönyvek,
 - Stb.
- Szóbeli
 - Előadás
 - Utasítás
 - Tárgyalás
 - Stb.

RAJZI CSATORNA

- Térbeli (modell, szobor makett)
- Síkbeli
 - Rajz (axonometrikus, perspektív ábrázolás)
 - Kép, fénykép
 - Egyéb
- Egyszerűsített
 - Vázlatok
 - Magyarázó ábrák
 - Térképek

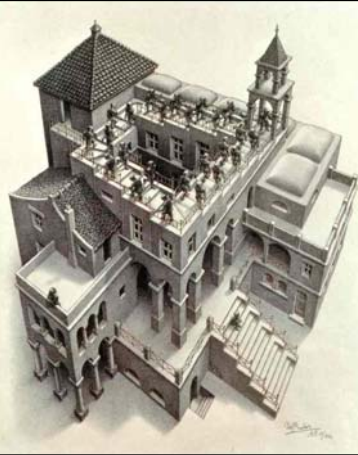
RAJZI CSATORNA

- Sík-tér konfliktus





■ Escher: Belvedere



■ Escher:
Emelkedés
és
ereszkedés

A rajzi csatorna érthetősége

- A képhez kapcsolható fogalmak
 - Kód (A látott dologhoz kapcsolódó információ, pl. ☎ telefonszámot jelent...)
 - Felirat (Pl. K1, azonosítás miatt)
 - Kontextus (Pl. „a K1 kapcsolóval...”)
- A nyelvi korlátok kiküszöbölése
 - Igyekeznek olyan jeleket alkalmazni amelyek nemzetközileg is érthetőek
 - Pl. piktogramok

(Ne dohányozz vizsgán, vagy villámgyorsan repülsz...)

MATEMATIKAI CSATORNA

■ Elméleti

- Kommunikációelmélet
- Információelmélet
- Logika
- Algoritmusok
- Geometria
- Stb.

■ Gyakorlati

- Diagramok
- Folyamatábrák
- Modellek

A TERV AZ INFORMÁCIÓÁTVITEL SZEMPONTJÁBÓL

Rajz, tervrajz	Előny	Hátrány
Papíralapú	Az interpretátor maga az ember (nem kell dekódoló eszköz)	Sokszorosítás, tárolás, elhasználódás
Számítógépes	Az információ torzulása nélkül továbbadható, sokszorosítható	Technikai eszköz kell a dekódoláshoz



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport

SZÁMÍTÓGÉPES TERVEZÉS

Dr. Kiss István
Novák Balázs
Tamus Ádám

V1 épület 1. emelet

A terméktervezés folyamata

- Termékkel szembeni követelmények:
 - Műszaki
 - Ergonómiai
 - Esztétikai
 - Gazdaságossági



A terméktervezés folyamata

- P
- I
- A
- C
- K
- U
- T
- A
- T
- Á
- S
- Ötlet
- Tervezés
 - Konceptióképzés
 - Megtervezés
 - Kidolgozás
- Előállítás
 - Gyártás
 - Ellenőrzés
- Termék

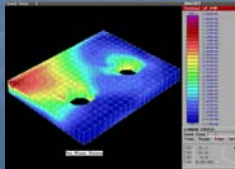


Tervezés folyamata

- Konceptió képzés
 - Megtervezés
 - Kidolgozás
- Eredménye: TERVDOKUMENTÁCIÓ

Konceptió képzés

- Feladat megfogalmazása
- Funkciók meghatározása
- Elvi vázlatok
- Kommunikáció eszköze
 - Matematikai modellek
 - Rajzok (vázlatok)
 - Irodalomkutatás



Megtervezés

- Termék egészének kialakítása
- Főtervek
- Kommunikáció eszközei
 - Rajz
 - Matematikai számítások
 - Verbális
 - Műszaki leírások

Kidolgozás

- A termék részleteinek megtervezése
- Méretre, anyagra, gyárthatóságra vonatkozó előírások
- Kommunikáció eszközei
 - Rajz



Tervezés folyamata

- Algoritmizálható (rutintevékenység)
 - A tervezés folyamán a szerepe növekszik
- Heurisztikus (szellemi alkotó munka)
 - A tervezés folyamán a szerepe csökken

CAXX rendszerek szerepe

- CIM: Computer Integrated Manufacturing
- CAE: Computer Aided Engineering
- CAD: Computer Aided Design
- CAM: Computer Aided Manufacturing
- CAT: Computer Aided Testing
- CAPP: Computer Aided Process Planning
- CAS: Computer Aided Scheduling

Szabványosítás a műszaki kommunikációban

- A szabványosítás célja: elősegíteni a rendszeresen ismétlődő műszaki-gazdasági feladatokat
 - egységes
 - gazdaságos
 - jó minőségű
 - biztonságos megoldását.
- Szép definíció, de ez jut róla eszembe:
„Mi olcsón, pontosan és gyorsan tudunk dolgozni.
Ön ezek közül kettőt választhat...”

Gyakorlati megvalósítás

- Megegyezünk a jelrendszerben
- Nem alkalmazunk ötletszerűen jeleket, amelyek az interpretátorban kétségeket ébresztenek
(Ha mégis szükség lenne új jelekre, akkor azok magyarázatát is megadjuk)
- A jelrendszert egységesen alkalmazzuk

Történelmi háttér

- Ménész fáraó
 - az építkezések során előírt méretben készített köveket, oszlopokat használtak
 - A minőséget a fáraó pecsétjével igazolták (CE elődje. Itt CE ≠ Chinese Export)
- Római vízvezetékek: „szabványos” keresztmetszeteket alkalmaztak
- Alexandria: tiszta aranyat tudtak előállítani (egységesen használható érmék)

Tudatos szabványosítás

- Kezdetek: XIX. század eleje
 - Anglia
 - Whitworth-féle csavarmenet 1841
 - Whitworth: fegyvergyártásban a tűrések mérése
- Magyarország
 - Vasútépítés: szabványos nyomtáv (1435 mm)
- 1910 Magyar Elektrotechnikai Egyesület (MEE) Elektrotechnika folyóirat: szabványjavaslatok
 - Hatással voltak rájuk a német szabványok (DIN)

A szabványok „jogállása”

- Régebben: KÖTELEZŐ szabványok voltak, a bennük foglaltakat be kellett tartani.
- Ma: AJÁNLOTT szabványok vannak, el lehet térni a bennük foglaltaktól.
 - (A régi elv helyébe, amely szerint nem vonható felelősségre, aki betartotta a szabvány rendelkezéseit, a termékfelelősség lép)
- Néhány szabványt (pl. MSZ 274, villámvédelem) RENDELET-be emeltek át.

Néhány szabványosítási szervezet

- Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (International Organisation for Standardisation, ISO)
- Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (International Electrotechnical Commission, IEC)
- Magyar Szabványügyi Testület (MSZT)
 - Elnök: Dr. Ginsztler János

Szabványfajták

- Vállalati szabvány (Vállalati azonosító+SZ)
- Ágazati szabvány (MSZ-ágazatra utaló kibocsátói szám-azonosító) (általában minisztériumi megrendelésre)
- Nemzeti szabvány (MSZ ill. MSZ-EN szám:hatályba lépés évszáma)
 - K: kiegészítés, T: Tervezet, J: Javaslat
- Regionális szabvány (EN) -> CENELEC
- Nemzetközi szabvány (ISO)

Mi mire vonatkozik, mit tartalmaz?

- Szabványügyi Közlöny
- www.mszt.hu
- Szabványolvasó (Budapest, Üllői út 25.)
- Egyetemes Tízes Osztályozás (ETO)

Pl.: Villamos rajzjelek szabványai

- MSZ EN 60617-2..12:2000

2. rész: A jelek elemei, minősítő jelek és egyéb, általános rendeltetésű jelek
3. rész: Vezetők és csatlakozók
4. rész: Passzív alkatrészek
5. rész: Félvezetők és elektroncsövek
6. rész: Villamos energia termelése és átalakítása
7. rész: Kapcsoló-, működtető- és védőkészülékek
8. rész: Mérőműszerek, jelzőlámpák és jelzőkészülékek
9. rész: Hírközlés: Kapcsolókészülékek és perifériás berendezések
10. rész: Hírközlés: Adatátvitel
11. rész: Építészeti és topográfiai létesítési tervek és rajzok
12. rész: Bináris logikai elemek

Pl. Referenciajelölések szabványai

- MSZ EN 61346-1:2000 Ipari rendszerek, berendezések, készülékek és ipari termékek. Strukturálási alapelvek és referenciajelölések.
 - 1. rész: Alapvető szabályok
 - 2. rész: A tárgyak osztályozása és az osztálykódok

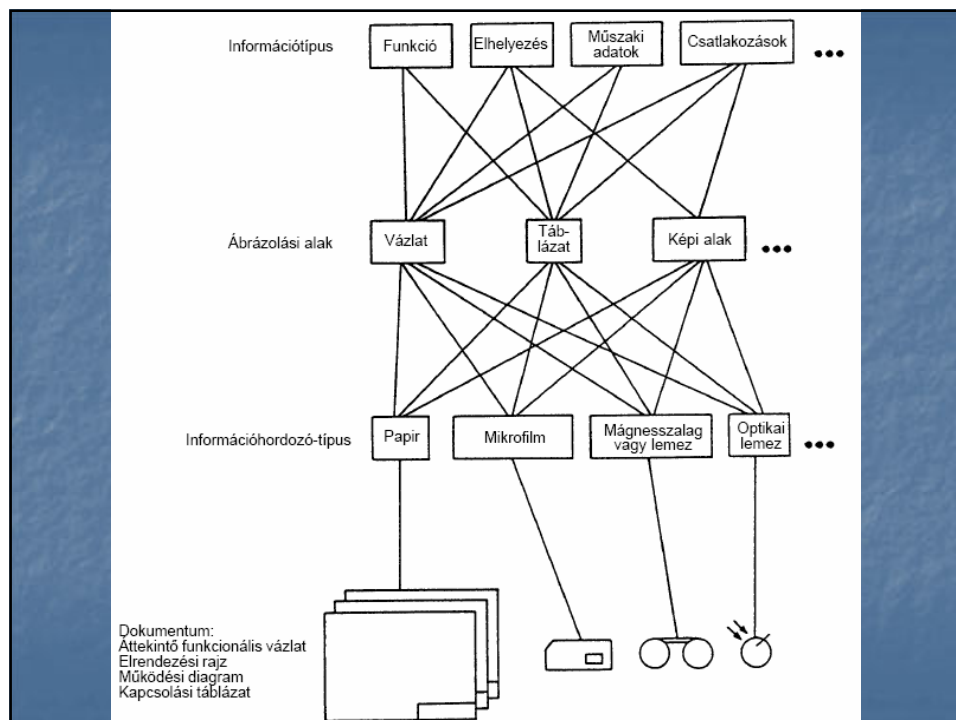


Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport

SZÁMÍTÓGÉPES TERVEZÉS

Dr. Kiss István
Novák Balázs
Tamus Ádám

V1 épület 1. emelet



Az információábrázolás formái

- **Képi forma:** valamely fizikai alkatrész vagy szerelvény alakját, méretét stb. általában méretarányosan lerajzoló grafikus ábrázolás.
- **Tervrajz:** vízszintes nézetet, szelvényt vagy metszetet ábrázoló rajz.
- **Funkcionális vázlat:** valamely rendszer vagy berendezés alkatrészei és részei közötti kapcsolatokat, rajzjeleket és feliratokat tartalmazó körvonalak alkalmazásával lerajzoló olyan grafikus ábrázolás, amely a kölcsönös kapcsolatokat is tartalmazza.
- **Térkép:** valamely létesítmény grafikus ábrázolása, figyelembe véve a környező tereprajzot is.
- **Diagram:** valamely rendszer viselkedését, pl. két vagy több változó mennyiség, működés vagy állapot közötti összefüggéseket leíró grafikus ábrázolás.
- **Táblázat, jegyzék:** oszlopokat és sorokat alkalmazó ábrázolási forma.
- **Szöveges forma:** szöveget tartalmazó ábrázolás, pl. írott utasításokban és leírásokban.

RAJZ TÍPUSOK

- **Elvi vázlat** – kizárólag a működési elv bemutatása
 - Blokkvázlat
 - Folyamatábra
- **Kapcsolási rajz** – elemek, egységek villamos kapcsolatai
 - Egyvonalas ábrázolás
 - Többvonalas ábrázolás
 - Áramút terv
- **Elrendezési rajz** – térbeli elrendezés megadása

Alkatrészek és kapcsolások ábrázolási módszerei funkcionális vázlatokon

- **Összevont ábrázolás:** olyan ábrázolás, amelyben valamely összetett rajzzal részei együtt helyezkednek el.
- **Részben összevont ábrázolás** (rendszerint olyan alkatrészekre, amelyeknek mechanikus funkcionáliskapcsolatuk van.): olyan ábrázolás, amelyben a rajzzal kibővül a funkcionális vázlaton elhelyezett mindegyik résszel azért, hogy az áramkörök elrendezése egyértelmű legyen. A részeket az IEC 617, 02-12-01 funkcionális kapcsolat jele köti össze.
- **Részben bontott ábrázolás** (funkcionális kapcsolatú alkatrészekhez): olyan ábrázolás, amelyben a rajzzal részeire van bontva, mindegyik részt úgy elhelyezve a funkcionális vázlaton, hogy az áramkörök áttekinthető elrendezését lehessen elérni. A részeket tételmegjelölésük kapcsolja össze.

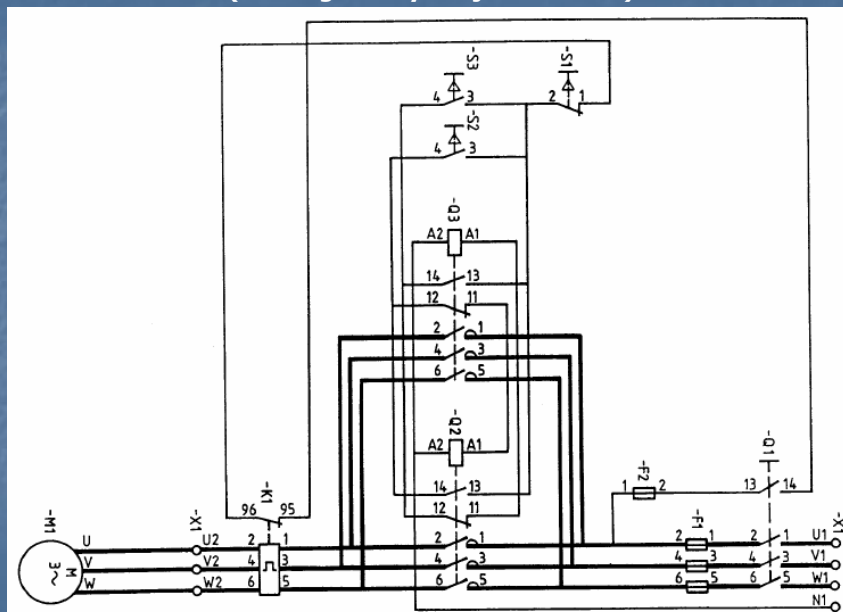
Alkatrészek és kapcsolások ábrázolási módszerei funkcionális vázlatokon

- **Ismétlődő ábrázolás:** (rendszerint olyan alkatrészekhez, amelyeknek villamos funkcionális kapcsolatuk van, pl. közös vezérlőtömböt vagy közös kimeneti tömböt tartalmazó rajzzal ábrázolt bináris logikai elemek): olyan ábrázolás, amelyben a teljes rajzzal két vagy több helyen megjelenik a funkcionális vázlaton, és az egyes megjelenések azonos tételmegjelölés jelzi, hogy csak egy alkatrészt ábrázol a rajzzal.
- **Csoportosított ábrázolás:** Olyan ábrázolás, amelyben:
 - 1) a részek rajzjeleit körvonal veszi körül;
 - 2) a részek (rendszerint bináris logikai és analóg elemek) rajzjelei egymáshoz csatlakoznak.
- **Szétoztott ábrázolás:** olyan ábrázolás, amelyben a részek rajzjelei szét vannak választva és a funkcionális vázlaton úgy vannak elhelyezve, hogy az áramkörök világos elrendezését adják. A részeket tételmegjelölésük kapcsolja össze.

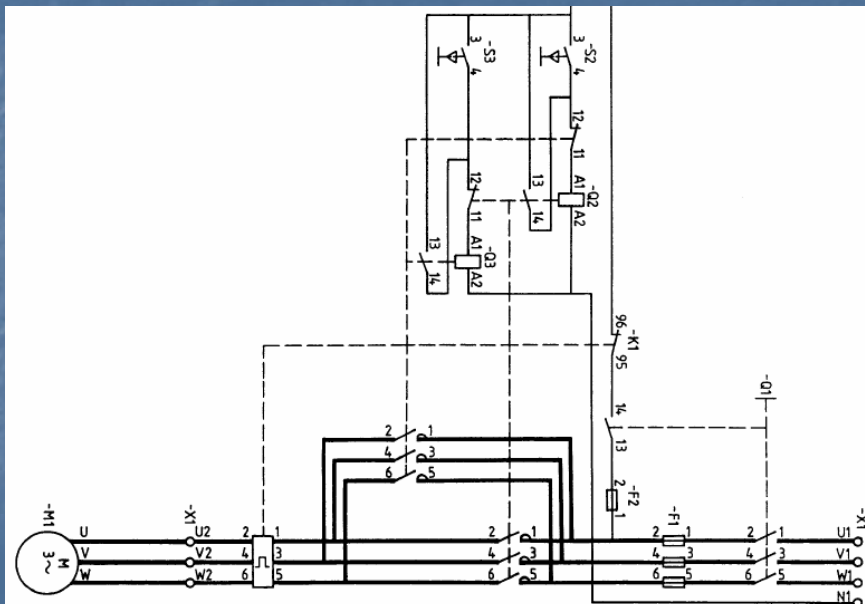
Alkatrészek és kapcsolások ábrázolási módszerei funkcionális vázlatokon

- **Többvonalas ábrázolás:** olyan ábrázolás, amelyben minden összekapcsolást külön vonal jelöl.
- **Egyvonalas ábrázolás:** olyan ábrázolás, amelyben két vagy több összekapcsolást egyetlen vonal jelöl.

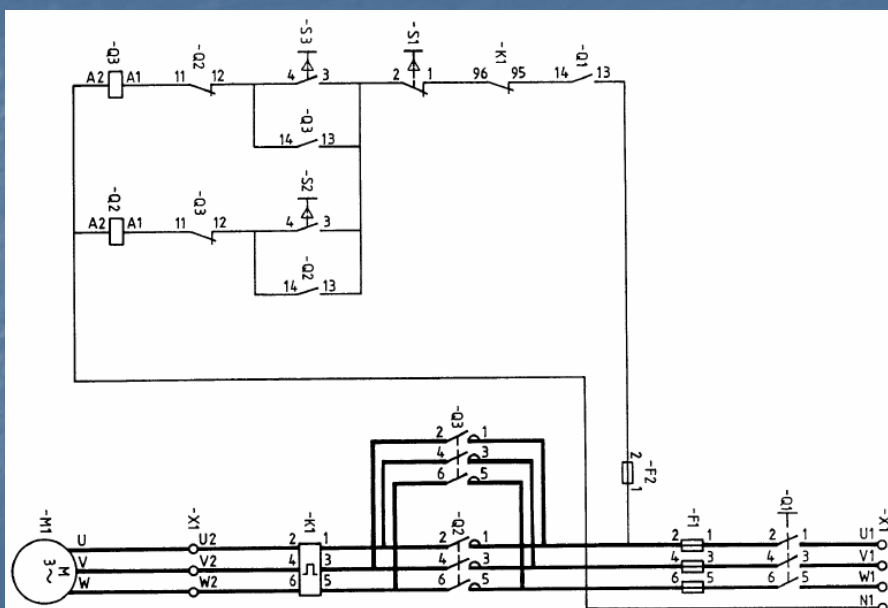
Példa összevont ábrázolást alkalmazó áramkörvázlatra
(két forgásirányú hajtásrendszer)



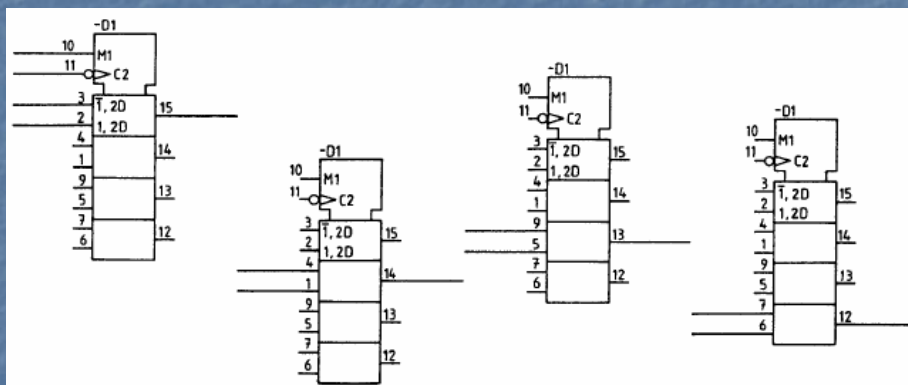
**Példa részben összevont ábrázolást alkalmazó áramkörvázlatra
(két forgásirányú hajtásrendszer)**



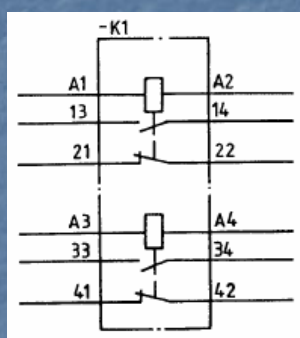
**Példa részekre bontott ábrázolást alkalmazó áramkörvázlatra
(két forgásirányú hajtásrendszer)**



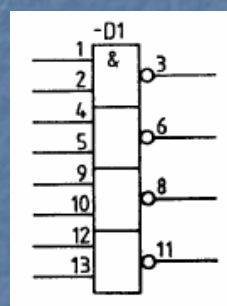
Példa ismétlődő ábrázolásra (multiplexer)



Példa csoportosított ábrázolásra

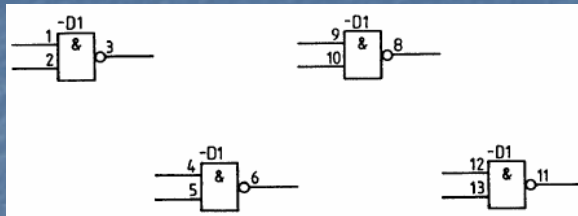


a)

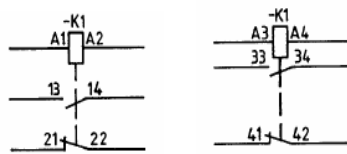


b)

Példa csoportosított ábrázolásra

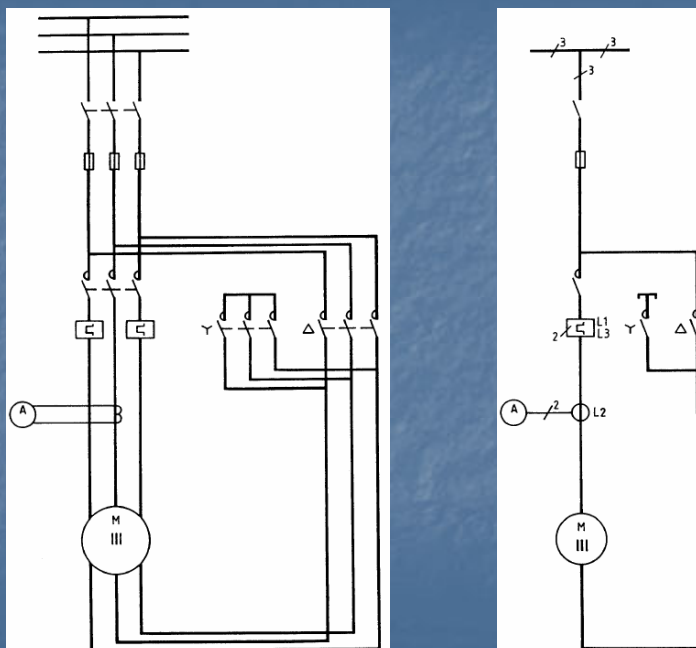


b)



a)

Példa egy- és többvonalas ábrázolásra (csillag-delta indító)



A dokumentációk osztályozása

Funkcióra irányuló dokumentációk

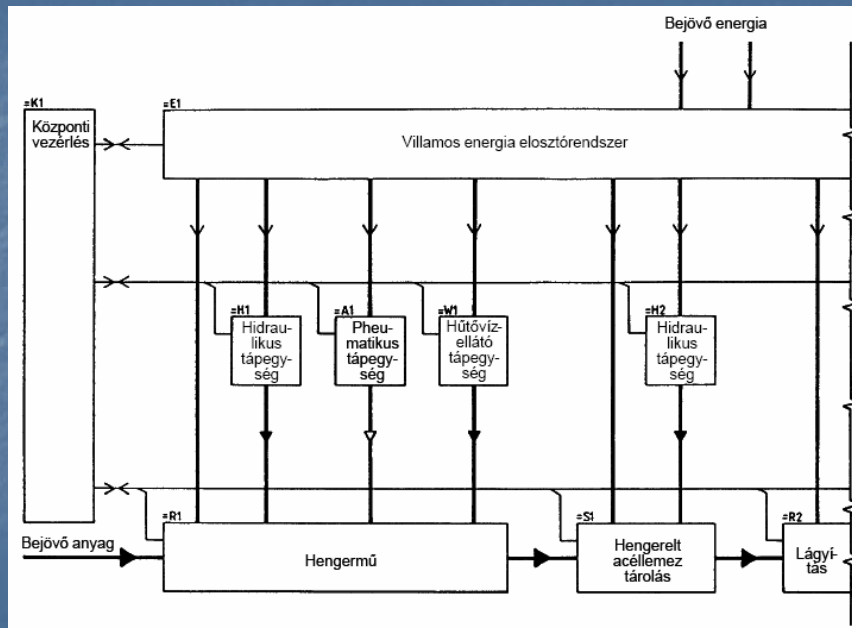
- **Áttekintő funkcionális vázlat:** viszonylag egyszerű funkcionális vázlat, amely gyakran egyvonalas ábrázolást alkalmazva, a fő kapcsolatokat vagy összekapcsolásokat mutatja meg valamely rendszerben, alrendszerben, létesítményben, részben, berendezésben, szoftverben stb.
- **Tömbvázlat:** főleg tömb rajzjeleket alkalmazó áttekintő funkcionális vázlat.
- **Hálózattérkép:** olyan áttekintő funkcionális vázlat, amely valamely hálózatot térképen mutat be, pl. villamos erőművek, transzformátorállomások és távvezetékek, távközlési berendezések és átviteli vonalak.
- **Működési vázlat:** olyan funkcionális vázlat, amely az adott rendszer, alrendszer, létesítmény, rész, berendezés, szoftver stb. elméleti vagy ideális működésének részleteit mutatja be elméleti vagy ideális áramkörökkel, nem minden esetben véve figyelembe a telepítésben alkalmazott eszközöket.
- **Logikai működési vázlat:** olyan működési vázlat, amely főleg bináris logikai elemek rajzjeleit alkalmazza.
- **Egyenértékű áramkörös vázlat:** olyan működési vázlat, amely a jellemzők vagy a viselkedés elemzésére és számítására segédeszközként alkalmazott, egyenértékű áramköröket mutat be.
- **Működési diagram:** olyan diagram, amely valamely vezérlőrendszer funkcióit és viselkedését írja le lépések és átmenetek alkalmazásával.

A dokumentációk osztályozása

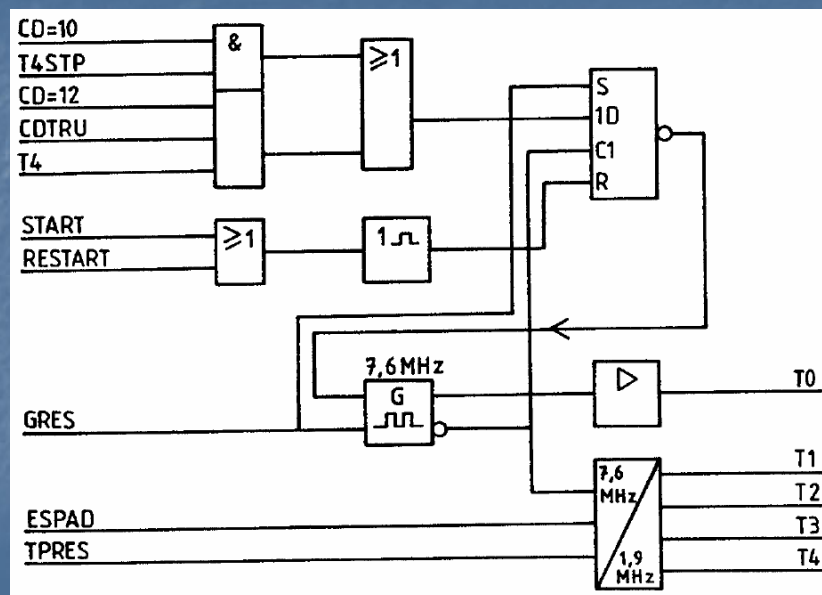
Funkcióra irányuló dokumentációk

- **Sorrenddiagram (-táblázat):** olyan diagram (táblázat), amely valamely rendszer egységeinek működési vagy állapotssorrendjét mutatja be. Az egyes egységek működési vagy állapotai egyik irányban vannak felsorolva és a folyamatlépések vagy az idő erre mérőlegesen van megrajzolva.
- **Időssorrend-diagram:** sorrenddiagram méretarányban megrajzott időtengellyel.
- **Áramkörvázlat:** olyan funkcionális vázlat, amely valamely rendszer, alrendszer, létesítmény, rész, berendezés, szoftver stb. áramköreinek megvalósítását ábrázolja, a részeket és összekapcsolásokat rajzjelekkel megrajzolva. Ezek a rajzjelek úgy vannak elrendezve, hogy szemléltessék a funkciókat, de nem minden esetben veszik figyelembe a darabok fizikai méreteit, alakját vagy elhelyezését.
- **Csatlakozókapcsok funkcionális vázlata:** valamely funkcionális egység olyan funkcionális vázlata, amely bemutatja az interfészcsatlakozások csatlakozókapcsait és a belső funkciók leírását. Ezek megvalósíthatók, ha lehet, egyszerűsített áramkör vázlat, funkcionális vázlat, funkciódiagram vagy sorrenddiagram segítségével vagy szöveggel.
- **Programvázlat (-táblázat) (-jegyzék):** olyan vázlat (táblázat) (jegyzék), amely a programelemek, -modulok és összekapcsolásaikat mutatja be részletesen úgy elrendezve, hogy a kölcsönös kapcsolatok világosan felismerhetők legyenek.

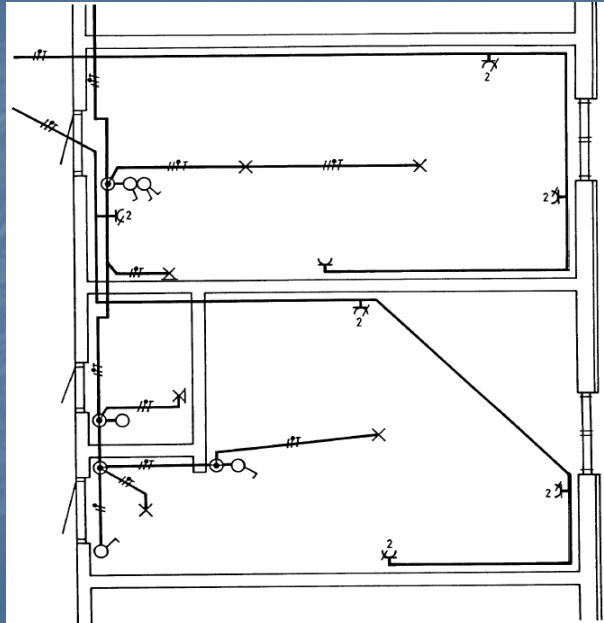
Példa funkcionális elrendezésű áttekintő funkcionális vázlatra (acélmű)



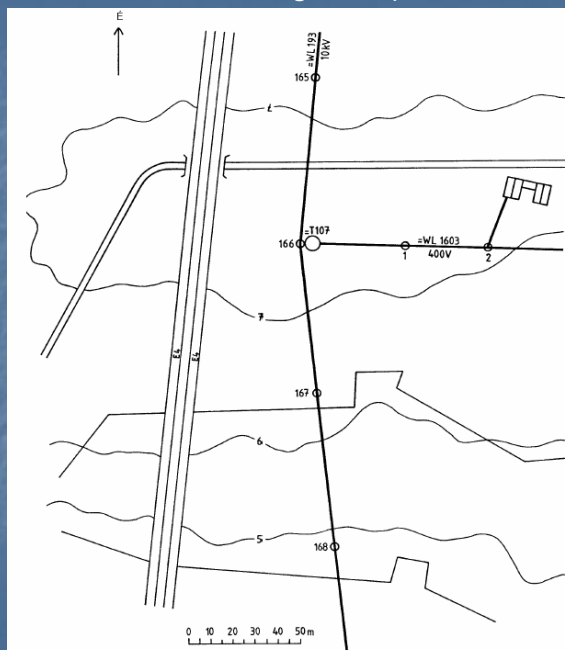
Példa logikai működési vázlatra (időjeladó berendezés)



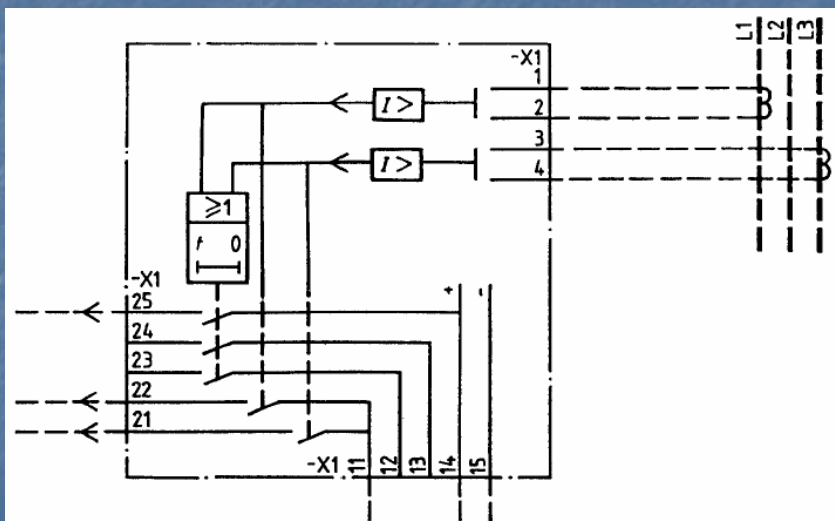
Példa topográfiai elrendezésű szerelési vázlatra (épület világítási berendezése; az ábra nem a hazai gyakorlat szerinti)



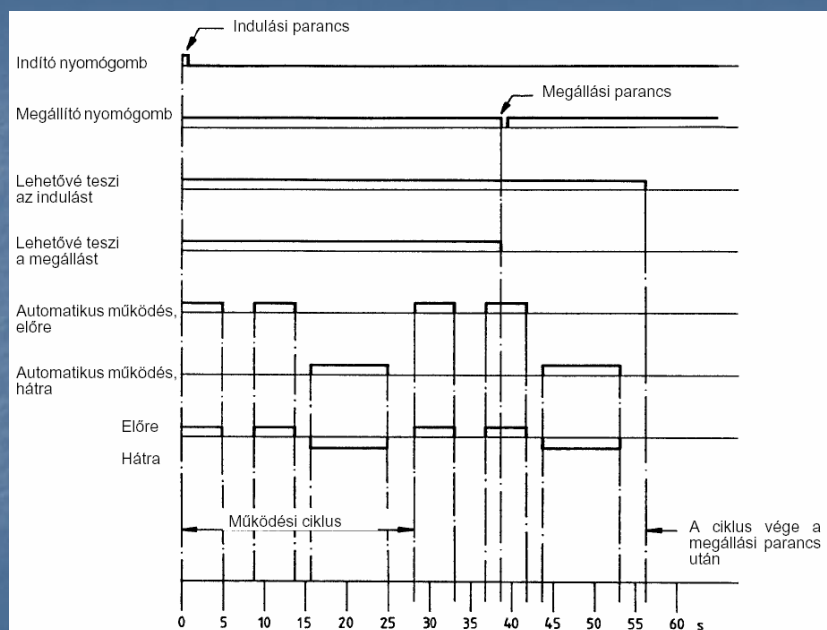
Példa hálózattérképre (nagyfeszültségű légvezeték transzformátorállomással és 400 V-os leágazással)



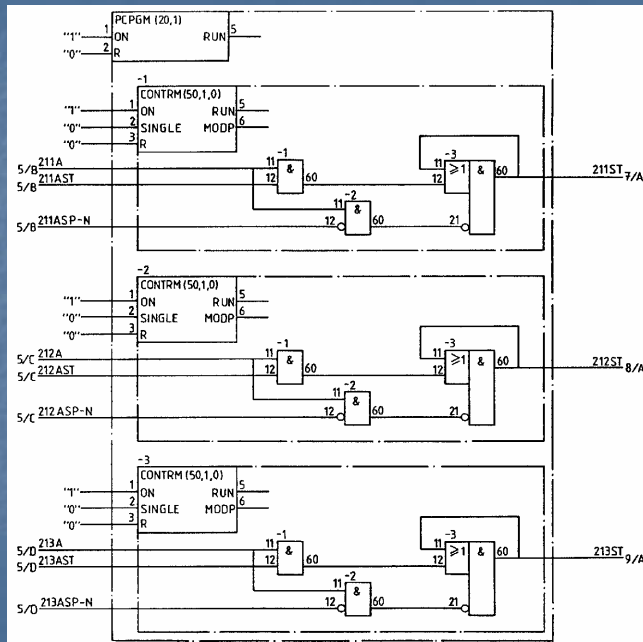
Példa csatlakozókapcsok funkcionális vázlatára
(túláram-érzékelő funkcionális egység)



Példa idősorrend-diagramra (hajtásrendszer vezérlése)



Példa ipari programozható vezérlő programvázlatára, program három hajtóberendezés vezérléséhez

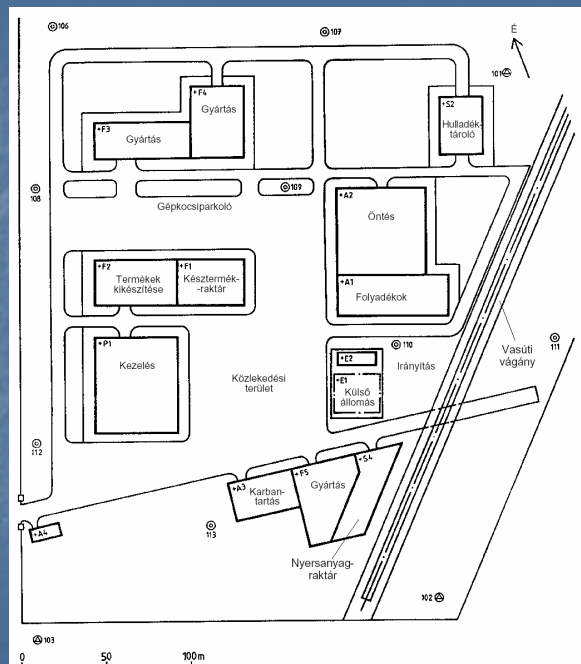


A dokumentációk osztályozása

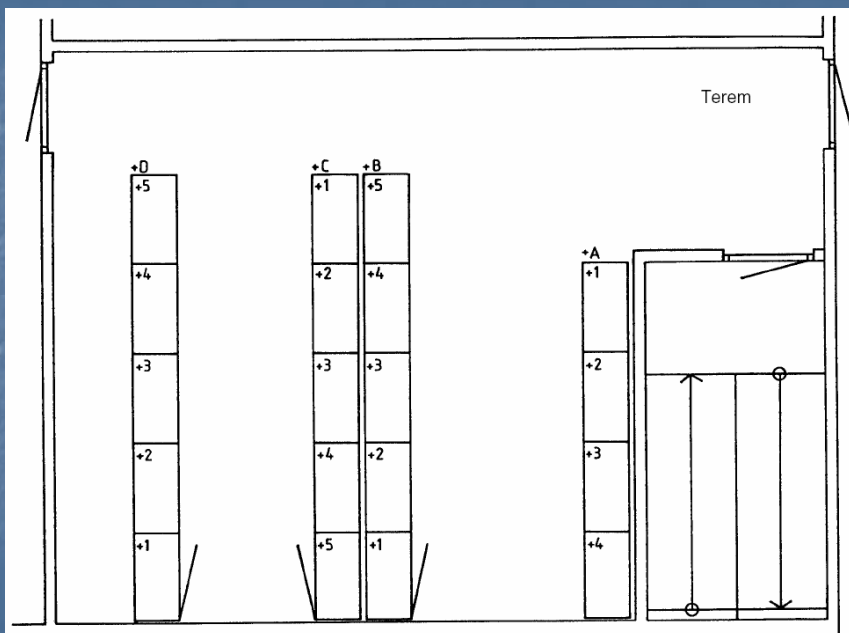
Elhelyezési dokumentumok

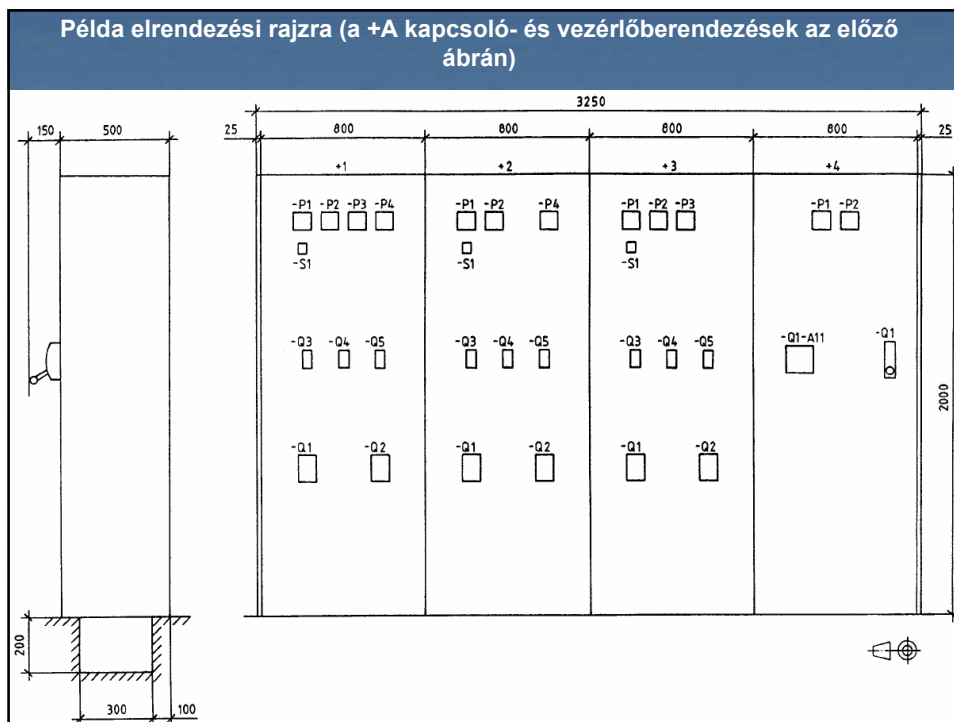
- **Helyszínrajz:** olyan terv, amely építési munkák, szolgáltatóhálózatok és útépitőmunkák „kitűzési pontokhoz” viszonyított elhelyezését, valamint a tájra, a megközelítési módokra és a helyszín általános elrendezésére vonatkozó információkat mutatja be.
- **Szerelési rajz (terv):** olyan rajz (terv), amely valamely létesítmény alkotórészeinek elhelyezését mutatja be.
- **Szerelési vázlat:** olyan szerelési rajz, amely az alkotórészek közötti összekapcsolásokat mutatja be.
- **Részegységrajz:** összeszerelt részek valamely csoportjának térbeli helyzetét és alakját ábrázoló rajz, rendszerint méretarányosan.
- **Elrendezési rajz:** egyszerűsített vagy kiegészített részegységrajz, amely információkat ad valamely meghatározott célra.

Példa helyszínrajzra (ipari üzem)



Példa szerelési tervre (kapcsolóterem kapcsoló- és vezérlőberendezésekkel)



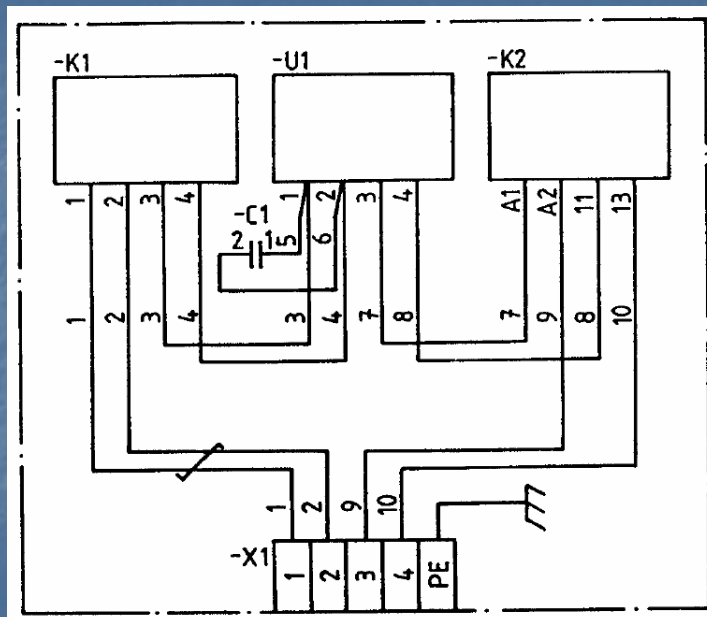


A dokumentációk osztályozása

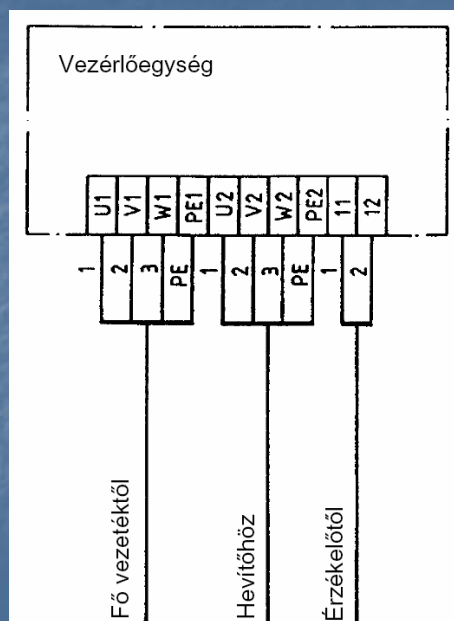
Kapcsolási dokumentációk

- **Kapcsolási vázlat (táblázat):** olyan vázlat (táblázat), amely valamely létesítmény vagy berendezés kapcsolásait mutatja be vagy sorolja fel.
- **Egység kapcsolási vázlata (táblázata):** olyan kapcsolási vázlat (táblázat), amely valamely szerkezeti egységen belüli kapcsolásokat mutat be vagy sorol fel (28. ábra).
- **Összekapcsolási vázlat (táblázat):** olyan kapcsolási vázlat (táblázat), amely a különböző szerkezeti egységek közötti kapcsolásokat mutatja be (29. ábra).
- **Csatlakozókapcsok kapcsolási vázlata (táblázata):** olyan kapcsolási vázlat (táblázat), amely valamely szerkezeti egység csatlakozókapcsait és e csatlakozókapcsokhoz kapcsolódó belső és/vagy külső csatlakozásokat mutatja be (31. ábra).
- **Kábelvázlat (-táblázat) (-jegyzék):** vázlat (táblázat) (jegyzék), amely információkat ad a kábelekről, például a vezetők azonosítása, a végek elhelyezése, illetve ha szükséges, a jellemzők, a nyomvonalak és a funkció (32. ábra).

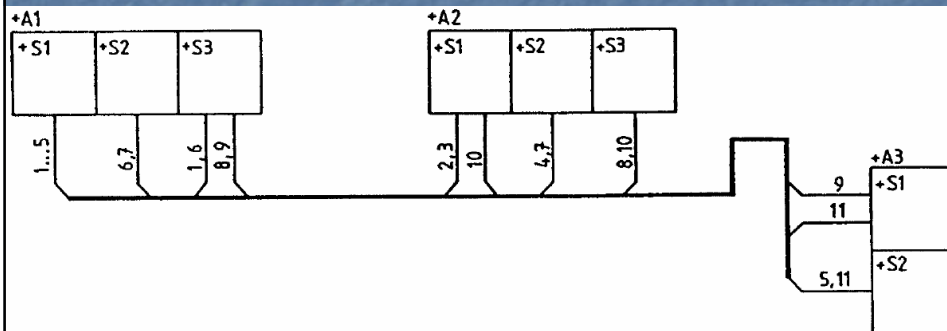
Példa egység kapcsolási vázlatára
(a vezérlőberendezés egyik alrészegysége)



Példa csatlakozókapcsok kapcsolási vázlatára (vezérlőegység)



Példa kábelvázlatra (kábel szerelvény a +A1, +A2 és a +A3
részegységekhez)



A dokumentációk osztályozása

Darabjegyzék

- **Darabjegyzék:** olyan jegyzék, amely meghatározza azokat az alkotórészeket (részeket, alkatrészeket, szoftvert, berendezést stb.) amelyek a részegységet (vagy alegységet) alkotják és, szükséges, a hivatkozási dokumentumokat is.
- **Tartalékalkatrész-jegyzék:** olyan jegyzék, amely meghatározza a megelőző és a javító karbantartáshoz szükséges alkotórészeket (részeket, alkatrészeket, szoftvert, ömlesztett anyagokat stb.).

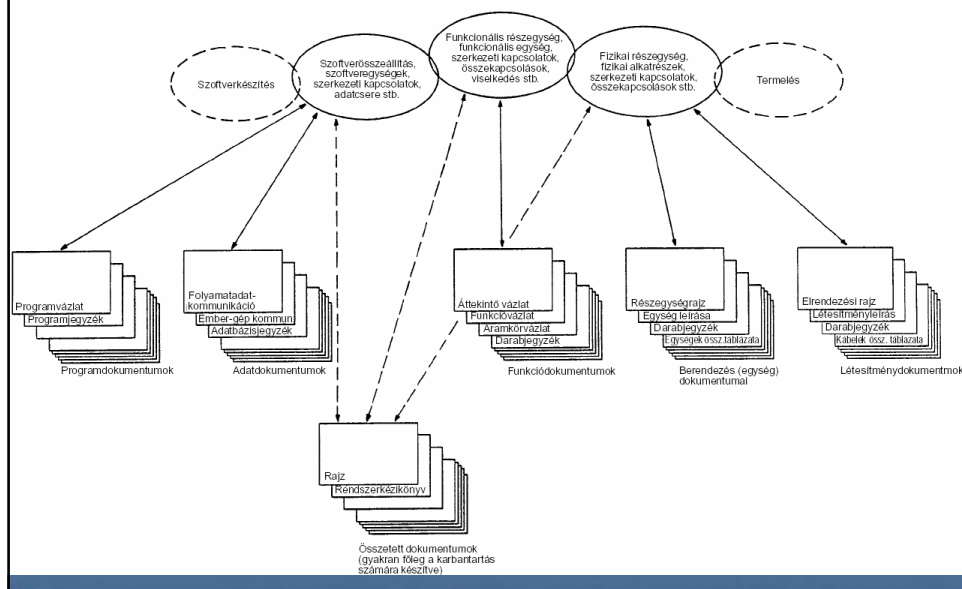
Példa darabjegyzékre (szivattyúrendszer)

Tétel	Elhelyezés	Megnevezés Hivatkozás dokumentumra	Kivétel	Típus	Műszaki adatok	Tömeg mér- telegység	Alkatrészszám	Menny- iség	CD/lap	Megjegy- zés
-A11	+PA1 J1	MMI-berendezés						1	3	
-A11H1	+PA1 J1	Jezőlámpa, indított						1	3	
-A11H1.1	+PA1 J1	Izzólámpa	LHA	Ba15D	SV 230V		S911 070-12	1	3	
-A11H1.2	+PA1 J1	Izzólámpa-foglalat	CDE	05M2			SK614 360-LE	1	3	
-A11S0	+PA1 J1	Nyomógomb: leállítás	CDE	0KM30			SK614 311-CF	1	3	
-A11S1	+PA1 J1	Nyomógomb: indulás	CDE	0KM30			SK614 311-CG	1	3	
-A11S3	+PA1 J1	Vezérléskapcsoló, H/A	CDE	AB610			SK661 201-AB	1	3	
-M1	+B103R11	Indukciós motor	MAB	MBK280	1465* /min 110kV 50Hz Y/D 400/230V	85kg	PK371 010-BA	1	3	
		Karbantartási utasítás	S385 161							
-Q1	+SA263	Motorindító	CDE	DSB350			SK538 209-BC	1	3	
-Q1F1	+SA263	Hárompólusú biztosító	CDE	SP400			SK316 285-3	1	3	
-Q1F1.1...3	+SA263	Biztosítóbétét	CDE	SL400	Nagyság		SK316 286-3	3	3	
-Q1F1.4	+SA263	Biztosítóalázat	CDE	ST400			SK316 106-3	1	3	
					Darabjegyzék Szivattyúrendszer = W1P1 Acélmű, 90					
							W1P1			
							1234 896			Sh. 1 Cf. 2

A dokumentációk osztályozása

- **Létesítményre jellemző dokumentumok** - Olyan dokumentumok, amelyek utasításokat vagy információkat adnak a létesítmény feltételeire és valamely rendszer, létesítmény, berendezés vagy alkatrész szállítmányára, szállítására, kirakására, felállítására és vizsgálatára vonatkozóan.
- **Üzembe helyezésre jellemző dokumentumok** - Olyan dokumentumok, amelyek utasításokat vagy tájékoztatásokat adnak az üzembe helyezésre és azoknak az előzetes beállításoknak, szimulációmódoknak, ajánlott beállítási értékeknek és tevékenységeknek a meghatározására vonatkozóan, amelyeket el kell végezni annak érdekében, hogy valamely rendszer, létesítmény, berendezés vagy alkatrész fejlesztését befejezzék és helyesen működtessék.
- **Üzemeltetésre jellemző dokumentumok** - Olyan dokumentumok, amelyek utasításokat vagy tájékoztatásokat adnak valamely rendszer, létesítmény, berendezés vagy alkatrész üzemeltetésére vonatkozóan.
- **Karbantartásra jellemző dokumentumok** - Olyan dokumentumok, amelyek utasításokat vagy tájékoztatásokat adnak a karbantartási folyamatokra vonatkozóan, pl. karbantartási vagy szervízkézikönyvekben, valamely rendszerre, létesítményre, berendezésre vagy alkatrészre.
- **Megbízhatóságra és karbantartásra jellemző dokumentumok** - Olyan dokumentumok, amelyek tájékoztatásokat adnak valamely rendszer, létesítmény, berendezés vagy alkatrész megbízhatóságára és karbantartásra vonatkozóan.

Összefüggések a különböző dokumentumtípusok között, tartalmuk szempontjából

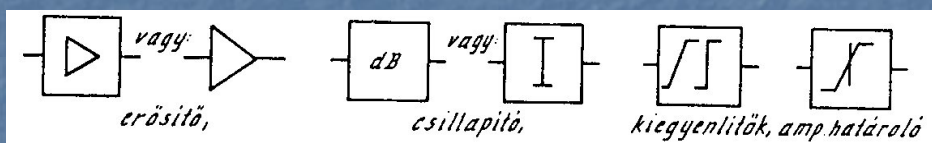


KÉSZÜLÉKJELÖLÉSEK

- MSZ EN 61346:2001 ajánlásai
- Cél: a betűjelből rögtön azonosítható legyen a készülék jellege
 - -K1: kontaktor
 - -L1: tekercs
 - Stb.

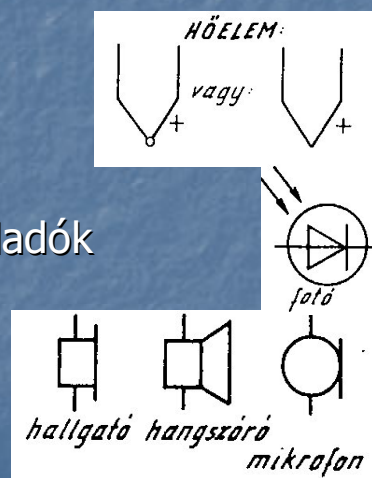
„A” : Egységek, részegységek

- Pl. csöves v. tranzistoros erősítők, mágneses erősítők, lézerek

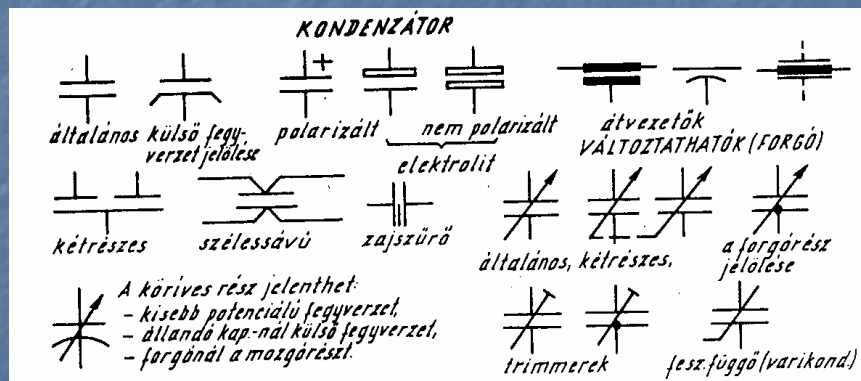


„B”: villamos és nem villamos mennyiségek közötti átalakítók

- Hőelektromos érzékelők
- Fényelektromos cellák
- Tachométerek
- 3f jeladók, fordulatszám jeladók
- Mikrofonok, hangszedők
- Hangszórók
- közelítéskapcsolók

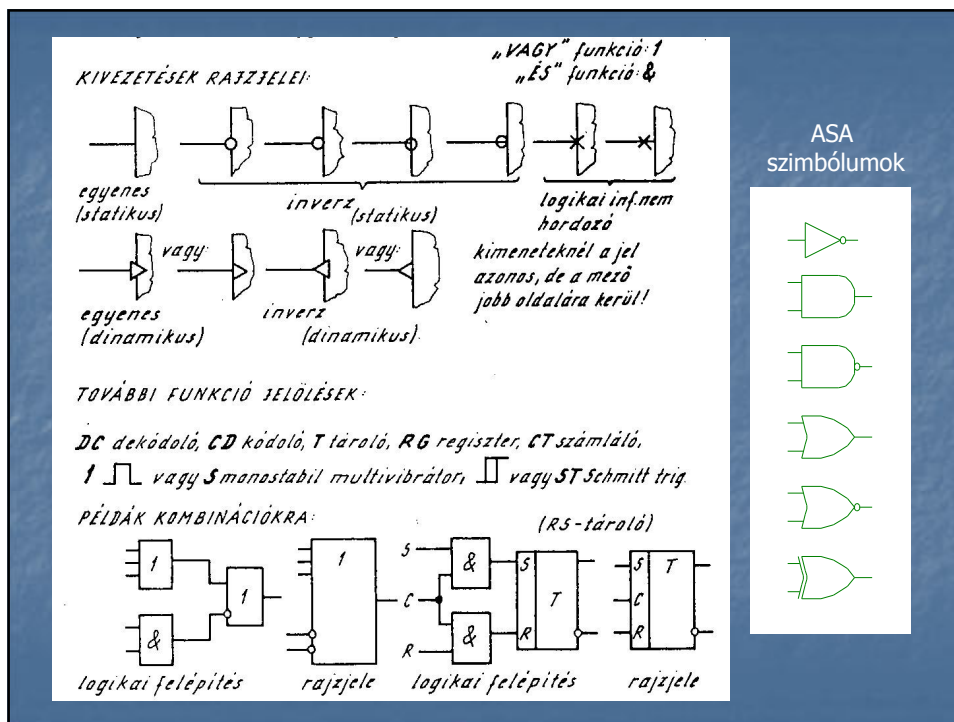


„C”: Kondenzátorok



„D”: (digitális technika) Bináris elemek, késleltetők, tárolók

- Kombinatív elemek
- Késleltető vonalak
- Bistabil és monostabil áramkörök
- Regiszterek
- Mágneses adattárolók
- Stb.



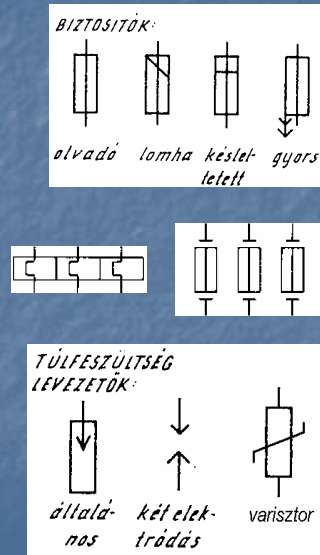
„E”: Különböző készülékek és egységek

- Világító berendezések
- Fűtőberendezések
- Egyéb berendezések, készülékek



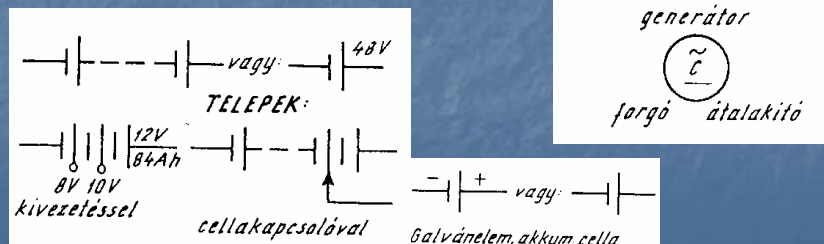
„F”: Védelmi készülékek

- Olvadóbiztosítók (csavaros, késes)
- Túlfeszültség-korlátozók
- Túlfeszültség-levezetők
- Hőkioldók



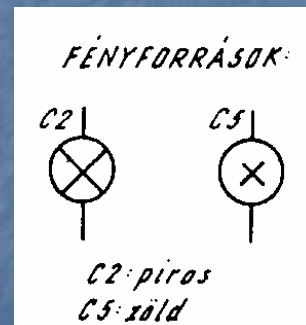
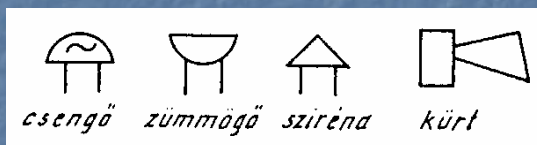
„G”: Generátorok, áramellátó berendezések

- Forgó generátorok
- Forgógépes frekvenciaváltók
- Oszcillátorok
- Akkumulátortelepek
- Áramellátó berendezések



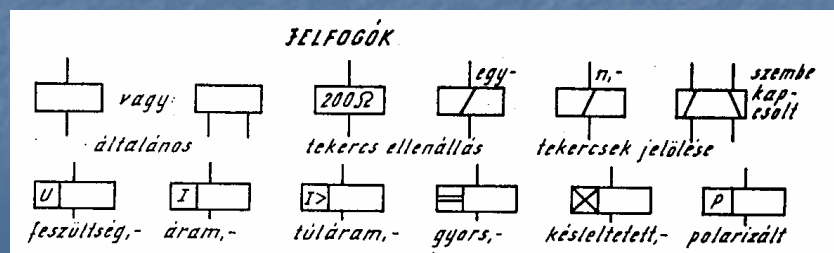
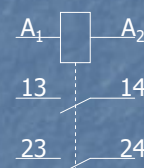
„H”: Jelzőkészülékek

- Optikai és akkusztikus kijelzők

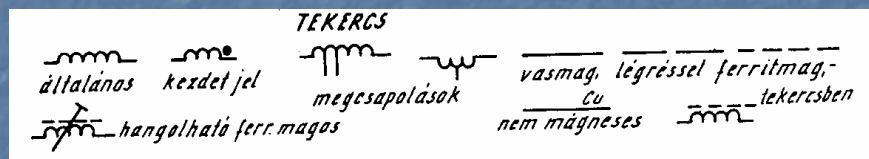


„K”: Kontaktorok, relék

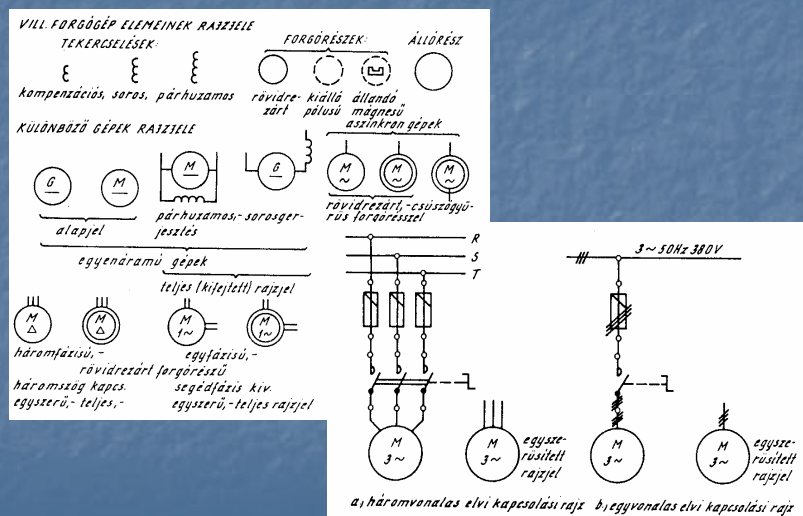
- Teljesítmény-kontaktorok
- Időrelék
- Mágneskapcsolók
- Villogtató relék
- Segédkontaktorok
- Reed relék
- Segédrelék



„L” :Induktivitások

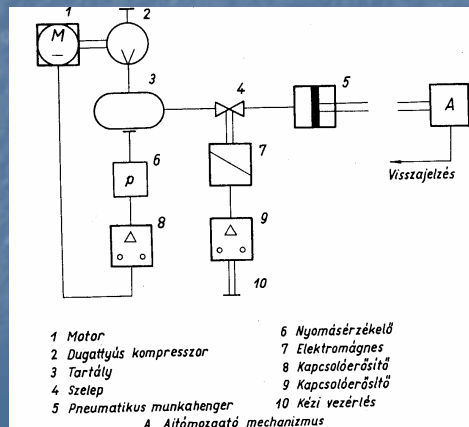


„M” Motorok



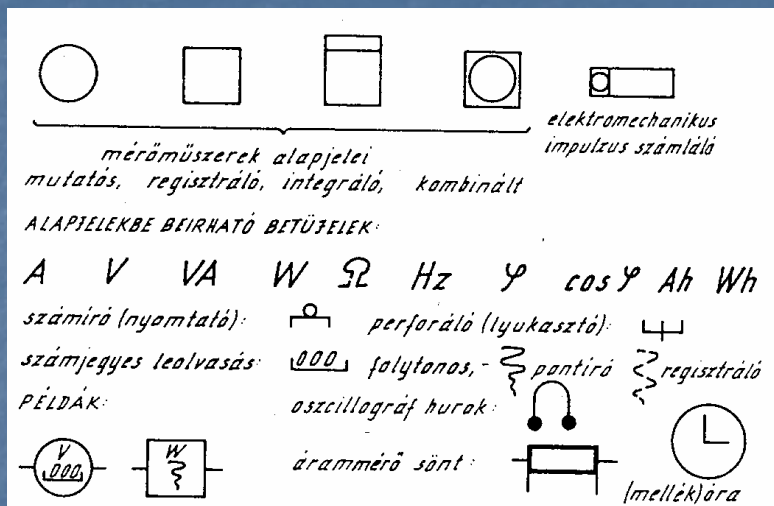
„N”: Erősítők, szabályozók

- Analóg vezérlő- és szabályozókészülékek
- Számítástechnikai eszközök



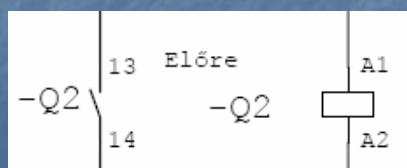
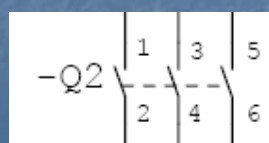
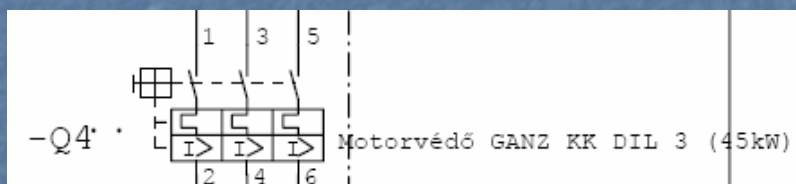
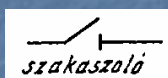
„P”: Mérőműszerek, vizsgálóberendezések

- Kijelzők
- Kiírók és számlálók
- Mérőkészülékek
- Impulzusadók
- Órák

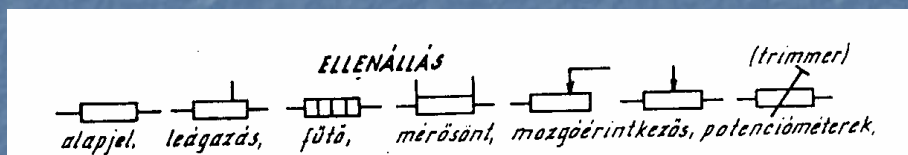


„Q”: Erősáramú kapcsolókészülékek

- Megszakítók
- Szakaszolók

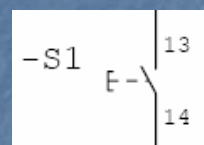
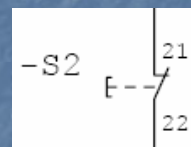
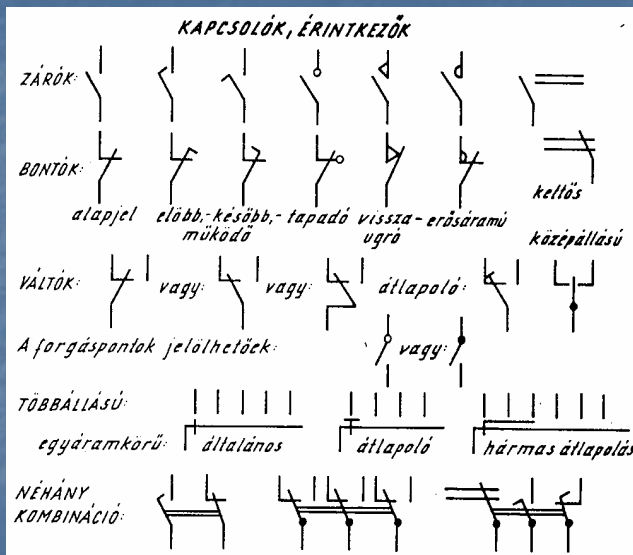


„R”: Ellenállások

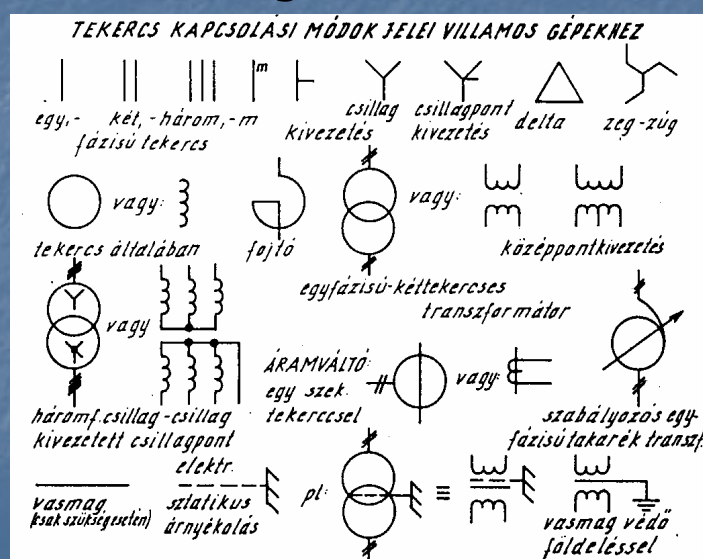


„S”: kapcsolók, választókapcsolók

- Vezérlőkapcsolók
- Nyomógombok
- Határkapcsolók
- Végállás-kapcsolók
- Választókapcsolók
- Számjegyes beállító kapcsolók
- Csatolók



„T”: Transzformátorok, feszültség- és áramváltók

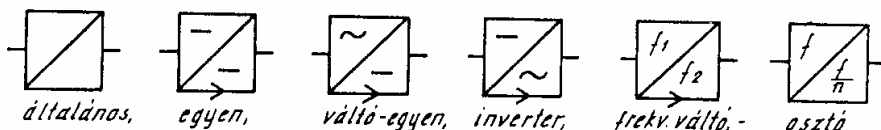


„U”: Modulátorok, villamos és más mennyiségek közötti átalakítók

- Diszkriminátorok
- Demodulátorok
- Frekvenciaváltók
- Kódolók
- Inverterek
- Mérőátalakítók
- Táviratfordítók

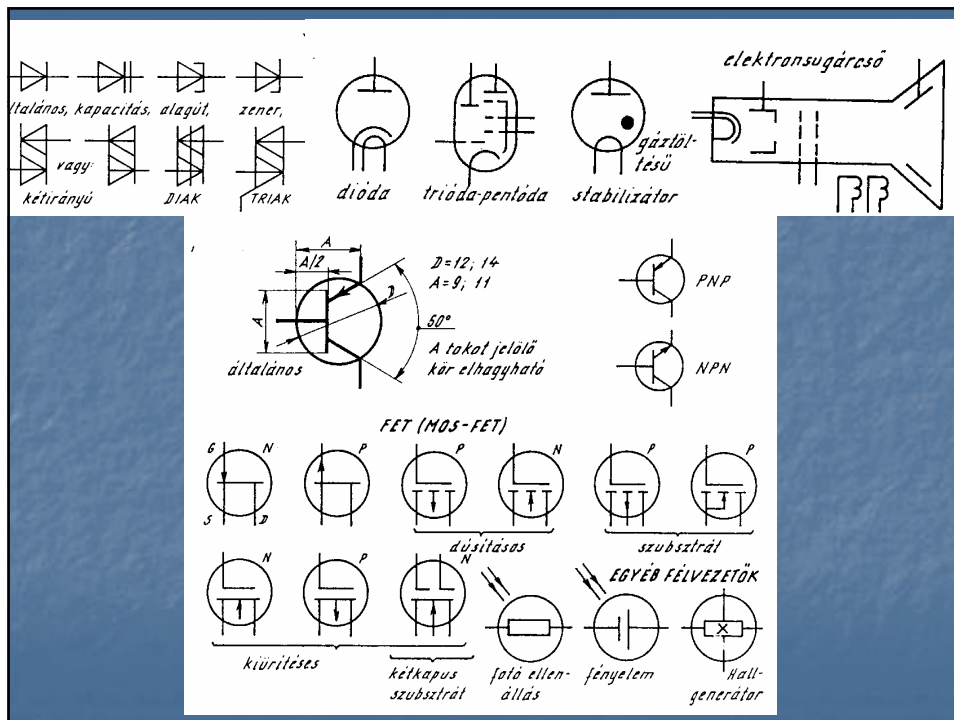
TÖMBVÁZLATI RÁJZJEL PÉLDÁK

(ÁTALAKÍTÓK)



„V”: csövek, félvezetők

- Elektroncsövek
- Gázkisüléses csövek
- Diódák
- Tranzisztorok
- Tirisztorok
- Egyenirányító hidak



„W”: Átviteli vonalak, üreges vezetők, antennák

- Huzalok
- Kábelek
- Gyűjtősínek
- Üreges vezetők
- Dipól antennák
- Parabola antennák

általában vagy gyűjtőn keresztlezések

összerúlás és szétágazás

2, - 3, - 4, - n számú hajlékony

vezeték egyvonalas és áttérés

többvonalas

egyvonalas, többvonalas

sodort vezeték

csak azok, melyek egy csoportba, kábelbe tartoznak

koaxiális kábel

mikrohullámú tápvonalak és mikroszalag

árnyékolt

vezeték

árnyékolású vezeték

ANTENNÁK:

árbóc, bot

ferrit

keret

szimmetrikus, -

hurak, -

dipolok

tölcser (balun)

paraboloiz

szimmetrikus

dipol sugárzó

VEZETÉKEK:

általában, tervezett, üzemben, leszerelendő, leszerelt, aszalon

szakaszoló

KÁBELEK:

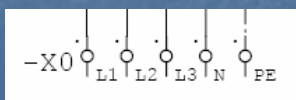
végelzáró, összekötő, csüben, nyitott, fedett, kábelcsatorna, akna, szekrény

ÉPÜLETEK VILLAMOS SZERELVÉNYEI

leágázó doboz, elosztó, fel-, le- szálló vez., falra-, vakolatba-, védőcsüben-, kán- zolra szerelt vezetékek

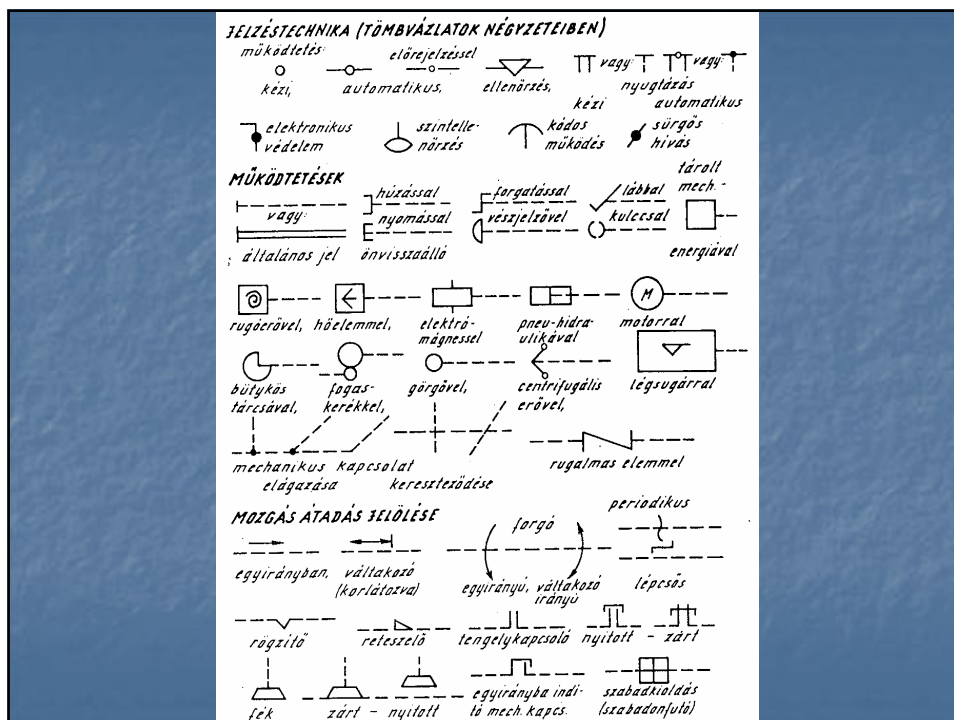
ált., egy-, kétsarkú kézikapcsolók, motor, indító, védőkap- csológ, kontak- tor, kéthüvelyes, védőér- telefon- csatlakozó aljzatok

- Bontható csatlakozók és aljzatok
- Mérési és ellenőrzési célokra szolgáló aljzatok
- Sorkapcsok
- Forrasztható kapcsolécek



„Y” Villamosan működtetett mechanikus berendezések

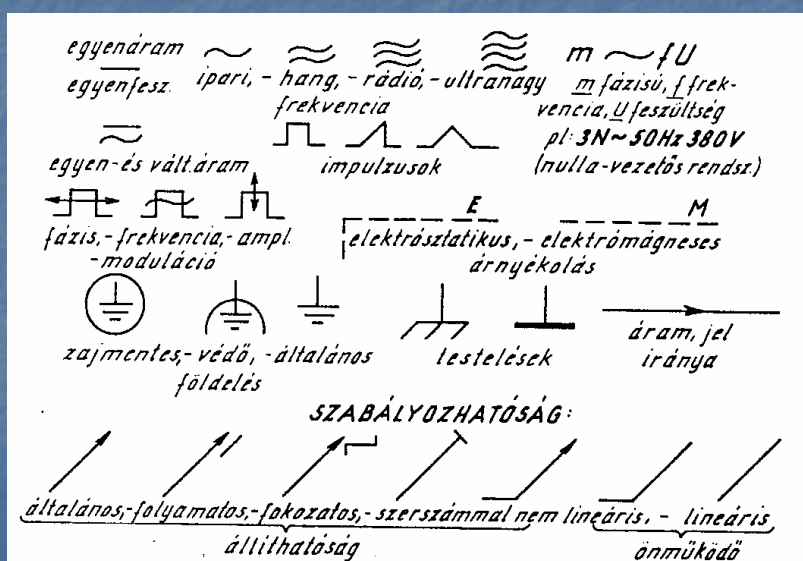
- Fékek
- Kuplungok
- Sűrített levegő szelepek



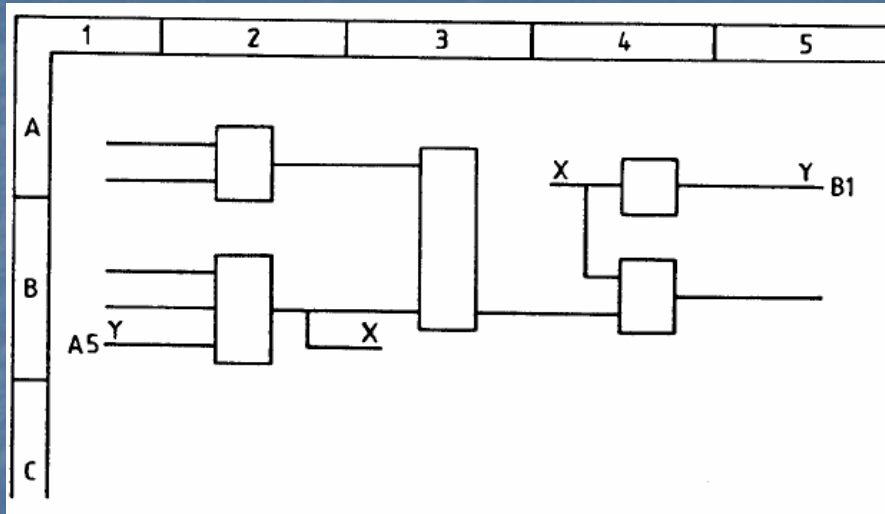
„Z”: Lezárások, szűrők, kiegyenlítők, korlátozók

- Kábelkiegyenlítő
- Dinamika-szabályozók
- kristálysűrő

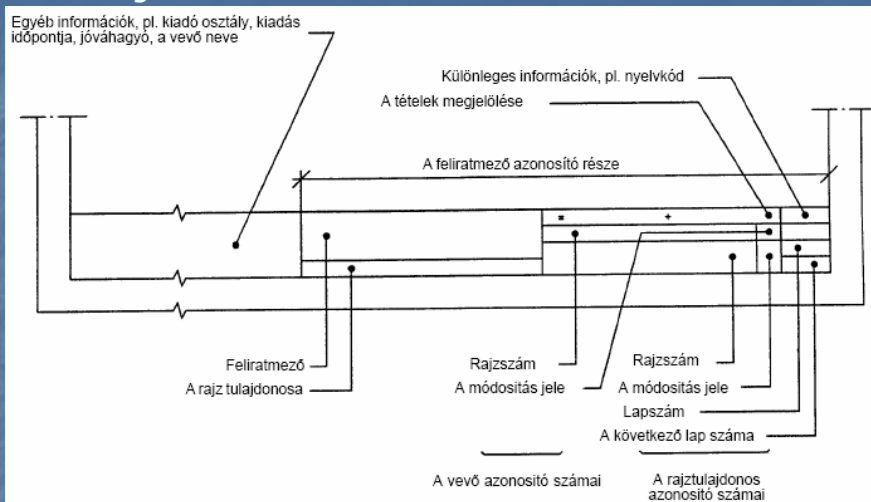
Néhány kiegészítő rajzjel



A rajzolás általános előírásai - Referenciaháló

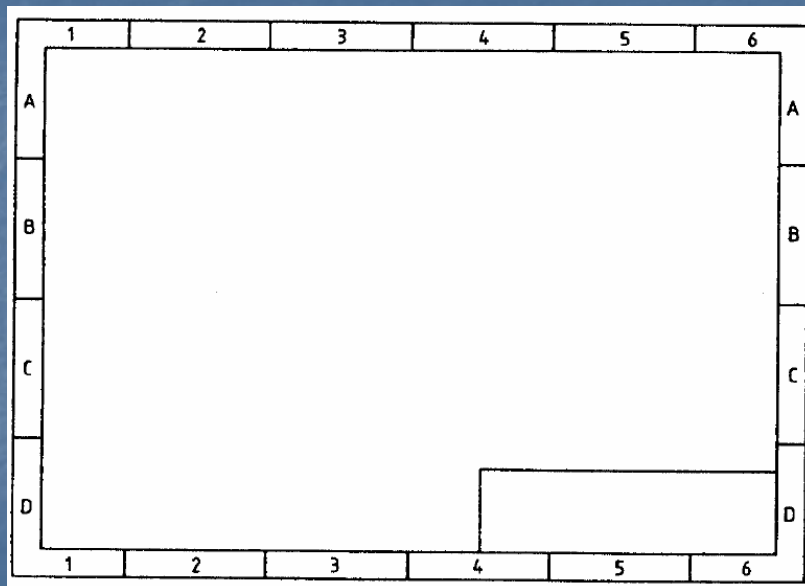


A rajzolás általános előírásai - Feliratmező



Rajzsám, lapszám - Mindegyik rajznak legyen legalább egy olyan azonosítószáma, amely a feliratmezőben van elhelyezve. Több lapból álló rajzon az összes lapot úgy kell számozni, hogy az a lapok egymáshoz tartozását kifejezze. Ha ugyanazon a lapon egynél több rajz vagy rajztípus szükséges, akkor gondoskodni kell arról, hogy mindegyik pontosan azonosítva legyen, például kiegészítő számokkal.

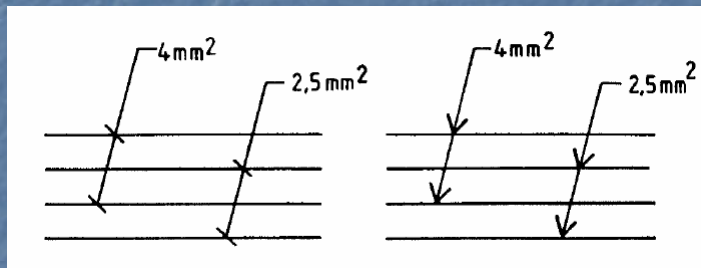
A rajzolás általános előírásai - Referenciaháló



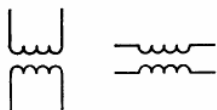
A rajzolás általános előírásai – Példa összetett rajzjel szerkesztésére

	07-16-01	mérőrelé vagy annak működtető készüléke	
U		feszültség SI-mértékegységének betűkódja	
$>$	02-06-01	működés, amikor a jellemző mennyiség nagyobb, mint a beállított érték	
---	02-12-01	mechanikus összekötés (kötés)	
	07-02-01	záróérintkező	
	07-02-03	nyitóérintkező	
	02-12-06	késleltetési művelet	

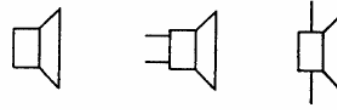
A rajzolás általános előírásai – Mutatóvonalak összekötő vonalakhoz



A rajzolás általános előírásai



06-09-02 Transzformátor



09-09-07 Hangszóró

Példa olyan rajzjelekre, ahol a csatlakozások különböző elhelyezése megengedett



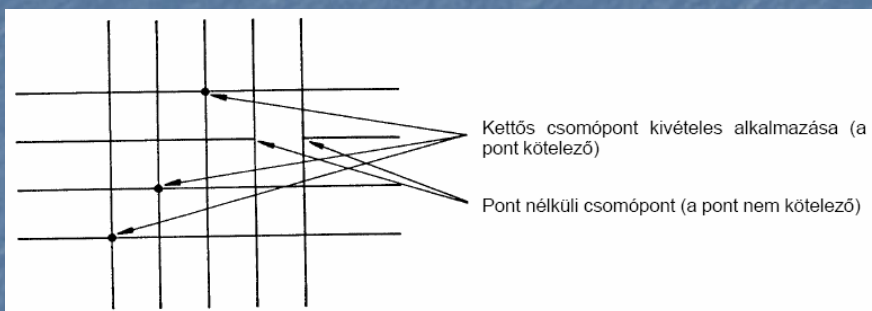
04-01-01 Ellenállás



07-15-01 Relétekercs

Példa olyan rajzjelekre, ahol a csatlakozások elhelyezése befolyásolja a jelentést

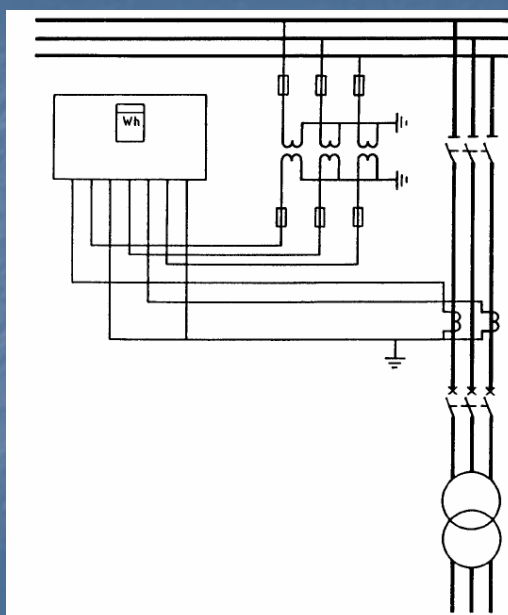
A rajzolás általános előírásai



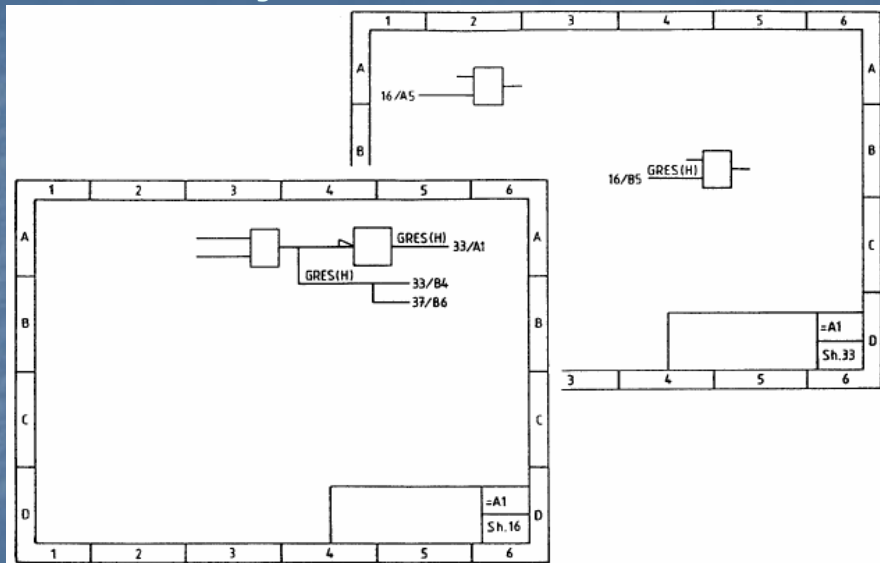
Példa kettős csomópontra vázlaton, T csomópontokat alkalmazva

A rajzolás általános előírásai

Példa vastagabb vonalak alkalmazására az erősáramú áramkörök hangsúlyozása érdekében

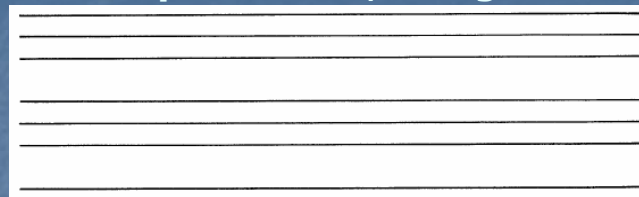


A rajzolás általános előírásai

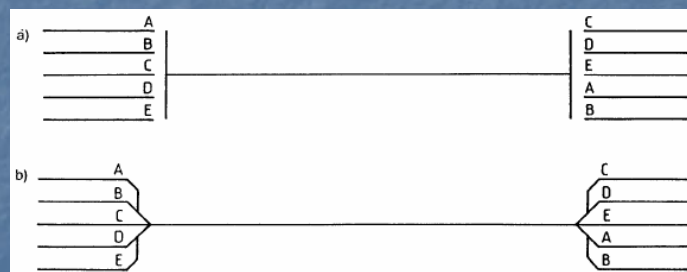


Példa rajzjel- és elhelyezés-hivatkozások alkalmazására megszakított összekötő vonalakhoz (folytatás másik lapon)

A rajzolás általános előírásai – vezetékek csoportosítása, kötegelés



Példa vezetékcsoportosításokra



Példa kötegelésre az egyes vonalak megjelölésével, a) és b) módszer

Köszönöm a figyelmet!

A fázisjavítás elméleti alapjai

rövid áttekintés

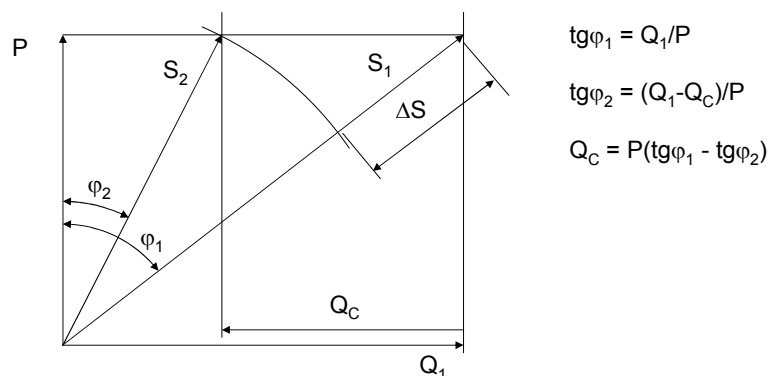
A fázisjavítás szükségessége

- Csökkenteni az átviteli veszteséget
- Kompenzálni az induktív hálózaton induktív terhelés miatt jelentkező feszültségesést
- Kompenzálni az induktív hálózaton kapacitív terhelés miatt jelentkező feszültségemelkedést
- $\Rightarrow$ Áramszolgáltatói előírás $\cos\varphi$ -re, be nem tartása esetén felár

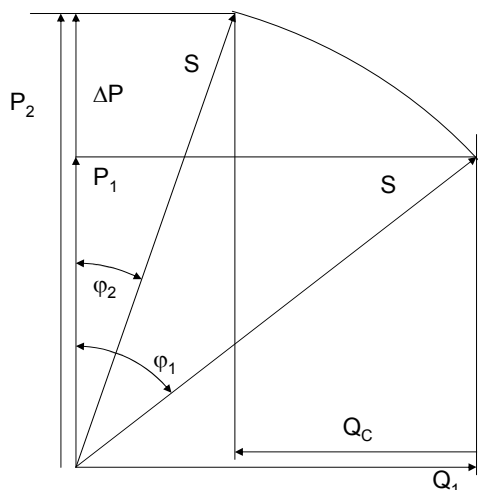
Elvi alapok

- Általános helyzet: induktív jellegű fogyasztók túlsúlya, meddőteljesítmény igény, amit Q_C meddő teljesítmény beépítésével szeretnénk kompenzálni
- Két alapesete
 - Kompenzáció állandó hatásos teljesítmény mellett
 - Kompenzáció állandó látszólagos teljesítmény mellett

Kompenzáció $P=\text{áll.}$ mellett



Kompenzáció S=áll. mellett



$$S = P_1 / \cos\varphi_1$$

$$S = P_2 / \cos\varphi_2$$

$$P_2 = P_1 + \Delta P$$

$$\Delta P = P_1((\cos\varphi_2 / \cos\varphi_1) - 1)$$

ehhez

$$Q_c = P_1 \tan\varphi_1 - P_2 \tan\varphi_2$$

Kompenzáció a gyakorlatban

- Egyedi kompenzáció
 - fázisjavítás egyetlen fogyasztó meddő igényére, gyakran egy egységben belül
 - példák
 - világítási hálózatok gázkisülésses fényforrásainak kompenzáló kondenzátorai
 - motorok egyedi kompenzációja
 - a gerjedés elkerülése érdekében az üresjárási meddő fogyasztás 90%-ra kompenzálunk

Kompenzáció a gyakorlatban

- Csoportos kompenzáció
 - fogyasztói gépcsoport, üzemrész vagy épületrész együttes meddőfogyasztásának kompenzálására építünk be kondenzátorokat
 - példák
 - nagyteljesítményű, ritkán használt induktív fogyasztó
 - sok kisteljesítményű motor
 - tápkábel veszteségének csökkentése

Központi kompenzáció

- Az egész elosztórendszer meddőigényét (annak nagy részét) kompenzáljuk
 - Gyűjtősínre kapcsolódó több csoportra osztott kondenzátorok
 - Automatika figyeli a hálózatjellemzőket
 - A meddőenergia változásának megfelelően kapcsol kondenzátorokat ki ill. be
 - Előnyök
 - viszonylagosan kisebb kondenzátorszükséglet
 - tarifális optimum biztosítása
 - üzembiztonság
 - Hátrány: a belső elosztóhálózatot nem mentesítia meddőáramoktól, nagyobb vezetékterhelés, veszteség

Az elosztóhálózatra kapcsolás

- Teljesítményigény meghatározása
- Igénybejelentés az áramszolgáltató (ÁSZ) területileg illetékes kirendeltségének
- ÁSZ tájékoztatást ad az igénybejelentés alapján
- A kapott tájékoztatás alapján hatósági engedélyek beszerzése
- Kivitelezés
- Ellenőrzés, üzembe helyezés

Az ÁSZ tájékoztató tartalma

- az igényelt villamos energiát (teljesítményt, többletteljesítményt) az ÁSZ hálózatának mely részéről tudja szolgáltatni, valamint a hálózattal való összekötés és a rendelkezésre álló teljesítmény biztosításának műszakilag indokolt és jogszabályban előírt pénzügyi feltételei,
- a bekapcsolás és a szolgáltatás megkezdésének műszaki és pénzügyi feltételei,
- a mérőhely kialakítására, annak ajánlott módjára és a fogyasztásmérő berendezés elhelyezésére vonatkozó követelmények,
- a fogyasztói tulajdonba kerülő hálózati rész kivitelezésénél alkalmazandó gyártmányokra vonatkozó hatósági engedélyek szükségessége,
- az alkalmazandó érintésvédelmi mód és az érintésvédelmi paraméterek (TN, TN + ÁVK, TT, TT + ÁVK, IT)

Az ÁSZ tájékoztató tartalma

- más fogyasztó villamosenergia-vételezését esetleg befolyásoló, a közcélú hálózaton zavarokat (pl. feszültségtorzulás, feszültségvibrálás) okozó fogyasztó-berendezés tervezett alkalmazása esetén az ilyen zavarok korlátozására vagy megelőzésére vonatkozó előírások, ajánlások,
- a kiviteli tervekre, és azok jóváhagyására vonatkozó előírásokat
- a szükséges engedélyek felsorolása,
- az az időpont, amittől kezdődően a közölt feltételek teljesítése esetén az áramszolgáltatás megkezdhető,
- a választható villamos-energia ellátási díjszabás,
- az az időtartam, ameddig az ÁSZ a tájékoztatásban foglaltakhoz kötve van (ajánlati kötöttség),
- a közüzemi szerződés mellékletei, beleértve az általános szerződési feltételeket.

Fogyasztásmérő berendezések

- Elszámolási mérőberendezés, OMH hitelesített
 - hatásos és meddő fogyasztásmérő
 - legnagyobb terhelést mutató (maximummérő)
 - teljesítményösszegző
 - többtarifás mérő (mérés átkapcsolását végző / vezérlő szerkezet)
 - részének tekintik a névleges csatlakozási teljesítményt meghatározó kismegszakítót v. kékes olvadóbiztosítót
 - egyéb berendezések
- Előretörőben: elektronikus fogyasztásmérők

A villamos-energia fogyasztás elszámolása

- általános áramdíj
 - alapidíjas, egy zónaidős: a csatlakozási teljesítmény korlátozás nélkül rendelkezésre áll, a vételezett energiától függően zónaidőtől független áramdíj
 - alapidíjas, két zónaidős: zónaidőszakonként eltérő áramdíj
- teljesítménydíj
 - áramdíj itt is van de kisebb
 - szerződésben lekötött teljesítmény, túllépése büntetőtarifát von maga után
 - érdemes maximumórt alkalmazni
- próbaszámításokkal ellenőrizni, melyik a kedvező

Minőségi energiaellátás

Sugaras elosztóvezeték méretezése

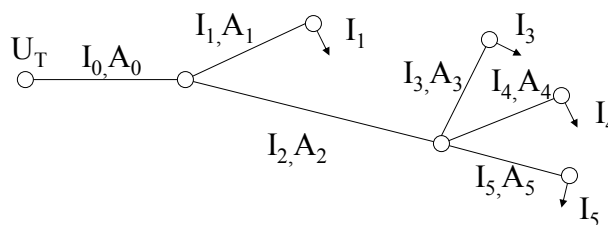
2008.11.21.

Sugaras elosztóvezeték méretezése

1

Sugaras elosztóvezeték

- Egyik végéről táplált, szétágazó nyílt vezetékalakzat
- A fogyasztóhoz az áram csak egyetlen, meghatározott úton juthat el



2008.11.21.

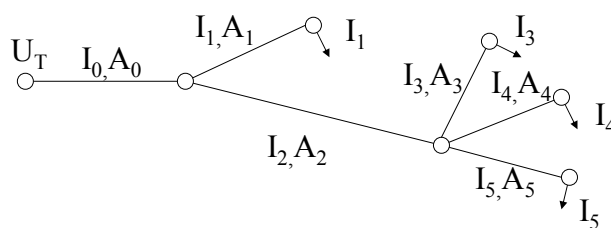
Sugaras elosztóvezeték méretezése

2

Végigfutó keresztmetszet elve

- Minden elágazás után a keresztmetszetek összege egyenlő az elágazás előtti vezető keresztmetszetével

$$\bullet A_0 = A_1 + A_2; A_2 = A_3 + A_4 + A_5$$



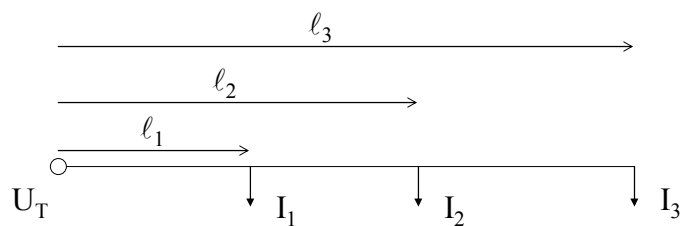
2008.11.21.

Sugaras elosztóvezeték méretezése

3

Helyettesítő tápvezeték

- Amit már tudunk méretezni:



- Szeretnénk a sugaras vezetéket is ilyen formájúra átalakítani → helyettesítő tápvezetéket készítünk

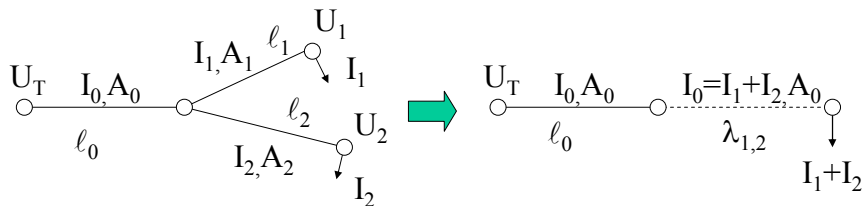
2008.11.21.

Sugaras elosztóvezeték méretezése

4

Helyettesítő tápvezeték

- A helyettesítés alapja
 - A valódi és a helyettesítő vezeték végpontjaiban létrejövő feszültségesés azonos



- A keresztmetszeteket értelemszerűen úgy választjuk meg, hogy $U_1 = U_2$

2008.11.21.

Sugaras elosztóvezeték méretezése

5

Helyettesítő tápvezeték hossza

- Feszültségesés adott szakaszon
 - $e' = I\ell\rho/A$
 - ha a fajlagos ellenállás (ρ) és a vezeték keresztmetszet (A) állandó, e' az áramnyomatékkal ($I\ell$) arányos
- A valódi és a helyettesítő vezeték végpontjain az áramnyomatékok ugyanakkorák
 - $I_1 \ell_1 + I_2 \ell_2 = (I_1 + I_2) \lambda_{1,2}$
 - ebből: $\lambda_{1,2} = (I_1 \ell_1 + I_2 \ell_2) / (I_1 + I_2)$
 - általánosan, n db elágazó vezetékre:

$$\lambda = (I_1 \ell_1 + \dots + I_n \ell_n) / (I_1 + \dots + I_n)$$

2008.11.21.

Sugaras elosztóvezeték méretezése

6

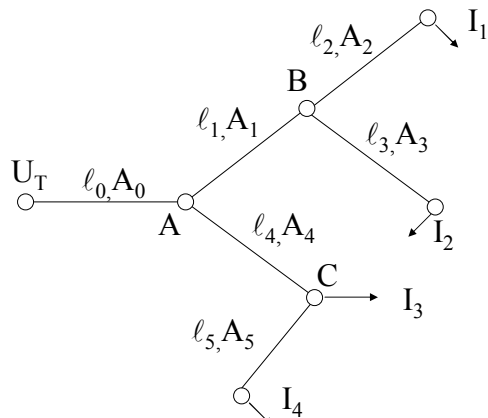
Példa

$\ell_0 = 100\text{m}$
 $\ell_1 = 50\text{m}$
 $\ell_2 = 20\text{m}$
 $\ell_3 = 30\text{m}$
 $\ell_4 = 50\text{m}$
 $\ell_5 = 25\text{m}$

$U_T = 230\text{V}$
 $\varepsilon = 3\%$
 $\rho = 0,03 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$
 $\cos\varphi = 1$

$I_1 = 10\text{A}$
 $I_2 = 30\text{A}$
 $I_3 = 40\text{A}$
 $I_4 = 20\text{A}$

Kérdés:
 - $A_0, A_1 \dots A_5 = ?$
 - $\alpha = ?$



Terhelési csoport B.
 környezeti hőmérséklet 30°C .
 Közös csőben 6 vezeték, 3 védőcső egymás mellett
 B és C leágazások után a terhelésmódosulást nem kell figyelembe venni.

2008.11.21.

Sugaras elosztóvezeték méretezése

7

Megoldás

- Megengedett feszültségesés:
 $e' = (\varepsilon/100)U_T/2 = (3/100)(230/2) = 3,45\text{V}$
- A „B” pontból induló szakaszok helyettesítése
 $\lambda_B = (I_1 \ell_2 + I_2 \ell_3)/(I_1 + I_2) =$
 $(10\text{A} \cdot 20\text{m} + 30\text{A} \cdot 30\text{m})/(10\text{A} + 30\text{A}) = 27,5\text{m}$
- A „C” pontból induló szakaszok helyettesítése
 $\lambda_C = (I_3 \ell_4 + I_4 \ell_5)/(I_3 + I_4) =$
 $(40\text{A} \cdot 50\text{m} + 20\text{A} \cdot 25\text{m})/(40\text{A} + 20\text{A}) = 8,33\text{m}$
- Az „A” pontból induló vezetékhozzak
 $L_{A1} = \lambda_B + \ell_1 = 77,5\text{m}; \quad L_{A2} = \lambda_C + \ell_4 = 58,33\text{m}$

2008.11.21.

Sugaras elosztóvezeték méretezése

8

Megoldás

- Az „A” pontból induló szakaszok helyettesítése
 - $\lambda_A = ((I_1 + I_2)L_{A1} + (I_3 + I_4)L_{A2}) / (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) = (40A \cdot 77,5m + 60A \cdot 58,33m) / 100A = 66m$
- „A₀” keresztmetszet meghatározása
 - $A_0 = (\rho/e')(I_1 + I_2 + I_3 + I_4) / (\ell_0 + \lambda_A) = (0,03 \cdot 10^{-6} \Omega m / 3,45V) 100A \cdot 166m = 144,35 \text{ mm}^2$
- Ellenőrzés melegedésre és teljesítmény-veszteségre az egyoldalról táplált egyszerű vezetékhez hasonlóan

2008.11.21.

Sugaras elosztóvezeték méretezése

9

FONTOS!

- Melegedés és telj. veszteség számításakor az áramokat vektorosan kell összeadni (valós és képzetes részek)
 - $I_0^2 = (I_{1w} + I_{2w} + I_{3w} + I_{4w})^2 + (I_{1q} + I_{2q} + I_{3q} + I_{4q})^2$
(ez $\cos\varphi=1$ esetben csak wattos komponenseket jelent, különben ki kell számítani az egyes összetevőket)
- 1 f áramkörnél az ℓ_0 szakaszra jutó veszteség $p' = I_0^2 \cdot \rho \ell_0 / A_0$

2008.11.21.

Sugaras elosztóvezeték méretezése

10

Ellenőrzés melegedésre

- $A_0 = 144,35 \text{ mm}^2$, a legközelebbi szabványos érték 150 mm^2
- Alapterhelhetőség: $I_A = 355 \text{ A}$ 
- Korrekciós tényezők:
 - k_1 : 0,94 (körny. hőm, 30°C , M vezeték)
 - k_2 : 0,75 (6 vezeték közös csőben)
 - k_3 : 0,85 (3 cső egymás mellett)
- $I_m = k_1 k_2 k_3 I_A = 212,7 \text{ A} > 100 \text{ A}$, megfelel.

2008.11.21.

Sugaras elosztóvezeték méretezése

11

Megoldás

- További keresztmetszetek meghatározása
 - tényleges feszültségesés számítása az „A” pontig
 $e'_A = \rho(I_1 + I_2 + I_3 + I_4)\ell_0/A_0 =$
 $0,03 \cdot \Omega\text{mm}^2/\text{m} \cdot 100\text{A} \cdot 100\text{m}/150 \text{ mm}^2 = 2 \text{ V}$
 - Az elágazásokra jutó feszültségesés számítása
 $e'_{B,C} = e' - e'_A = 3,45\text{V} - 2\text{V} = 1,45 \text{ V}$
 - Keresztmetszetek meghatározása a szokott képlettel
 $A_1 = (\rho/e'_{B,C})(I_1 + I_2)/(\ell_1 + \lambda_B) =$
 $(0,03 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}/1,45\text{V})40\text{A} \cdot 77,5\text{m} = 64,13 \text{ mm}^2$
 A_2 hasonlóképpen
 - A további keresztmetszetek a fentiek alapján számíthatók

2008.11.21.

Sugaras elosztóvezeték méretezése

12

SZÜNETMENTES ÁRAMFORRÁSOK ALKALMAZÁSA ÉS HÁLÓZATAIK KIÉPÍTÉSE A NAGYFOGYASZTÓKNÁL

Dr. Szandtner Károly

(BME Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Tanszék)

1. Megbízhatósági igény a villamos energiaellátó rendszerekben

A villamos energia elosztó rendszerekkel szembeni megbízhatósági elvárások jelentős mértékben növekedtek az elmúlt időszakban, figyelembe véve az általuk táplált rendszerek kritikus természetét és a meghibásodásokkal (hálózat kiesésekkel) okozott magas költségeket. Például egy légiforgalmi irányítórendszer, vagy gyógyászati rendszer ellátásának kiesése közvetlen életveszélyt jelent, egy banki rendszer összeomlása pedig országos zavarokhoz vezethet. Természetesen elvárható, hogy ezeken a helyeken valamilyen tartalék ellátás legyen. Egy számítógépes adatfeldolgozó rendszer ellátásának kiesése magas költségeket eredményezhet az adatvesztés és a hosszú helyreállítási idő következtében. Minél nagyobb és összetettebb a számítógépes rendszer, annál hosszabb lesz az energia kimaradás utáni helyreállítási idő. Néhány nagy berendezésnél ez akár a 7 órát, vagy még ennél hosszabb időt is jelenthet.

A kisfeszültségű táplálás megkövetelt feszültség tartási jellemzőit az MSZ EN 50160:2001 "A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői" c. szabvány [8] 2. pontja tartalmazza. E szabvány szerint az előírások a következők:

- A hálózati frekvencia együttműködő szinkron csatlakozású hálózatoknál $50 \text{ Hz} \pm 1 \%$ a hét 99,5 %-ában, és $50 \text{ Hz} + 4 \%$ / -6% az idő 100 %-ában.
- A hálózati frekvencia együttműködő nem szinkron csatlakozású hálózatoknál (sziget üzem) $50 \text{ Hz} \pm 2 \%$ a hét 95 %-ában, és $50 \text{ Hz} \pm 15 \%$ az idő 100 %-ában.
- A tápfeszültség nagysága négyvezetékes háromfázisú hálózatokban $U_n = 230 \text{ V}$ a fázis és a nulla között. Az MSZ 1:1993 "Szabványos villamos feszültségek" c. szabvány [9] szerint a feszültség tűrési sávjára vonatkozó előírás $U_n + 5,2 \%$ / $-8,7 \%$, majd 2008. 01. 01-től $U_n + 7,8 \%$ / $-7,4 \%$.
- A tápfeszültség változás (kiesés figyelmen kívül hagyva) 95 %-a a hét bármely időszakában - a 10 perces átlagos effektív érték alapján - $U_n \pm 10 \%$ értékű legyen, hosszú tápvonalak esetében pedig $U_n + 10 \%$ / -15% érték is megengedett.
- Gyors feszültség változás általában nem haladhatja meg az $U_n \pm 5 \%$ -os értéket, rövid időre elérheti viszont az $U_n \pm 10 \%$ -át.
- A tápfeszültség rövid idejű kimaradása évente 10 ... 100 alkalom és 70 %-ának időtartama kisebb lehet 1 másodpercnél. Néhány dokumentum csak az egy percet nem meghaladó időtartamú kimaradást tekinti rövid idejűnek.
- A tápfeszültség tartós kimaradása általában a három percet meghaladó időtartamú kimaradás, amelynek éves gyakorisága 10 ... 50 alkalomig terjedhet.

A számítógépes rendszerek köztudottan érzékenyek a gyenge minőségű hálózati ellátásra és a villamos adatfeldolgozás (EDP) táplálási előírásai sokkal szigorúbbak, mint bármilyen más - az előbbi felsorolásnak megfelelő - fogyasztói ellátáshoz a betáplálási előírás [1].

Általánosságban a 10 ms-nál rövidebb időtartamú túrések tipikusan:

- névleges feszültség túrése $\pm 5 \%$,
- névleges frekvencia $50 \text{ Hz} \pm 1 \%$, azaz 49,5 és 50,5 Hz között.

A személyi számítógépes rendszerekre a követelmények:

- korlátozott idejű lehet a feszültség eltérés vagy szünet, $t_{sz} < 15 \text{ ms}$,
- korlátozott a feszültségcsúcs mentesség, $U_{cs} < 1 \text{ kV}$,
- korlátozott a teljes harmonikus torzítás a feszültségre és áramra, THD_u és $THD_i < 10\%$,

- a feszültség eltérés állandósult állapotban $\pm 1\%$,
- a frekvencia eltérés dinamikus esetben $\pm 1\%$,
- a jel megváltozási sebesség (a frekvenciaváltozás sebessége) $< 0,5 \text{ Hz/s}$,
- a nulla-vezető és a föld közötti potenciálkülönbség megengedett értéke $< 5 \text{ V}$.

2. Fogalmak a megbízhatóság elemzéséhez a villamos energia rendszerekben

Mielőtt rátérnénk a nagy megbízhatóságú villamos energiaellátó rendszer kialakítására, néhány fogalmat érdemes definiálni [1, 3].

Megebízhatóság: Megbízhatóság annak a valószínűségnek a mértéke, hogy egy elem vagy egy rendszer működőképes marad a megkívánt élettartama során. Értelmezhetjük soros, párhuzamos, soros-párhuzamos elemek együtteseként és egyéb esetekben. Számítása az egyedi elemek megbízhatóságából történhet.

Rendelkezésre állás: A rendszertervezők és a felhasználók számára egyik fontos szempont a szolgáltatás rendelkezésre állása, pl. a villamos energia betáplálás a számítógépes rendszerek ellátásánál. Ez az üzemidőnek az a része, amely alatt a megfelelő szolgáltatás biztosított, azaz:

- villamos energia betáplálásra vonatkoztatva a kiesést, ha pl. 1 óra kiesés van egy évben, akkor az $(8760 - 1)/8760 = 0,999886$ rendelkezésre állást jelent;
- de a teljes számítógépes rendszerrel értelmezve a rendelkezésre állást már ennél kisebb, mert pl. az 1 órás kimaradást követően az újratöltéshez és visszaállításhoz 7 óra szükséges, így ez: $(8760 - 8)/8760 = 0,9991$ rendelkezésre állást jelent;
- napi 10 sec kimaradás esetén (összesen évente szintén kb. 1 óra kiesésnek felel meg), ha az újratöltés és visszaállítás napi 7 óra lenne, ez évente 2555 órát jelent, azaz $(8760 - 2555) / 8760 = 0,71$ -es a rendelkezésre állás. Ez a gyakori kiesés azonban már elviselhetetlen.

Rugalmasság: A rugalmasság a rendszer azon képessége, hogy legalább egy elemének a meghibásodása után is működőképes marad. Ezt rendszerint párhuzamos utak biztosításával érik el (más néven redundáns rendszerrel), így az egyik út meghibásodása nem okozza a rendszer működésképtelenségét, azaz a rendszer normál üzemében az egyik út fölösleges.

Mivel a rugalmas rendszerben egynél több hibának kell bekövetkezni ahhoz, hogy használhatatlanná váljon, az általános megbízhatóság javul. Ha tervszerű megelőző karbantartást alkalmaznak, akkor a fölösleges útvonal jóval korábban felújítható (megjavítható), még mielőtt egy második hiba fellépne.

Redundancia: A redundáns rendszer az, amelynél egy vagy több ún. többlet egység (elem, berendezés stb.) áll készenlétben, és az alapegység kiesése esetén a rendszer funkcióit minden további nélkül képes átvenni. A redundancia célja kizárólag az, hogy megnöveljük a rendszer megbízhatóságát, az optimális gazdaságosság határain belül. A redundancia bevezetése tehát együtt jár a költségek, a térfogat, valamint a tömeg növekedésével.

Nem redundáns rendszer: elsősorban a soros rendszer, amelynek egyetlen elemének kiesését követően a rendszer üzemképtelenné válik.

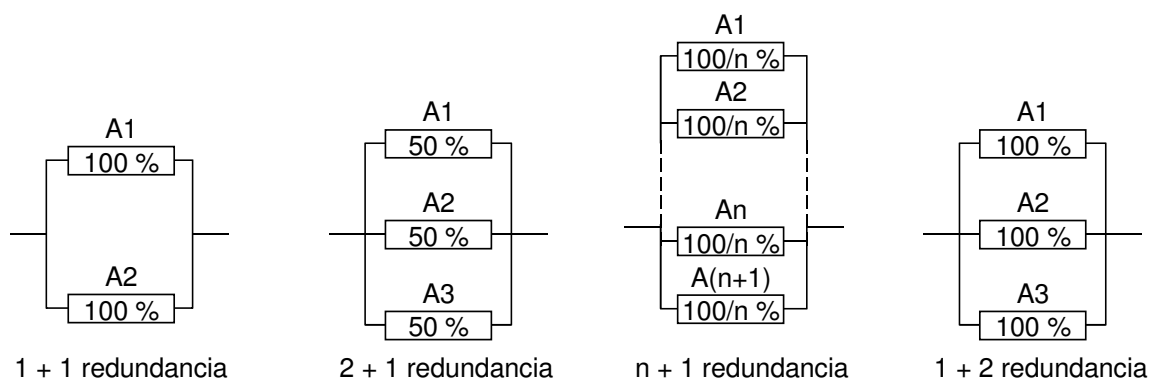
Készenléti redundancia (passzív redundancia): azt jelenti, hogy egy alternatív eszközt biztosítunk, de az nem működik, amíg nincs rá szükség (pl. készenléti diesel-aggregát egy épület ellátására, egyéb ún. stand-by szerkezet).

Aktív vagy párhuzamos redundancia: esetében valamennyi párhuzamos egység egyidejűleg működik a szükség esetén való bekapcsolás helyett. Ez lehet pl. két elem egyidejű használata, amelynek bármelyike képes a teljes terhelés szállítására, ha az egyik elem kiesik a másik teljes mértékben átveszi az ellátás funkcióját, ez az ún. 1+1 redundancia.

Más megközelítésben a terhelés több egység között úgy is megosztható, hogy az egyes egységek a teljes terhelésnek csak egy bizonyos részét képesek szállítani és csak egy többlet egységről gondoskodunk. Ezt hívjuk N+1 redundanciának. De elképzelhető olyan rendszer is,

amelynél három elemből kettőnek kell üzemelnie a rendszer normál üzemviteléhez, így csak egy többlet elem van. Ezt a rendszert 2+1 redundanciájú rendszernek nevezik.

Megemlíthetjük még a kiemelkedő fontosságú terhelések ellátását, amelyek számára több mint egy, teljes teljesítmény vitelére méretezett redundáns egységről gondoskodunk. Például egy 1+2 redundanciájú rendszerben 2 db teljes teljesítmény vitelére méretezett többlet egység segíti az egyetlen folyamatosan működő egységet. A rendszer kieséséhez mindhárom egységnek meg kell hibásodnia. Mivel az energia ellátásában nincs szünet (kiesés vagy megszakadás), ez az aktív redundancia megfelelő a számítástechnikai rendszerek ellátására. Általános szabályként említhető, hogy a redundáns rendszerek első számjegye jelöli a rendszer helyes működéséhez szükséges elemek számát, a második számjegy pedig a rendelkezésre álló készenléti elemek számát adja meg. Az elmondott példákat az 1. ábrán szemléltetjük.



1. ábra Példák a különböző redundanciájú rendszerek bemutatására

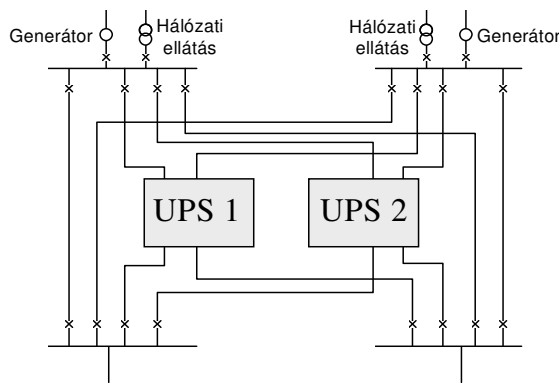
3. Villamos energiaellátó rendszer kialakítása a megbízhatóság szempontjai alapján

Nincs olyan villamos energiaszolgáltató, amelyik kedvező áron, nem túl drágán képes biztosítani olyan ellátást, amely kielégíti az 1. fejezetben felsorolt szigorú előírásokat. Ezért a felhasználónak kell megfelelő - a megbízhatóság kívánt szintjének eléréséhez szükséges – energiakondicionáló és elosztó berendezéseket tervezettni és beépíttetni. Természetesen a többletberendezés maga is hozzá fog járulni a megbízhatósági mutató romlásához, amit számításba kell venni.

Az épületek villamos hálózatának és a korszerű fogyasztói berendezések tervezésének és alkalmazásának célja: a folyamatos és megbízható villamos energia ellátás biztosítása a kritikus üzemviteli körülmények között. A megoldás az alább felsorolt lehetőségek közül választással érhető el úgy, hogy egy időben akár többlet alkalmazunk az épület vagy épületegyüttes villamos energia ellátó rendszerének kialakításakor. Ezek a lehetőségek a következők:

- külön álló, független hálózati (kábelhurkú) táplálásról való gondoskodás;
- a tápláló transzformátorok, gyűjtősínek, elosztórendszerek megkettőzése;
- tartalék generátorról való gondoskodás (diesel aggregátor), akár többről is;
- szünetmentes áramforrásról való gondoskodás (központi és lokális telepítés);
- a fogyasztók osztályba sorolása (kiemelt fontosságú, fontos és kevésbé fontos fogyasztók);
- a funkcionálisan különválasztott hálózatok kiépítése egyeztetett tervek alapján;
- a tervszerű karbantartás bevezetése, a nem kívánt fogyasztói kiesések elkerülése céljából.

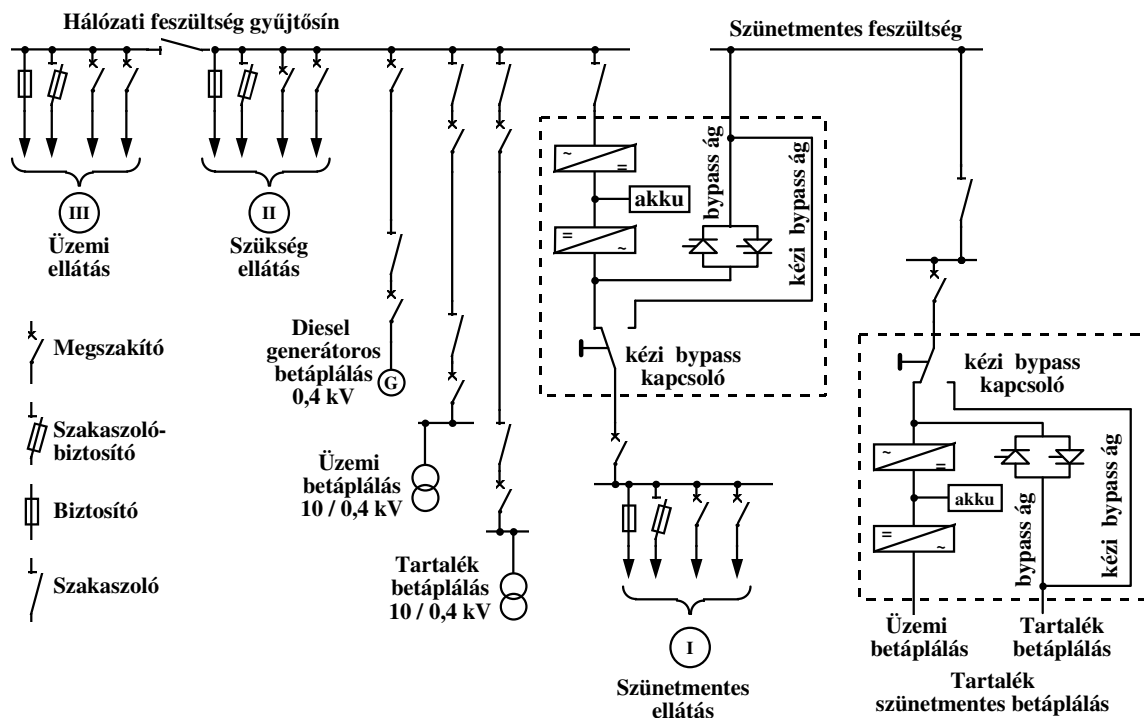
Példaképpen nézzük a 2. ábrán látható British Standard szabvány által javasolt nagy megbízhatóságú rendszer felépítési vázlatát [1], vagy a 3. ábrán bemutatott megbízható, de az előbbihez képest egyszerűsített mintahálózat egyvonalas kapcsolási vázlatát [2].



2. ábra Nagy megbízhatóságú, szünetmentes betáplálás két független ágon keresztül a British Standard szabvány ajánlása szerint [1]

A két rendszer összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a 2. ábrán bemutatott igen nagy megbízhatóságú rendszer létesítése drága. Helyette célszerűbb a 3. ábrán bemutatott rendszer kivitelén elgondolkozni, amely szintén nem olcsó, de megvalósíthatósága - adott műszaki és gazdaságossági szempontok optimalizálásával - reális és megtérülő anyagi ráfordítások mellett betervezhető illetve kivitelezhető.

Ez a 3. ábrán bemutatott egygyűjtősínes elrendezés két független áramszolgáltatói betáplálással rendelkezik, amelyeknek a tartaléka egy független, ún. készenléti generátor. Az üzemi és szükség ellátás közös gyűjtősínről történik, a felszálló fővezeték rendszer azonban már - az eltérő funkciók figyelembevételével - szétválasztva épül ki. A szünetmentes fogyasztókat az előbbiektől teljesen különválasztott hálózat (gyűjtősín) táplálja. Az ábrán látható még a különböző osztályba sorolt fogyasztók ellátásának egyik lehetséges megoldása is.



3. ábra Nagyépület kisfeszültségű villamos energia betáplálási vázlata [2]

A fogyasztók csoportosítása a következők szerint valósul meg:

- Szünetmentes fogyasztóknál (I) a kiesési idő gyakorlatilag 0 sec, pl.: központi számítógép

és adatátviteli hálózat, telefonok, faxok, biztonsági és tűzjelző hálózat.

- A szükség ellátást igénylő fogyasztóknál (II) a kiesési idő kb. 1 perc, pl.: hűtőgépek, inverter klímák, biztonsági világítás, kazánvezérlő automatikák.
- A normál üzemi ellátású fogyasztók (III) az előbbi csoportokba be nem sorolt fogyasztók, kiesésük időtartamára nincs előírás, pl.: irodai világítás, dugaszolóaljzat hálózat, hőtechnikai fogyasztók.

Körültekintő méretezéssel és teljesítmény lekötéssel biztosítható, hogy az áramszolgáltatói normál üzemi és tartalék betáplálás a rendszerhez kapcsolt összes fogyasztót képes legyen egy időben ellátni. E betáplálások kiesését követően a diesel generátor csak korlátozott ellátást biztosít (szünetmentes tápforrás betáplálása, inverter klímák és szükség fogyasztók ellátása, stb.). Az ehhez szükséges fogyasztói korlátozásokat átkapcsolásokkal, azaz relés automatika, vagy épületfelügyeleti számítógépes vezérlés segítségével valósíthatjuk meg.

További üzemviteli szempontként figyelembe kell venni, hogy a diesel generátor fokozatosan terhelhető. A főleges indítások elkerülésére kb. 1 perces indítási holtidőt alkalmaznak. Ezen kiesési időtartam alatt csak a szünetmentes áramforrás biztosítja a folyamatos energia ellátást.

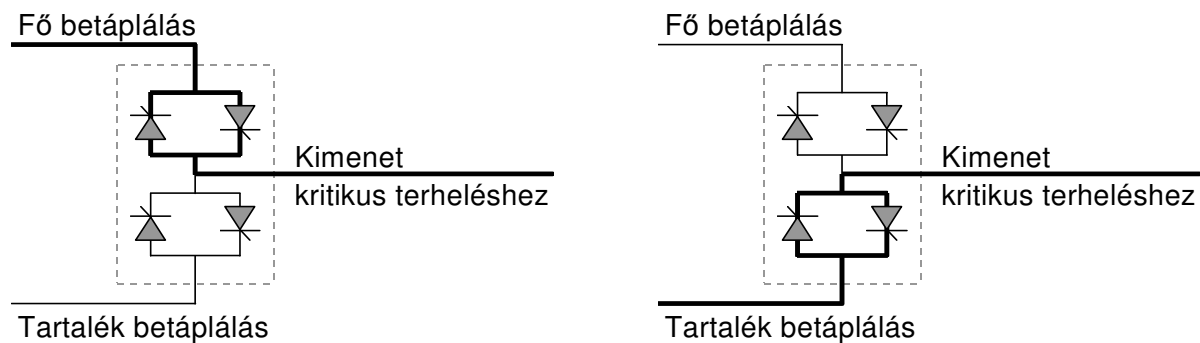
Ha mindkét betáplálás és a generátor is meghibásodna, vagy karbantartás miatt üzemben kívüli állapotba kerülne, akkor a szünetmentes áramforrás(oka)t lehetne használni a fogyasztói gyűjtősinék független táplálására. Ilyenkor tovább terheléskorlátozás alkalmazható a táplálás időtartamának meghosszabbítására, figyelembe véve az akkumulátorok korlátozott kapacitását ($t_{\text{át.}}=10$ perc ... 1 óra, névleges terhelés mellett). Hasonló felépítésű és még nagyobb megbízhatóságú, két független készenléti generátorral felépített, két független rendszer összekapcsolása látható a 2. ábrán. Ennél a kapcsoláshoz statikus átkapcsolókat használnak a készülékek és a kívánt útvonalak összekapcsolására és szétválasztására.

Említettük már, hogy a vázolt kiépítések megvalósítása nem olcsó, azonban olyan helyeken indokolható az alkalmazásuk, ahol életveszély, vagy komoly anyagi kár származhat az energia betáplálás kieséséből illetve a rendszer meghibásodásából. Ezeket a példákat annak az illusztrálására szántuk, hogy mi az, ami megbízhatóság szempontjából elérhető. Többségében ezeknek a rendszereknek egyes részeit is elegendő kiépíteni, az esetleges kockázatok számbavétele és a költségtakarékosság gondos elemzése alapján. A szabályozási algoritmusok (amely kézi, fél automatikus vagy automatikus kivitelű) a bemutatott elrendezésekre eléggé összetettek, így ezek önmagukban is alapos megbízhatósági elemzést kívánnak.

4. Szünetmentes, nagy megbízhatóságú villamos energia ellátás eszközei

Statikus átkapcsolók (STS):

Az ún. statikus átkapcsolók (STS) elsődleges célja az, hogy lehetővé tegye a kritikus (feszültség kiesésre érzékeny és fontos) fogyasztók (terhelések) látszólag szünetmentes átkapcsolását az egyik váltakozó-áramú táplálásról a másikra. A 4. ábrán látható ellenpárhuzamos kapcsolású tirisztor párokat minden fél periódus kezdetén be kell kapcsolni az egyik illetve a másik irányba. Ez megfelel a normál üzemi működésnek, amikor a fő betápláláshoz tartozó tirisztorokat gyűjtják be. Ha a fő betáplálás feszültsége kimarad vagy tartósan "letörik", akkor a felügyeleti mikroprocesszor érzékeli ezt az állapotot, letiltja a fő betáplálás tirisztorainak vezérlőáramát és a terhelőáram nulla átmenetét követően vezérlő áramot biztosít a tartalék betáplálás oldali tirisztoroknak. Az áttérés általában kevesebb, mint 1/4 villamos periódus. Ma ezt a feladatot tranzisztoros statikus UPS modulok látják el, digitális szabályzóval [5].



4. ábra Statikus átkapcsoló normál- és tartalék üzemi helyzetben [1]

Váltakozó áramú szünetmentes tápegységek (statikus UPS):

Az utóbbi 20 évben az ún. statikus UPS-ek (lásd a 3. ábra szünetmentes hálózati tápegységét) terjedtek el, amelyek gyártása összteljesítményben, minőségben és darabszámban a legdinamikusabb fejlődést mutatták. A főáramköri megoldások szempontjából általában három generációt különböztetünk meg: a tirisztor-technikán-, a bipoláris tirisztor-technikán és az IGBT-technikán alapuló megoldásokat [4].

A tirisztor-technikán alapuló megoldásokban az oltási, kényszer kommutációs folyamatok számának csökkentése érdekében ún. lépcsős impulzusteknikát alkalmaztak. Ezzel a vezérlési móddal a tirisztorokat periódusonként kétszer kell kikapcsolni, de két háromfázisú kényszer kommutációs hídkapcsolással és bonyolult háromfázisú transzformátor egységekkel el lehetett érni azt, hogy a kapcsolás 12 ütemű legyen és így a kimeneti feszültségben a legkisebb rendszámú felharmonikus a 11-edik legyen. Ez a felharmonikus tartalom újabb szűrőkörök beépítésével tovább csökkenthető.

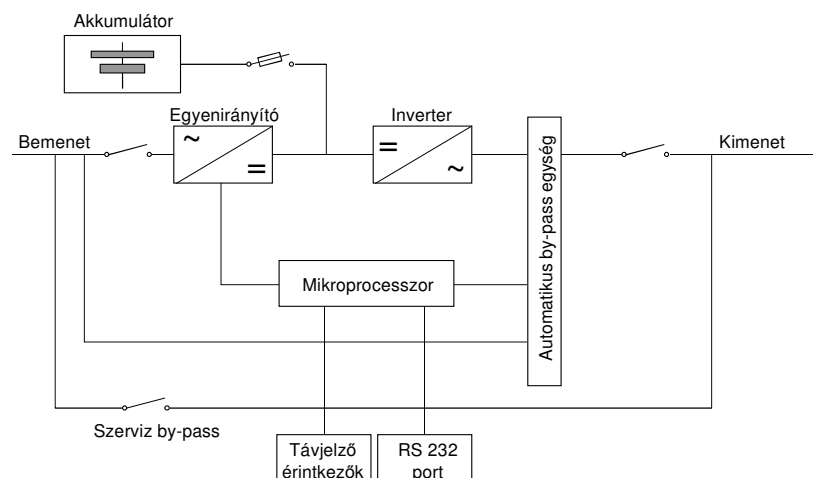
A bipoláris tranzisztor-technikán és az IGBT-technikán alapuló főáramköri megoldások felépítése és vezérlése közel azonos. A vezérlésnél szinuszos alapjellel vezérelt impulzus-szélesség modulációt alkalmaznak és a kapcsolási frekvencia 1 ... 2 kHz között változik. A legújabb típusoknál, de főleg a kisebb teljesítményű IGBT-s megoldások kapcsolási frekvenciája néhány száz 10 kHz nagyságrendű is lehet. Ezeknek az UPS típusoknak a szabályozási gyorsasága lényegesen nagyobb, a szükséges szűrőkörök mérete csökkent és lényegesen kisebb a kimeneti feszültség torzítása, mint a hagyományos tirisztor-technikát alkalmazó megoldásúaké.

Az 1980-as évek végéig gyártott tirisztoros UPS-ek minden egysége analóg elemekből épült fel. Az 1990-es évek elejétől tértek át a vegyes rendszerekre, amelyekben a főáramköri teljesítmény félvezetők vezérlése analóg elemekből épült fel, míg a felügyelő- és jelzőrendszerek már digitális elemekből készültek. A vegyes vezérlő-, felügyelő-, jelzőrendszereket elsősorban a bipoláris tranzisztoros főáramköri megoldásoknál alkalmazták.

A teljesen digitális információelektronikát főként az újabb IGBT-s főáramkörű UPS-eknél alkalmazták először. Az UPS gyártók az általánosan felhasználható, on-line üzemű szünetmentes tápegységek kimeneti jellemzőit ma már úgy állítják be, hogy azok kielégítsék a számítógépeknél és számítógépes rendszereknél előírt zavarhatárookra vonatkozó előírást (lásd az 1. fejezetet). Egység teljesítményük a tized kVA-tól néhány száz kVA-ig terjed. Párhuzamos üzemeltetésük megoldott. Túlterhelhetőségük: 125 %-nál 10 ... 15 perc, 150 %-nál 10 sec ... 1 perc. A zárlatvédtől kimenetükre vonatkozóan: $I_{rz} < 3I_{névl}$.

Mit jelent az **on-line UPS**? Ez az UPS a váltakozó áramú teljesítményt egyenárammá alakítja át, amivel feltöltve tart egy akkumulátor telep sort, majd a váltóirányító alakítja vissza az akkumulátor teljesítményét váltakozó feszültséggé. A fogyasztók folyamatosan az akkumulátor energiájából kapják a táplálást, a szünetmentes áramellátó rendszer betáplálási feltételeitől

függetlenül (5. ábra), ezért a kimeneten nincs átkapcsolás. Mivel az átvitt teljesítményt kétszer alakítjuk át, ez a fajta UPS viszonylag rosszabb hatásfokú és főként kis teljesítményű fogyasztók ellátására célszerű alkalmazni.



5. ábra On-line szünetmentes áramforrás (UPS) felépítése [13]

Egy **off-line UPS** ezzel szemben a fogyasztókat a normál üzemviteli hálózatról táplálja mind addig, amíg az előírt feszültség jellemzők azt megengedik. Ha az 1. fejezet szerinti tűrésen kívül esik a betápláló feszültség, akkor működésbe lép az egyen/váltó irányító (azaz inverterre kapcsolunk át) és az előbbihez hasonlóan a fogyasztók az akkumulátor állandó teljesítményéről kapnak táplálást. Ha a hálózati betáplálás helyreáll, akkor visszakapcsolás történik. Ennek a szünetmentes áramellátó rendszernek a hibája az, hogy a hálózatról az akkumulátorra való átálláshoz szükséges idő, illetve ellátási kiesés problémát jelenthet néhány érzékeny berendezés, mint például számítógépek és szerverek esetében. Ennél a fajta UPS-nél teljesítmény átalakítás csak az ún. üzemzavari állapotban történik.

A **hálózatvezérelt UPS** egyesíti az on-line és off-line megoldások tulajdonságait. A szünetmentes tápellátó berendezésnek kettős feladata van. Normál üzemvitel során feltöltve tartja az akkumulátor telep sort. Normálistól eltérő esetben, amikor a betáplálás figyelő rendszer hibát észlel, átkapcsol inverter üzemmódra és az akkumulátorokból teljesítményt szolgáltat a fogyasztók részére. A hálózat vezérelt UPS az off-line UPS-hez hasonlóan jó hatásfokú, mert normál üzemállapotban a fogyasztók közvetlenül a hálózatról kapják a táplálást. Az áramellátó rendszerben keletkező hő veszteség és inverter igénybevétele minimális, mivel a hálózatvezérelt UPS csak a különbözeti teljesítményt szolgáltatja, ami a hálózati feszültség letöréseket egyenlíti ki, a kimeneti transzformátoron keresztül. Az on-line UPS-hez hasonlóan folyamatos teljesítmény ellátást biztosít, azonban nem szigeteli el teljesen a hálózatot a fogyasztóktól, mint az on-line UPS.

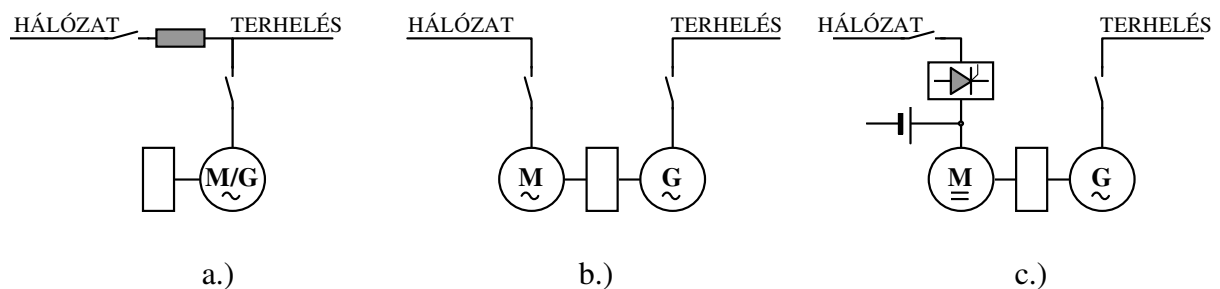
Néhány jó tanács a tervezéshez és az üzemvitelhez:

- a normál üzemi működés során az off-line és a hálózat vezérelt kivitelű UPS viszonylag kis - az akkumulátor feltöltött állapotának fenntartásához szükséges - áramot vesz fel, de a rendszer tervezésekor a teljes terhelési áramot kell figyelembe venni, ami a kiesésből való visszatéréskor fog folyni;
- az UPS kimenetén a terhelés jelentős része információtechnikai berendezésekből áll, ezért nemlineáris és alacsony rendszámú felharmonikusok fellépésére számíthatunk, amely a kimeneti transzformátor többlet melegegését idézheti elő, így erre megfelelően méretezni kell a transzformátort.

Váltakozó áramú szünetmentes tápegységek (dinamikus UPS):

A váltakozó áramú szünetmentes tápegységek dinamikus tulajdonságainak javítása céljából az utóbbi években megjelentek az ún. dinamikus UPS-ek illetve később a komplex energia kondicionáló egységek. A feszültség stabilizálását egy villamos meghajtó-motor, egy szinkron generátor és kiegészítésképpen egy lendítőkerék összeépítésével érik el. Meghajtó-motorként aszinkron-, szinkron- vagy egyenáramú motort alkalmaznak (6. ábra).

A 6.a.) ábrán lendkerékkel összeépített egygépés motor-generátor egység látható, amely elrendezésben a tápláló hálózat és a terhelő kör nincs egymástól galvanikusan elválasztva. Kicsi gép impedancia és megfelelően méretezett hálózati fojtótekercs mellett kielégítő kimeneti feszültség stabilizáció érhető el. 0,05 ... 0,1 sec időtartamú hálózat kiesések ezzel a kapcsolással áthidalhatók, gyors működésű kapcsolóval azonban meg kell akadályozni, hogy a terhelésről az energia a hálózat felé visszafolyjon.



6. ábra Dinamikus UPS-ek és komplex energia kondicionálók kapcsolási vázlata [6]

A 6.b.) ábrán látható kétgépés átalakító (háromfázisú aszinkron meghajtómotor és háromfázisú szinkron generátor a lendítőkerékkel együtt) a táphálózat szempontjából már galvanikus leválasztást jelent, azaz a kimeneti feszültség tranziens lengései nem befolyásolják a táphálózatot. Az elérhető áthidalási idő szinkron generátorral 0,05 ... 0,1 sec, aszinkron generátorral 0,1 ... 0,5 sec. A hálózati feszültség kiesések 90 ... 97 %-a gyakorlatilag észrevehetetlenné tehetők ezekkel a kapcsolásokkal.

A 6.c.) ábrán látható kapcsolással, egyenáramú motor-hajtással – a táphálózat galvanikus leválasztása mellett – az áthidalási idő tovább növelhető (0,4 ... 1 sec), sőt akkumulátor telepek beépítésével akár az 1 óra is elérhető.

A dinamikus UPS-ek 150 ... 1100 kVA, a komplex energia kondicionáló berendezések 150 ... 1670 kVA teljesítményűek [7]. Az utóbbi berendezés kinetikus energia tárolóval (lendítőkerékkel), akkumulátor nélkül 122 ... 12 sec közötti áthidalási időre képes, a növekvő teljesítménytől függően. Túlterhelhetőségük: 110 %-nál 1 óra, 125 %-nál 10 perc, 150 %-nál 2 perc, $3 \times I_{névl.}$ -nél 5 sec, $14 \times I_{névl.}$ -nél 10 ms. Megbízhatóságuk, azaz a meghibásodások közötti átlagos idő (MTBF): a dinamikus UPS-eknél >600.000 óra, a komplex energia kondicionálónál >1.380.000 óra.

UPS diesel motorral: a leírás terjedelmi korlátjai miatt itt nem részletezzük, csak megemlítjük, hogy az UPS-ek diesel-generátoros betáplálással is kiegészíthetők. A dinamikus UPS-eknél a diesel-motor közvetlenül a lendítkerékes tengelyhez kapcsolható. Az erre a célra kifejlesztett tengelykapcsoló lehetővé teszi a diesel-motor terhelés nélküli indítását, sőt az indítómotor hibája esetén megoldható a lendítkerékről való indítás is. A súrlódási veszteségek csökkentésére ma már olyan kivitel is készült, amelynél a lendítő tömeg hélium töltetű közegben forog. Így a levegőhöz viszonyítva 80 %-os veszteség csökkenést értek el [14].

Szupravezetős energiatároló: a XX. század végére elkészült a szupravezetős mágneses energiatároló (SMES), amelyben az energia egy niobium-titán (NbTi) szupravezető tekercsben

(mágnesben) halmozódik fel. A szupravezető állapot létesítéséhez és fenntartásához a mágnes folyékony héliumba van merítve, vákuum- és hőszigetelt rozsdamentes acél edényben, kb. 4,2 K hőmérsékleten. A szupravezető tekercset egyenfeszültségű tápforrás "tölti fel". Miután a feltöltés befejeződött, a tápforrás kis többletfeszültséget biztosít, amely az áramkör szobahőmérsékletű szakaszain keletkező ohmos veszteségek fedezéséhez szükséges. Ezáltal a szupravezető tekercsben állandó áram folyik. Amennyiben a feszültség ellátásban zavar keletkezik, úgy a rendszer ezt érzékeli és az előírt minőségű feszültség biztosítására azonnal felhasználja a tekercsben tárolt energiát. Egy nagy tekercsből álló egység ma kb. 3 MW teljesítményt képes szolgáltatni, az összetett rendszerek pedig 1 ... 10 MVA-t, az energia tárolás gyors és hatékony hozzáférése mellett [10].

5. Szünetmentes áramellátó berendezés és diesel generátor beépítési szempontok

Az előző fejezetekben megismertük a nagy megbízhatóságú villamos energia ellátás szempontjait és elsősorban a szünetmentes áramellátás eszközeit. Néhány jó tanács a szünetmentes áramellátással (inverterek) és diesel-generátoros ún. szükség betáplálás kiépítésével kapcsolatban [11, 12].

Az inverterek telepítésének főbb szempontjai:

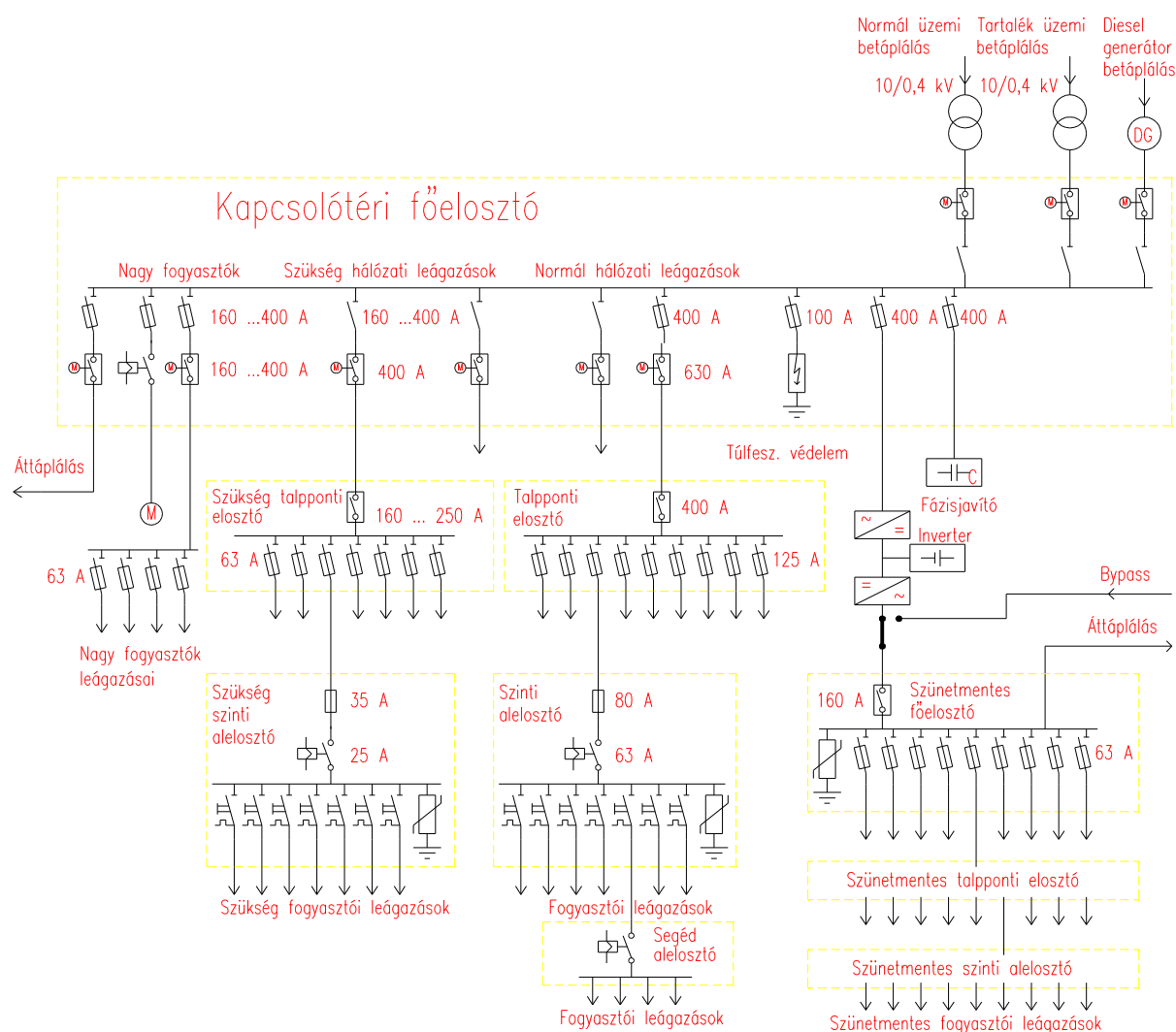
- Az azonos gyűjtőszínre dolgozó inverterek egyforma típusúak legyenek és képesek legyenek az egy rendszerben való együttműködésre.
- Az inverterek segédüzemi berendezéseinek (klíma, szellőztetés, stb.) működését biztosítani kell a szünetmentes energiaellátó hálózat folyamatos üzemeltetésével együtt.
- A fogyasztók felharmonikus termelő hatását figyelembe kell venni a tervezéskor, szükség esetén megfelelő (méretezett) szűrést kell biztosítani.
- A statikus inverterek folyamatos terhelhetősége a névleges teljesítményre vonatkoztatva, csak kb. 80 %-os mértékben használható ki, figyelembe véve az egyes fogyasztók felharmonikus áramigényét és a bekapcsolások tranzienseit is.
- Az invertereket többlépcsős túlfeszültség védelemmel kell ellátni függetlenül attól, hogy a berendezés szállítója mit mond (az általa szállított berendezés gátat szab a túlfeszültség tovább terjedésének).
- Az áthidalási idő, azaz az akkumulátorról történő ellátás jelentős mértékben és nemlineárisan függ a terhelés nagyságától.
- A folyamatos üzemállapot figyelés - az épületfelügyeleti rendszerben - megoldható legyen.

A diesel aggregát telepítésének néhány szempontja:

- A teljesítmény meghatározását az ellátandó fogyasztók körének kijelölésével kell elvégezni (nem minden esetben célszerű a kis teljesítményre való törekvés).
- A fogyasztók osztályba sorolása alapján lehet az ellátás fontossági sorrendjét megadni, illetve a kapcsolások prioritási sorrendjét meghatározni.
- A teljesítmény tartalék ésszerű megválasztására vonatkozó javaslat: 90 %-nál nagyobb tartós teljesítmény kihasználást nem célszerű betervezni.
- A gépegység terhelhetősége nem javul fázisjavítás alkalmazásával, hanem csak a hálózati veszteségek csökkennek. A wattos terhelhetőséget a hajtógép tengelyteljesítménye szabja meg, a generátor ennél nagyobb látszólagos teljesítménye csak a fogyasztók meddőteljesítmény igényének kielégíthetőségére utal. Például egy 450 kVA névleges teljesítményű diesel-generátor gépcsoport $\cos\varphi = 0,8$ mellett 360 kW teljesítmény leadására képes. Így hiába javítjuk a fázis tényezőt $\cos\varphi = 1,0$ értékre, a generátor nem képes 450 kW teljesítményt szolgáltatni.

- A gépcsoport működését biztosító egyéb tervezési feladatok, pl.: hűtés (zárt vagy átfolyó rendszerű hűtés), hűtővíz (vezetékes víz, kútvíz, fagyállóval kezelt víz), szellőzés, frisslevegő biztosítás, füstgáz elvezetés, üzemanyag utánpótlás, zaj- és rezgésvédelem.
- Az energia ellátáshoz szükséges további berendezések üzemvitelével is foglalkozni kell: üzemzavari átkapcsoló automatika működtetése, együttműködő rendszerek összehangolása, energia elosztó hálózat üzemeltetése, közös gyűjtőszínre dolgozó gépek esetén szinkronizálás, stb.
- A folyamatos üzemállapot figyelés - az épületfelügyeleti rendszerben - megoldható legyen.

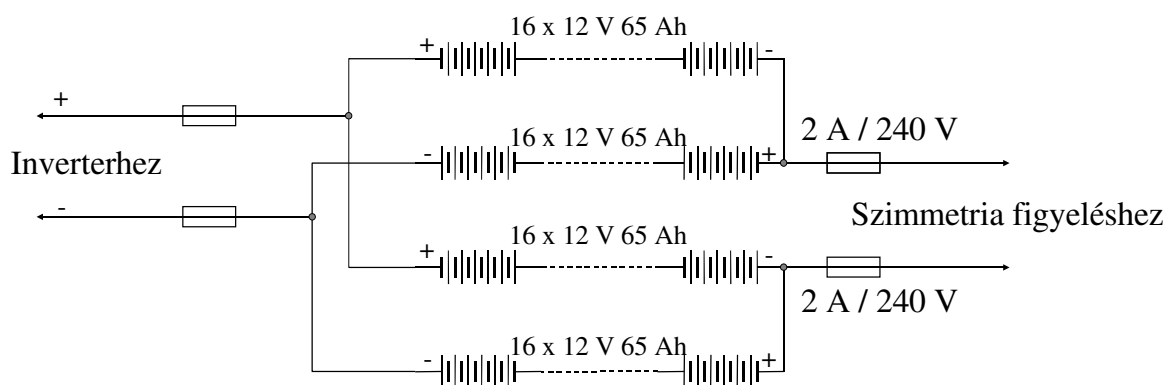
Az elmondottak szemléltetésére a 7. ábrán mutatjuk be egy nagy épület villamos energia betáplálási és elosztási rendszerét. Az ábrán látható az áramszolgáltatói normál- és tartalék hálózati betáplálási lehetőség, valamint a saját diesel-generátoros betáplálás. A normál üzemviteli hálózat és a szükség ellátást biztosító hálózat igény szerint kapcsolható össze és választható szét. Emellett teljesen független szünetmentes hálózat van kiépítve, amelynek táplálása mindenkor elsődleges feladatunk. Ez a hálózat látja el az épület kiemelt fontosságú fogyasztóit (I. fogyasztói csoport). A megbízható villamos energia ellátás követelményeihez tartozik ma már a hálózat többlépcsős túlfeszültség védelmének kiépítése is, amelynek első két védelmi szinthez tartozó elemei szintén megtalálhatók a kapcsolási vázlatban (villámáram levezető a kapcsolótéri főelosztóban és a közepes túlfeszültség védelmi fokozat a szinti alelosztókn).



7. ábra Nagy épület villamos energia betáplálása és elosztása független szünetmentes hálózat kiépítése mellett [2]

6. A szünetmentes áramellátó rendszer akkumulátor telepei

A 4. fejezetben megismert statikus UPS-ek egyik legfontosabb és gyakran különálló részegysége az akkumulátor telepsor, amely a hálózat kimaradásakor jut szerephez. Ezeket a telepeket az MSZ 1600/11 szabvány előírásainak megfelelően lehetőleg külön szellőztetett és klímatisztált helyiség(ek)ben helyezik el (kivéve, ha a berendezésbe van beépítve a telepsor). Példaképpen egy 120 kVA-es inverter berendezés mellett található külön helyiségben elhelyezett akkumulátor telepsort mutatunk be (8. ábra). Egy-egy sorban 2x2 db tálcán, tálcánként 16 db NPL65-12 típusú akkumulátort kötöttek sorba. A gondozásmentes, Pb (ólom) zselés akkumulátorok típusjelében szereplő számok értelmezése: 65 Ah akkumulátor kapacitás és 12 V névleges akkumulátor feszültség.



8. ábra 120 kVA-es inverter berendezés egy sorban elhelyezett akkumulátor telepeinek kapcsolási vázlata

Az akkumulátor telepsor jellemző tulajdonságai, a 8. ábra szerinti kapcsolás alapján:

- Az inverterek áram igénye és az akkumulátorok áramterhelhetősége miatt két párhuzamos telepsor van kiépítve.
- A kapcsolási vázlata alapján közös biztosítással látják el a telepek az invertert (pozitív és negatív ág). Megbízhatóbb villamos energia ellátási igénynél célszerű csoportonként külön biztosítást alkalmazni, a belső túlzott mértékű kiegyenlítő áramok káros hatásainak kiküszöbölése miatt.
- A telepsornál alkalmazott olvadóbiztosító betétek kiolvadási karakterisztikája a leggyakrabban gR, azaz teljes tartományú különlegesen gyors kiolvadású, hálózati érintésvédelmi célú. Ezek helyett ma már célszerűbb speciális ún. akkumulátor telep biztosítókat alkalmazni (pl. EFEN gyártmányú, 1B típusú, 145 A névleges áramú betétet).
- A párhuzamos telepsorok terhelésének szimmetria figyelése igen fontos, nehogy az aszimmetrikus terhelések miatt az egyik telepsor huzamosabb ideig túlterhelődjön a másikhoz képest.
- Az akkumulátor helyiség szellőztetését (légcseré a keletkező kismértékű hidrogéngáz elvezetésére) és a klímatisztálását (kb. 20 °C beltéri hőmérséklet tartását) mindenkor kötelező jelleggel meg kell oldani. Ennek hiánya a durranógáz keletkezése miatt életveszélyt jelenthet és a magasabb helyiség hőmérséklet az akkumulátor telepek jelentős élettartam csökkenését eredményezi.

7. Összefoglalás

Az energia elosztó rendszerek tervezésénél általában figyelembe kell venni a megbízhatóság, rugalmasság, karbantarthatóság, teljesítőképesség, alakíthatóság és a meglévő infrastruktúrához való illeszthetőség szempontjait.

Az elemek és rész rendszerek megbízhatóságára, teljesítőképességére, karbantarthatóságára és költségeire vonatkozó információk alapján, a műszaki paramétereknek megfelelő elrendezés már kiválasztható, ha figyelembe vesszük:

- A megbízhatóság fokozása mindig bizonyos többletkiadással jár, pl. egy redundáns útvonal többlet kábelt és készülékeket igényel, és a nagy megbízhatóságú készülékek drágábbak.
- Egy berendezésnél a megbízhatóság előre meghatározott szintjének az elérésére sok lehetőség kínálkozik és minden további alkatrész, eszköz, berendezés beépítése kiadással jár. A hozzáértő szaktervező képes a kiviteli változatok elkészítésére és ezeknek költség szintű összehasonlítására.
- Az optimális megoldás kiválasztása megkívánja a helyi követelmények, a meghibásodások okozta pénzügyi, üzleti és biztonsági kockázatok, és valamennyi megoldási lehetőség költségének alapos elemzését.

Egyéb problémák:

Figyelni kell ma már arra is, hogy a sérülékeny félvezetők és integrált áramköri elemek másodlagos villám hatásokra és EMC zavarokra érzékenyek, ezért a megfelelő védelmükről (többlepcsős túlfeszültség-védelem, elektrosztatikus feltöltődés korlátozása, árnyékolás, egyenpotenciálra hozás stb.) külön kell gondoskodni.

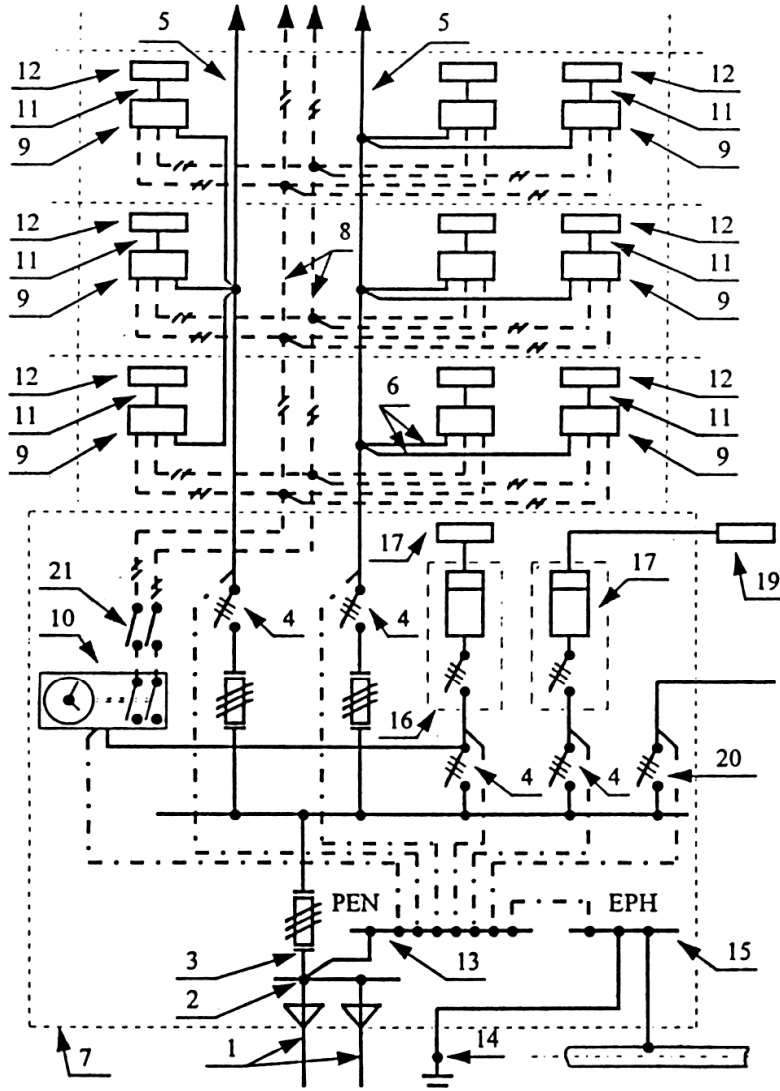
A felsorolt problémák káros hatásainak jelentős része a megfelelő szakmai gyakorlattal és jó mérnöki felkészültséggel a minimumra csökkenthető.

zék tudományos segédmunkatársnak az ábrák szakszerű elkészítéséért.

Irodalom

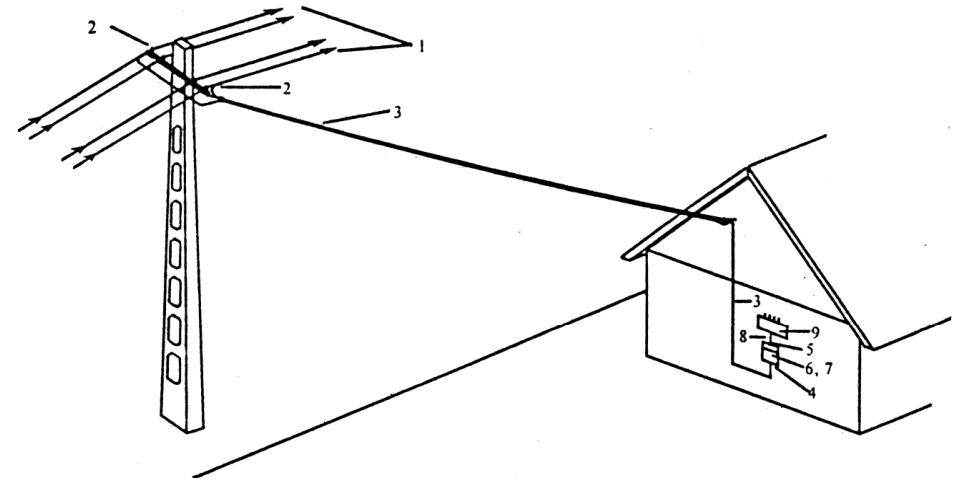
- [1] Chapman, D.: Electrical Design - A Good Practice Guide. CDA Publication 123, 1997. Magyar fordítása: Villamos tervezés - Gyakorlati útmutató. Magyar Részpiaci Központ, Budapest, 1998.
- [2] Szandtner, K. - Kovács, K.: Épületinformatika. BME Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Tanszék kiadványa, a Phare HU-94.05 támogatásával készült szakképzési jegyzet. Budapest, 1997.
- [3] Néveri, I. főszerk.: Villamos kapcsolókészülékek Kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- [4] Ipsits, I.: Műszaki szakvélemény a 80 kVA-es Thyroblock típusú szünetmentes áramforrások műszaki állapotának felméréséről. BME Automatizálási Tanszék, Budapest, 1998.
- [5] Stromversorgungs-Systeme für die Industrie. AEG SVS Power Supply Systems GmbH, A company of Saft S. A., 1999.
- [6] Darrelmann, H.: Lehrgang Netzunabhängige Stromversorgung. USV-Systeme mit rotierenden Umformern. Piller GmbH, 1999.
- [7] Szünetmentes áramellátás, villamos energia kondicionálás. Balmex Kft., Budapest 1999.
- [8] MSZ EN 50160:2001 A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői.
- [9] MSZ 1:1993 Szabványos villamos feszültségek.
- [10] Schöttler, R. - Papst, G. - Vajda, I.: Az ipari energia minőségének javítása szupravezetős energiatárolókkal. Elektrotechnika, 93. évf. 9. szám, Budapest, 2000. szeptember.
- [11] Szandtner, K.: Megbízhatóság az épületek villamos energia ellátó rendszerében. Elektrotechnika, 93. évf. 7-8. szám, Budapest, 2000. július-augusztus.
- [12] Szandtner, K.: Az épületinformatika szerepe a villamos energia ellátásban. Épületvillamosság "trafótól a szatelitantennáig" 2000, szerkesztő Dési, A., GLT Info-Prod Kiadó és Kereskedelmi Kft., Budapest, 2000.
- [13] On-line mikroprocesszoros szünetmentes tápegységek. Schrack Energietechnik Kft. PK 00011-HU 98/04 jelű kiadványa, Budapest, 1998.
- [14] Vajda, I. - Györe, A.: Szupravezetős lendkerekes energiatárolók. Elektrotechnika, 93. évf. 11. szám, Budapest, 2000. november.

Villamosenergia betáplálás



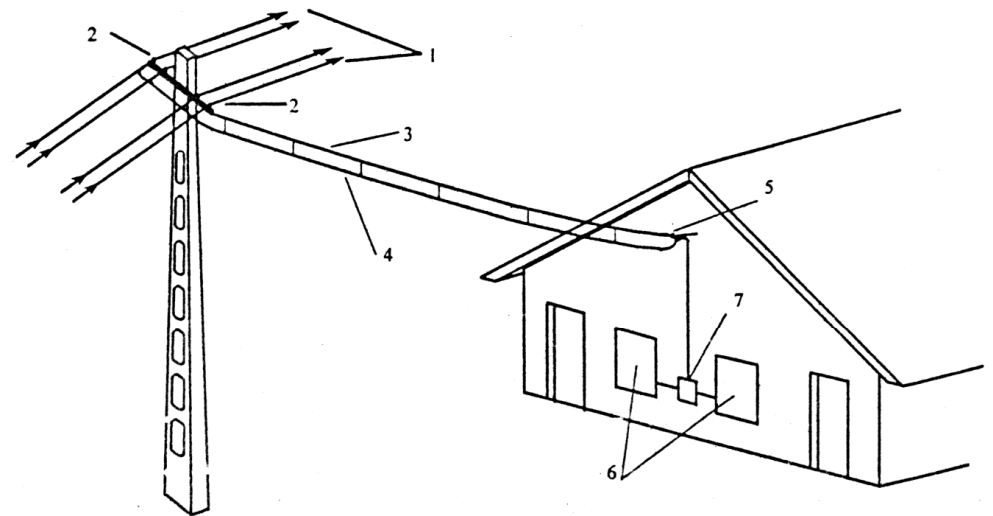
2-1. ábra Többszintes vagy középmagas lakóépület hálózatra kapcsolása nullázással.
1 betápláló kábel vagy vezeték, 2 nullavezető csatlakozási pont, 3 első túláramvédelmi készülék, 4 tűzvédelmi főkapcsoló, 5 felszálló fővezeték, 6 leágazó fővezeték, 7 házi főelosztó berendezés, 8 vezérlővezeték, 9 fogyasztásmérő berendezés, 10 időprogram-kapcsoló, 11 mért fővezeték, 12 fogyasztói főelosztó tábla, 13 PEN-sín, 14 külön épület földelő, 15 EPH-sín, 16 közösségi célú fogyasztásmérő berendezés, 17 közösségi célú fogyasztók főelosztó táblája, 18 hőközpont fogyasztásmérő berendezése, 19 hőközpont fogyasztó táblája, 20 önálló elszámolt fogyasztó (pl. üzlet) tűzvédelmi főkapcsolója, 21 vezérlővezeték túláramvédelmi készülékei.

1.



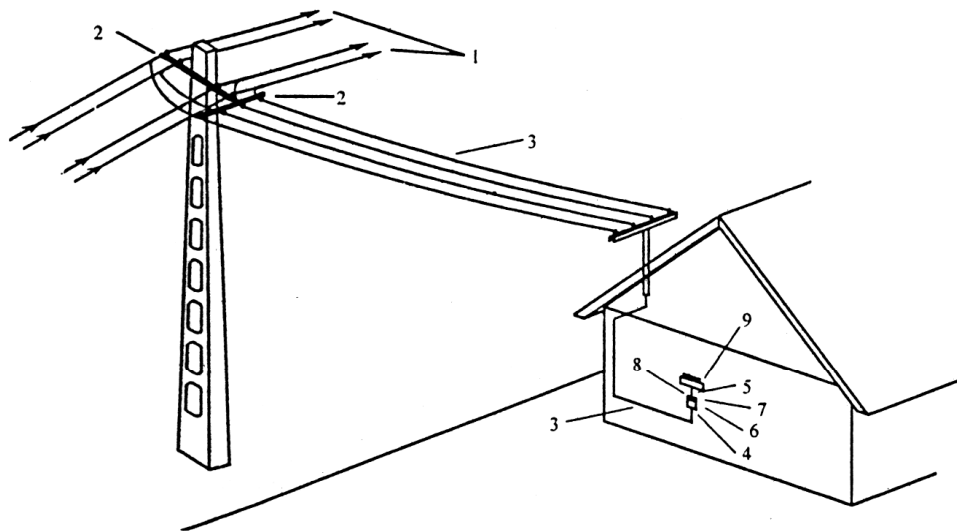
3-1. ábra Családi ház hálózatra kapcsolása a fogyasztásmérő berendezésig végigfutó szigetelt szabadvezetékkel (ML/-30).

1 közcélú elosztóvezeték hálózat, 2 hálózati leágazó pont, 3 csatlakozóvezeték, 4 leágazási pont, 5 fogyasztói vezetékhalózat kezdőpontja, 6 első túláramvédelmi készülék, 7 fogyasztásmérő berendezés, 8 mért fővezeték, 9 fogyasztói főelosztó tábla.



3-2. ábra Ikerház csatlakozása szigetelt szabadvezetékkel.
1 közcélú elosztóvezeték hálózat, 2 hálózati leágazó pont, 3 csatlakozóvezeték tartósodronya, 4 csatlakozóvezeték fázisvezetői, 5 falihorog, 6 fogyasztásmérő szekrények, 7 csatlakozószekrény.

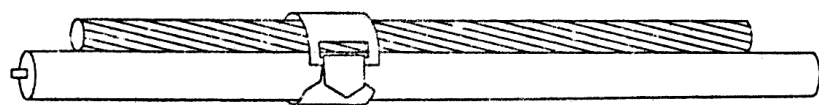
Villamosenergia betáplálás



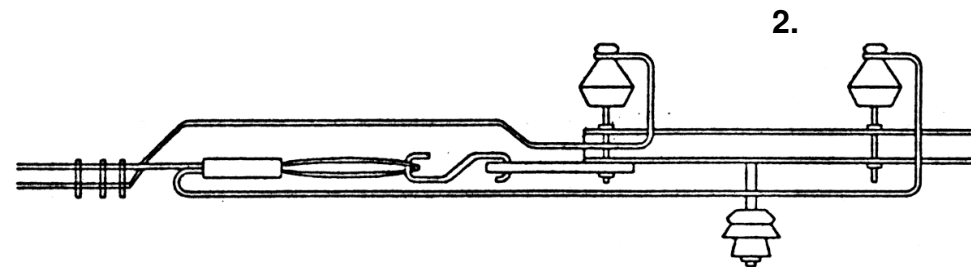
3-3. ábra Családi ház hálózatra kapcsolása csupasz szabadvezetékkel. (Új létesítésnél nem megengedett!)
1 közcélú elosztóvezeték hálózat, 2 hálózati leágazópont, 3 csatlakozóvezeték, 4 csatlakozási pont, 5 fogyasztói vezetékhálózat kezdőpontja, 6 első túláramvédelmi készülék, 7 fogyasztásmérő berendezés, 8 mért fővezeték, 9 fogyasztói főelosztó tábla.



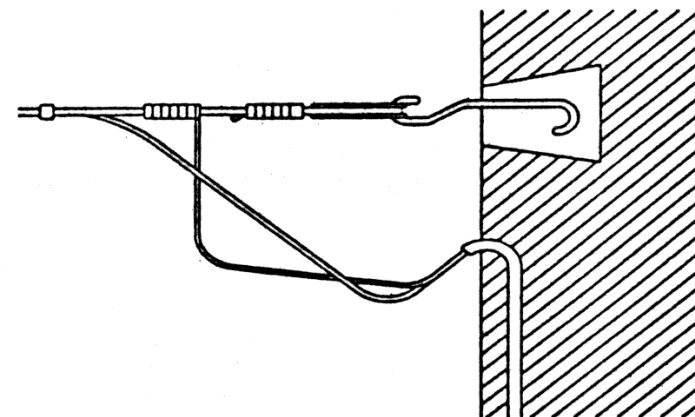
3-4. ábra Szigetelt szabadvezeték felcsavarása a tartósodronyra. Menetemelkedés 1,0 ... 1,5 m.



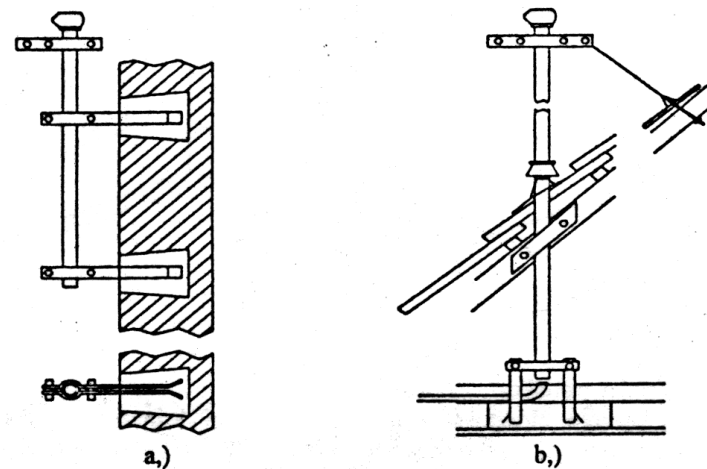
3-5. ábra Szigetelt szabadvezeték rögzítése az 1 x 10 / 25 szerkezetű tartósodronyhoz, FL-0 típusú függesztőbilincsel.



3-6. ábra Csatlakozóvezeték bekötése a szabadvezeteki oszlopon.

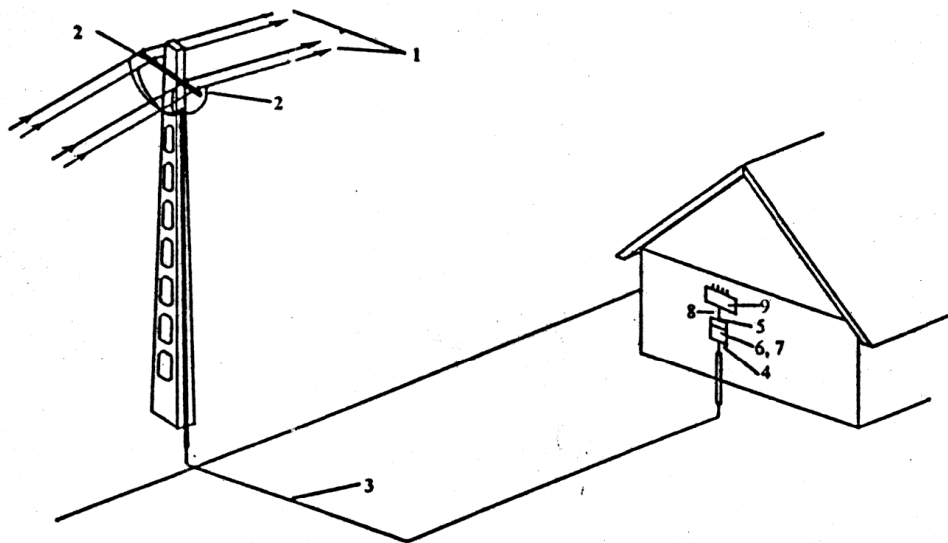


3-7. ábra Csatlakozóvezeték bevezetése az épületbe falihoroggal.

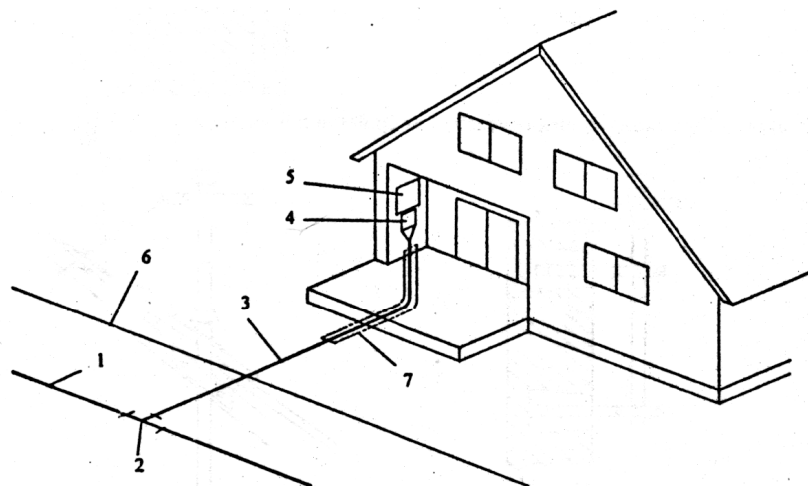


3-8. ábra Csatlakozóvezeték bevezetése az épületbe rövid tartóbilincső falitartóval vagy kihorgonyzott tetőtartóval.

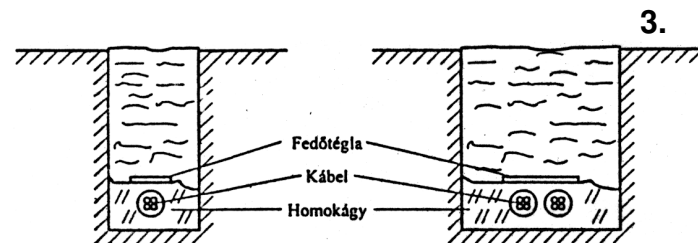
Villamosenergia betáplálás



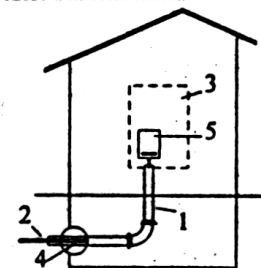
3-9. ábra Családi ház hálózatra kapcsolása kábelrel.
1 közcélú elosztóvezeték hálózat, 2 hálózati leágazópont, 3 csatlakozó kábel, 4 csatlakozási pont, 5 fogyasztói vezetékhálózat kezdőpontja, 6 első túláramvédelmi készülék, 7 fogyasztásmérő berendezés, 8 mért fővezeték, 9 fogyasztói főelosztó tábla.



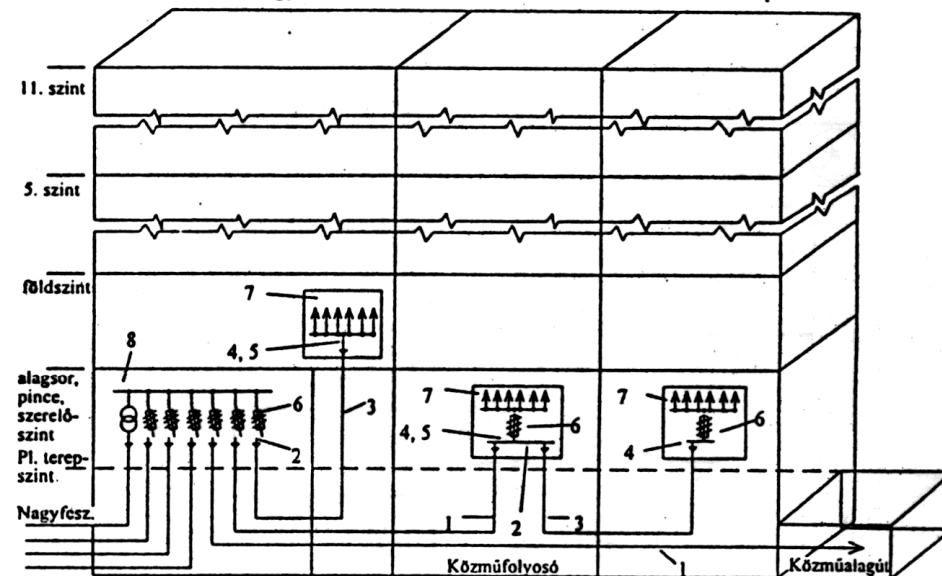
3-10. ábra Épület csatlakoztatása kábelhálózatra.
1 közcélú elosztókábel hálózat, 2 hálózati leágazópont, 3 csatlakozó kábel, 4 csatlakozó szekrény, 5 fogyasztásmérő szekrény, 6 telekhatár, 7 bevezető védőcső.



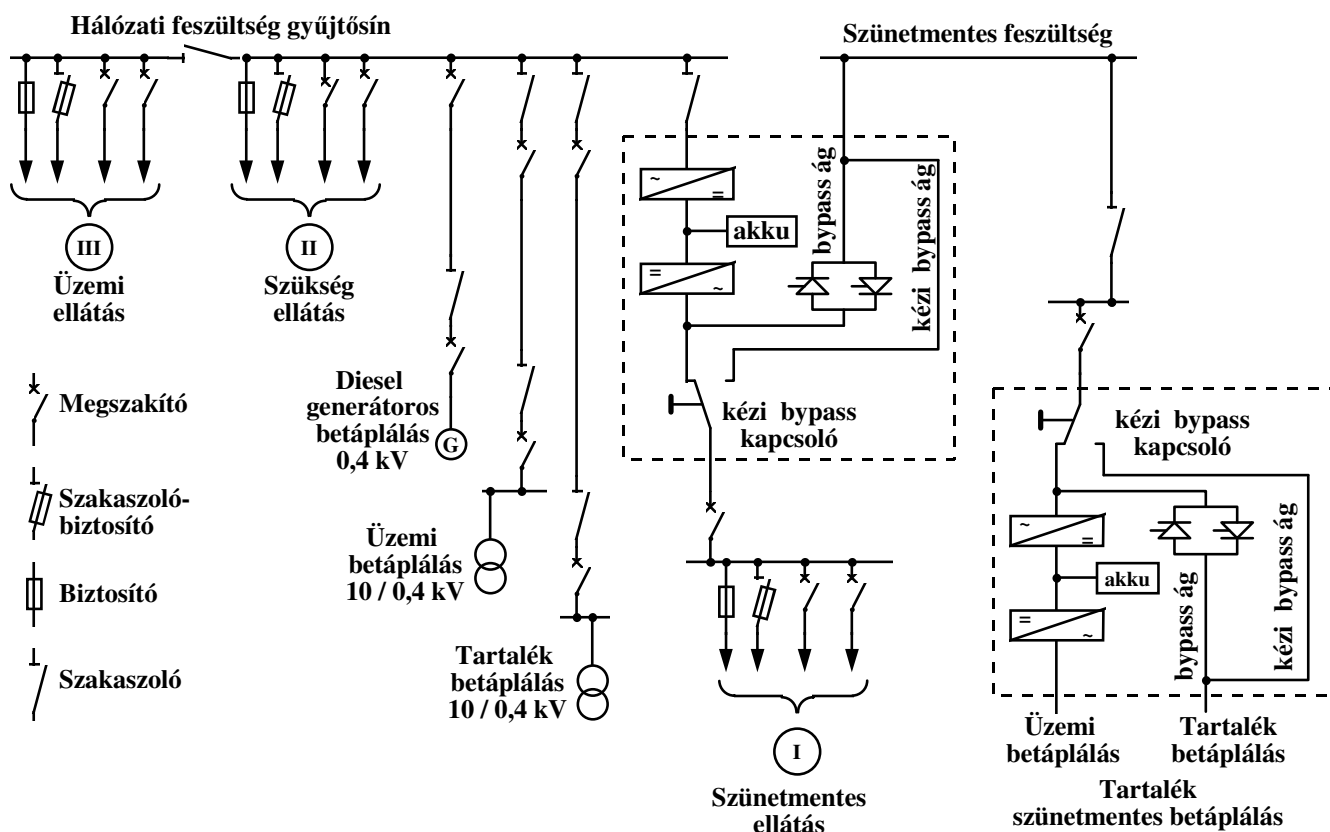
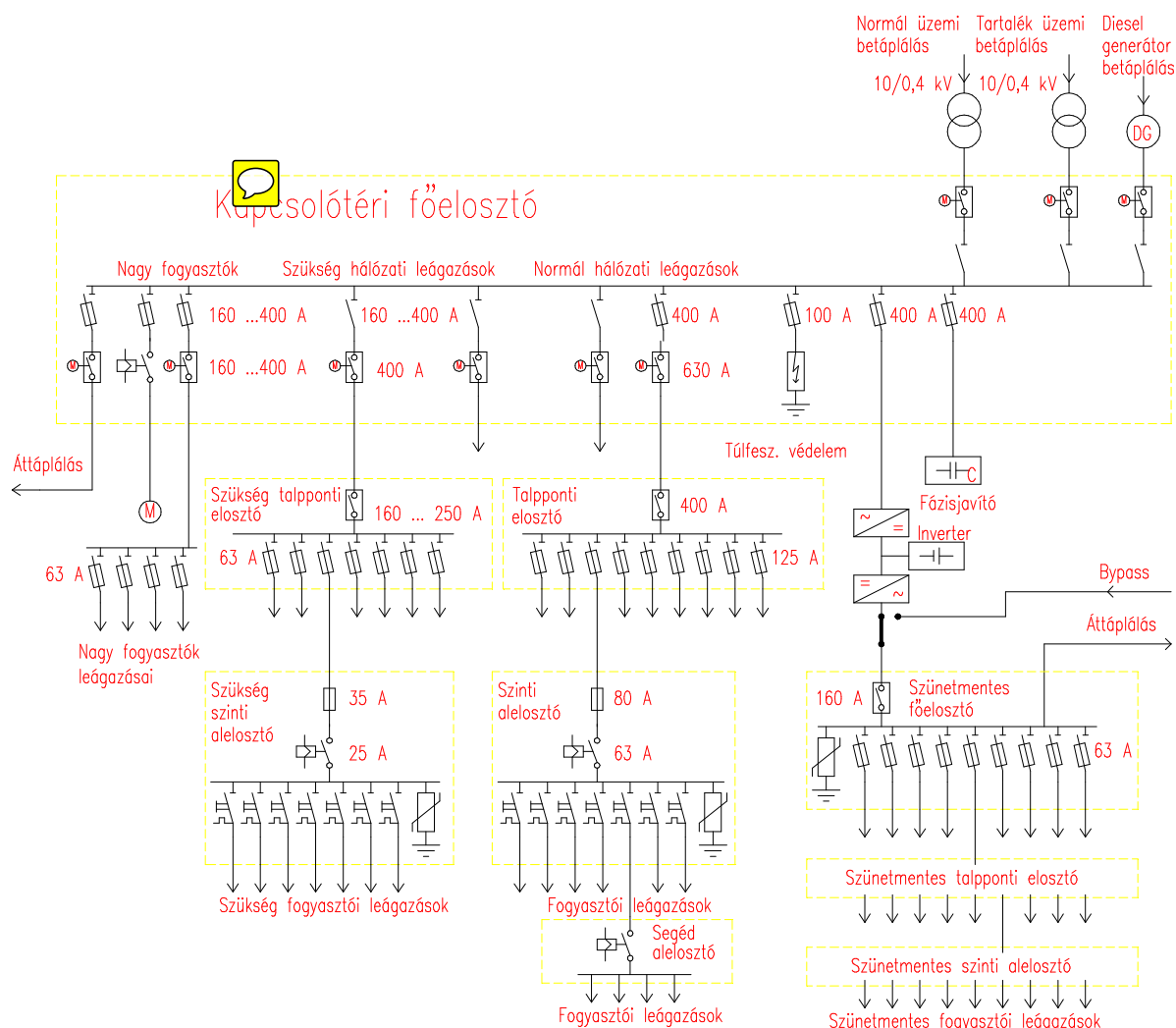
3-11. ábra Kábel elhelyezése a kábelárókban.



3-12. ábra Csatlakozó kábel bevezetése az épületbe.
1 kábel védőcső, 2 kábel, 3 fogyasztásmérő szekrény, 4 kábel tömítés a védőcsőben, 5 fogyasztásmérő alatti csatlakozódoboz a sorozatkapcsolással.



3-13. ábra Többszintes vagy közép magas lakóépület hálózatra kapcsolása az épületbe telepített transzformátor állomással és közcélú vezetékhálózattal.
1 közcélú elosztóvezeték hálózat, 2 hálózati leágazópont, 3 csatlakozóvezeték, 4 csatlakozási pont, 5 fogyasztói vezetékhálózat kezdőpontja, 6 első túláramvédelmi készülék, 7 házi főelosztó berendezés, 8 elosztóhálózati transzformátorállomás.



Nagyépület kisfeszültségű villamosenergia betáplálás vázlata

Villamos háztartási fogyasztók áramfelvétele, teljesítményigénye

A villamos fogyasztók áramfelvétel számítása:

1 fázisú ohmos jellegű fogyasztó esetén:
$$I_f [A] = \frac{P_{1f} [W]}{U_f [V]}.$$

1 fázisú induktív jellegű fogyasztó esetén:
$$I_f [A] = \frac{P_{1f} [W]}{U_f [V] \cdot \cos \varphi}.$$

$\cos \varphi$ fogyasztó teljesítmény tényező.

3 fázisú ohmos jellegű fogyasztó esetén:
$$I_f [A] = \frac{P_{3f} [W]}{\sqrt{3} \cdot U_v [V]}.$$

3 fázisú induktív jellegű fogyasztó esetén:
$$I_f [A] = \frac{P_{3f} [W]}{\sqrt{3} \cdot U_v [V] \cdot \cos \varphi},$$

$\cos \varphi$ fogyasztó teljesítmény tényező.

3 fázisú motorikus fogyasztó esetén:
$$I_f [A] = \frac{P_m [W]}{\sqrt{3} \cdot U_v [V] \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad P_{3f} = \frac{P_m}{\eta},$$

P_m ; motor tengely teljesítmény,

$\cos \varphi$ motor teljesítménytényező,

η motor hatásfoka.

1 fázisú motorikus fogyasztó esetén:
$$I_f [A] = \frac{P_m [W]}{U_f [V] \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad P_{1f} = \frac{P_m}{\eta},$$

P_m - motor tengely teljesítmény, $\cos \varphi$ - motor teljesítménytényező, η - motor hatásfoka.

Fogyasztói csoportok:

1. Főző-sütő berendezések (főzőlapok, tűzhelyek, villamos sütők, mikrohullámú sütők, infragrill sütők, ételmelegítők, gyorsfőző fazekak stb.).
Csatlakozási teljesítmény: 300 ... 11000 W.
2. Konyhai villamos kisgépek (kávéőrlő, mixer, citromfacsaró, villamos kés, húsdaráló, hulladékőrlő, szagelszívó, mosogatógép).
Csatlakozási teljesítmény: 60 ... 5000 W.
3. Hűtő berendezések (abszorpciós, kompresszoros, fagyasztóláda stb.).
Csatlakozási teljesítmény: 100 ... 2500 W.
4. Vízmelegítők (forróvíztároló, teafőző, kávéfőző, merülő forraló, szabad kifolyású 5 l-es vízmelegítő, átfolyó rendszerű bojler stb.).
Csatlakozási teljesítmény: 500 ... 33000 W.
5. Helyiség fűtő villamos készülékek (hősugárzók, vonalsugárzók, csőfűtőtestek, hőkandallók, hőtárolós kályhák, szauna kályha stb.).
Csatlakozási teljesítmény: 500 ... 6000 W.
6. Lakáskarbantartó készülékek, berendezések (porszívó, padlókeféző, ablaktisztító stb.).
Csatlakozási teljesítmény: 300 ... 2000 W.
7. Ruha- és textilkarbantartó készülékek (mosógép, centrifuga, vasaló, vasalógép, varrógép, szárítószekrény stb.).
Csatlakozási teljesítmény: 100 ... 6000 W.
8. Egészségügyi, kozmetikai, testápoló berendezések (kvarclámpa, hajszárító, hajcsavaró, borotva, masszírozó, fogkefe, testmelegítő, kézsárító, szolárium stb.).
Csatlakozási teljesítmény: 10 ... 3000 W.

Megjegyzés: Az egyéb - háztartás környékén előforduló - villamos hálózatról üzemelő eszközök és berendezések teljesítmény igényét egyedi felmérés alapján kell meghatározni és a hálózat kiépítéskor figyelembe venni (pl. kézi szerszámok, szivattyúk, klíma berendezések, zsalumotorok).

Minőségi energiaellátás

Két oldalról táplált elosztóvezeték méretezése

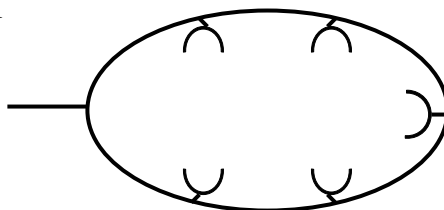
2008.11.21.

Két oldalról táplált elosztóvezeték
méretezése

1

Bevezetés

- Főként a Brit Szabványt használó országokban nagyon gyakori, hogy a dugaljakat egy hurokra fűzik fel



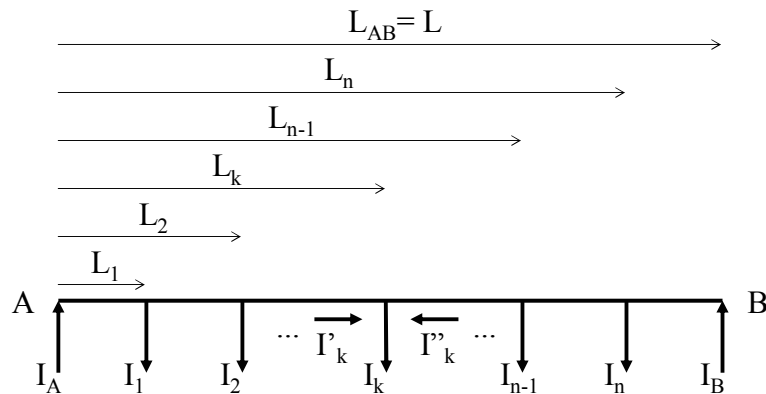
- Ez az elrendezés a gyűrű betáp. pontjánál felvágva egy olyan elosztóvezeték ad, amelyet két végéről táplálunk

2008.11.21.

Két oldalról táplált elosztóvezeték
méretezése

2

Két végéről táplált elosztóvezeték



Körvezeték esetén $U_A = U_B$, ún. íves vezetéknél a két érték lehet különböző

2008.11.21.

Két oldalról táplált elosztóvezeték
méretezése

3

Méretezés $U_A = U_B$ esetén

- Súlyponti hely (k) meghatározása
- A súlyponti helyen a vezetéket „kettévágjuk”, így két darab, egy oldalról táplált vezetéket kapunk
- A feszültségesés a „K” pontban lesz a legnagyobb, erre kell méretezni
- Tápponton befolyó áramerősségek meghatározása →

2008.11.21.

Két oldalról táplált elosztóvezeték
méretezése

4

Tápponton befolyó áramok

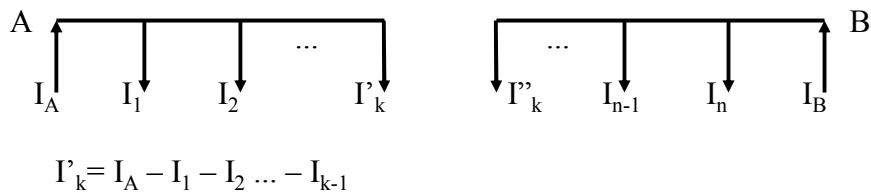
- Áramnyomatékok egyenlősége alapján
 - $I_B L = I_1 L_1 + I_2 L_2 + \dots + I_k L_k + \dots + I_n L_n$
 - $\rightarrow I_B = (I_1 L_1 + I_2 L_2 + \dots + I_k L_k + \dots + I_n L_n) / L$
 - $I_A L = I_1 (L - L_1) + I_2 (L - L_2) + \dots + I_k (L - L_k) + \dots + I_n (L - L_n)$
 - $\rightarrow I_A = (I_1 (L - L_1) + I_2 (L - L_2) + \dots + I_n (L - L_n)) / L$
 - ellenőrzés: $I_A + I_B = I_1 + I_2 + \dots + I_k + \dots + I_n$
- „K” pont meghatározása
 - $I_A - I_1 - I_2 - \dots - I_k$ épp I_k kivonásakor vált előjelet a kifejezés
 - Ha pontosan 0-t kapnánk, I_k és I_{k+1} között nem folyik áram, a vezeték I_k és I_{k+1} között vágható szét

2008.11.21.

Két oldalról táplált elosztóvezeték
méretezése

5

Számítás egy oldalról táplált vezetésekre



2008.11.21.

Két oldalról táplált elosztóvezeték
méretezése

6

Méretezés $U_A \neq U_B$ esetén

- Kiszámítjuk az $U_A = U_B$ esetben érvényes áramokat $\rightarrow I'_A, I'_B$
- Meghatározzuk a vezeték-keresztmetszetet, annak alapján a vezeték R ellenállását
- A fogyasztók bekapcsolásától függetlenül I_0 kiegyenlítő áram folyik
 - $I_0 = (U_A - U_B)/R$
- I_0 megváltoztatja az $U_A = U_B$ esetben számított tápáramokat ($U_A > U_B$)
 - $I_A = I'_A + I_0, I_B = I'_B - I_0$, ezekre végezzük el a végső számítást

2. A várható terhelés felmérése

2.1. A terhelésfelmérés módja

Ipartelep villamosenergia-ellátásának tervezésekor a kiinduló lépés a várható terhelés felmérése.

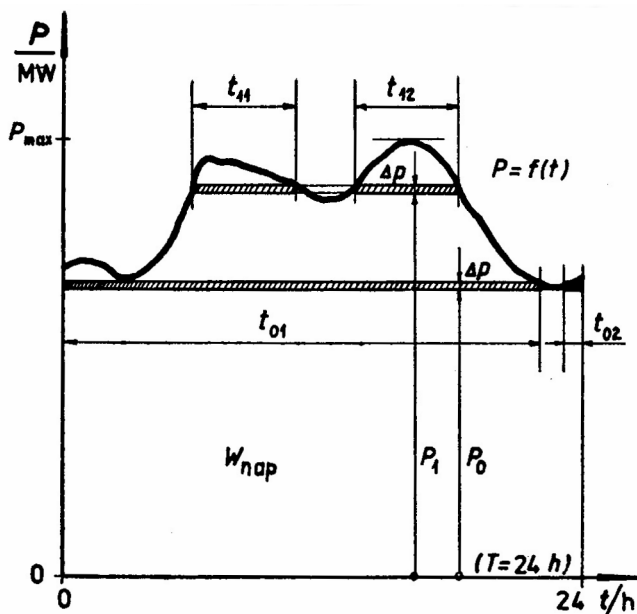
A terhelésfelméréshez a legfontosabb információforrás az ipartelep technológiai terve és a tervezett termelési érték. Az információk feldolgozása után a szintetizált értékekből meg kell állapítani a tervezett objektum villamos jellemzőit (kWh-igény, mértékadó teljesítmény, egyidejűség stb.). A tervezés eredményessége igen sokban múlik az információforrásokon, az értékelésen és a szintézis helyességén.

A tapasztalat igazolta azt, hogy a feladat fajtájától is függ, hogy milyen rendszer a célravezető. Döntő szerepe van az információk helyes feldolgozásának is, mert pl. az egyidejűleg előforduló terhelés helyes értékelése meghatározó az eredményre.

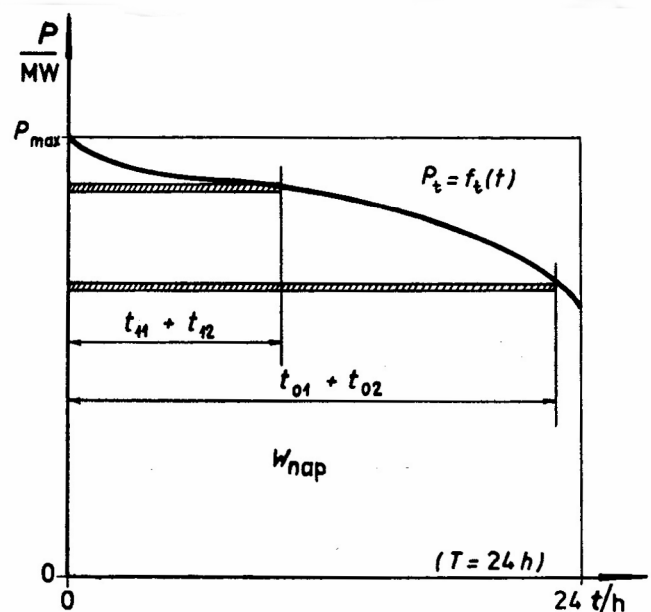
A villamos hálózatok és berendezések tervezésére általánosan elfogadott módszerek ismereteseek, a terhelés felmérésére viszont még nem alakult ki általánosan elfogadott módszer. Számos bizonytalansággal kell számolnunk, így a különböző módszerek csak közelítő eredményt adhatnak. Erre való tekintettel célravezető több módszerrel felmérni a terhelést és az eredmények összehasonlításával, további finomításával, esetleg iteratív lépések után közelíthető meg a megoldás.

A terhelési adatok - értékelésekor számításba kell- venni azt is, hogy ezek nem determinisztikus értékek. A terhelés az időben állandóan változik, ezért valószínűségi változónak is tekinthető.

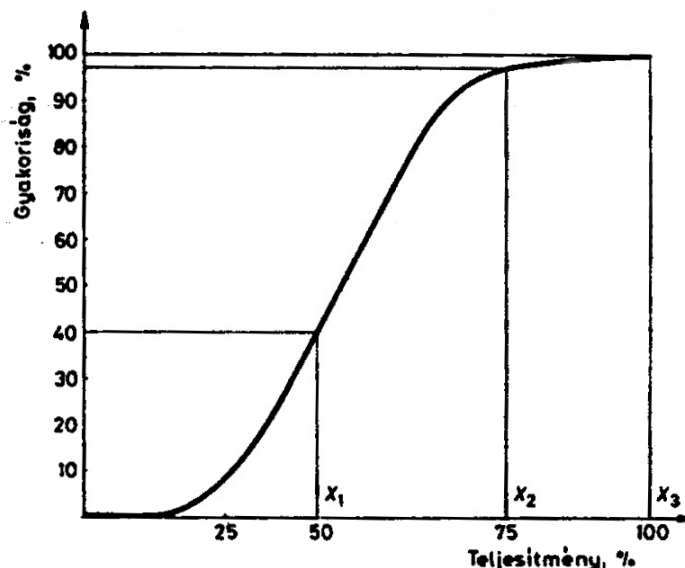
Egy ipartelep napi terhelési görbéje a 2.1. ábra szerinti terhelésváltozást mutatja. Ha a terhelés előfordulási valószínűségét értékeljük, akkor a 2.2. ábra szerinti tartamgörbe rajzolható fel, amely azt jellemzi, hogy egy adott terhelés a napszakon vagy egy éven belül milyen arányban fordul elő. Egy nap 24 órájának terhelése a 2.3. ábra szerinti eloszlásgörbével is jellemezhető. Az eloszlásgörbéből leolvasható egy tetszőleges X_1 terhelésnél kisebb terhelés előfordulásának valószínűsége. A 2.3. ábrán áttekinthetően értékelhető az is, hogy pl. az X_1 terhelésnél kisebb terhelés az összes üzemidő 40 %-ában fordul elő, míg az X_2 terhelésnél kisebb terhelés az összes üzemidő 98 %-ában. Az X_3 pont az a terhelés, amelynél valamennyi előforduló terhelés kisebb, tehát 100 % a bekövetkezési valószínűsége annak, hogy X_3 -nál nagyobb terhelés nem fordul elő. Az eloszlási görbe alapján felmerülhet a kérdés, hogy a berendezést a ritkán előforduló és rövid ideig tartó terhelésre kell-e méretezni vagy ennél kisebb igénybevételre.



2.1. ábra. Napi terhelési görbe



2.2. ábra. Tartamgörbe



2.3. ábra. Terhelés statisztikus értékelése

A 14. fejezetben, a transzformátorok terhelési szabályzatában tájékoztatást adunk arról, hogy a transzformátort csúcsidőben - rövid ideig - a névlegesnél nagyobb terheléssel is igénybe lehet venni. A készülék vagy berendezés időállandója határozza meg a névlegesnél nagyobb terhelésre megengedhető időtartamot.

2.2. A terhelésre jellemző mutatószámok

2.2.1. Mértékadó teljesítmény

A mértékadó teljesítmény (terhelés) egy meghatározott vizsgált területre vagy fogyasztói berendezésre és meghatározott időtartamra vonatkoztatott maximális egyidejű 10 vagy 15 perces csúcsidei hatásos teljesítmény. Ha: a vizsgált terület egy ipartelepen belül pl. egy üzemépület, akkor ezen az épületen belüli gépek üzemében üzemszerűen előforduló legnagyobb 10 vagy 15 perces terhelést mértékadó hatásos teljesítménynek lehet tekinteni.

A mértékadó terhelésből kiindulva határozzuk meg a transzformátorteljesítményt, a vezeték keresztmetszetet, a kapcsolókészülékek névleges áramát.

Ha a P_m mértékadó hatásos teljesítményt a gyakorlatban előforduló $\cos\varphi$ értékkel osztjuk, megkapjuk az S_m mértékadó látszólagos teljesítményt. Ipari fogyasztók helyes meddőkompenzálása esetén $\cos\varphi = 0,9$ teljesítménytényező vehető figyelembe a mértékadó látszólagos teljesítmény meghatározására

$$S_n = \frac{P_m}{\cos\varphi},$$

ahol P_m a mértékadó hatásos teljesítmény; S_m a mértékadó látszólagos teljesítmény; $\cos\varphi$ a teljesítmény tényező.

A mértékadó teljesítmény meghatározása méréssel

Már meglevő berendezés mértékadó teljesítményét a napi terhelési görbe alapján lehet meghatározni. A napi terhelési görbe az év különböző napjaiban egymástól eltérő lehet, ezért célszerű a legkedvezőtlenebb napi terhelési görbét tekintetbe venni. Nagyfogyasztók legnagyobb terhelése általában az év utolsó hónapjában szokott előfordulni, amikor az évi terv teljesítése érdekében a munkagépek kihasználása a legnagyobb és ehhez adódik még a legnagyobb világítási és esetleg fűtési terhelés is. Lehetséges azonban, hogy egyes ipari nagyfogyasztók legnagyobb terhelése az év más időtartamára esik, ilyen esetben e terhelést kell a legnagyobbknak tekinteni (pl. idényjellegű üzemek).

A terhelés mérésének sok módja van. Az az érték, amelyet az ipari fogyasztók elszámolási maximum mutató fogyasztásmérője mutat, a 10 vagy 15 perces legnagyobb teljesítmény, a legnagyobb terhelésnek tekinthe-

tő. Ha a fogyasztásmérő nem maximummutató, akkor ilyen esetben a legnagyobb csúcsidei 10 vagy 15 perces fogyasztásból kell számítani a teljesítményt:

$$P_m = \frac{W_{\max}}{t} = \frac{W_{\max}}{0,17},$$

ahol $W_{\max}$ a legnagyobb fogyasztás, kWh; t a mérés időtartama (10 min = 0,17 h).

A mértékadó terhelés természetesen wattmérővel is mérhető, ez azonban szükségtelen, ha megfelelő fogyasztásmérővel a mérés elvégezhető.

A mértékadó terhelés meghatározása a berendezések leltára alapján

Új berendezés tervezésekor a fogyasztó berendezések teljesítőképességéből, terheléséből és egyidejűségéből kell kiindulni.

A feladat megoldása matematikailag is megközelíthető. Ilyen jellegű számítás esetén az egyes fogyasztó berendezések terhelését (pl. szerszámgépeket) valószínűségi változónak kell tekinteni. Az egyes fogyasztókat (pl. különböző fajta szerszámgépeket) fogyasztói kategóriába kell sorolni. A fogyasztófajták terhelését sokdimenziós eloszlásfüggvénnyel lehetne követni, amelynek megoldása igen bonyolult feladatot jelentene.

A teljesítményigény a következő összefüggéssel számítható:

$$P_m = e \cdot \sum P_i,$$

ahol P_m a mértékadó hatásos teljesítmény; e az egyidejűségi tényező; P_i az egyes fogyasztó berendezések üzemében előforduló legnagyobb hatásos teljesítmény, de összegezhetjük a mértékadó látszólagos teljesítményeket is:

$$S_m = e \cdot \sum S_i,$$

ahol S_i az egyes fogyasztóberendezések üzemében előforduló legnagyobb látszólagos teljesítmény.

Az S_i teljesítmény a fázisjavító kondenzátorral kompenzált fogyasztói berendezések mértékadó látszólagos teljesítménye.

2.2.2. Egyidejűségi tényező

A beépített fogyasztói berendezések általában nem állandó terheléssel időszakosan üzemelnek, ezért üzemidejük alatt a felvett teljesítmény változhat. A mértékadó teljesítmény a fogyasztói berendezések terhelésének egyidejűségétől is függ. Az egyidejűségi tényező azonos időben bekapcsolt fogyasztók legnagyobb együttes terhelésének és a beépített összes fogyasztói berendezés üzemében előforduló legnagyobb terhelés (mértékadó terhelés) hányadosa:

$$e = \frac{P_m}{P_b},$$

ahol e az egyidejűségi tényező; P_m a legnagyobb teljesítmény, kW; P_b a beépített fogyasztói berendezés üzemében előforduló legnagyobb hatásos teljesítmény, kW.

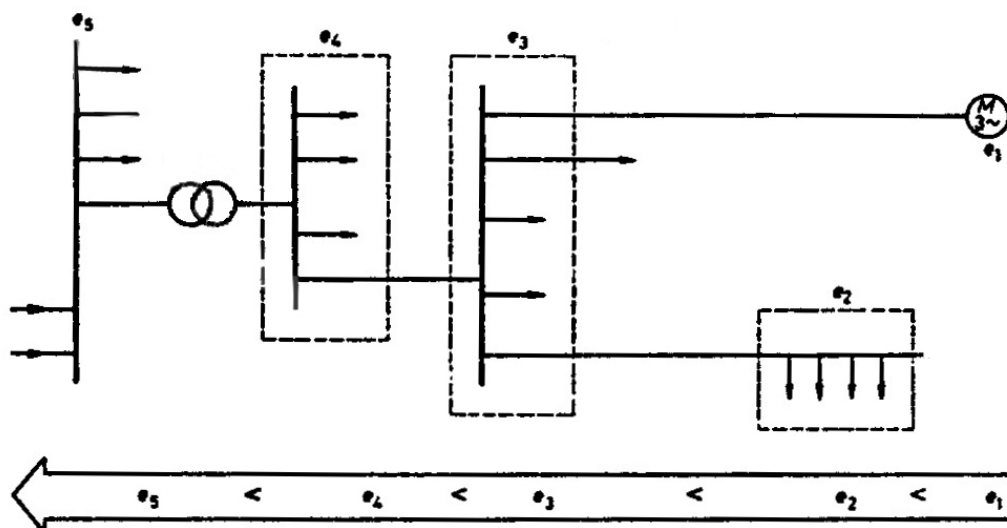
Az egyidejűségi tényező meghatározható az ipartelep egy részére és az egész ipartelepre. Az egyidejűségi tényező annál kisebb, minél nagyobb egy ipartelepen belül a fogyasztóberendezések száma és minél nagyobb a különbség az egyes fogyasztók jellege között. Pl. szerszámgépek és hegesztőgépek egyidejűségi tényezője kisebb, mint ha valamennyi fogyasztó szerszámgép lenne.

Egy ipartelepen belül az egyes üzemegységek egyidejűségi tényezője is eltérő lehet. Az ipartelep villamos elosztóberendezésén belül a fogyasztói helytől a táplálási hely felé haladva az egyidejűségi tényező attól függően csökken, hogy milyen mértékben növekszik a vizsgált helyről táplált fogyasztóberendezések száma (2.4. ábra).

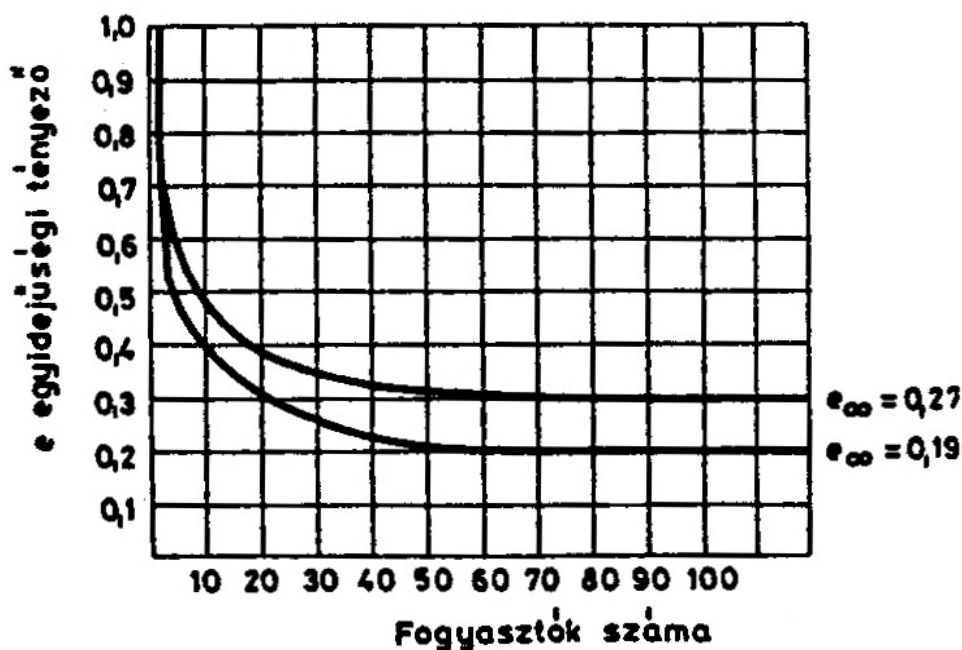
Az egyidejűségi tényezőt a hálózatkép is befolyásolja. Zárt gyűrűs hálózaton vagy hurkolt hálózaton nagyobb számú fogyasztó terheli a rendszert és ezáltal kisebb az egyidejűségi tényező.

Az egyidejűségi tényezőnek a fogyasztók számától való függését mutatja a 2.5. ábra, amelyből leolvasható, hogy a változás kis számú fogyasztó esetén igen rohamos, de már 100-nál nagyobb számú fogyasztó esetén a

változás nem számottevő. A végtelen számú fogyasztóhoz tartozó e egyidejűségi tényező a fogyasztóberendezés kihasználására jellemző számérték.



2.4. ábra. Az egyidejűségi tényező változása a fogyasztói csoportonként



2.5. ábra. Az egyidejűségi tényező változása a fogyasztói szám függvényében

Nagyszámú, kis kihasználással üzemelő megmunkálógép esetén általában kis egyidejűségi tényezővel számolhatunk ($e = 0,2 \dots 0,3$). Daruk egyidejűségi tényezője nem kedvezőbb, ezért irodalmi adatok [xxx] szerint ilyen berendezéseknél $e = 0,4$ egyidejűségi tényezőt lehet tekintetbe venni. Javító- és karbantartóüzemekben a munkagépek kihasználása is igen kedvezőtlen lehet, ezért ilyen berendezésekre $e = 0,4$ az egyidejűségi tényező.

Az e egyidejűségi tényezőre különböző ipari fogyasztók esetében igen eltérő értékek adódnak, erre általános érvényű szabályt adni nem lehet, mert függ a technológiai folyamatától és a gépek számától is.

2.2.3. Csúcskihasználási óraszám

Valamely időszakban felhasznált villamos energia (kWh) és az ugyanazon időszak alatt jelentkező legnagyobb teljesítmény (kW) hányadosa a csúcskihasználási óraszám. A gyakorlatban napi, havi, ill. évi kihasználási óraszámot szokás számítani:

$$h = \frac{W}{P_m},$$

ahol h a csúcskihasználási óraszám; W a felhasznált villamos energia, kWh; P_m a csúcside alatt legnagyobb terhelés, amelyet a mértékadó teljesítménnyel egyenlőnek veszünk, kW.

A csúcskihasználási óraszámnál jobb jellemzést ad a különböző terhelések előforduló időtartamára az ún. tartamgörbe, amely a napi, ill. évi terhelési görbéből határozható meg (ld. a 2.2. ábrát). A tartamgörbe ordinátáján az előforduló terhelés nagyságát, az abszcisszán az egyes terhelésekhez tartozó előforduló időtartamokat tüntetik fel. A tartamgörbéből a mértékadó terhelés is leolvasható. Készíthető napi, évi vagy egyéb időszakra vonatkoztatott tartamgörbe.

2.2.4. Veszteségi tényező

Közcélú villamos hálózaton a veszteség alapvetően jellemzi a villamos hálózatot, de ipartelepi berendezésekben is célszerű lehet a veszteségi tényező meghatározása az ipari nagyfogyasztó belső elosztófeszültségének vizsgálatára. A veszteségi tényező egy vizsgált időtartamra (napra, évre stb.) vonatkozik. A veszteségi tényező az átlagos terheléshez tartozó soros veszteség, $V_{\text{átl}}$ (kW) és a mértékadó terheléssel egyidőben keletkező V_{cs} (kW) veszteség hányadosa:

$$V = \frac{V_{\text{átl}}}{V_{\text{cs}}} = \frac{\sum_{k=1}^n 3 \cdot \int_0^T I_k^2 \cdot R_k \cdot dt}{T \cdot \sum_{k=1}^n 3 \cdot I_{k \max}^2 \cdot R_k}$$

ahol T a vizsgált időtartam, h ; I_k a fogyasztó berendezés egyes leágazásainak áram erőssége (áramterhelés), A; R_k a fogyasztói berendezés egyes leágazásainak rezisztenciája (ellenállása), Ω ; $I_{k \max}$ az egyes leágazások árama P_m idején; A ; n az összes leágazás száma (vezetékek száma).

2.3. A várható terhelés meghatározása

A várható terhelés meghatározásához több módszert alkalmazhatunk. Ismételten rá kell mutatnunk, hogy a várható mértékadó teljesítményt az ilyen módon nyert eredmények megfelelő kritikája alapján kell meghatároznunk. Újra kiemeljük, hogy a számításnál több bizonytalansággal kell megküzdenünk, ezért az itt ajánlott módszerek eredményességét az olvasónak bizonyos fenntartással kell fogadnia.

2.3.1. A várható terhelés meghatározása a villamosenergia-fogyasztás alapján

A villamosenergia-igény, ill. a mértékadó teljesítmény felméréséhez kiindulási alapul szolgálhat az a termelési érték, amelyet az ipartelepen meg kell majd termelni. Bár a technológiai folyamatok gyors fejlődése, a gépesítés és az automatizálás a termelési értékhez tartozó villamosenergia-igény változására, ill. növekedésére vezethet, mégis kialakultak tájékoztató értékek egyes iparágak villamosenergia-felhasználására

2.1. táblázat

1 kWh felhasználásával létrehozott termelési érték a különböző iparágakban

Iparág	Termelési érték 1 kWh villamos energia felhasználásával, Ft	Csúcskihasználási óraszám, h
Bányászat	29	7700
Kohászat	38	8800
Gépipar	75	5000
Építőanyag-ipar	50	7500
Vegyipar	40	8500
Könnyűipar	50	7500
Élelmiszeripar	80	8600

A megadott értékek csak tájékoztató jellegűek, a tervezéskor minden esetben az időszerű árakat kell tekintetbe venni, továbbá mérlegelni kell az adott berendezés technológiai színvonalát. 1965. évi árak alapján

(2.1. táblázat). A tervező előtt ismeretes az ipartelep jellege és tervezett termelési értéke, amelyből a várható villamosenergia-fogyasztás meghatározható.

Az ipartelep villamosenergia-fogyasztása valamilyen összefüggés szerint a mértékadó teljesítménnyel arányos. A villamosenergia-fogyasztásra vonatkozó értékeket aszerint kell értékelni, hogy az üzem az évi 8760 órából hány órán át üzemel és ezen belül milyen a napi terhelés alakulása: A fogyasztott villamos energia mennyiségéből a mértékadó teljesítmény közelítő értéke meghatározható, ha a csúcskihasználási óraszám ismeretes (2.2.3. pont). A villamosenergia-iparban a jelenlegi viszonyoknál 5800 h kihasználási óraszámot vehetünk tekintetbe. Az ipartelepek kihasználási órászáma ennél az értéknél általában nagyobb.

2.3.2. A várható terhelés meghatározása területi felmérés alapján

Nagy kiterjedésű, sok munkagéppel létesülő ipartelep mértékadó teljesítménye közelítőleg területi felméréssel is meghatározható. Az ipari fogyasztói berendezések csoportokba sorolhatók. Minden fogyasztói csoportra meghatározható egy átlagos négyzetméterenkénti teljesítményigény, P_m , kW/m²-ben, amely magában foglalja a világítási terhelést is. E módszer pontossága vitatható, de az kétségtelen, hogy az előbbi módszernél jobban közelítő számítási eredményt ad. A fogyasztókat három csoportba szokás sorolni:

1. Olyan kisebb és nagyobb fogyasztó berendezések, amelyek az üzemi épületen belül területileg egyenletesen oszlanak el és terhelésük gyakorlatilag állandó.
2. Olyan fogyasztói berendezések, amelyek által felvett teljesítmények között igen nagy a különbség és az egyes berendezések terhelési csúcsa egymástól eltérő időben fordul elő (pl. fémfeldolgozó üzem, amelyben az egyes berendezések teljesítménye 50...400 kVA között változhat).
3. Kiemelkedően nagy teljesítményigényű fogyasztói berendezések (pl. villamos kemencék, nagy teljesítményű motorok), amelyek mellett az egyéb fogyasztó berendezések terhelése elhanyagolható.

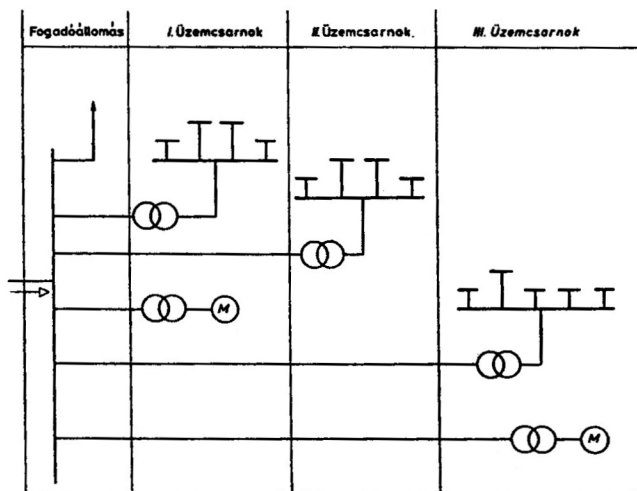
2.2. táblázat

Ipartelepek teljesítményigénye az üzemi épületek alapterülete alapján

Csoport	Ipari üzemek	Fajtagos teljesítmény, W/m ²	cosφ, teljesítménytényező
1	textilipar élelmiszerfeldolgozó szerszám- és automata gépek javítóüzem	50 ... 100	0,6
2	hegesztőüzem présüzem mechanikai üzem szerszámgép-gyártás	150 ... 300 130 ... 280 170 ... 250 80 ... 120	0,7 0,4 0,6 0,6
3	edzőkemence hengermű	200 ... 500	0,9

Fázisjavítás nélkül

E csoportosítás alapján a 2.2. táblázatban adjuk meg az egyes csoportok négyzetméterre eső terhelését és tájékoztatást arról, hogy a különböző fajta ipari üzemek mely csoportba sorolhatók. A táblázat adatai üzemszerű terhelésre vonatkoznak. A villamos berendezésekhez ezen kívül tartalékellátást is kell tervezni, amelynek teljesítményét és jellegét az ipari üzem sajátossága határozza meg. Ennek részleteivel a 6. fejezetben foglalkozunk.



2.6. ábra. Ipartelep üzemcsarnokainak ellátása fogadóállomásból kihelyezett transzformátor állomásokkal

A 2.2. táblázat adatai alapján tehát az ipartelep egyes üzemrészeit, gyáregységeit más és más négyzetméterenkénti terheléssel kell számításba venni, és a 2.6. ábra szerinti villamosenergia-ellátásnál az egyes üzemegek transzformátorállomásait is ennek megfelelően célszerű méretezni.

2.3.3. A várható terhelés meghatározása analitikus úton

A várható terhelés analitikus meghatározására az irodalom több módszert ajánl. Valamennyi módszer pontossága és helyessége kritikával fogadható.

Terhelésmeghatározás energianormák alapján

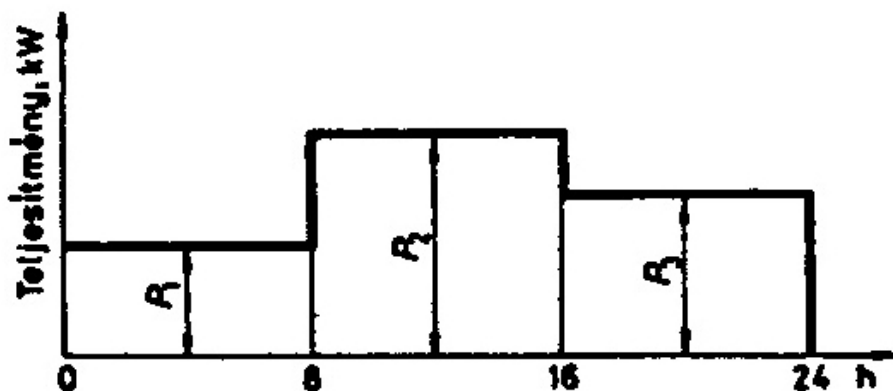
A vizsgálatokhoz az egyes műszakok terhelésének arányaiból kell kiindulni. Feltételezzük, hogy az üzem háromműszakos és a műszakok terhelésének aránya $1 + a + b$, ahol 1 a legnagyobb terhelésű műszak. Vizsgálatainkban a második. műszak a legnagyobb terhelésű. Az a jelű az első, a b jelű pedig a harmadik műszak. A mértékadó terhelés a legnagyobb terhelésű műszak adataiból határozható meg. A 2.7. ábrán jellemezzük az egyes műszakok terhelésének arányát.

A három műszakra vonatkoztatott energiafogyasztást A-val jelöljük, A_2 -vel pedig a legnagyobb terhelésű második műszak energiafogyasztását, ekkor

$$A_2 = \frac{1}{1 + a + b},$$

innen a második műszakban várható mértékadó teljesítmény:

$$P_2 = \frac{A_2}{T_2} = 0,125 \cdot A \cdot \frac{1}{1 + a + b}, \quad T_2 = 8 \text{ h.}$$



2.7. ábra. A mértékadó terhelés három műszakos üzemben

Hatásfokmódszer

Ha a technológiai tervet megfelelő részletességgel ismerjük, akkor az ún. hatásfokmódszerrel pontosabban határozhatjuk meg egy-egy műhelycsarnok P_m egyidejű legnagyobb terhelését. A számítást több lépésben lehet elvégezni:

1. Megállapítjuk az egyes különféle jellegű fogyasztók számát: $n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k$
2. Összegezzük az egyes villamos fogyasztók teljesítményigényét. Az összegezéskor nem a gépek névleges teljesítményét vesszük tekintetbe, hanem a gépek legnagyobb felvett teljesítményét:

$$\sum P = P_1 + P_2 + \dots + P_k + \dots$$

3. Kiszámítjuk az egyes fogyasztói csoportokra eső átlagos teljesítményt:

$$P_{\bar{a}} = \frac{\sum P}{n},$$

majd az ilyen módon számított átlagos fogyasztói teljesítményt a K korrekciós tényezővel megszorozzuk:

$$P_{\bar{a}}' = K \cdot \frac{\sum P}{n} = K \cdot P_{\bar{a}}.$$

Átlagos közepes gépteljesítmények esetén $K = 0,9$ (tapasztalati adat).

A fogyasztói berendezések terhelése időben változó, sőt egyes berendezések terhelése szakaszos. A gépek kihasználását az egyidejűségi tényezővel vesszük számításba [xxx15]. A különböző kapcsolóberendezések egyidejűségi tényezőjét a hivatkozott irodalmi forrás szerint a 2.3. táblázat adatai tartalmazzák.

A berendezés súlyozott átlagos kihasználási tényezője az egyes berendezések kihasználási tényezőjéből és a terhelésekből is meghatározható:

$$e_{\bar{a}} = \frac{P_1 \cdot e_1 + P_2 e_2 + \dots + P_m \cdot e_m}{\sum P},$$

A mértékadó teljesítmény a vizsgált üzemcsarnokra tehát a következő összefüggésből határozható meg:

$$P_m = K \cdot e_{\bar{a}} \cdot \sum P = K \cdot e_{\bar{a}} \cdot n \cdot P_{\bar{a}}.$$

2.3. táblázat

Munkagépekre jellemző kihasználási tényezők [xxx15]

Fogyasztói berendezéscsoportok megnevezése	e egyidejűségi tényező
Szerszámgépek	0,2
Ventillátorok, szivattyúk	0,5
Villamos emelők	0,05 ... 0,12
Villamos ellenálláskemencék	0,8
Hegesztőgépek egy munkahelyen	0,35
Hegesztőgépek több munkahelyen	0,7 ... 0,9

2.4. A terhelés jövőbeni alakulása

A tapasztalat szerint a villamos fogyasztók terhelése évenként folyamatosan növekszik. A növekedés egyrészt új fogyasztóberendezések üzembeállításából, másrészt a már meglevő fogyasztó berendezések terhelésének növekedéséből adódik. A tapasztalatok azt igazolják, hogy tervezéskor ken tekintetbe venni a jövő terhelésfejlődését. E tervezési mód helyességét a statisztikai adatok is igazolják. Ismeretes, hogy hazánkban átlagos ipartelepen 4...6%-os terhelésnövekedéssel kell számolni. Azonos ipari fogyasztók esetében, ha az évi terhelésnövekedés fokozatos, akkor a hálózat fokozatos megterhelésére ken számítani, emiatt a belső elosztórendszert bővíteni ken. Helyes, ha a berendezést úgy tervezzük, hogy bizonyos feltételezett növekedést figyelembe veszünk, hogy az később is használható legyen. Ha pl. évi 7,5 %-os terhelésnövekményt veszünk tekintetbe, akkor 10 évenként a terhelés kétszeresére kell felkészülni.

A kábelek élettartama legalább 30 év, a kapcsolóberendezések elavulási ideje 20 év. Ha az élettartamokat vesszük figyelembe, akkor a villamos berendezéseket aránylag kis terheléssel kellene indítani, hogy elavulásuk végső határánál ériék el a teljes kihasználást. Ennél azonban helyesebb, ha tervezéskor biztosítjuk a berendezés. bővíthetőségét.

E meggondolások alapján a tervező feladata megvizsgálni azt, hogy az ipartelep tervezésekor milyen %-os növekedést vegyen tekintetbe.

Célszerű a mértékadó terhelés évi növekedését a következő módon figyelembe venni:

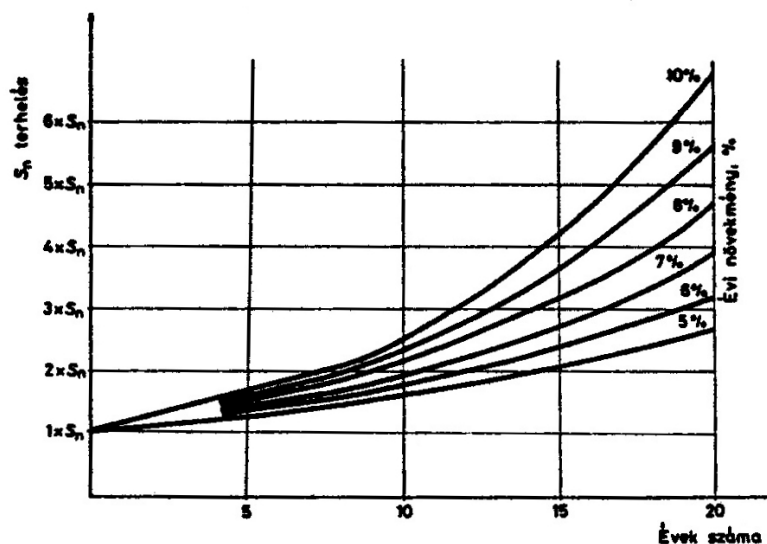
$$u = \left(\frac{P_m'}{P_m''} - 1 \right) \cdot 100,$$

ahol u az évenkénti terhelésnövekedés %-ban; P_m' a vizsgált évet megelőző év mértékadó terhelése; P_m'' a vizsgált év mértékadó terhelése.

Ha terhelésnövekedéskor a fenti módon megállapított növekedést vesszük számításba $i + 1$ éven át, akkor a mértékadó terhelés az i -edik évben

$$P_{mi} = P_m \cdot \left(1 + \frac{u}{100} \right)^i$$

ahol u az évenkénti terhelésnövekedés %-ban; i az első évtől az utolsó évig eltelt évek száma. A különböző százalékos növekedéshez a kiindulási évre vonatkoztatott. terhelésnövekedést a 2.8. ábra mutatja.



2.8. ábra. A terhelés növekedése különböző %-os évi növekedések esetén

2.5. Az ipartelepek fogyasztóberendezéseinek a terhelés felmérése szempontjából fontos jellemzői

Az ipartelepek fogyasztó berendezései nagyjából villamos motorok, hőfejlesztő készülékek, hegesztő berendezések. A várható terhelés felmérésekor a készülékek alapvető sajátosságain kívül figyelembe kell venni a fogyasztói berendezéseknek azokat a jellemzőit is, amelyek az indítási áramra, az üzem alatti áramlökésekre és az üzemi áram felharmonikus tartamára jellemzők.

2.5.1. A transzformátor mint fogyasztói berendezés üzemi jellemzői

Terheletlen transzformátor bekapcsolásakor rövid ideig jelentős mágnesezési áram alakul ki. A bekapcsolási áram az első periódusban a transzformátor konstrukciójától függ, elérheti a $10 \dots 30 I_n$ értéket, ahol I_n a transzformátor névleges árama. Az ipartelepek belső fogyasztói berendezéseiben transzformátort használnak vezérlő áramkörök táplálására, motorindításra, hőfejlesztő berendezések táplálására (kályhatranszformátorok) stb. Ha a transzformátorok be- és kikapcsolása alkalmasszerű és ritkán fordul elő, akkor a bekapcsolási áramnak a berendezés méretezése szempontjából nincs jelentősége, de pl. indítótranszformátorok, hegesztőtranszformátorok gyakori bekapcsolásakor előforduló áramlökéseket a berendezés tervezésekor figyelembe kell venni.

2.5.2. A villamos motor mint fogyasztóberendezés üzemi jellemzői

Egyenáramú motorok

Ipartelepi berendezésekben az utóbbi időben mindinkább előtérbe került az egyenáramú motorok alkalmazása. A félvezetők elterjedése tette lehetővé az egyenáramú motorok ismételt előretörését. A félvezetős hajtások üzemében jelentősebb bekapcsolási árammal nem kell számolni, azonban a félvezetőkkel kialakított szabályozó berendezések felharmonikus árammal terhelik az ipartelep hálózatát, ezért ennek hatásával a 2.5.3. pontban részletesen foglalkozunk.

Aszinkron motorok

Az aszinkron motorokat két csoportra osztjuk: csúszógyűrűs és rövidrezárt forgórészű aszinkron motorokra.

Csúszógyűrűs motorok

A csúszógyűrűs motorok üzeme bonyolult, meghibásodásának előfordulása gyakori, élettartama rövidebb és beszerzési ára is nagyobb a rövidrezárt forgórészű motorokénál.

A csúszógyűrűs motorok családjába tartozik a szinkronizált aszinkron motor, amelynek szinkron fordulatszám és meddőszabályozása egyes berendezésekben kedvező lehet.

A csúszógyűrűs motorok kétségtelen előnye, hogy indítási árama csak $2 \dots 3$ szorosa a motor névleges áramának. Az ipartelepi hálózatok átvivőképessége azonban ma már csaknem mindenütt lehetővé teszi a közvetlen indítású aszinkron motorok alkalmazását, ezért a hálózati szempontból kedvezőbb indításhoz napjainkban nem kell csúszógyűrűs motor. Természetesen más szempont lehet a mechanikai szempontból kívánatos lágy indítás. Ilyen esetben a csúszógyűrűs motor kedvezőbb.

Rövidrezárt aszinkron motorok

A rövidrezárt aszinkron motorok lehetnek normál hornyú, mélyhornyú és kétkalickás motorok. A hálózat igénybevétele szempontjából a kétkalickás aszinkron motor a legkedvezőbb. Normál hornyú aszinkron motorok indítási árama $6 \dots 12 I_n$ lehet.

Az indítási áram időbeni lefolyása szempontjából meghatározó a hajtott gép mechanikai jelleggörbéje, amelyet a nyomaték-fordulatszám összefüggése jellemez. A motor indítása szempontjából meghatározó a hajtott gép statikus és dinamikus terhelése. Az indítási áramot befolyásolja a közlőmű fajtája is, aszerint, hogy merev kapcsolat van-e a motor és a munkagép között, vagy csúsztható tengelykapcsoló stb.

A motor által felvett áram nagyságát az üzem típusa is meghatározza. A különböző üzem típusokat az MSZ 152 határozza meg. E szabvány nyolcféle üzem típust állapít meg, a legkedvezőbb állandó üzemtől a periodikusan váltakozó és változó szögsebességű üzemig.

Az aszinkron motorok indítási módja a következő lehet: közvetlen hálózatról indítás, csillag-háromszög, fojtótekerces, transzformátoros, ellenállásos indítás.

Célszerű minden esetben a közvetlen hálózati indítást választani, ha a hálózat ezt megengedi. A hajtott gép lágyabb indítása érdekében lehet szükség a felsorolt más indítási módok alkalmazására.

A villamos motorok üzemében követelmény lehet a fordulatszám-szabályozás. A hajtott munkagép szempontjából szükséges lehet a fordulatszám-szabályozás, a nyomatékszabályozás stb. A felvett áram erősségét szabályozási körülmények is befolyásolják.

A villamos fékezés változatai a generátoros fékezés, dinamikus fékezés, ellenáramú fékezés. Fékezési módok értékelésekor a motor áramfelvétele mértékadó lehet.

Aszinkron motorok üresjárási árama

Az aszinkron motorok üresjárási árama a névleges áram 20 ... 85 %-át is elérheti, ezért az üresjárási áram a terhelés felmérésekor mértékadó lehet. Az üresjárási áram nagyjából meddő összetevőből áll és jelentős mértékben tartalmaz felharmonikust is. A villamos motorok üresjárási áramáról a 2.4. táblázatban közelítő tájékoztatást adunk.

2.4. táblázat

Villamos motorok üresjárási árama

Motor teljesítmény, kVA	Pólusszám			
	2	4	6	8
0,1 ... 1	(0,85 ... 0,50) I_n	(0,85 ... 0,65) I_n	(0,85 ... 0,70) I_n	(0,90 ... 0,70) I_n
1 ... 10	(0,40 ... 0,30) I_n	(0,65 ... 0,35) I_n	(0,70 ... 0,40) I_n	(0,70 ... 0,50) I_n
10 ... 100	(0,30 ... 0,20) I_n	(0,35 ... 0,25) I_n	(0,40 ... 0,30) I_n	(0,50 ... 0,35) I_n

Aszinkron motorok meddő teljesítménye

A villamos forgógépek mágneses terének másodpercenként 100-szori átmágnesezéséhez meddő energia szükséges. A villamos gépek meddőfogyasztása arányos a gép méretével. Azonos méretű villamos gépnél a mágneses energia annál kisebb, minél kedvezőbb a vasanyag permeabilitása és minél kisebb a szórt mező nagysága. Célszerű, ha a tervező, a feladatot lehetőleg kis névleges teljesítményű és kis méretű villamos géppel oldja meg. Kedvező a nagy fordulatszámú gép, mert a forgógép mérete fordítottan arányos fordulatszámával. A meddőfogyasztás szempontjából kedvezőtlenek a zárt villamos gépek, mert teljesítőképességükhöz viszonyítva aránylag nagy méretűek.

A villamos motorok teljesítménytényezője a terheléssel arányos. Kis terhelésnél a teljesítménytényező kedvezőtlenebb, ezért nem célszerű a szükségesnél nagyobb névleges teljesítőképességű villamos motort alkalmazni.

A villamos motor teljesítmény-tényezője a névleges terhelésnél $\cos\varphi = 0,7 \dots 0,9$ között változhat. A névleges terheléshez tartozó teljesítmény tényező jelentősen csökken kis terheléskor és a teljes névleges terheléskor a legkedvezőbb (2.5. táblázat).

2.5. táblázat

Villamos motorok teljesítménytényezője ($\cos\varphi$) a névlegeshez viszonyított terhelésnél

Terhelés			
1/2	3/4	4/4	5/4
0,83	0,88	0,90	0,90
0,80	0,86	0,89	0,89
0,78	0,85	0,88	0,88
0,76	0,84	0,87	0,87

0,75	0,83	0,86	0,86
0,73	0,81	0,85	0,86
0,71	0,80	0,84	0,85
0,69	0,79	0,83	0,84
0,67	0,77	0,82	0,83
0,66	0,76	0,81	0,82
0,65	0,75	0,80	0,81
0,63	0,74	0,79	0,80
0,61	0,72	0,78	0,80
0,59	0,71	0,77	0,79
0,58	0,70	0,76	0,78
0,56	0,69	0,75	0,78
0,55	0,68	0,74	0,77
0,54	0,67	0,73	0,76
0,52	0,63	0,72	0,77
0,50	0,62	0,71	0,76

A villamos motorok hatásfoka

Névleges terhelés esetén a villamos motor hatásfoka optimális. A 2.6. táblázatban különböző aszinkron motorok hatásfokváltozását mutatjuk be a névlegestől eltérő terheléskor, amely irányadónak tekinthető valamennyi motorfajtára. A táblázat adataiból lemérhető, hogy kis terheléskor vagy túlterheléskor a motor hatásfoka viszonylag keveset változik. Olyan berendezésekben, ahol a motor terhelése széles határok között változik, célszerű olyan motortípust kiválasztani, amelynek hatásfokát a terhelésváltozás lényegesen nem befolyásolja.

2.6. táblázat

Villamos motorok hatásfoka különböző terhelésnél, % (Siemens)

A motor hatásfoka névleges (4/4) terheléskor %	Terhelésváltozás			A motor hatásfoka névleges (4/4) terheléskor %	Terhelésváltozás		
	1/2	3/4	5/4		1/2	3/4	5/4
95	93,5	95	94,5	73	70	73	71
94	92,5	94	93,5	72	68	72	70
93	91,5	93	94	71	67	71	69
92	91	92	91,5	70	66	70	68
91	90	91	90	69	65	69	67
90	89	90	89	68	64	67,5	66
89	88	89	88	67	62	66,5	65
88	87	88	87	66	61	65	64
87	86	87	87	65	60	64	63
86	85	86	85	64	59	63	62
85	84	85	83,5	63	57	62	61
84	83	84	82,5	62	56	60,5	60,5
83	82	83	81,5	61	55	59,5	59,5
82	81	82	80,5	60	54	58,5	58,5
81	80	81	79,5	59	53	58	57
80	79	80	78,5	58	52	57	56
79	77	79,5	77,5	57	51	55	55
78	75,5	78,5	76,5	56	49	54	54
77	74	77,5	75	55	47	52	53
76	73	76	74	54	46	51	52
75	72	75	73	53	45	50	51

74	71	74	72				
----	----	----	----	--	--	--	--

A villamos motorok nyomatéka

A villamos motor kiválasztásakor kis névleges teljesítményű motorra célszerű törekedni, amelynek azonban megfelelő billenőnyomatékúnak kell lennie. A gyártmányismertető tételesen ismerteti az egyes motortípusok névleges és billenőnyomatékának hányadosát. A motor tengelyén a nyomaték az

$$M \approx 9,55 \cdot P \cdot \frac{100}{n}$$

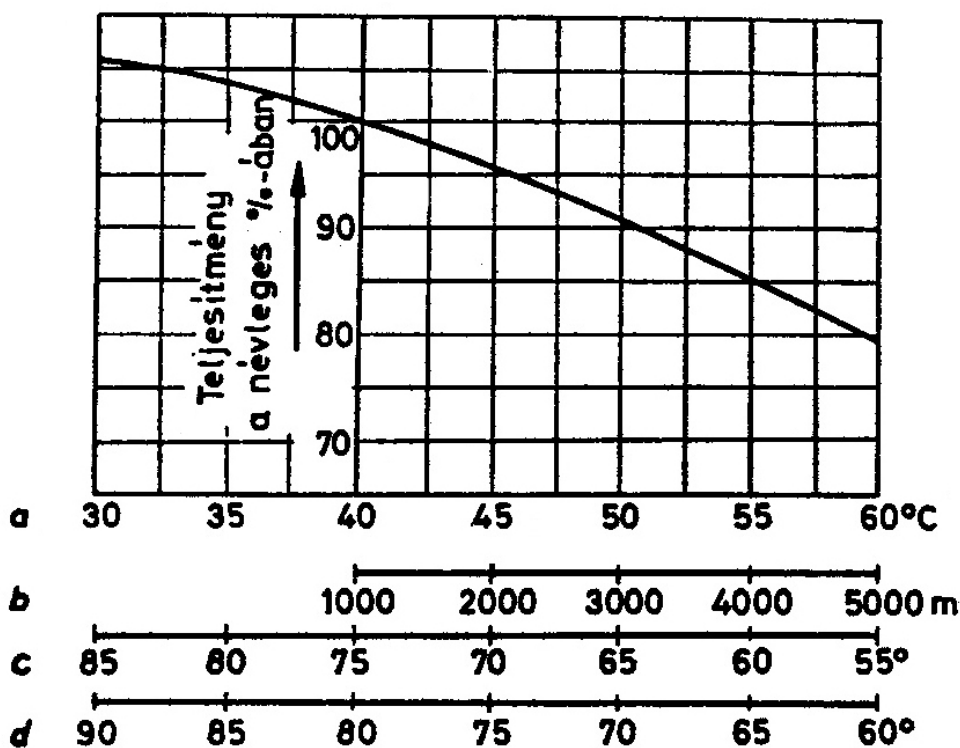
egyenlettel számítható, ahol M a motor tengelynyomatéka, Nm; P a motor tengelyteljesítménye, kW; n a motor fordulatszáma, 1/min.

A villamos motor legnagyobb nyomatékát a névleges fordulatszám 70 ... 80 %-ánál adja, azonban olyan motorokat is gyártanak, amelyek a legnagyobb nyomatékot nulla fordulathoz teljesítik.

A feszültségtartás a motor nyomatéka szempontjából is fontos, mert a nyomaték az üzemfeszültség négyzetével változik.

A motorok környezeti hőmérséklete

A motorok névleges teljesítményét a gyártó vállalat + 40 °C környezeti hőmérsékletre szavatolja, ipari berendezésekben azonban gyakori, hogy a környezeti hőmérséklet a motor üzemideje alatt ennél nagyobb. Ilyen esetekben a villamos motor kevésbé terhelhető (2.9. ábra).



2.9. ábra. Aszinkron motor terhelhetősége a környezeti hőmérséklet függvényében (EVIG gyártmányismertető szerint)

a környezeti hőmérséklet;

b tengerszint feletti magasság;

c megengedett hőmérsékletnövekedés E oszt. szigetelés esetén

d megengedett hőmérsékletnövekedés B oszt. szigetelés esetén

A tengerszint feletti magasság is befolyásolja a motor terhelhetőségét, erre vonatkozóan is tájékoztatást ad az ábra.

Megemlítendő, hogy az a korszerű irányzat, hogy a motorokat F osztályú szigeteléssel készítik.

A villamos motor élettartama az üzemi hőmérséklettől függ. A gyártó vállalat által szavatolt üzemi viszonyok között a villamos motorok élettartama 20 000 ... 25 000 h.

2.5.3. Félvezetős fogyasztói berendezések

A félvezetős berendezések jelentős felharmonikus áramokat okoznak a villamos hálózaton, ezért tervezéskor indokolt ezt is vizsgálni.

Megemlíthető, hogy a nem rácsvezérlésű egyenirányító árama sem teljesen szinuszos, az áram nullaátmenete előtt az áramvezetés megszűnik, majd nullaátmenet után a gyújtófeszültség elérésekor indul meg, az egyenirányítón átfolyó áram tehát nem lehet szinusz alakú, ami azt jelenti, hogy felharmonikus összetevőt tartalmaz.

A tirisztoros vezérlések esetén a szabályozás az áramhullám megfelelő „vágásával” történik, ezért ilyenkor az áramhullám a szabályozás mértékétől függően eltér a szinusz alaktól és ez a hálózatban felharmonikus áramokat indít. A felharmonikus áramok okozta meddő teljesítmény nem kompenzálható kondenzátorral. E felharmonikus áramok a villamos hálózaton felharmonikus feszültségeséseket hoznak létre, amelyek szuperponálódnak az alapharmonikusra és torzítják a feszültség-hullámot. A rácsvezérlésű szabályozás az ellenállásos szabályozáshoz viszonyítva energiamegtakarítást eredményez a fogyasztónál, de a táphálózaton a felharmonikusok kedvezőtlenek, zavarokat okoznak.

A felharmonikus áramok hatásuk szempontjából két csoportba oszthatók: hárommal osztható felharmonikus áramok és hárommal nem osztható felharmonikus áramok.

A hárommal osztható felharmonikus áramok háromfázisú rendszerben a fázisvezetőkben egyirányúak és a nullavezetőn keresztül alkotnak zárt áramkört. Ha a háromfázisú rendszerben nincs nullavezető, akkor a harmadik harmonikus áram csak olyan módon alakulhat ki a három vezetőkben, hogy az egyik vezetőkben folyó, hárommal osztható harmonikus áram, a másik két vezetőkben feleződve folyik vissza. A legnagyobb mennyiségben a harmadik harmonikus áram fordul elő, míg a magasabb rendszámú 9 ... 12. harmonikus általában rendszáma arányának megfelelően kisebb mértékű összetevő.

A hárommal osztható harmonikus áram okozta harmonikus feszültség a fázis- és nullavezető között mérhető. A háromfázisú rendszer fázisfeszültségei egymással 120° fázisszöveget zárnak be, ezért a fázisvezetőkben a harmadik harmonikus feszültség egymástól $3 \times 120^\circ = 360^\circ$ -ra, tehát megegyező fázisban van, ezért a harmadik harmonikus és egyéb hárommal osztható feszültségfelharmonikus a fázisvezetők között nem mérhető. A hárommal osztható felharmonikus feszültség - így a harmadik harmonikus feszültség is - a fázisfeszültségben jelenik meg. A harmadik harmonikus áram a nullavezetőben „összegeződve” folyik, ezért a nullavezetőben a harmadik harmonikus áram számottevő lehet.

A hárommal nem osztható felharmonikus áramok nullavezető nélküli, háromfázisú rendszerben folynak és a fázisvezetők között, a vonali feszültségben, hárommal nem osztható feszültségösszetevőként jelenhetnek meg.

Háromfázisú rendszerben, ha rácsvezérlésű egyenirányítók vagy tirisztorok nem üzemelnek, általában az ötödik vagy ennél nagyobb rendszámú, hárommal nem osztható felharmonikus áram, ill. feszültség gyakorlatilag nem fordul elő. Rácsvezérlés, tirisztoros szabályozás esetén, ha az áramgörbe alakja a vezérlés folytán nem szinuszos, hanem „vágott”, akkor az ötödik vagy ennél nagyobb rendszámú, hárommal nem osztható felharmonikusok aránya igen nagy lehet.

A hárommal nem osztható felharmonikus áramok a vonalfeszültségben rezonancia jelenséget okozhatnak, amelyek meg nem engedhető felharmonikus feszültségekre vezethetnek. A hárommal nem osztható harmonikusok nagy kapacitású és aránylag kis induktivitású hálózaton okozhatnak kellemetlen jelenségeket, különösen éjszakai vagy vasárnapi völgyterhelésnél, ha a rendszert kisebb teljesítményű, kevésbé terhelt transzformátor táplálja.

A felharmonikus feszültségek kifejlődését elősegítik a kis veszteségű hálózati elemek, viszont a nagy veszteséget jelentő elemek, pl. a nagy üresjárási veszteségű transzformátorok, a feszültségrezonancia kialakulását csillapítják. A hárommal nem osztható felharmonikus okozta rezonanciajelenség modellvizsgálattal is tanulmányozható.

Az ötödik és hetedik harmonikus feszültség kialakulására csillapítóan hat a transzformátor- és egyéb hálózati veszteség. Ezek mint csillapító terhelések képzelhetők el, amelyek következtében még rezonancia esetén sem lép fel kedvezőtlen felharmonikus feszültség.

A tirisztoros szabályozás napjainkban mind jobban terjed. E Szabályozás feltétlen gazdaságos, azonban számolni kell azzal, hogy a villamos hálózat felharmonikus árammal lesz megterhelve és a felharmonikus áramok a hálózaton, a transzformátorokon keresztül a generátorig folynak, és a felharmonikus áramok a hálózatok és erőművi berendezések kihasználása szempontjából is igen hátrányosak.

Fogyasztói berendezésben, ha a tirisztoros szabályozóberendezés terhelése az összerterhelés kis részét jelenti, akkor ez megengedhető. Ha kiemelkedően nagy fogyasztói berendezést kívánunk tirisztorral szabályozni, akkor a felharmonikus áramok mennyiségét és hatását a tervezőnek és üzemeltetőnek külön kell vizsgálni.

2.5.4. Egyéb fogyasztói berendezések

Hegesztőgépek

Az ellenálláshegesztő általában hatásos jellegű terhelés. Az ellenálláshegesztő terhelőárama lökésszerű és a hegesztés időtartama általában rövid. Ellenálláshegesztők üzemében igen kis egyidejűséggel számolhatunk.

Az ívhegesztők üzemében lökésszerű a terhelés, A villamos hálózat szempontjából kedvezőbb a motorgenerátoros ívhegesztő, mert az ívhegesztés áramlökéseit a motor-generátor mechanikai tehetetlensége veszi fel, ezen kívül a hegesztés dinamikus tulajdonsága is kedvezőbb. Hátránya a rövidebb élettartam, a nagyobb beruházási költség, és a magasabb fenntartási költség. A motorgenerátoros hegesztőket – számos hátrányos tulajdonságuk ellenére - igen elterjedten használják.

A félvezetős ívhegesztők a villamos hálózatot kedvezőtlenül terhelik. Jelentős a meddőfelvétel és az áram felharmonikustartalma igen nagy. A félvezetős ívhegesztők lökésszerűen terhelik a hálózatot, ezért az egyidejűségi tényező igen kedvezőtlen.

Olyan hegesztő üzemben, ahol az egyes munkahelyeket közös áramforrásról tápláljuk, 10...20 munkahely esetén sem kisebb az egyidejűségi tényező, mint 0,4.

Világítóberendezések

Izzólámpás világításnál a bekapcsolási áramlökés csúcscértéke az első periódusban a névleges áram kilencszerese lehet, de időtartama rövidebb, mint egy periódus. Kevert fényű fényforrások bekapcsolási áramerőssége a névleges áram erősségének kb. 1,3-szerese. **Fénycsővilágításnál bekapcsolási áramlökéssel nem kell számolni.** Higanyhalogén- és náatriumlámpák bekapcsolási árama a névleges áram kb. **kétszerese.** E fényforrások kezdeti árama csak néhány perc után csökken a névleges értékre, ezért az ilyen fényforrások bekapcsolási árama termikus igénybevételt is jelent.

Hőfejlesztő berendezések

Az ellenállásfűtésű hőfejlesztők általában a legkedvezőbb fogyasztói berendezések. Nincs számottevő bekapcsolási áramlökésük, terhelőáramuk szinuszos, és a terhelés hatásos jellegű. A villamos ívfűtésű berendezések ugyanolyan kedvezőtlen tulajdonságúak a bekapcsolási áram és az áram alakja szempontjából, mint az ívhegesztőberendezések.

Túlfeszültség keletkezése, túlfeszültség védelem

Dr. Szandtner Károly, BME Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport, MEE Oktatási Bizottság elnöke

1. A túlfeszültség fogalma, keletkezése

1.1. A túlfeszültség fogalma

Túlfeszültség a villamos elosztóhálózatokban illetve berendezésekben fellépő, a legnagyobb megengedett üzemi feszültség csúcsértékét meghaladó feszültség, amely nagyságától, jel alakjától vagy hullámformájától, frekvenciájától és fennállásának időtartamától függően igénybe veszi a berendezés szigetelését. Az igénybevételek megítélésénél célszerű a hálózat legnagyobb feszültségéhez (U_m) tartozó fázisfeszültségből $U_m/\sqrt{3}$ -ból, illetve az ehhez tartozó csúcsértékből $U_m \cdot \sqrt{2}/\sqrt{3}$ -ból kiindulni.

Az üzemi feszültségből származó igénybevételnél az a követelmény, hogy a belső szigetelésnek az üzemi feszültség hatására nem szabad számottevő szigetelésromlást (öregedést) mutatnia. A külső szigetelések méretezésénél az elérendő cél pedig az, hogy az üzemi feszültséget a külső környezet (légköri hatások, szennyeződés) hatása alatt is el kell viselniük a szigeteléseknek. További feszültség igénybevételek már túlfeszültség formájában jelentkeznek. A túlfeszültségek keletkezési módjuk és időtartamuk szerint három csoportra oszthatók: belső eredetű túlfeszültségek, külső ún. légköri eredetű túlfeszültségek és elektrosztatikus feltöltődésből eredő túlfeszültségek, amelyeket a villamos energia elosztó rendszerhez viszonyítva szintén a külső eredetű csoportba lehet sorolni.

1.2. Belső eredetű túlfeszültségek

A belső eredetű vagy belső túlfeszültségeket a villamos hálózatokban bekövetkező hibák vagy a különböző célú kapcsolási folyamatok okozzák. Az MSZ EN 50160:1995 „A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői” című szabvány 1.3.19. pontja szerint az átmeneti, hálózati frekvenciájú túlfeszültség az, amely a hálózat egy adott helyén viszonylag hosszú ideig fennáll. Az átmeneti túlfeszültségek általában kapcsolási műveletek vagy hibák következtében keletkeznek, azaz normál üzemviteli körülmények során is felléphetnek. Hasonló módon tartós túlfeszültségnek nevezzük a kapcsolat vagy hiba folytán fellépő, rendszerint alig vagy egyáltalán nem csillapodó periodikus túlfeszültséget. Ezeket a hosszabb időtartamú túlfeszültségeket nagyságuk, frekvenciájuk (amely az üzemi vagy annak valamely harmonikusa lehet), időtartamuk és csillapodásuk paraméterei jellemzik.

Tartós túlfeszültségek fellépését elsősorban a következők válthatják ki:

- aszimmetrikus földzárlatok,
- hirtelen terhelésváltozások (hatásos és meddő teljesítmények egyaránt),
- rezonancia és ferrerezonancia.

Az aszimmetrikus földzárlatok alkalmával kialakuló túlfeszültség nagyságára az ún. földzárlati tényező a jellemző. A földzárlati tényező az a viszonyszám, amely a háromfázisú hálózat egy adott pontján, a hálózaton bárhol bekövetkező (egy- vagy kétfázisú) földzárlat esetén, az ép fázison fellépő (egyfázisú földzárlat esetén a nagyobbik) feszültség effektív értékének és az ugyancsak az adott pontban a zárlat bekövetkezése előtti fázis-föld közötti feszültség effektív értékének a hányadosa (gyakorlati értékek: 1,2, 1,3, 1,38, 1,47, 1,56, 1,65 és 1,73). A földzárlati tényező nagysága alapján különböztetünk meg hatásosan és nem hatásosan földelt hálózatot. A hatásos földelés feltétele teljesül, ha a vizsgált pontban a pozitív sorrendű reaktancia (X_1), a zérus sorrendű reaktancia (X_0) és a zérus sorrendű ellenállás (R_0) között a következő viszony áll fent: $X_0/X_1 < 3$ és $R_0/X_1 < 1$. Ezek alapján a hatásosan földelt hálózat (hálózatrész) jellemzője az, hogy a földzárlati tényező a hálózat (hálózatrész) egyetlen pontján sem haladja meg az 1,4 értéket.

A középfeszültségű (Magyarországon a 35 kV-os vagy ennél kisebb névleges feszültségű) hálózatokban, amelyek csillagpontja nagy impedancián (ívoltó fojtótekercsen) keresztül földelt vagy szigetelt, a hatásos földelés feltétele nem teljesül. Az egyfázisú földzárlat fellépésekor az ép fázisok feszültsége a vonali feszültség értéke lesz, esetleg meg is haladhatja azt (a földzárlati tényező értéke: $\sqrt{3}$). További példa: jelentős túlfeszültség léphet fel a szigetelt csillagpontú kábelhálózatról táplált motorok tekercsének közbenső testzárlata esetén is.

Az elmondottakból következik, hogy a földzárlatkor fellépő feszültséget a szigeteléseknek viszonylag hosszú ideig kell viselniük, másrészt pedig a földzárlati túlfeszültség alapján - a többi tartós túlfeszültség hatásának figyelembevételével mellett kell kiválasztani a légköri és kapcsolási túlfeszültségek ellen védelmet nyújtó túlfeszültség-védelmi készülékeket.

A taratós túlfeszültségek másik csoportját a hirtelen terhelésváltozások (hatásos és meddő teljesítmény egyaránt) okozzák. Ezek nagyságát a terhelésváltozás (szélsőséges esetben a terhelés ledobás) után kialakuló hálózatkép (a táphálózat zárlati teljesítménye, a generátorok feszültség szabályozása, a terhelés nélkül maradt távvezeték hossza) határozza meg. Kiemelhető és különösen fontos az igen nagy feszültségek (400 kV és ennél nagyobb névleges hálózati feszültség) tartományában az üresen járó hosszú távvezetéken kialakuló feszültségemelkedés (az ún. Ferranti-jelenség).

Rezonanciás vagy ferreorezonanciás túlfeszültségek akkor alakulhatnak ki, ha a hálózat nagy kapacitású elemei (szabadvezetékek, kábelek) és induktív elemei (ferreorezonancia esetén a nem lineáris mágnesezési jellegű görbén kialakuló munkapontban) az üzemi feszültség frekvenciájával vagy annak valamely harmonikusával megegyező frekvenciáján rezgőkört alkotnak. Ezek a túlfeszültségek viszonylag ritkák, de igen kellemetlen következményűek. Védekezni ezek ellen megfelelő hálózat méretezéssel (pl. a fojtó tekercsekkel ellátott fázisjavító berendezés, felharmonikusok figyelembevételét követő frekvencia elhangolással) lehet.

A szigeteléseket igénybe vevő túlfeszültségek következő csoportját a kapcsolási túlfeszültségek alkotják. Nagy frekvenciájú (néhány kHz) tranziens túlfeszültségek lépnek fel egyes esetekben az üzemi áram hirtelen megszűnésekor. Az MSZ EN 50160:1995 szabvány 1.3.20. pontja szerint ez az ún. tranziens túlfeszültség rövid idejű, periodikus vagy nem periodikus, általában erősen csillapított túlfeszültség, néhány ms vagy annál kisebb időtartammal. Ilyen gyors áram megszűnést követő ún. kapcsolási túlfeszültségek várhatók:

- távvezetékek (kábelek) bekapcsolása, valamint visszakapcsolása zárlatvédelmi működést követően,
- zárlatok keletkezésekor és zárlatok megszüntetésekor,
- terhelésledobásakor,
- kapacitív áramok megszakításakor,
- kicsi vagy mérsékelt nagyságú induktív áramok megszakításakor,
- olvadóbiztosítók kiolvadásakor.

Az első három kapcsolási túlfeszültségfajta a hálózat valamilyen két állandósult állapota közötti kiegyenlítődési folyamat során alakul ki. Lefolyását tehát elsősorban a hálózat paraméterei (saját-frekvencia, csillapodási viszonyok) befolyásolják, másodsorban a kapcsoló eszközök (pl. megszakítók) bizonyos tulajdonságai (pólusok együtt futása, ívöltő közeg stb.) is éreztetik hatásukat.

A három utóbbi túlfeszültségfajta kialakulása és a fellépő túlfeszültségek nagysága elsődlegesen a kapcsoló eszköz működési viszonyaitól függ.

Kapacitív áramok megszakításakor túlfeszültség amiatt keletkezik, hogy a megszakítás pillanatában a kikapcsolt kondenzátoron feszültség marad és ez a feszültség elősegíti a visszagyújtást a megszakítóban, amely jelenség többször is megismétlődhet. Korszerű megszakítók alkalmazásakor az így kialakult túlfeszültség általában nem nagyobb, mint az üzemi csúcsheszültség fázis értékének 3 ... 4-szerese. Ha a hálózat szigetelt csillagpontú, a visszagyújtással egy időben földzárlat fellépésére is számíthatunk. Ez esetben viszont a túlfeszültség értéke a vonali csúcsheszültség 3 ... 4-szeresét is elérheti. A gyakorlatban kapacitív áramokat szakítunk meg a kondenzátor telepek kapcsolásakor, valamint az üresen járó távvezetékek és kábelhálózatok kikapcsolásakor.

Induktív áramok - vagy még pontosabban fogalmazva a kis induktív áramok - megszakítása esetén szintén számíthatunk túlfeszültség létrejöttére. Ennek az a magyarázata, hogy a megszakítás pillanatában - ha az nem az áram nulla értékénél (átmeneténél) történik, azaz áram levágás van - az áramkör induktív elemeiben mágneses energia halmozódik fel, amely a parallel kapcsolódó - elsősorban „szórt kapacitív” elemekben - elektrosztatikus energiává alakul át, azaz feltölti ezeket a kapacitásokat és emiatt a megszakítón sorozatos visszagyújtás következhet be. A kialakuló túlfeszültség az induktivitás és a kapacitás arányától függ, a kapacitás növekedésével csökken. A fellépő túlfeszült-

ség a villamos energia egyensúlyból kiindulva, veszteségmentes esetben, ha az induktivitás árama i_0 (ezt nevezik gyakran levágott áramnak):

$$1/2L \cdot i_0^2 = 1/2C \cdot u^2 \Rightarrow u = i_0 \cdot (L/C)^{1/2}.$$

Végül ez a feszültség szuperponálódik rá a hálózati ún. visszatérő feszültségre. Induktív áramokat szakítunk meg például üresen járó transzformátor, fojtótekercs, elektromágnes és motor kikapcsolásakor.

Olvadóbiztosítók kiolvadásakor zárlati áramkörben a következő feszültség egyenlet érvényes:

$$U = i \cdot R_b + i \cdot R_h + L \cdot di/dt,$$

ahol U a hálózati feszültség, i az áram pillanatértéke, R_b a biztosító ellenállása (ívelés alatt az ível-lenállás), $i \cdot R_h$ a hálózat egyéb részeiben keletkező ohmos (konduktív) feszültségesés, R_h a hálózat többi részének eredő ellenállása, $L \cdot di/dt$ a hálózat induktivitásában keletkező feszültség. Figyelembe véve, hogy a zárlati áramkörben $R_h \ll R_b$, az egyenletben az $i \cdot R_h$ tagot elhanyagolhatjuk és így:

$$U = i \cdot R_b + L \cdot di/dt.$$

Az összefüggésből látható, hogy a hálózat induktivitásában keletkező feszültség - az áram növekvő szakaszában, tehát az ívelés előtti időszakban - az áramforrás tápfeszültsége ellen hat. Az olvadószál(ak) kiolvadását követően az áram nullára csökken, így $L \cdot di/dt = 0$ és a hálózati feszültség $U = i \cdot R_b$. Ezután az R_b ellenállás további növekedésével az áram csökkenni kezd olyan mértékben, hogy a pillanatnyi áram az induktivitásban most már ellenkező előjelű feszültség emelkedést ($-L \cdot di/dt$) eredményez és hozzáadódik a hálózati feszültséghez:

$$U + L \cdot di/dt = i \cdot R_b.$$

Ez a többletfeszültség tartja fenn az áramot a növekvő ível ellenálláson. Amikor az ível ellenállás (R_b) annyira megnő, hogy az áram fenntartásához szükséges többletfeszültséget az áramkör nem tudja tovább szolgáltatni, akkor az áram megszakad. A túlfeszültség nagysága attól függ, hogy a többletfeszültség - amelynek nagysága arányos az olvadószálak hosszával - a hálózati feszültség mekkora pillanatértékéhez adódik hozzá. Legnagyobb értékét akkor éri el, ha a hálózati feszültség legnagyobb értékéhez (feszültségcsúcsban) adódik hozzá. Az épületvillamosítás minden területén megjelenik ez a készülék fajta, így a zárlatvédelmi funkció kísérő jelenségeként fellépő túlfeszültségre mindenkor számíthatunk. A méretezés alapjául elfogadható, hogy a megfelelő műszaki színvonalú - nem intenzív oltású - olvadóbetétek kiolvadásakor 1,8 ... 2,4-szeres túlfeszültség kialakulása várható.

Nem soroltuk föl, de megemlítjük, hogy a félvezetők (tirisztorok, szimisztorok stb.) kapcsolásánál is számítanunk kell túlfeszültségek fellépésére.

Összefoglalva: A belső túlfeszültségek fennállásának időtartománya: 0,1 ... 100 ms. A rövidebb időtartamok a kapcsolási jellegű tranziens túlfeszültségekre vonatkoznak (amelyek az üzeminél rendszerint nagyságrendekkel nagyobb frekvenciájúak), a hosszabb időtartamok az üzemi frekvenciájú túlfeszültségekre jellemzőek.

1.3. Külső, légköri eredetű túlfeszültségek

A légköri eredetű túlfeszültségek - a kialakulásukat tekintve - a hálózattól független körülmények között jönnek létre, amely körülmény lényeges különbséget jelent a korábban tárgyalt belső túlfeszültségekhez képest. A légköri eredetű túlfeszültségeket kiváltó villámáramok nagysága a hálózati feszültségtől függetlenül alakulnak ki. Közvetlenül elsősorban a szabadvezetéseket és a légkábeleket veszélyeztetik. Így az állomások berendezéseit, a kapcsolókészülékeket is a szabadvezetésekről beérkező túlfeszültség hullámok veszélyeztetik. Továbbterjedő nagyságukat azonban a szabadvezetési szigetelések bizonyos mértékig behatárolják.

Légköri eredetű túlfeszültségek a következők szerint alakulhatnak ki:

- közvetlen villámcsapás a fázisvezetőbe,
- villámvédelmi árnyékolás céljából kialakított és leföldelt szerkezeteket (villámvédelmi felfogó rudak, védővezetők) érő villámcsapások levezetési árama hatására a földelési ellenálláson fellépő feszültségemelkedés a fázisvezető átütéséhez vezethet (ez az ún. visszacsapás),
- a szabadvezeték közelében becsapó villám illetve a levezetett villámáram hatására a vezetékben indukált feszültség alakul ki; elsősorban a közép- és kiefeszültségű hálózatokban jelent veszélyes mértékű túlfeszültség kialakulást.

A természetben előforduló villámáramok jellemzőit a műszaki szakirodalomban több szerző összefoglalta már. Ezek közül célszerű a legújabb kutatásokat összefoglaló végeredményt közölni, Dr. Horváth Tibor: „Villámvédelem felülvizsgálók tankönyve” című [2] munkája alapján, amely az előfordulás gyakoriságának figyelembevételével megadja a villámáram csúcsértékét, meredekségét, az áramhullám homlokidejét, a kiegyenlítő töltés értékét és a villám fajlagos energiáját (lásd az 1. táblázatot).

1. táblázat: A villámáram jellemző értékeinek előfordulási gyakorisága [2]

A jellemző érték	A villám polaritása és a kisülés, amire vonatkozik	50 % medián	10 %	5 %	1 %
A villámáram csúcsértéke, $kA_{csúcs}$	- első részvillám	33,3	72,3	90,0	135,9
	- ismételt részvillám	12,0	25,0	30,8	45,4
	+ összes villám	35,0	166,0	258,0	590,0
Meredekség, $kA/\mu s$ maximum átlagos érték	- első részvillám	13,2	26,2	31,8	45,9
	- ismételt részvillám	40,0	118,4	161,0	286,7
	+ összes villám	2,4	18,1	30,4	93,6
Az áramhullám homlokideje, μs	- ismételt részvillám	20,0	69,1	98,3	190,0
	- első részvillám	5,5	13,5	17,4	28,0
	- ismételt részvillám	1,1	3,5	4,9	9,2
Kiegyenlítő töltés, C	+ összes villám	22,0	122,9	200,2	499,8
	- áramlökés	5,2	17,3	24,3	46,0
	- teljes villám	7,5	27,6	40,0	80,0
Fajlagos energia, MJ/Ω	+ áramlökés	16,0	82,7	131,6	315,9
	+ teljes villám	80,0	252,5	350,0	644,7
	- teljes villám	0,055	0,32	0,53	1,30
	+ teljes villám	0,650	7,90	16,00	60,00

A táblázat adataiból látható, hogy külön szerepel a negatív első és ismételt részvillám, a pozitív villám és az összes illetve teljes villámra vonatkozó adatsor. A táblázat adatait elemezve a következő észrevételek tehetők:

- a pozitív villám csúcsértéke jelentősen meghaladhatja a hasonló gyakorisággal előforduló negatív első részvillám csúcsértékét, és a kiegyenlítődő töltés nagysága valamint a fajlagos energia is ezzel arányos;
- a hullám homlokán fellépő árammeredekség a negatív villám esetében általában nagyobb, mint a pozitív villámnál, sőt a negatív ismételt részvillámnál ez a meredekség gyakran egy nagyságrenddel is nagyobb lehet mint a pozitív villám felfutó szakaszának meredeksége.

Védővezető szerepe.

A nagyfeszültségű távvezetéseket a teljes hosszukban védővezetővel (védővezetőkkel) látják el. A középfeszültségű távvezetéknek rendszerint csak az állomáshoz csatlakozó 800 ... 1000 m-es részén van védővezető, hogy ezzel a túlfeszültséget a távvezeték szigetelési szintjének megfelelő értékre hozzák. A védővezetőt az állomásba általában bevezetik és ott hozzákötik az állomás földeléséhez. Ha a visszacsapás veszélye fennáll, akkor a védővezetőt nem vezetik be az állomásba, csak az utolsó oszlopig, vagy a berendezéssel azonos feszültségre szigetelik.

Visszacsapás problémája.

Ha a villámcsapás a védővezetőt vagy a távvezeték oszlopot éri, a fázisvezetők szigetelőjét

$$U = \sqrt{2} \cdot U_f + I_v \cdot R_{fl}$$

feszültség veszi igénybe, ahol U_f a fázisfeszültség, R_{fl} a földelés lökőhullámú ellenállása és I_v a villámáram. A visszacsapás elkerüléséhez a szigetelő átívelő feszültségét ennél nagyobbra kell választani. A különböző feszültségintű szigetelőkre vonatkozó lökőfeszültség értékek a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat: Szigetelők átívelő lökőfeszültségének közelítő értékei [9]

Névleges feszültség, kV	Szabadvezeték lökőfeszültség szilárdsága, kV _{cs}
20	170 ... 200
35	250 ... 300
120	700

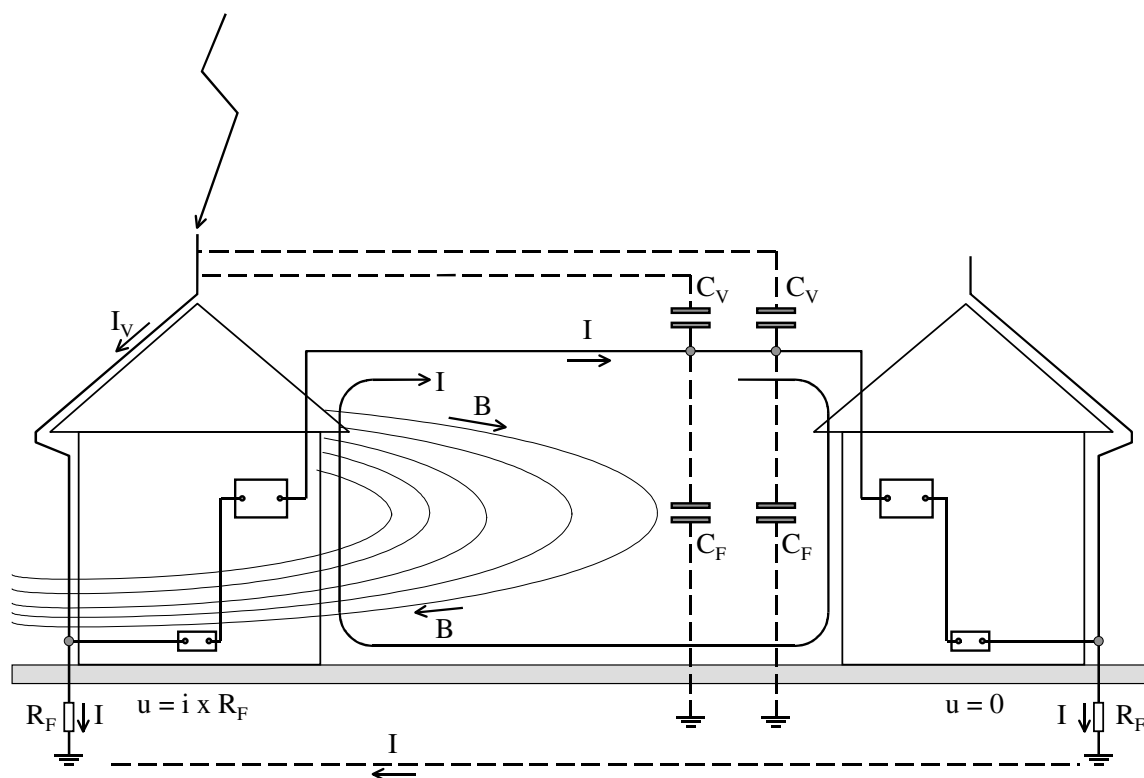
Az elektromágneses villámimpulzus csatolási módjai.

A villámcsapás hatására létrejön a villámcsatorna, amelyben kialakul a villámáram. A csatornában folyó villámáram azonban különféle utakon tovább terjedhet az épület belsejében, de nem kizárt a távolabbi épületekbe vagy földi tárgyakba való áttérjedése sem. Ezt az áttérjedést másodlagos ha-

tásnak nevezzük, amely vezetéssel, induktív csatolással vagy kapacitív csatolással jöhet létre (lásd az 1. ábrát).

Vezetési csatolás.

Az 1. ábra szerint a felfogótól a levezetőn át jut a földbe a villámáram. A villámáram útjába eső impedanciákon, de különösen az $R_F = R_{fl}$ földelési ellenálláson illetve lököfeszültséggel szembeni ellenálláson $u_F = i_v \cdot R_F$ feszültség keletkezik. Ez a feszültségemelkedés illetve potenciál jelenik meg a közeli fém tárgyakon, a csupasz és a szigetelt vezetőkön, azaz a földeléssel összekötött minden helyen. A megemelkedett potenciált a szigetelt vezetők átviszik más épületekbe is, amely épületek földelési potenciálja az ideális nulla potenciálhoz képest nem emelkedett meg. Ilyen körülmények között a befutó vezetők és a földelt fémtárgyak között túlfeszültség lép fel. Ez a feszültség a készülékek és a berendezések szigeteléseit veszi igénybe, és a leggyengébb pontokon a szigetelés tönkremenetelét eredményezhetik. Ez a jelenség természetesen fordítva is lejátszódhat, amikor a villámsújtotta épületbe hozzuk be a távolabbi ideális nulla föld-potenciált és az épület saját földelőjéhez kötött fémtárgyakon illetve vezetőkön jelenik meg a nem kívánt túlfeszültség.



1. ábra Túlfeszültség keletkezése és terjedése vezetési, induktív és kapacitív csatolással

A vezetés útján létrejövő túlfeszültség nagyságrendi szemléltetésére induljunk ki az MSZ IEC 1312-1:97 szabvány 1. táblázatának III-IV védelmi szintre ajánlott, első villám kisülés 100 kA-es áramcsúcs értékéből és feltételezzük, hogy a földelési ellenállás $R_F = 2 \Omega$. A számítás végeredményeként $u = 100 \cdot 2 = 200$ kV feszültségemelkedés adódik, amitől a szigetelések nyilvánvalóan megsérülnek.

Induktív csatolás.

Az 1. ábrán látható módon a villámáram levezetése során a levezető körül mágneses erőter alakul ki. Ez a B indukciójú mágneses tér kölcsönhatásba kerül (kapcsolódik) a villamos áramvezetők alkotta hurokkal vagy hurkokkal. Ha egy szigeteléssel megszakított, a oldalhosszúságú négyzetes hurokból indulunk ki, amely a levezetőtől d távolságra van, akkor

$$u = M \cdot di/dt$$

indukált feszültség keletkezik, ahol M a kölcsönös induktivitás (függvénye a -nak és d -nek, lásd a 3. táblázatot), di/dt pedig a villámáram legnagyobb meredeksége. Az előbb említett MSZ IEC 1312-1 szabvány 2. táblázata szerint ismételt kisülés esetén, védelmi szinttől függően 200, 150 és 100 kA/ μ s átlagos áram meredekség vehető számításba. Példaképpen a III-IV védelmi szintre előírt 100 kA/ μ s meredekséget alapul véve, egy 10 m oldalhosszúságú négyzetes hurokban, amely a levezetőtől 0,5 m-re van, azaz a 3. táblázat alapján $M = 6,2 \mu\text{H}$ kölcsönös indukcióval vehető figyelembe $u = 6,2 \cdot 100 = 620 \text{ kV}$ feszültség indukálódik. Több szintes épület esetében a villamos tápellátó hálózat, az adatátviteli vagy antenna hálózat összezsátolt nyomvonalai gyakran alkotnak ilyen hurkot vagy hurkokat, amelyek a külső falfelületen lefutó villámáram levezető mellett helyezkednek el 0,5 ... 1,0 m távolságban.

Hasonló módon ki lehet számítani egy túlfeszültségre érzékeny elektronikus berendezés 0,5 m x 0,5 m méretű hurkában kialakuló indukált feszültséget, amely viszonylag messze, pl. 10 m-re van a villám levezetőtől. A 3. táblázat alapján $M = 0,005 \mu\text{H}$ és $di/dt = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$ értékkel számolva $u = 0,005 \cdot 100 = 0,5 \text{ kV} = 500 \text{ V}$ indukált feszültség keletkezik, amely valóban veszélyt jelen az érzékeny és sérülékeny elektronikus alkatrészekre.

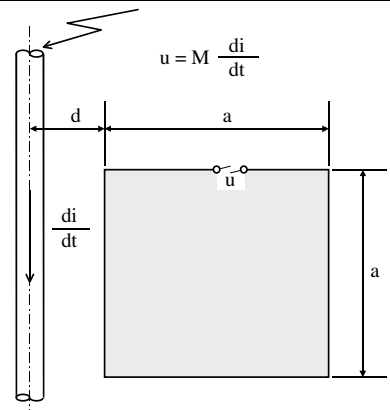
Ha a hurok szigetelése átüt, akkor a hurokban indukált áram indul meg, amelyet a 4. táblázatban közölt csatolási tényező segítségével lehet kiszámítani, a következők szerint:

$$i_h = M/L \cdot i_v,$$

ahol i_v a levezetett villámáram csúcsértéke. Az előző két hurok elrendezési példából kiindulva, amikor a hurok szigetelése átüt, a III-IV védelmi szinthez tartozó 100 kA-es csúcsárammal számolva az indukált hurokáramok: 6,0 kA és 0,17 kA = 170 A értékűek lesznek. Ezen áramok zárlati hőhatását a kicsi keresztmetszetű áramvezetők vagy az érzékeny elektronikus alkatrészek meghibásodás veszélye nélkül már nem képesek elviselni.

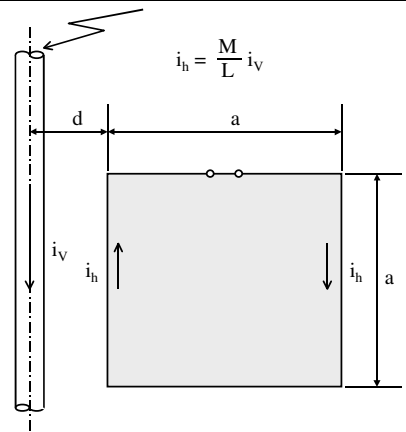
3. táblázat: Az M kölcsönös induktivitás értékei a villámáram levezetőtől mért d távolság függvényében, a oldalhosszúságú négyzetes hurokban [2, 8]

Kölcsönös induktivitás, M (μH)		Hurok távolsága a levezetőtől, d (m)			
		0,5	1,0	10,0	20,0
négyzetes hurok oldalhossza, a (m)	0,5	0,07	0,002	0,005	0,0025
	1,0	0,23	0,14	0,02	0,01
	5,0	2,4	1,8	0,4	0,23
	10,0	6,2	5,0	2,4	0,8



4. táblázat: Az M/L kölcsönös induktivitás és önindukciós tényező hányadosa a villámáram levezetőtől mért d távolság függvényében, a oldalhosszúságú négyzetes hurokban, $A = 1 \text{ mm}^2$ keresztmetszetű hurok vezetővel [2, 8]

Kölcsönös induktivitás és önindukciós tényező hányadosa, M/L		Hurok távolsága a levezetőtől, d (m)			
		0,5	1,0	10,0	20,0
négyzetes hurok oldalhossza, a (m)	0,5	0,023	0,004	0,0017	0,0008
	1,0	0,035	0,022	0,003	0,0016
	5,0	0,062	0,047	0,01	0,006
	10,0	0,077	0,06	0,017	0,01

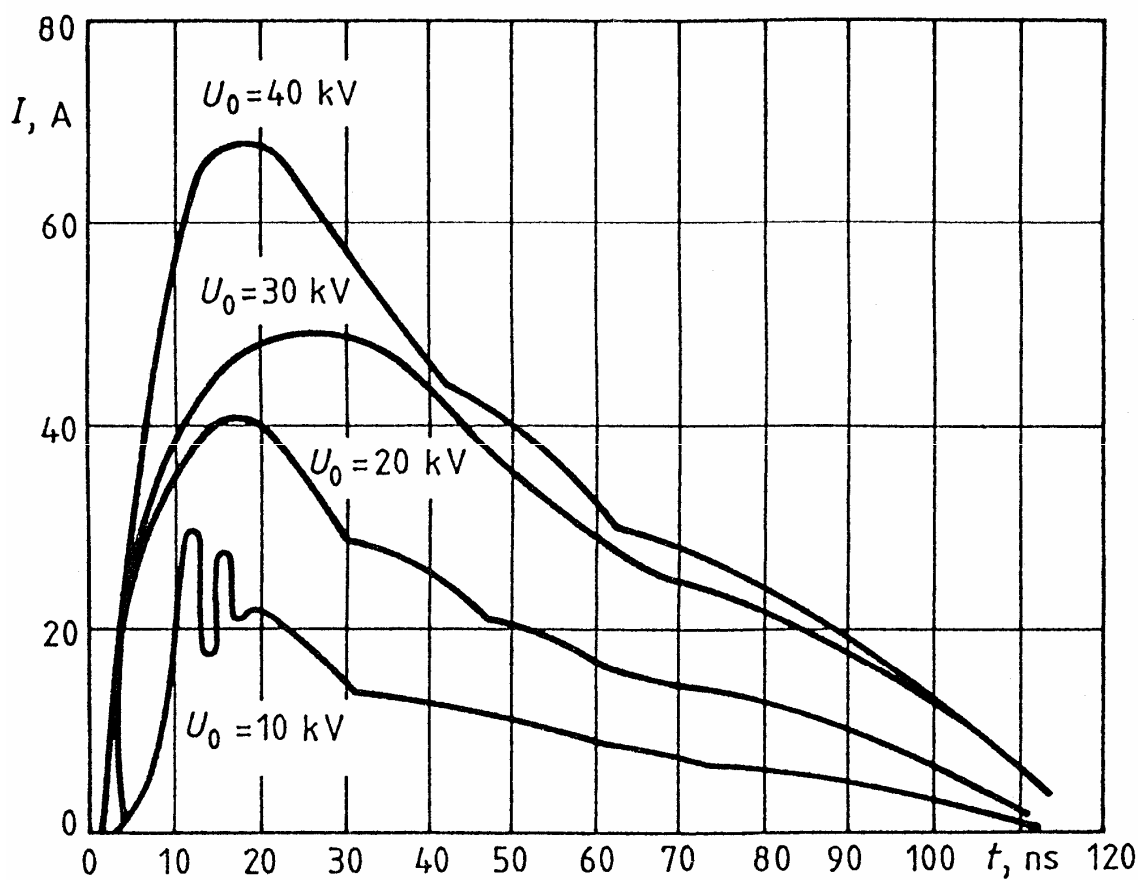


Kapacitív csatolás.

A villámcsatorna felfogó közeli szakaszának u_v feszültsége 1000 kV nagyságrendű lehet. Ez a feszültség jut a sorba kapcsolt villámcsatorna és vezeték közötti C_v , valamint a vezeték és a föld közötti C_F kapacitásokra (1. ábra). A C_v kapacitás töltőárama, amely átütéskor megjelenik a vezeték-hálózaton: $i_C = C_v \cdot du_v/dt$. A vezetékhez tartozó készülékeken megjelenő feszültség pedig: $u = u_v \cdot C_v/C_F$. Ha figyelembe vesszük, hogy a C_F földkapacitás sokkal nagyobb, mint a C_v kapacitás, akkor megállapíthatjuk: az u_v villám feszültség töredéke veszi csak igénybe a szigetelést, így az előbb megismert csatolásokhoz képest kisebb veszélyt jelent a villamos elosztóhálózat számára. Az érzékeny elektronikus elemek azonban, az ilyen jellegű csatolás hatására bekövetkező átütés miatt szintén tönkre mehetnek. A védelmek gyakorlati méretezés során ezzel a hatással - ennek ellenére - ritkán számolunk ma még.

1.4. Elektrosztatikus feltöltődésből eredő túlfeszültségek

Az elektrosztatikus feltöltődés vezető- és szigetelőanyagok érintkezése, egymáson való elmozdulása, majd szétválása során alakul ki. Ez a töltés szigetelt vezető testekben felhalmozódva olyan kisülést hozhat létre, ami egyrészt tüzet és robbanást okozhat, másrészt a villamos berendezésekben átütést, sérülést és hibás működést eredményezhet. Az elektrosztatikus kisülések (ESD) során a feszültség meredeksége 2 kV/ns körül van, a feszültség maximuma a 20 kV-ot is meghaladhatja, a kisülés árama pedig elérheti a 40 ... 70 A-t is. A 2. ábra az elektrosztatikus kisülések különböző hullámformáit ábrázolja az idő függvényében.



2. ábra elektrosztatikus kisülések $I = f(t)$ hullámalakjai [1]

Az elektrosztatikus feltöltődés néhány jellemző feltöltődési feszültsége a szokásos tevékenységek során [1]:

- | | |
|---|--------|
| • szőnyegen való járás közben max. | 35 kV, |
| • PVC padlón való járás közben max. | 12 kV, |
| • ülés közben max. | 6 kV, |
| • habanyaggal párnázott széken max. | 18 kV, |
| • műanyag fóliával végzett munka során max. | 7 kV. |

Az elektronikus alkatrészek érzékenységét az elektrosztatikus feltöltődéssel szemben a következő néhány jellegzetes példa mutatja, amely a különféle félvezetőket károsító túlfeszültség (ESD érzékenység) értékhatárait adja meg [1]:

• VMOS alkatrész	30 ... 1800 V,
• MOSFET alkatrész	100 ... 200 V,
• Ga-As-FET	100 ... 300 V,
• EPROM alkatrész	100 V,
• CMOS alkatrészek	250 ... 3000 V,
• Rétegellenállások (vékony és vastagréteg)	300 ... 3000 V,
• Bipoláris taranzisztorok	380 ... 7000 V,
• Schottky TTL	1000 ... 2500 V.

Az elektronikus alkatrészek egyre kisebbek, gyorsabb működésűek és nagyobb integráltsági fokúak, így az elektrosztatikus feltöltődéssel és kisüléssel szembeni érzékenységük is tovább növekszik. A korszerű félvezetők határrétegeinek átütésére 100 V-nál kisebb feszültség és néhány μJ energia is elég. Az elektrosztatikus veszélyek ellen természetesen mindenkor lehet védekezni. Például egy védett MOS munkahelyen minden vezető anyagot - az embert is beleértve - le kell földelni. A szigetelőanyagokon felhalmozódó töltéseket a levegő ionizációjával kell semlegesíteni. Nagyon fontos szabály, hogy a szigetelőket nem szabad leföldelni.

Néhány szóban meg kell még említeni az elektrosztatikus kisülés gyújtóképességét, amely a kisülés energiájától függ [5, 7]. Fokozott szikraérzékenységű anyagot (pl. hidrogén, metán acetilén) már 0,1 mJ-nál kisebb energiájú szikra képes begyújtani, felrobbantani. Ekkora energiájú kisülés egy feltöltött szigetelő felület és a hozzá közeledő földelt fém tárgy között is keletkezhet. Ezért ahol ilyen anyagokkal dolgoznak sem feltöltött műanyag, sem szigetelt fémtárgy nem lehet. A földtől elszigetelt, műanyag talpon álló emberi testen 10 ... 15 mJ energiájú feltöltődés keletkezik, amely földelt tárgy érintésekor egyszerre sül ki. Ez az energia a szerves folyadékok (benzin, alkohol) gőzének és a lebegő szerves pornak (liszt) a begyújtására elegendő. Nagyobb szigetelt fémtárgyakon 20 mJ-nál nagyobb energia halmozódhat fel, aminek a kisülése a kis szikraérzékenységű lebegő porokat (fémek pora) is képes begyújtani, ezért ezeket a feltölthető fémtárgyakat földelni kell.

Összefoglalva elmondható, hogy a villamos hálózatokba beépített érzékeny elemek védelméről árnyékolással, illetve az áramkörbe beiktatott túlfeszültség-korlátozókkal lehet gondoskodni. Ezekről a korszerű túlfeszültség-korlátozóktól elvárható ma már a kis szikraérzékenységű, fokozottan tűz és robbanásveszélyes anyagok védelme és az ilyen veszélyességi fokozatú közegben való alkalmazhatóság.

2. Túlfeszültség védelmi készülékek és eszközök

A villamos kapcsolókészülékek nagy többségét alkotó szűkebb értelemben vett kapcsoló eszközök mellett megkülönböztetjük a túlfeszültség védelmi vagy túlfeszültség-korlátozó készülékeket. Ezek

elsősorban feladatukban térnek el a többi készülékektől. feladatuk, hogy rendellenesen nagy feszültségek - túlfeszültségek fellépésekor alkalmasan kialakított szerkezetükkel működésbe lépjenek, és a túlfeszültségeket a berendezés többi része szigetelésének védelme érdekében korlátozzák. A hálózaton fellépő feszültség igénybevételek és a hálózat, illetve egyes elemeinek szigetelés kiválasztása, méretezése és vizsgálata a szigeteléskoordinálás elvein nyugszanak. A szigeteléskoordinálás nyújt alapot ahhoz, hogy a készülékek számára - a névleges feszültségből kiindulóan - a hálózatban betöltött szerepüknek és beépítési helyüknek megfelelően előírjuk a szükséges próbafeszültségeket (ipari frekvenciájú próbafeszültség, lököpróbfeszültség, kapcsolási hullámú próbafeszültség). A továbbiakban az erősáramú elektrotechnikában használatos túlfeszültség védelmi eszközökkel foglalkozunk, röviden összefoglalva a különböző fajta készülékek főbb jellemzőit.

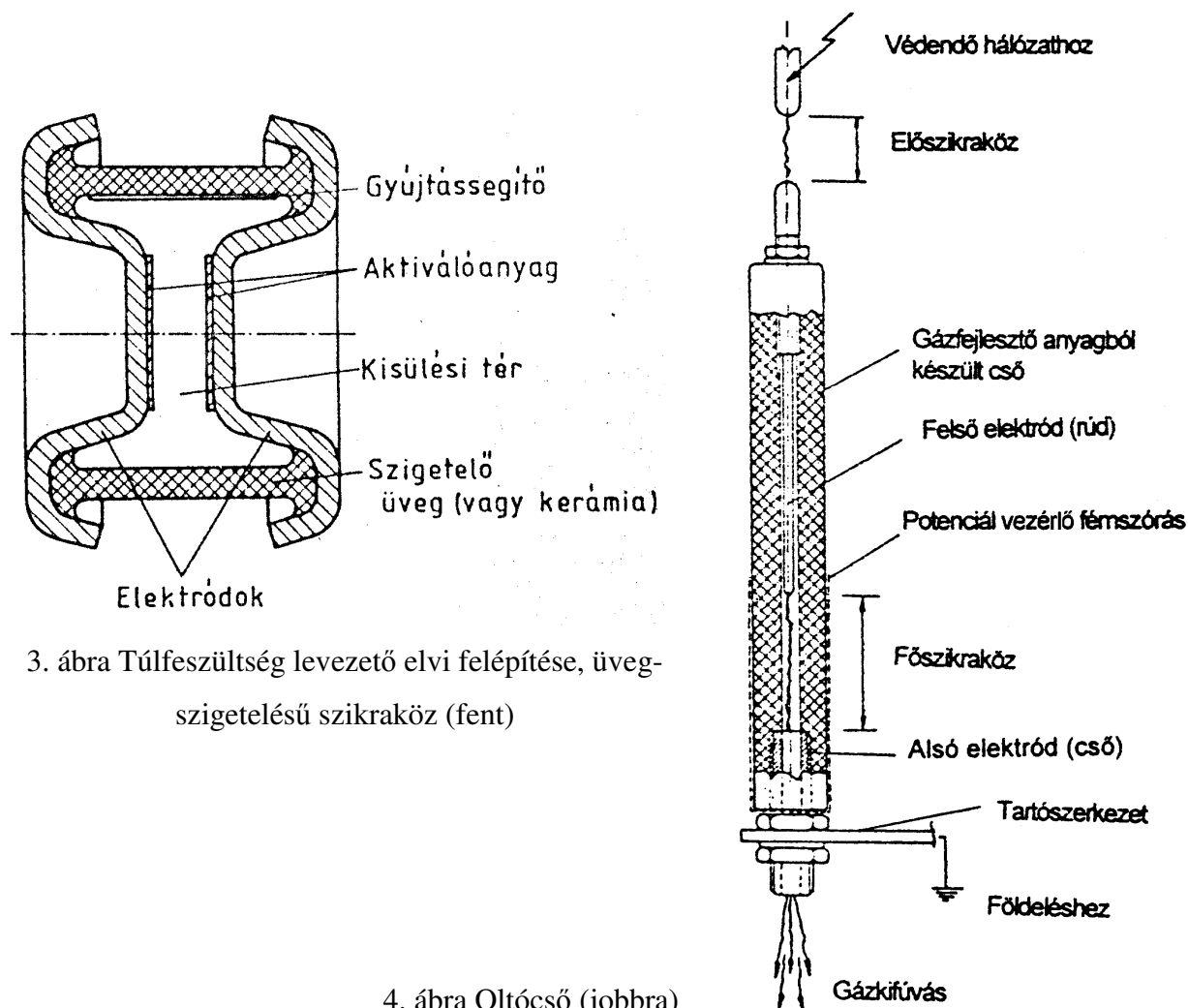
2.1. Szikraköz

A szikraköz a legegyszerűbb túlfeszültség védelmi eszköz. A hálózat és a föld közé kapcsolva léghöz úgy állítják be, hogy csak a hálózat névleges feszültségét jóval meghaladó túlfeszültség hatására üssön át. A szikraköz átütésével megszűnik a túlfeszültség (a föld felé levezetődik a túlfeszültséget létrehozó energia), de ezt követően a szikraközön földzárlati áram folyik tovább, amelyet a hálózat feszültségforrása táplál. Ívöltő szerkezet hiányában ez az áram csak akkor szűnik meg magától, ha nagysága legfeljebb néhány A értékű (pl. kompenzált hálózat egyfázisú földzárlati árama). Ilyen kicsi értékű áram előfordulási valószínűsége erősen korlátozott, mivel a középfeszültségű hálózatokban (ahol a földzárlati áramot kompenzációval csökkentik) általában több fázisban egyidejűleg lép fel túlfeszültség, és ütnek át a védelműl szolgáló szikraközök. A szikraköz ugyan hatásosan megszünteti a túlfeszültséget, de az átütésnél fellépő nagy meredekségű feszültségváltozás veszélyezteteti a tekercselések (transzformátor, fojtótekerccs, mérőváltók) szigetelését, mivel egyenlőtlen feszültségeloszlást okoz rajtuk, ezen kívül a kialakuló zárlati áram termikus és dinamikus hatása sem kívánatos. A megszólalási feszültség nagy szórása miatt közép és nagyfeszültségen tartalék védelemként vagy mint koordináló szikraközként alkalmazzák.

2.2. Nemesgáztöltésű túlfeszültség levezető

A nemesgáz (pl. argon, neon) töltésű túlfeszültség levezetők, valójában szikraközök a gázkisülés elvét használják ki. A gyújtó feszültség értékének túllépésekor (ez típustól függően 70 ... 15 000 V) a hermetikusan lezárt kisülési térben ellenőrzött ív alakul ki néhány ns-on belül, amely a folyamatot beindító túlfeszültséget rövidrezárja. A kicsi ívfeszültség kivételesen nagy levezető képességet biztosít (max. 60 kA). A kisülés után a túlfeszültség levezető kiolt és ellenállása a zavar nélküli üzemiállapotra jellemző nagy értéket ($\geq 10 \text{ G}\Omega$) veszi fel.

A túlfeszültség levezető illetve szikraköz elvi felépítését a 3. ábra mutatja. A hermetikusan zárt, nemesgázzal (argon, neon) töltött kisülési teret egy üreges henger alakú szigetelő alkotja, amelynek két végén, egymással szemben helyezkednek el az elektródok. Az 1 mm-nél kisebb távolságra elhelyezett elektród felületeket emissziót elősegítő bevonattal látják el. Ez az aktiváló anyag lényegesen csökkenti az elektronok kilépési munkáját. A gyakorlatban döntő jelentőségű kérdés, hogy a túlfeszültség levezetővel gyorsan növekvő feszültség (kb. $1 \text{ V}/\mu\text{s}$) esetén milyen védelmi szint érhető el. A túlfeszültség hatásos korlátozása miatt gyors megszólalás az igény, ezért a hengeres szigetelő belső felületére gyújtássegítőt hordanak fel.



3. ábra Túlfeszültség levezető elvi felépítése, üveg-szigetelésű szikraköz (fent)

4. ábra Oltócső (jobbra)

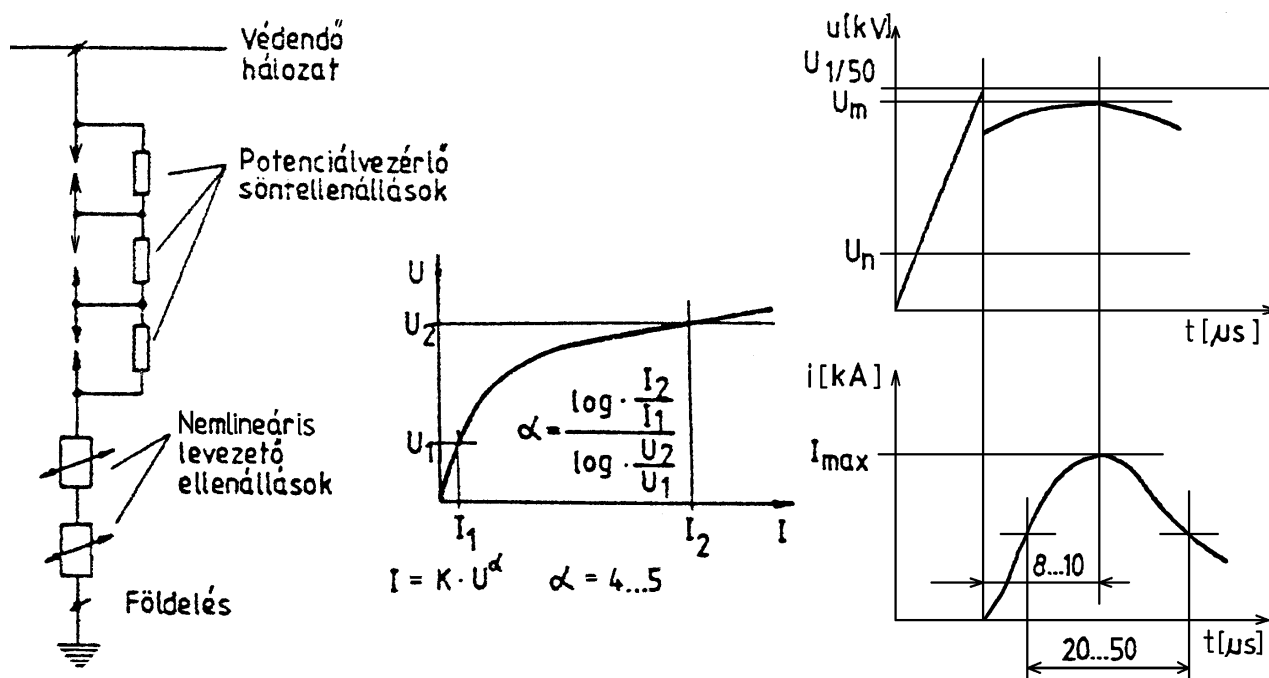
2.3. Oltócső

Lényegét tekintve olyan speciális anyagból készült cső, amelynek falából az ív hőhatása semleges gázokat fejleszt. A cső egyik végén rúd, a másik végén cső alakú elektród található. A függőlegesen álló oltócső felső elektródja elő szikraközön keresztül csatlakozik a védendő, fázis feszültségen lévő vezetékhez. Az alsó leföldelt tartó elektródja belenyúlik a szigetelőcső belsejébe (4. ábra). A túlfeszültség hatására az elő szikraköz és az oltócső belső szikraköze átüt, levezetve a túlfeszültség-hullám töltését. A hálózati feszültség táplálta utánfolyó áram által fenntartott ív hőhatására keletkező

gázok lefelé kifújva kedvező esetben eloltják az ívet. Az oltócsövek megszólalási feszültség szórása a szikraközökéhez hasonlóan eléggé nagy, viszont oltóképessége jobb. Ezért elsősorban a légköri túlfeszültségek elleni védelemre szolgálnak, és hazánkban általában a közepfeszültségű (6 ... 35 kV), ritkábban a 120 kV-os hálózaton alkalmazzák.

2.4. Túlfeszültség levezető

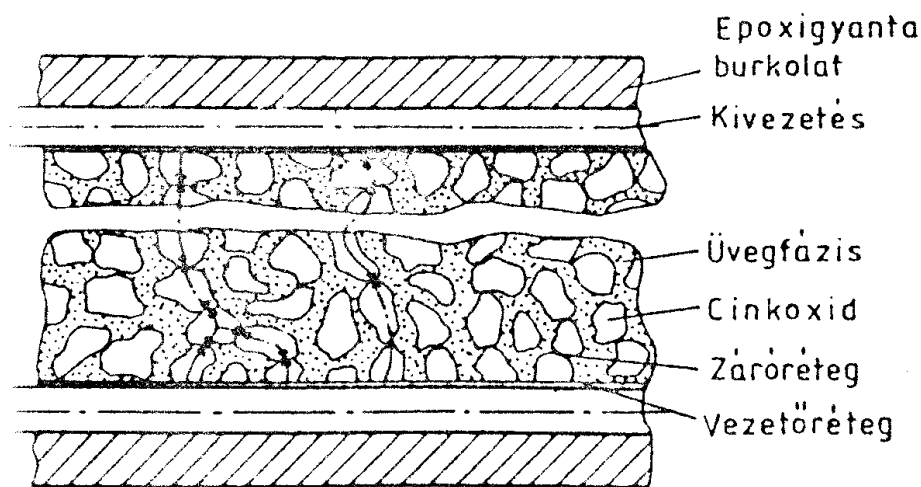
Sorba kapcsolt szikraközöket, feszültségfüggő (szilíciumkarbid = SiC) nemlineáris félvezető ellenállásokat, esetleg ívfúvó tekercset tartalmaz (5. ábra). A működése során, amikor a feszültség hullám eléri a levezető megszólalási feszültségét (pl. $U_{1/50}$ amplitudó az ábrán), a szikraközök átütnek és a levezetőn áram folyik. Ez az áram feszültségesést hoz létre a levezető ellenállásain, így a feszültség nem nullára, hanem egy előre meghatározott értékre csökken, amelyet a levezető maradék feszültségének nevezünk (U_m). A levezető áram maximumát (I_{max}) az a körülmény korlátozza, hogy a levezetőn eső maradék feszültség kisebb legyen a szikraköz megszólalási feszültségénél, ellenkező esetben a levezető nem képes már a túlfeszültséget a megszólalási szintre korlátozni. A levezető működése után az üzemi feszültség igyekszik az ívet fenntartani. Az üzemi 50 Hz-es feszültségen azonban a nemlineáris elemek ellenállása olyan nagy, hogy a levezetőn átfolyó utánfolyó áram néhány A-ra csökken. Ezt a kicsi áramot a sorba kapcsolt szikraközök az első áram nullaátmenetnél kioltják. A levezető megszólalási feszültségét úgy kell megválasztani, hogy a kapcsolási eredetű túlfeszültségek ne szólaltassák meg. Gyakorlati alkalmazási területe a közép és nagyfeszültségű feszültség tartományban (6 ... 220 kV).



5. ábra Túlfeszültség levezető felépítése, nemlineáris ellenállása, működése [4]

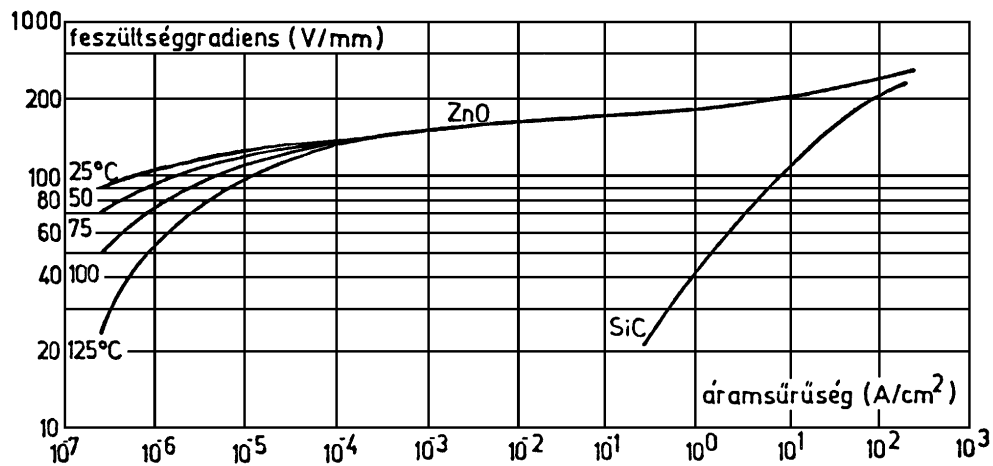
2.5. Fémoxid túlfeszültség-korlátozók

A szilíciumkarbid (SiC) ellenállású túlfeszültség levezet működését megismerve belátható, hogy ott a szikraközökre csak azért van szükség, mert az 50 Hz-es üzemi feszültségnél adódó maradékáram olyan nagy, hogy ezt a terhelést az ellenállás termikusan nem képes elviselni. A fémoxid túlfeszültség korlátozók cinkoxidos (ZnO) ellenállásokkal készülnek. Példaképpen ha megnézzük, a cinkoxid varisztor kerámia kompozíció, amely 90 %-ában ZnO, többi részében Bi_2O_3 és CoO (bizmut- és kobaltoxid) tartalmú. Ezen anyagok finom porszerű keverékéből sajtolással hengeres formákat állítanak elő, amely nagy hőmérsékleten való szintereléssel mechanikailag szilárd testté áll össze, amelyben a kb. 10 μm átmérőjű ZnO magokat 0,005 ... 0,01 μm -es vékony Bi_2O_3 réteg választja el egymástól (6. ábra).



6. ábra Fémoxid túlfeszültség korlátozó (varisztor) szerkezeti felépítése [1]

Egyetlen bizmutoxid réteggel borított cinkoxid szemcsén 1,5 V feszültség esik 1 mA/cm^2 áramsűrűség esetén. Az így készített nemlineáris ellenállás 1 mm vastagságú rétegére 120 ... 150 V üzemi feszültség adható, amelynek hatására olyan áramérték folyik, ami nem okoz káros mértékű melegedést. Megfigyelhető az is, hogy amíg az áramerősség 1 mA/cm^2 -ről 100 A/cm^2 -re növekszik, vagyis 10^5 -szeres értékre, addig az ellenálláson eső feszültség mindössze kb. 60 %-kal nő. Ezeknek az elemeknek a nemlinearitása sokkal nagyobb, mint az előzőekben megismert szilíciumkarbidos levezetőké (7. ábra). Mivel egy cinkoxidos korlátozónál el lehet érni, hogy a névleges feszültségre kapcsolva kb. 0,1 ... 1 mA-es áramot vegyen fel, olyan levezetőt készíthetünk, amelyben nincs szikraköz, csak ellenállás. Fel kell hívni a figyelmet viszont arra, hogy a kis áramok tartományában a hőmérséklet növekedésével a nemlineáris jellegéből veszít az ellenállás, ezáltal „hőmegfutásra” hajlamos. A gyártók ebből az okból kifolyólag referencia feszültség-áram(sűrűség) értékpárt (U_{ref} , I_{ref} , j_{ref}) adnak meg.

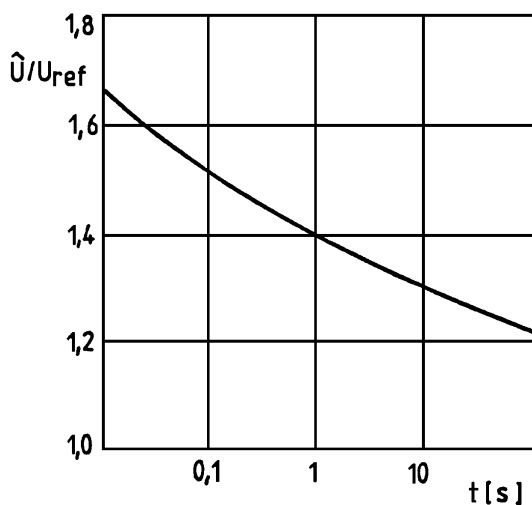


7. ábra Nemlineáris ellenállások karakterisztikái [4]

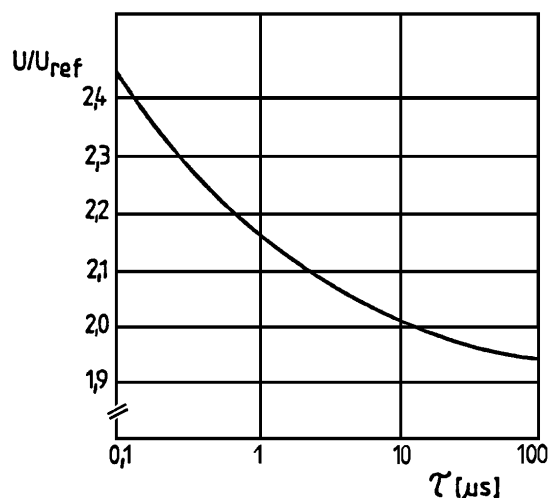
Az ilyen ellenállásból készült levezető hosszúsági méretét az üzemi feszültség, keresztmetszetét a légköri , vagy belső túlfeszültség során levezetendő energia szabja meg. A feszültség 5 %-os biztonsági ráhagyással:

$$U_{\text{ref}} = 1,05 \cdot \sqrt{2/\sqrt{3}} \cdot U_n,$$

ahol U_n az előforduló legnagyobb hálózati feszültség vonali értéke (U_{neff}). Számolni kell azonban a földzárlat következtében az ép fázisokban fellépő feszültség emelkedésre (lásd a korábbi fejezetet) is, amely hatásosan földelt hálózatban az üzeminek kb. 1,4-szeres értéke, ami $1,32 \cdot U_{\text{ref}}$ értéknek felel meg. Ezt az igénybevételt a zárlat kb. 1 másodperces időtartamára az ellenállásnak el kell viselnie. Mint a 8. ábrából látható, ezt az igénybevételt a cinkoxid ellenállás kiállja. A túlfeszültségnél levezethető áram függ az igénybevétel időtartamától. Az ellenállás hosszúságát az üzemi feszültség alapján meghatározva ($U_{\text{ref}} \approx 150 \text{ V}$, 1mm vastagságú rétegre), az átmérő annak alapján adódik, hogy egy túlfeszültség levezetés során legfeljebb $0,13 \text{ kJ/cm}^3$ fajlagos energiát képes a cinkoxid fölvenni annak veszélye nélkül, hogy termikus okból kifolyólag instabillá válna.



8. ábra Fémoxid korlátozó feszültségnövekedés megengedhető időtartama [4]



9. ábra Fémoxid korlátozó maradékfeszültség növekedése 10 kA-es áramimpulzusnál [4]

Abban az esetben, ha az áramimpulzus τ felfutási ideje (az amplitúdó 10 és 90 %-a között) 100 μ s-nál gyorsabb, akkor valamelyest megnövekszik az ellenálláson megnövekvő feszültség az ugyanazon amplitúdójú, de hosszú homlokidejű áramimpulzusnál mérhető feszültségeséshez képest. A 9. ábrán pl. 10 kA csúcsértékű áramimpulzusok esetében mért jelleggörbe látható.

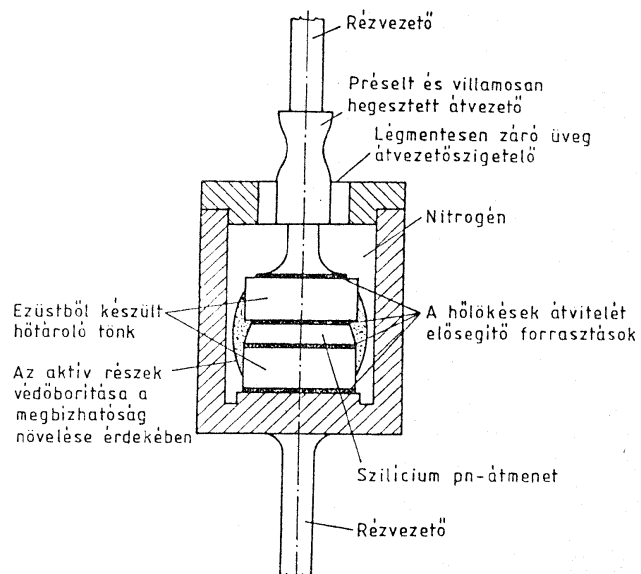
A szikraköz nélküli cinkoxidos túlfeszültség korlátozó előnyei:

- a szikraköz és a potenciálvezérlés hiányában egyszerűbb, olcsóbb és megbízhatóbb működésű, mint a szikraközös túlfeszültség levezető;
- a védelmi szint az ellenállásoktól függ és nem a szikraköztől, amelynek megszólalási értéke gyakran jelentős szórást mutat;
- a túlfeszültség korlátozó szennyezettsége nem okoz működési zavart, amely a szikraközös levezetőnél előfordulhat.

Alkalmazási hátránya abban jelentkezik, hogy energia elnyelő képessége véges, „hőmegfutásra” hajlamos és gyártása ennek megfelelően fejlett technológiát igényel.

2.6. Szuppresszor dióda mint finom fokozatú túlfeszültség korlátozó

Az érzékeny félvezető elemek védelme során a túlfeszültségeket gyakran néhány V-ra kell korlátozni. Az ilyen finomvédelem céljára elsősorban Z- vagy kapcsolódiódákat vagy más néven szuppresszor diódákat alkalmaznak, mivel ezekkel az elemekkel viszonylag pontosan be lehet állítani a kicsi határfeszültségeket. Előszeretettel alkalmazzák a nagy hőkapacitású (heat sinks) Z-diódákat (10. ábra).



10. ábra Nagy hőtároló kapacitású védődióda (transient suppressor) keresztmetszete [1]

Nagyfrekvenciás alkalmazások esetén a Z-dióda kapacitását műkapcsolásokkal kell csökkenteni. A Z-diódák kapacitásának csökkentése érdekében kapcsolódiódákkal kötik sorba őket. Az ilyen soros kapcsolás csak egyféle polaritású feszültséget korlátoz. Tetszőleges polaritású túlfeszültség korlátozására két ilyen eszköz ellen-párhuzamos kapcsolása alkalmas. A védőkapcsolás kapacitásának további csökkentését a dióda záróirányú előfeszítésével lehet elérni.

Az érzékeny finomvédelmekben gondoskodni kell arról, hogy túlfeszültség korlátozás esetén a terhelő áramok a megengedett érték alatt maradjanak. Ezt a durva- és finom védelem között elhelyezett korlátozó elemekkel lehet elérni. Ilyen célból ellenállás lenne a legkedvezőbb, ez azonban a

hasznos jelet is elnyomja. Frekvenciafüggő elemeket alkalmazva (pl. fojtó, kondenzátor, alul- és felül áteresztő szűrő) olyan beállítást készítenek, hogy a túlfeszültség impulzust erősen, míg a hasznos jelet alig nyomják el. Egyedüli védelmi alkalmazása nem ajánlott, többlépcsős védelmi rendszer utolsó elemeként viszont ma már gyakran alkalmazzák.

2.7. R-C csillapító tagos túlfeszültség korlátozók

R-C csillapító tagok alkalmazásával a kapcsolási és légköri eredetű túlfeszültségek egyaránt korlátozhatók. Kivételes esetektől eltekintve a kiefeszültségű hálózatokban alkalmazzák, elsősorban félvezetők (diódák, tirisztorok, szimisztorok stb.) záró irányú igénybevételeinek csökkentésére. Előnyük az előzőekben megismert túlfeszültség védelmi eszközökkel szemben, hogy ezekkel a túlfeszültség elvben tetszőlegesen kis értékre korlátozható.

Az R-C tag hatása abban nyilvánul meg, hogy a hálózati elemeinek L szórt induktivitásával együtt csillapított rezgőkört alkot. A rezgőkört úgy méretezik, hogy a sorba kötött R ellenálláson és C kondenzátoron fellépő legnagyobb feszültség U_m csúcsértéke a hálózati fázis feszültség $U_{nm} = \sqrt{2} \cdot U_n$ (háromfázisú hálózatban U_n vonali érték) csúcsértékének legfeljebb (1,5 ... 2)-szerese legyen.

3. Túlfeszültség védelem az épületek villamos energia elosztó rendszerében

A légköri eredetű, közvetlen villámcsapásból származó és az elektrosztatikus feltöltődés okozta szikrakisülések túlfeszültség védelmi problémáiról beszéltünk már. A következő pontokban a másodlagos villámvédelmi és a belső eredetű túlfeszültségek elleni védekezést (különválasztva a közép és kiefeszültségű hálózatrészekben alkalmazni kívánt megoldásokat) kívánjuk bemutatni, néhány példával illetve javaslattal kiegészítve.

3.1. Túlfeszültség védelem a közepfeszültségű, 10 kV-os kábelhálózaton

A villamos energia elosztórendszer közepfeszültségű, 10 kV-os kábelhálózati részén az ELMŰ Rt. szakembereinek korábbi véleménye szerint légköri eredetű túlfeszültségre számítani nem kellett. Időközben az álláspontjuk - a hálózati hibák és a pontosabb hálózat analízis következtében - megváltozott, így a hatásos túlfeszültség-korlátozó rendszer kiépítése szerepel a programjukban.

Belső eredetű és ezen belül elsősorban kapcsolási eredetű túlfeszültségek fellépésével azonban már korábban is számoltak. A 120/10 kV-os állomásban elhelyezett régi kisolajterű EIB típusú vagy az újabb SF₆-os illetve vákuum megszakítók közül elsősorban az EIB, majd a vákuum és végül az SF₆-os megszakító kikapcsolását kíséri a legnagyobb túlfeszültség. Az SF₆-os megszakítók ritkán okoznak túlfeszültséget, ugyanis kifejezetten lágy ívoltási tulajdonsággal rendelkeznek. A közepfeszültségű megszakítók működése során keletkező túlfeszültségek elleni védekezés úgy képzelhető el, hogy a 10/0,4 kV-os transzformátor primer kapcsainál a három fázisvezető és a föld közé, de

még az is elképzelhető, hogy a fázisok közé fémoxid (ZnO) túlfeszültség korlátozókat épít be az áramszolgáltató.

Üzemvitel ebben az esetben: a nemlineáris levezetési ellenállású ZnO túlfeszültség-korlátozókat állandóan az üzemi frekvenciájú feszültség veszi igénybe. Erre szuperponálódnak a kapcsolási eredetű túlfeszültségek, valamint az időszakos túlfeszültség igénybevételek. A korlátozóknak a teljes élettartamuk során el kell viselniük ezt a lüktető igénybevételt, erre kell méretezni a beépített elemeket, továbbá termikusan stabilan kell az adott hálózati ponton üzemelniük.

Figyelembe véve, hogy a termikus stabilitása ezeknek a túlfeszültség-korlátozó elemeknek ma még 100 %-os biztonsággal nem szavatolhatók (7. ábra alapján a melegedés következtében megváltozik a védelmi karakterisztikájuk, azaz hajlamosak a "hőmegfutásra"), az áramszolgáltató a saját hálózatrészén a beépítést csak lassú ütemben hajtja végre. Ez azt jelenti, hogy az alállomási túlfeszültség-védelem jelentős százalékban ma már megoldott, a helyi transzformátor kamrákba való beépítés viszont még csak kis százalékban valósult meg (nehezen oldható meg az üzemzavar elhárítása).

3.2. Túlfeszültség védelem a kisfeszültségű, 0,4 kV-os elosztóhálózaton

A kisfeszültségű elosztóhálózaton kialakuló túlfeszültségek elleni védekezést több tényező teszi szükségessé:

- a napi üzemeltetés folyamatossága, a napi üzemvitel fokozott biztonsági igénye,
- az épületen elhelyezett primer villámvédelmi berendezés, amely a töltés kiegyenlítődés során a villámáram levezetésekor az ohmos, az induktív és a kapacitív csatolásokon keresztül elősegíti a feszültség behatolását az épület villamos hálózatába,
- az épülettömbben üzemelő korszerű, így a feszültség igénybevételre fokozottabban érzékeny számítástechnikai és híradástechnikai eszközök illetve berendezések veszélyeztetése miatt,
- a közép- és nagyfeszültségű hálózaton az áramszolgáltató még nem helyezett el minden helyen túlfeszültség korlátozókat.

A kisfeszültségű hálózaton a villámcsapás másodlagos hatásának illetve a belső eredetű túlfeszültségnek a csökkentésére az alábbi megoldások együttes alkalmazása javasolható:

- Egyenpotenciálra hozás, EPH hálózat kiépítése:

Ez tulajdonképpen nem más, mint a passzív túlfeszültség védelem alkalmazása, amelynek a legfontosabb feladata a veszélyes mértékű potenciál különbségek kialakulásának megakadályozása. Ezt a célt a különböző rendeltetésű (villámvédelmi, PEN, EPH) földelő szondák, EPH gerincvezetők és sínek, árnyékolások és nagyobb kiterjedésű nem villamos vezetői célt szolgáló fémszerkezetek tervszerű összekötésével illetve összecsatolásával lehet elérni. Ehhez külön túlfeszültség

védelmi tervet célszerű készíteni, amelynek tartalmaznia kell a műszaki megoldásokat és a védelem kiépítésének előírásait.

- Erős- és gyengeáramú hálózat vagy hálózatrészek célszerű nyomvonal vezetése:

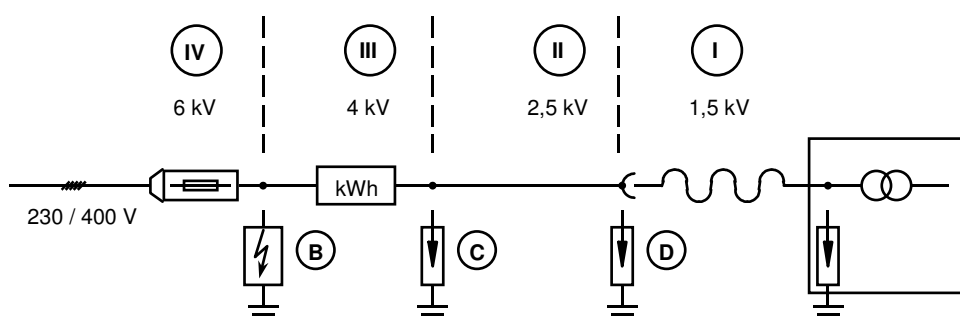
A védekezésnek ez a módja is tulajdonképpen passzív túlfeszültség védelmi lehetőségként fogható fel. Az egyenpotenciálra hozást az induktív csatolások, illetve a magas szintű védelmi követelmények miatt elméletileg sem lehet megvalósítani. Célként csak azt tűzhetjük ki, hogy a vezetékekben indukálódó feszültségeket számottevően csökkentsük azzal a kézenfekvő módszerrel, hogy törekszünk az egyes készülékekhez menő vezetékek illetve kábelek egymáshoz közeli vezetésére.

- Többlépcsős túlfeszültség védelem:

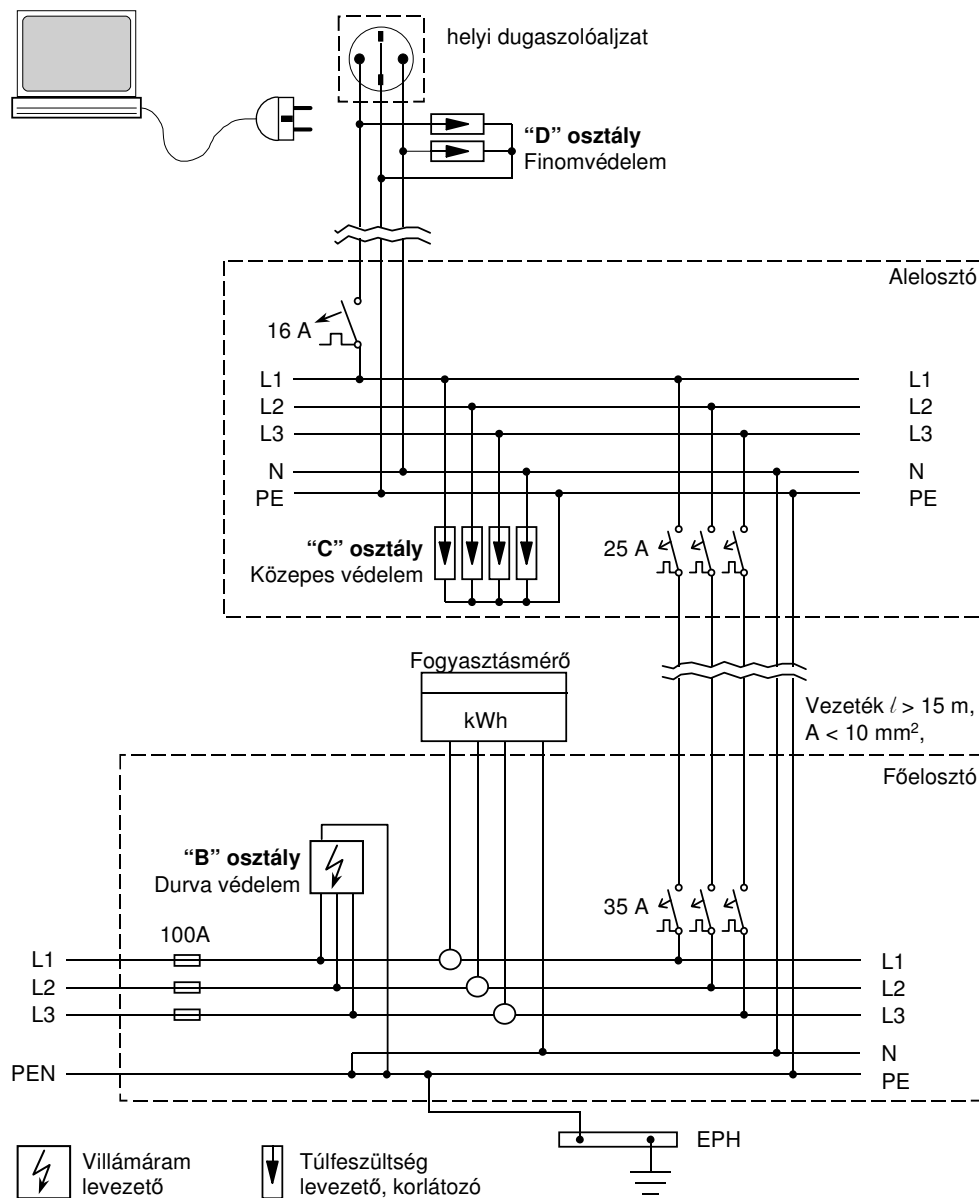
Az előbb megismert passzív túlfeszültség védelmi módszerek a leggondosabb kivitelezés ellenére sem képesek megakadályozni a túlfeszültség létrejöttét, ezért szükség van az ún. többlépcsős túlfeszültség védelem kiépítésére, amelyet aktív védelemnek is nevezünk.

3.3. Többlépcsős túlfeszültség védelem a kisfeszültségű, 0,4 kV-os elosztóhálózaton

Az épület kisfeszültségű villamos energia elosztó rendszerében előforduló túlfeszültségek tág határok között változó energiatartalommal, feszültség- és frekvencia amplitúdóval jellemezhetők. Hatásosan védekezni az ilyen jellemzőkkel rendelkező túlfeszültség hullámok ellen csak többlépcsős túlfeszültség védelmi rendszer kiépítésével lehet. Ez az ún. "komplex túlfeszültség védelmi rendszer" általában három védelmi zónát (fokozatot) tartalmaz. Ezekhez a szintekhez rendelhetők hozzá a durva (B fokozat), közepes (C fokozat) és finom (D fokozat) túlfeszültség korlátozó elemek illetve készülékek (11. és 12. ábra). A mai korszerű túlfeszültség védelemtől elvárjuk, hogy feleljen meg a vonatkozó hazai, nemzetközi, európai (MSZ 274-5T, MSZ IEC 99-1, MSZ IEC 1312-1, MSZ EN 50164-1T) szabványoknak illetve ajánlásoknak és lehetőség szerint vegye figyelembe a mértékadó külföldi (DIN VDE 0110, DIN VDE 0675, vagy BS előírások) szabványokat.



11. ábra Többlépcsős túlfeszültség védelmi rendszer felépítése [6, 8]



12. ábra TN-C-S hálózat többlépcsős túlfeszültség védelmének vázlata [6, 8]

a.) Durva túlfeszültség védelmi fokozat.

Az épületek villamos energia betáplálását általában közvetlenül vagy közvetve a 10/0,4 vagy 20/0,4 kV-os transzformátorok biztosítják. A transzformátorok nagyfeszültségű oldalának túlfeszültség védelme áramszolgáltatói felelősségi körbe tartozik, rendeletileg ma még nem kötelező.

A transzformátorok szekunder oldalától az üzemeltetőnek kell gondoskodni a túlfeszültség védelem kiépítéséről. Rendeletileg a fogyasztót ma még erre ugyan nem kötelezi előírás, azonban az MSZ 447: 1998. szabvány 2.6 pontja tartalmaz előírásokat a védelem kiépítésére, amely előírás alkalmazása ajánlható. Ezt az ún. "durva túlfeszültség védelmi fokozatot", - amely felépítését tekintve általában nagy áramot és feszültséget elviselő szikraköz - a transzformátorhoz kapcsolódó gyűjtősínhez kell csatlakoztatni (kapcsolótéri főelosztó berendezés), vagy a házi méretlen fogyasztói hálózat csatlakozási pontján, a fogyasztásmérő berendezése előtt kell elhelyezni.

A durva túlfeszültség védelmi fokozat ("B" osztályú védelem) főbb műszaki adatai:

- üzemi feszültség	255/440 V,
- védelmi szint (1,2/50)	< 3,5 ... 4 kV,
- levezetőképesség (10/350)	60 ... 100 kA,
- megszólalási idő	≤ 100 ns.

b.) A közbülső vagy közepes túlfeszültség védelmi fokozat.

A második ún. "közbülső túlfeszültség védelmi fokozat"-ot általában varisztor látja el. Mivel a varisztor megszólalási feszültség szintje és működési ideje lényegesen kisebb, mint a szikraközé, ezért előbb lép működésbe. Energia levezető (elnyelő) képessége viszont lényegesen kisebb, mint a szikraközé, így a szikraköz begyűjtéséhez a két eszköz közé megfelelő soros impedanciát (Z) kell beiktatni. Ezt az impedanciát vagy a vezeték hálózat, vagy mesterséges illesztő impedancia szolgáltatja. Ha ez az impedancia hiányzik, akkor a szikraköz nem tud begyűjtani és a varisztor szétrobbanhat. A közbülső védelem egységeit általában a szinti alelosztókba építik be (szükség esetén az illesztő impedanciákkal együtt), amely alelosztók a talpponti elosztókon keresztül vagy közvetlenül a kapcsolótéri főelosztóból kapják a betáplálást.

A közepes túlfeszültség védelmi fokozat ("C" osztályú védelem) főbb műszaki adatai:

- üzemi feszültség	230/400 V,
- védelmi szint (8/20, 15 kA)	<1,5 ... 2,5 kV,
- levezetőképesség (8/20)	15 ... 20 kA,
- megszólalási idő	≅ 25 ns.

c.) Finom túlfeszültség védelmi fokozat.

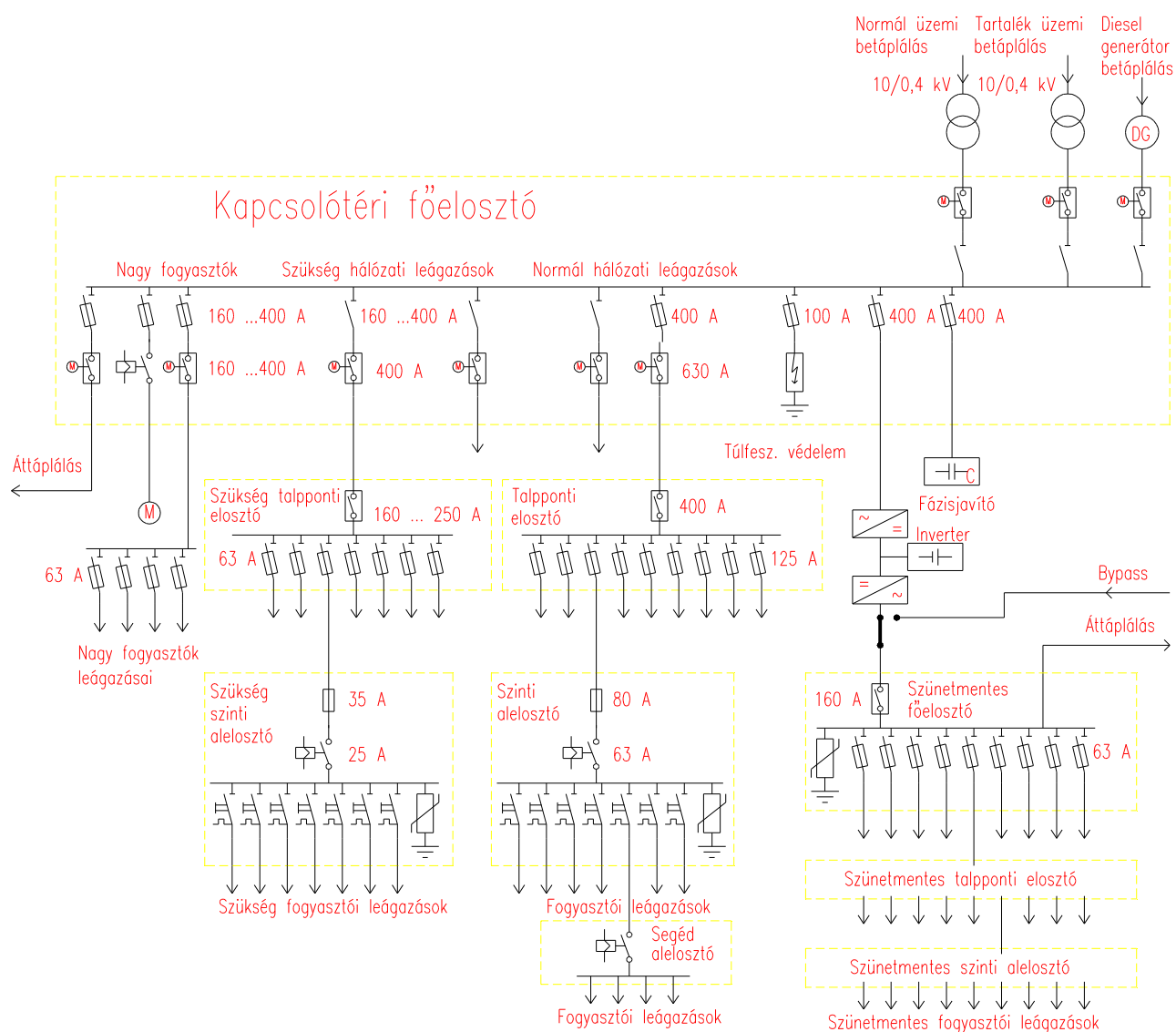
A harmadik ún. "finom túlfeszültség védelmi fokozat" feladatait általában szupresszor dióda (lavinadióda vagy hasonlóan gyors működésű eszköz) látja el. Megszólalási feszültség szintje és működési ideje kisebb, mint a varisztoré, így a túlfeszültség fellépésekor ez a védelmi fokozat fog legelőször működésbe lépni. Csak igen kicsi energiaszintű túlfeszültségek korlátozására képes. Ennek megfelelően a dióda előtt is szükség van egy soros impedanciára, hogy az impedancián létrejövő feszültség és a dióda megszólalási feszültségének hatására a varisztor is begyűjtson. Ennek a túlfeszültség védelmi fokozatnak a feladata továbbá az épületben futó vezetékburkokban indukálódó feszültségek korlátozása. A finom védelem egységeit általában a dugaszoló aljzatokba (fix telepítésű vagy lengő aljzatok) vagy a készülékek hálózati tápegységeibe építik be, amelyek a szinti alelosztókon keresztül közvetlenül kapják a betáplálást. Általában elégséges csak a nagy értékű és túlfeszültségre különösen érzékeny berendezéseket finom túlfeszültség védelemmel ellátni, amely berendezések ma már szünetmentes energiaellátást kapnak. Ide tartoznak a számítástechnikai eszközök, telefonközpontok, hangosító berendezések, füst- és tűzérzékelő rendszerek, épületinformatikai rendszerek, különböző funkciójú híradástechnikai berendezések stb. Nem igényelnek viszont

finom túlfeszültségvédelmet a világítástechnikai eszközök, a termikus fogyasztók (forróvíztárolók, hőtárolós kályhák, hőszugárzók, villamos tűzhelyek), motorikus fogyasztók stb.

A finom túlfeszültség védelmi fokozat ("D" osztályú védelem) főbb műszaki adatai:

- üzemi feszültség	230/400 V,
- védelmi szint (8/20, 5kA)	< 1,0 ... 1,5 kV,
- levezetőképesség (8/20)	5 kA,
- megszólalási idő	$1\text{ ns} < t_{\text{meg.}} < 25\text{ ns.}$

A többlépcsős túlfeszültség védelmi eszközöknek ki kell bírniuk a rajtuk átfolyó részáramokat, a feszültség igénybevételt és alkalmasnak kell lenniük a hálózati utánfolyó áram (zárlati áram) megszakítására. A túlfeszültség védelem felsorolt mindhárom fokozatának készülékei legyenek alkalmasak továbbá a saját működőképességük helyi- és távkijelzésére (külön látjelzők). A nagyépület nagy megbízhatóságú villamos energia elosztó rendszerében való elhelyezésre mutat példát a 13. ábra



13. ábra Nagyépület villamos energia elosztó rendszerének túlfeszültség védelme [6]

4. Összefoglalás

A villamos energiaellátás, az épületek nagy megbízhatóságú villamos energia elosztó rendszerének kiépítése megköveteli, hogy a túlfeszültségvédelmi kérdésekkel, problémákkal és ezek megoldásával foglalkozzunk. A számítástechnikai és híradástechnikai eszközök alkotóelemei, azaz a sérülékeny félvezetők és integrált áramköri elemek másodlagos villám hatásokra és EMC zavarokra érzékenyek. Megfelelő védelmükről (többlépcsős túlfeszültségvédelem, elektrosztatikus feltöltődés korlátozás, árnyékolás, egyenpotenciálra hozás stb.) ezért külön kell gondoskodni. A túlfeszültség okozta káros hatások jelentős része megfelelő szakmai gyakorlattal és jó mérnöki felkészültséggel a minimumra csökkenthető. A gazdaságos védekezési megoldás elemzése kiemelt tervezői feladat.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond Márkus Istvánnak, a BME Villamos Energetika Tanszék Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoportjának tud. segédmunkatársának, az ábrák szakszerű elkészítéséért.

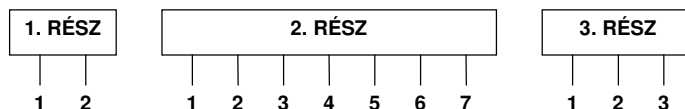
Irodalom

- [1] Panzer, P.: Elektronikus készülékek túlfeszültség- és zavarfeszültség-védelme. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.
- [2] Horváth, T.: Villámvédelem felülvizsgálók tankönyve. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Budapest, 1997.
- [3] Néveri, I. főszerkesztésében: Villamos kapcsolókészülékek kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- [4] Stefányi, I. - Szandtner, K.: Villamos kapcsolókészülékek. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002. Nívódíjas egyetemi jegyzet, 51309.
- [5] Tímár, P.L. szerkesztette: Villamos energetika III. kötet, második javított kiadás. BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar és a Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Budapest, 1994.
- [6] Szandtner, K. - Kovács, K.: Épületinformatika. BME Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Tanszék kiadványa, a Phare HU-94.05 támogatásával készült felsőfokú szakképzési jegyzet, Budapest, 1997.
- [7] Horváth, T. - Berta, I. - Pohl, J.: Az elektrosztatikus feltöltődések. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- [8] Fehér, Z.: EMC orientált villámvédelem, az elektromágneses összeférhetőség (EMC) követelményeinek megfelelő villám- és túlfeszültség védelem. Dehn+Söhne GMBH+CO. KG. Magyar képviselte különkiadása, Budapest, 2000. 02. 29.
- [9] Kádár, A. szerkesztette: Erősáramú zsebkönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.
- [10] MSZ IEC 1312-1: 1997 Az elektromágneses villámimpulzus elleni védelem. 1. rész. Általános alapelvek.
- [11] MSZ IEC 99-1: 1994 Túlfeszültség védelmi eszközök. 1. rész: Túlfeszültség levezetők nem lineáris ellenállásokkal és szikraközökkel, váltakozó áramú rendszerek részére.
- [12] MSZ EN 60071-2: 2000. Szigeteléskoordináció. 2. rész: Alkalmazási útmutató.
- [13] MSZ 447: 1998 Kisfeszültségű, közcélú elosztóhálózatra csatlakoztatás.
- [14] MSZ EN 50160:1995 A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői.

3. A vezetékekre vonatkozó fontosabb jellemzők

3.1 Erősáramú vezetékek nemzetközi jelölése (HD 361 szerint)

A CENELEC a HD 361. a vezetékek, kábelek nemzetközi jelölésére vonatkozó szabványban részletesen meghatározza a vezetékek, kábelek szabványosságára, névleges feszültségére, szerkezeti anyagaira és felépítésére vonatkozó jelöléseket. A vonatkozó táblázat tartalmazza a nemzetközi jelölésrendszer legfontosabb elemeit.



	Jelzés	Megnevezés	Jelölés
1. rész	1. Szabványjelzés	Szabványosság jelölése	H
		Elfogadott nemzeti típus	A
		HD-ben nem szabványosított nemzeti, pl. angol	CC - GB
	2. Névleges feszültség U_0 / U	100 / 100 V alatt	00
		100 / 100 V-tól 300 / 300 V-ig	01
		300 / 300 V	03
		500 / 500 V	05
		450 / 750 V	07
2. Rész	1. Érszigetelés	Műgumi	B (B - B3)
		Polietilén	E (E - E7)
		Etilén-vinil-acetát	G
		Üvegszövet	J (J - J2)
		Ásványi anyag	M
		Polikloropén	N (N - N7)
		Papír	P (P - P4)
		Poliuretán	Q (Q - Q6)
		Természetes gumi	R
		Szilikongumi	S
		Textilszövet	T (T - T6)
		PVC	V (V - V5)
		Térhálósított polietilén	X
	2. Árnyékolóréteg	Alumínium	A (A - A5; A7 - A8)
		Réz	C (C2 - C3; C4 - C8)
		Acél	F (F - F3)
		Ón	K

		Ólom	L (L - L6)
		Erek közös páncélozása	D
	3. Páncélozás	Acél	Z
		Alumínium	Y
	4. Köpenyszigetelés	Műgumi	B (B - B3)
		Polietilén	E (E - E7)
		Etilén-vinil-acetát	G
		Üvegszövet	J (J - J2)
		Ásványi anyag	M
		Polikloropén	N (N - N7)
		Papír	P (P - P4)
		Poliuretán	Q (Q - Q6)
		Természetes gumi	R
		Szilikongumi	S
		Textilszövet	T (T - T6)
		PVC	V (V - V5)
		Térhálósított polietilén	X
	5. Speciális felépítés	Belső kialakítás	D (D2 - D8)
		Kábelalak	H (H - H6)
	6. Ér anyaga	Réz	
		Alumínium	A
		Speciális anyag	Z
	7. Érszerkezet	Extra hajlékony	F
		Különösen hajlékony	H
		Hajlékony, rögzített szer.-re	K
		Recézett	M
		Sodrott, kör elemi szálak	R
		Sodrott, szektor elemi szálak	S
		Tömör	U
		Tömör, szektor keresztmetszet	W
		Litze	Y
		Speciális alak	Z
3. Rész	1. Érszám		...
	2. Védővezető	Nem tartalmaz védővezetőt	X
		Tartalmaz védővezetőt	G
	3. Névleges keresztmetszet		...

3.2. M és G szigetelt vezetékek méretei és alapterhelhetősége (Terhelések az MSZ 14550-1:1979 szerint):

Alkalmazható névleges keresztmetszet [mm2]	Egy érben lévő huzalok száma	A vezető erének	G vezeték* fonalbeszővésének	M vezeték szigetelésének	A csoport		B csoport		C csoport		Alkalmazható biztosítóbetétek [A]
					Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	
		Külső átmérője [mm]			Alapterhelhetősége** [A]						
1	1	1,13	3,8-4,4	2,7-3,3	12	-	16	-	20	-	6
1,5	1	1,38	4-4,6	3,0-3,5	16	13	20	17	25	22	10
2,5	1	1,78	4,4-5	3,4-3,9	20	16	27	21	34	27	16
4	1	2,25	5,3-6,2	4,1-4,6	27	21	36	29	45	35	20
6	1	2,76	5,8-6,6	4,5-5,2	35	27	47	37	57	45	25
10	1	3,55	7,5-8	5,5-6,7	48	36	65	51	78	63	35
10	7	4,17	8-8,4	6,25-7	48	36	65	51	78	63	35
16	1	4,5	8,4	-	63	51	87	68	104	82	50
16	7	4,8	9-9,6	7-7,5	63	51	87	68	104	82	50
25	7	5,9	10,6-11,5	8,5-9	83	69	115	90	137	107	63
35	7	7	-	9,6-10,4	110	84	143	112	168	132	80
35	19	7,5-7,8	11,8-13	10,2-11,5	110	84	143	112	168	132	80
50	19	8,2-9	13,7-14,7	11-11,6	140	110	178	140	210	165	100
70	19	10,1-10,5	15,2-16,5	12,9-13,6	174	140	220	173	260	205	125
95	19	11,6-12,5	18,2-19	14,8-15,5	215	175	265	210	310	245	160

* Már nem gyártják, csak régi berendezésben fordul elő

** Az A, B és C terhelési csoport jelentését lásd a következő táblázatban

3.3 M és G szigetelt vezetékek terhelési csoportjai (Az MSZ 14550-1:1979 szerint)

Elhelyezési mód	Lakások fogyasztásmérő utáni vezetékei		Minden egyéb vezeték
	Villamos alapfűtés vezetékei	Egyéb	
Tömör (perforálatlan) szerelőlapon	A	A	A
Több rétegben egymáson szerelt védőcsövekben (vezetékcsatornában)	B	C	A
Minden egyéb szerelési mód (függetlenül attól, hogy a vezeték falon kívül, vakolatban vagy süllyesztve van-e)	B	C	A

3.4 Szigetelt vezetékek terhelhetőségét módosító tényezők (Az MSZ 14550-1:1979 szerint)**3.4.1 Az egymás melletti elhelyezéstől függő módosító tényezők**

Több terhelt ér közös csőben, kötegben több érű vezeték:													
Terhelt erek száma	1-3	4	5	6	9	12	15	20	25	30	35	40	45
Módosító tényező	1,0	0,92	0,84	0,75	0,61	0,58	0,55	0,51	0,46	0,42	0,4	0,38	0,36

Több, egymás mellett elhelyezett védőcső, vezetékcsatorna vezetőköteg és több érű vezeték:									
Az egymás melletti védőcsövek, csatornák, kötegek és több érű vezetékek száma		2	3	5	10	15	20	25	30
Módosító tényező	Szabadon szerelt védőcsövek, csatornák, kötegek és több érű vezetékek	1,00	0,85	0,73	0,63	0,58	0,55	0,52	0,49
	Több érű vezetékek közös csőben, csatornában elhelyezve	1,00	0,75	0,65	0,54	0,48	0,45	0,43	0,42

3.4.2 A környezeti hőmérséklettől függő módosító tényezők

Környezeti hőmérséklet [°C]	M vezetékek esetén	G vezetékek	
		Hagyományos gumiszigetelés	Szilikongumi szigetelés
10	1,18	1,15	-
15	1,12	1,10	-
20	1,05	1,05	-
25	1,00	1,00	-
30	0,94	0,93	-
35	0,88	0,85	-
40	0,82	0,75	-
45	0,75	0,65	-
50	0,67	0,53	-
55	0,58	-	1,00
60	-	-	0,98
70	-	-	0,94
80	-	-	0,90
90	-	-	0,85
100	-	-	0,80
110	-	-	0,75
120	-	-	0,69
130	-	-	0,63
140	-	-	0,56
150	-	-	0,49
160	-	-	0,40
170	-	-	0,28
175	-	-	0,20
180	-	-	-

3.5 3-5 erű ksfeszültségű kábelek alapterhelhetősége

Ma már a kábelek alapterhelhetőségét nem lehet olyan egyszerű táblázatokból meghatározni, mint régen, mivel a terhelhetőség függ a kábelek típusától, szigetelőanyagától, sőt talajban fekvő kábelek esetén még az úgynevezett terhelési foktól is. A talajban fekvő kábelek időállandója ugyanis 3 – 5 óra, így az ennél rövidebb terhelési ciklusokat (I^2t szerint) átlagolni lehet. A levegőben fekvő kábeleknél ez az időállandó 1 óránál rövidebb is lehet, ezért itt ezzel nem számolnak. Az áramszolgáltatói és általános ipari gyakorlatban 0,7 terhelési fokkal számolnak, így a legtöbb gyári táblázat és szabvány erre adja meg az alapterhelési csúcsértékeket (az itt közölt táblázataink is). A teljes állandó terhelés megengedhető értékeire az irodalom diagramokat közöl. A fázisjavító kondenzátorok állandó terhelést jelentenek, ezért a kizárólag ezeket ellátó kábeleket a kondenzátorok névleges áramának 150 %-ával kell méretezni.

A földben fekvő kábelek esetén a talaj, levegőben fekvők esetén a környező levegő hőmérsékletét 20 °C-ra vesszük. Hazai viszonyok között a talajra ez általánosan elfogadható, levegőben fekvők közül azonban csak fűtetlen helyiségekben (pl. kábelpincékben) levőket számolhatjuk ezzel, szabad téren és fűtött helyiségek mennyezetén 30 °C a szokásos méretezési hőmérséklet (sok gyári táblázat eleve ebből indul ki).

3.6 1kV-os PVC kábelek alapterhelhetősége 20 °C környezeti hőmérsékletre, [A] (3 – 5 erű kábelek)

Névleges keresztmetszet [mm ²]		25	35	50	70	95	120	150	185	240
Alapterhelhetőség levegőben [A]	Cu	116	143	168	207	250	285	321	363	422
	Al	87	107	129	160	192	220	146	280	330
Alapterhelhetőség földben [A]	Cu	134	165	200	254	307	355	408	467	548
	Al	99	128	156	199	239	276	317	384	427

3.7 Módosító tényezők 3 – 5 erű, ksfeszültségű, műanyag szigetelésű kábelek tényleges terhelhetőségének megállapítására (Az MSZ 13207-3:1982 szerint)

A környezeti hőmérséklet függvényében:

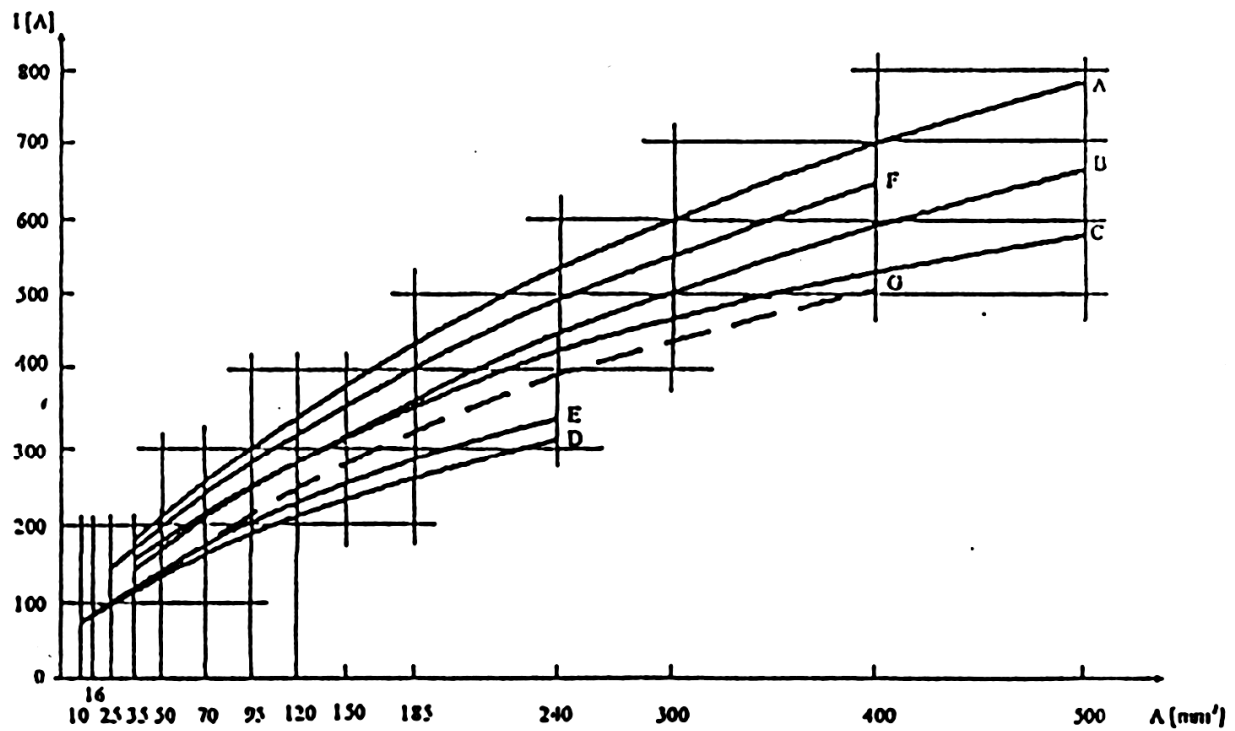
A kábel elhelyezési módja	Környezeti hőmérséklet [°C]						
	20	25	30	35	40	45	50
Homokagyban	1	0,97	0,93	-	-	-	-
Rossz hővezető-képességű talajban (pl. törmelékes, salakos talajban)	0,84	0,79	0,75	0,69	-	-	-
Levegőben	1	0,96	0,89	0,84	0,78	0,71	0,63

Az egymás melletti kábelek számának függvényében:

A kábelek elhelyezése	Az egymás melletti kábelek száma								
	1	2	3	4	5	6	8	9	10
Földben, egymástól 7 cm-re	1	0,81	0,70	0,64	0,60	0,57	0,53	..	0,49
Levegőben, az oldalfaltól 2 cm-re, egymástól átmérőnyire									
- Padozaton	0,95	0,90	0,88	..	..	0,85	..	0,84	..
- Egysíkú létrán, perforált tálcán	1	0,98	0,96	..	..	0,93	..	0,92	..
- Oldalfalon, egymás fölött	1	0,93	0,90	..	..	0,87		0,86	
Levegőben, az oldalfalat és egymást érintve									
- Padozaton	0,90	0,84	0,80	..	..	0,75	..	0,73	..
- Egysíkú létrán, perforált tálcán	0,95	0,84	0,80	..	..	0,75	..	0,73	..
- Oldalfalon, egymás fölött	0,95	0,78	0,73	..	..	0,68	..	0,66	..

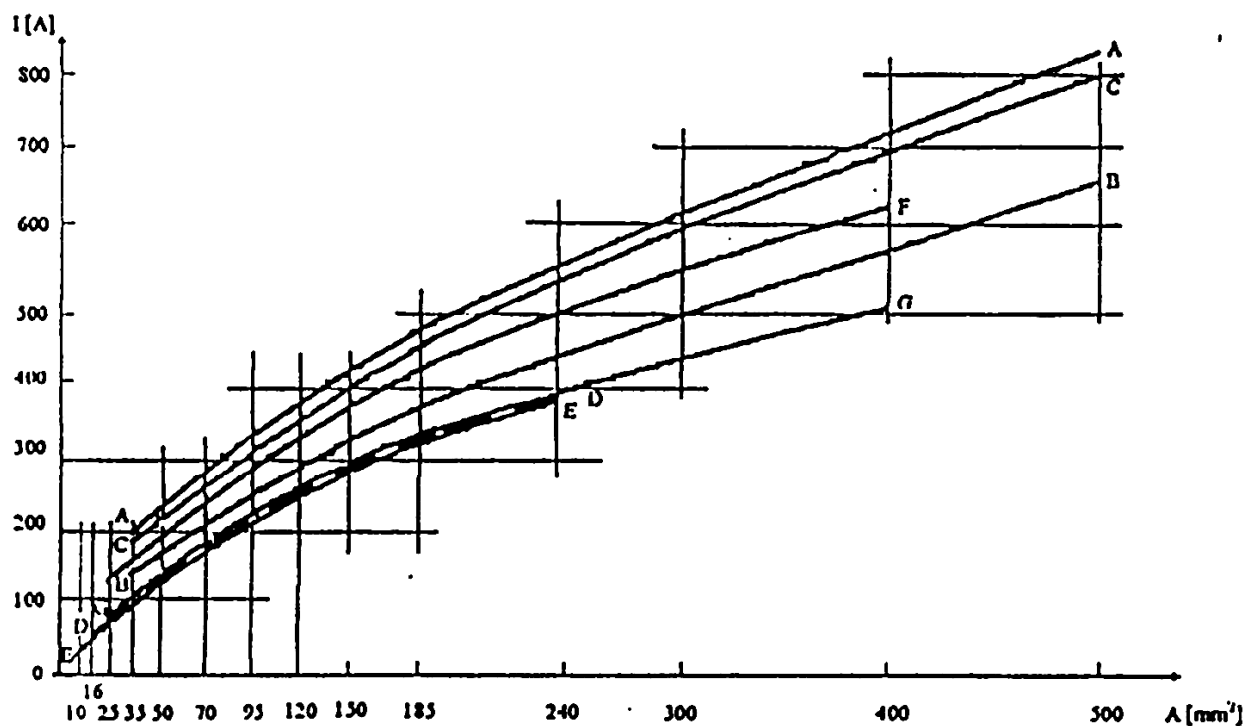
3.8 Új és régi típusú kábelek alapterhelhetősége állandó terhelésre

Szigetelés	Felépítés	A vezető anyaga	Elrendezés	A diagram jele
PVC	IEC, VDE	Al		A
	IEC, CDE	Al		B
	IEC, VDE	Al		C
	IEC, VDE	Al		D
	Trineutral	Al		E
Telített papír		Cu		F
		Al		G



3.1. ábra

Levegőben elhelyezett 0,6 / 1 kV névleges feszültségű kábelek alapterhelhetősége (névleges áramra) 30 °C levegőhőmérséklet esetén



3.2. ábra

Talajban fekvő 0,6 / 1 kV névleges feszültségű kábelek alapterhelhetősége (névleges áramra) állandó terhelés 20 °C talajhőmérséklet esetén¹

Kisfeszültségű villamosenergia-elosztó rendszer vezetékeinek méretezése (szükséges keresztmetszet meghatározása)

A vezetékek méretezés kiindulásakor ismertnek feltételezzük: a betáplálás feszültségét (U), az ellátni kívánt fogyasztó áramfelvételét (I), a fogyasztóra jellemző fázistényezőt ($\cos\varphi$) és figyelembe vesszük az ellátó vezeték ellenállását (R), azaz a vezető reaktanciáját (X_v -t) elhanyagoljuk.

A mértékadó feszültségesés: $e' = I_w \cdot R = I \cdot R \cdot \cos\varphi$

A mértékadó teljesítményveszteség: $p' = I^2 \cdot R$

Írjuk fel az e' és p' számítási összefüggéseit felhasználva a megengedett %-os feszültségesés (ε) és %-os teljesítményveszteség (α) értékeit:

$$e' = \left(\frac{\varepsilon}{100}\right) \cdot \left(\frac{U}{2}\right) = I \cdot \left(\frac{\rho \cdot l}{A}\right) \cdot \cos\varphi$$
$$p' = \left(\frac{\alpha}{100}\right) \cdot \left(\frac{P}{2}\right) = \left(\frac{\alpha}{100}\right) \cdot \left(\frac{U \cdot I \cdot \cos\varphi}{2}\right) = I^2 \cdot \left(\frac{\rho \cdot l}{A}\right)$$

Ha a villamos fogyasztót ellátó vezeték hossza (l) és anyaga illetve az erre jellemző fajlagos ellenállás (ρ) azonos, akkor az eltérő α és ε értékre különböző vezető keresztmetszeteket kapnánk. Kérdés, hogy a kiinduláskor megadott α és ε értékek figyelembevételével milyen $\cos\varphi$ érték mellett lesz a két vezeték keresztmetszete azonos? A megoldáshoz osszuk el egymással az előbb felírt két egyenletet:

$$\frac{e'}{p'} = \frac{\left(\frac{\varepsilon}{100}\right) \cdot \left(\frac{U}{2}\right)}{\left(\frac{\alpha}{100}\right) \cdot \left(\frac{U \cdot I \cdot \cos\varphi}{2}\right)} = \frac{I \cdot \left(\frac{\rho \cdot l}{A}\right) \cdot \cos\varphi}{I^2 \cdot \left(\frac{\rho \cdot l}{A}\right)}$$
$$\frac{\varepsilon}{\alpha} = \cos^2\varphi$$

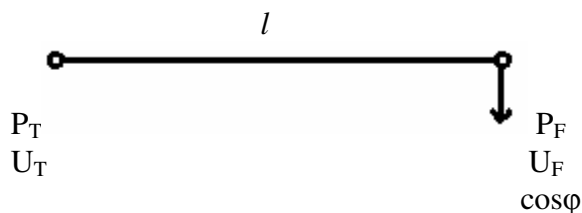
Értelmezzük a számítás végeredményét. Ha például $\varepsilon = 3\%$ és $\alpha = 5\%$, akkor:

$$\cos^2\varphi = \frac{\varepsilon}{\alpha} = \frac{3}{5} = 0,6 \Rightarrow \cos\varphi = \sqrt{0,6} = 0,7746 \approx 0,8$$

Következtetés: $\cos\varphi \geq 0,8$ esetén elég a villamos elosztóhálózat vezetékeit feszültségesésre méretezni. A teljesítményveszteség mindig kisebb lesz ekkora, vagy nagyobb $\cos\varphi$ esetén, mint az előírt $\alpha = 5\%$ -os érték.

Egy oldalról táplált egyszerű nyitott vezeték méretezése teljesítményveszteségre

Kiindulási adatok: - betápláló feszültség (U_T),
- betáplált hatásos teljesítmény (P_T),
- betáplálási pont és a fogyasztó csatlakozási pontja közötti távolság (l),
- a fogyasztási pont feszültsége (U_F),
- a fogyasztó hatásos teljesítményfelvétele (P_F),
- a fogyasztói kör fázistényezője ($\cos\varphi$),
- a csatlakozó vezeték keresett keresztmetszete (A).



A feszültségesés: $e = |U_T| - |U_F| = \Delta U$, a százalékos feszültségesés

$\varepsilon = \frac{e}{|U_T|} \cdot 100 = \frac{|U_T| - |U_F|}{U_T} \cdot 100(\%)$ illetve az oda és visszavezetés egy-egy vezetékszakaszára vonatkozó feszültségesés $e' = e/2$.

A látszólagos fázisáram: $I = \frac{P_F}{U_F \cos \varphi}$

illetve a hatásos vagy wattos komponens: $I_w = I_h = I \cdot \cos \varphi = \frac{P_F}{U_F}$

A tápláló vezeték keresztmetszete (A) a megengedett százalékos feszültségesés (ε) figyelembevételével:

$$e' = I_h \cdot \left(\frac{\rho \cdot l}{A} \right) = \left(\frac{\rho \cdot l}{A} \right) \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$e = 2 \cdot e' = I_h \cdot \left(\frac{\rho \cdot 2 \cdot l}{A} \right) = \left(\frac{\rho \cdot 2 \cdot l}{A} \right) \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{U_T}{\frac{\varepsilon}{100}}$$

$$A = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \frac{\varepsilon}{100}}{U_T} = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l \cdot I_h \cdot \frac{\varepsilon}{100}}{U_T}$$

$$A = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{e} = \frac{\rho \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{e'} = \frac{\rho \cdot l \cdot I_h}{e'}$$

A tápláló vezeték keresztmetszete (A) a megengedett százalékos teljesítményveszteség (α) figyelembevételével:

$$p = \frac{\alpha}{100} \cdot P_T = \frac{\alpha}{100} \cdot (P_F + I^2 \cdot R) = I^2 \cdot R$$

$$P_F = I^2 \cdot R \cdot \left(\frac{100}{\alpha} - 1 \right) = \frac{P_F^2}{U_F^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot \frac{\rho \cdot 2 \cdot l}{A} \left(\frac{100}{\alpha} - 1 \right)$$

$$A = \rho \cdot 2 \cdot l \cdot \frac{P_F}{U_F^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot \left(\frac{100}{\alpha} - 1 \right)$$

A gyakorlati esetek többségében az $\alpha =$ viszonylag kicsi értékű, így $\left(\frac{100}{\alpha} - 1 \right) \approx \frac{100}{\alpha}$ Ennek figyelembevételével a keresett vezető keresztmetszet:

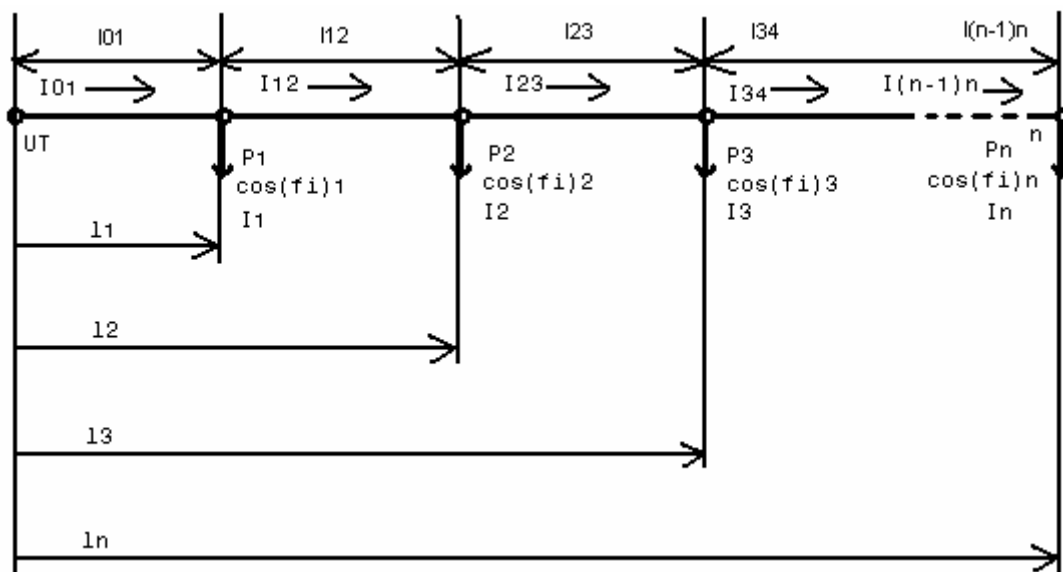
$$A = \rho \cdot 2 \cdot l \cdot \frac{P_F}{U_F^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot \frac{100}{\alpha} = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l}{\frac{100}{\alpha}} \cdot \frac{P_F}{U_F^2 \cdot \cos^2 \varphi} = I^2 \cdot \frac{\rho \cdot 2 \cdot l}{\frac{100}{\alpha} \cdot P_F}$$

Az összefüggésbe $\rho(\Omega \text{mm}^2/\text{m})$ és $l(\text{m})$ helyettesítéssel a keresztmetszet $A(\text{mm}^2)$ -ben számítható ki. Ezt az összefüggést használjuk az egyfázisú betápláló vezetékek számítására, valamint az egyenáramú betápláló vezetékekre is, $\cos \varphi = 1$ helyettesítéssel.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a vezeték keresztmetszet meghatározásakor a feszültségesésből kiindulva az I_h hatásos árammal számolunk, míg a teljesítményvesztés előírásait figyelembe véve az I látszólagos áram értékét használjuk fel.

Több fogyasztó ellátására szolgáló, egy oldalról táplált, egyszerű nyitott vezeték méretezése feszültségesésre

Kiindulási adatok: - betápláló feszültség (U_T),
 - a csatlakozási pontokon felvett teljesítmények ($P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$),
 - a csatlakozási pontokon felvett áramok ($I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$)
 - a csatlakozási pontokon a fogyasztók teljesítménytényezői ($\cos(\varphi_1), \cos(\varphi_2), \cos(\varphi_3), \dots, \cos(\varphi_n)$)
 - a tápponttól való nyomvonal távolság ($l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$)
 - az egyes szakaszok között folyó áram ($I_{01}, I_{12}, I_{23}, \dots, I_{(n-1)n}$)
 - két szomszédos csatlakozási pont távolsága ($l_{01}, l_{12}, l_{23}, \dots, l_{(n-1)n}$)
 - az egyes szakaszokon fellépő feszültségesés a szakaszáramok hatására ($e'_{01}, e'_{12}, e'_{23}, \dots, e'_{(n-1)n}$)



Méretezési alapelv: Minden szakasz keresztmetszete ugyanakkora => állandó keresztmetszetek módszere

Az A keresztmetszetet úgy kell meghatározni, hogy a táppont és a legtávolabbi pont között a vezetéken (vezeték szakaszon) eső feszültségek összege ne haladja meg az egész hálózatra megengedett feszültségesés előírt értékét és a vezeték a hálózat teljes hosszában azonos keresztmetszetű és anyagú legyen.

További feltétel:

A számítás során az induktív reaktanciát elhanyagoljuk ($X_{01}, X_{12}, X_{23}, \dots, X_{(n-1)n} \approx 0$),
 ($R_{01}, R_{12}, R_{23}, \dots, R_{(n-1)n} \neq 0$).

Feszültségesést csak a fogyasztói áramok wattos komponensei hoznak létre:

$$I_{1w} = I_1 \cos \varphi_1, I_{2w} = I_2 \cos \varphi_2, I_{3w} = I_3 \cos \varphi_3, \dots, I_{nw} = I_n \cos \varphi_n$$

$$e' = e'_{01} + e'_{12} + e'_{23} + \dots + e'_{(n-1)n}, \text{ ahol}$$

$$e'_{01} = R_{01} \cdot (I_{1w} + I_{2w} + I_{3w} + \dots + I_{nw}) = R_{01} \cdot I_{01w}$$

$$e'_{12} = R_{12} \cdot (I_{2w} + I_{3w} + \dots + I_{nw}) = R_{12} \cdot I_{12w}$$

$$e'_{23} = R_{23} \cdot (I_{3w} + \dots + I_{nw}) = R_{23} \cdot I_{23w}$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$e'_{(n-1)n} = R_{(n-1)n} \cdot I_{nw} = R_{(n-1)n} \cdot I_{(n-1)nw}$$

Az állandó keresztmetszetű egy-egy vezetékszakasz ellenállása:

$$R_{(k-1)k} = \frac{\rho}{A} \cdot l_{(k-1)k}$$

$$e' = \frac{\rho}{A} \cdot [I_{1w} \cdot l_{01} + I_{2w} \cdot (l_{01} + l_{12}) + I_{3w} \cdot (l_{01} + l_{12} + l_{23}) + \dots + I_{nw} \cdot (l_{01} + l_{12} + l_{23} + \dots + l_{(n-1)n})]$$

$$e' = \frac{\rho}{A} \cdot \sum_{k=1}^n I_{kw} \cdot l_k = \frac{\rho}{A} \cdot \sum_{k=1}^n I_k \cdot l_k \cdot \cos \varphi_k$$

Gyors számításokhoz alkalmazható képlet:

$$A = \frac{\rho}{e'} \cdot \sum_{k=1}^n I_k \cdot l_k \cdot \cos \varphi_k \text{ (mm}^2\text{)}, \text{ ahol}$$

e' a mértékadó feszültségesés

I_k a k-adik fogyasztói áram

$\cos \varphi_k$ a k-adik fogyasztó fázistényezője

l_k a k-adik fogyasztó távolsága a tápponttól (m)

ρ a vezető fajlagos ellenállása $\left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$

Szakaszáramokkal és szakasz hosszakkal felírva:

$$e' = \frac{\rho}{A} \cdot [I_{01w} \cdot l_{01} + I_{12w} \cdot l_{12} + I_{23w} \cdot l_{23} + \dots + I_{(n-1)nw} \cdot l_{(n-1)n}]$$

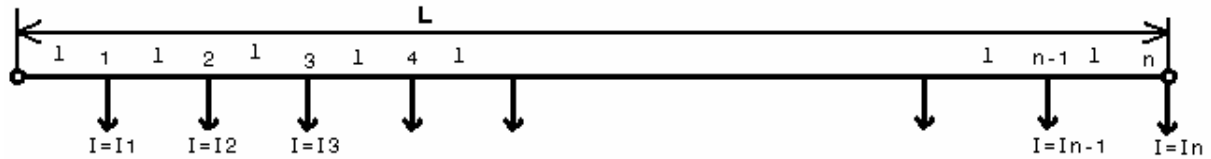
A végleges számításához használható képlet:

$$A = \frac{\rho}{e'} \cdot \sum_{k=1}^n I_{(k-1)kw} \cdot l_{(k-1)k} \text{ (mm}^2\text{)}$$

Megjegyzés: A szakaszáramokat ($I_{(k-1)kw}$) a melegedés és a biztosítóméretezés miatt úgyis ki kell számítani.

A két számítás eredménye ugyanaz.

Egyik végéről táplált, egyenletesen terhelt egyszerű vezeték



$$\cos \varphi = \cos \varphi_1 \quad \cos \varphi = \cos \varphi_2 \quad \cos \varphi = \cos \varphi_3$$

$$\cos \varphi = \cos \varphi_{n-1} \quad \cos \varphi = \cos \varphi_n$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n = I \quad I \cdot \cos \varphi = I_w$$

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3 = \dots = \cos \varphi_n = \cos \varphi$$

$$l_{01} = l_{12} = l_{23} = \dots = l_{(n-1)n} = l$$

Feltétel: $l = \text{áll.}$, $\rho = \text{áll.}$, $A = \text{állandó a vezeték hossza mentén.}$

$$e' = e'_{01} + e'_{12} + e'_{23} + \dots + e'_{(n-1)n}$$

$$e' = \frac{\rho}{A} \cdot I_{01w} \cdot l + \frac{\rho}{A} \cdot I_{12w} \cdot l + \frac{\rho}{A} \cdot I_{23w} \cdot l + \dots + \frac{\rho}{A} \cdot I_{(n-1)nw} \cdot l$$

$$e' = \frac{\rho}{A} \cdot l \cdot \sum_{k=1}^n I_{(k-1)kw}$$

Vegyük figyelembe:

$$I_{01w} = n \cdot I_w$$

$$I_{12w} = (n-1) \cdot I_w$$

.

.

$$I_{(n-1)nw} = I_w$$

Ha ezeket az egyenleteket összeadjuk, a következőt kapjuk:

$$\sum_{k=1}^n I_{(k-1)kw} = I_w \cdot (1 + 2 + 3 + \dots + n) = I_w \cdot n \cdot \frac{n+1}{2}$$

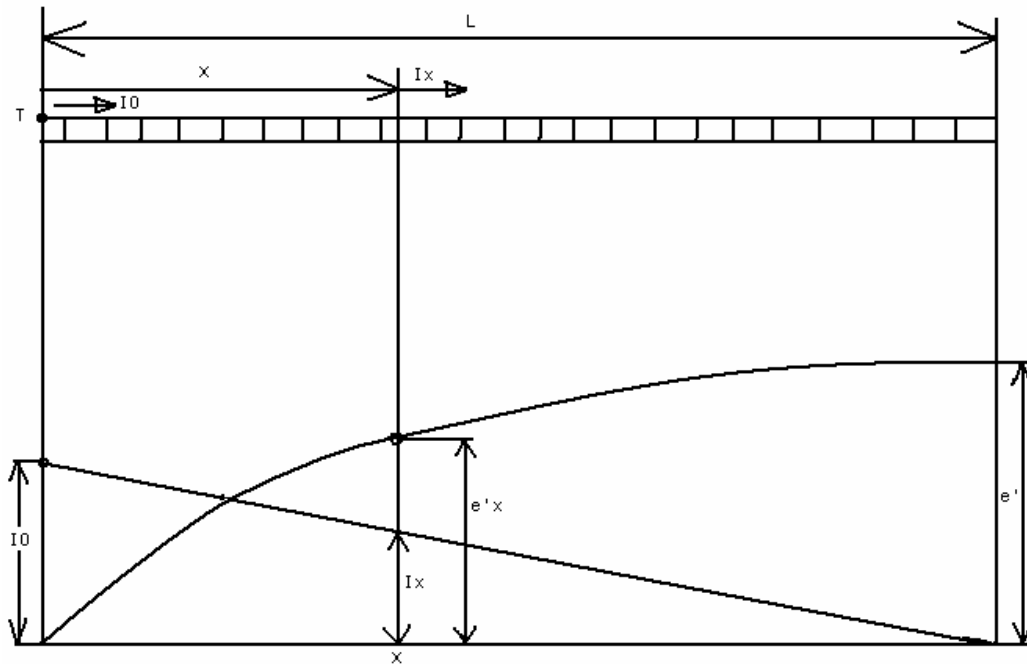
$$e' = \frac{\rho}{A} \cdot l \cdot I_w \cdot n \cdot \frac{n+1}{2}$$

További egyszerűsítés: $L = n \cdot l$, $n \gg 1 \rightarrow (n+1) \approx n$, $n \cdot I_w = I_{01w} = A$ tápponton befolyó eredő áram wattos komponense.

$$e' = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{A} \cdot l \cdot I_{01w}$$

$$A = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{e'} \cdot \frac{L}{n} \cdot n \cdot I_w = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{e'} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi$$

A vezeték mentén fellépő értékek elemzése:



$I_x = ?$, ha $I_{(x=0)} = I_0$, $I_{(x=L)} = 0$

$$\frac{I_x}{I_0} = \frac{L - X}{L} \rightarrow I_x = I_0 \left(1 - \frac{X}{L} \right)$$

A feszültségesés a dx hosszán, illetve az x hosszán:

$$de'_x = \rho \frac{dx}{A} \cdot I_{xw}$$

$$e'_x = \frac{\rho}{A} \cdot \int_0^x I_{xw} dx = \frac{\rho}{A} \cdot I_{0w} \cdot \int_0^x \left(1 - \frac{X}{L} \right) dx = \frac{\rho}{A} \cdot I_{0w} \cdot \left(X - \frac{X^2}{2L} \right)$$

A vezeték végén a feszültségesés $X=L$:

$$e'_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{A} \cdot L \cdot I_{0w}$$

A vezeték teljesítményvesztését vizsgálva a dx szakaszon

$$dp' = \rho \cdot \frac{dx}{A} \cdot I_x^2$$

behelyettesítve: $I_x = I_0 \left(1 - \frac{X}{L} \right)$ -et

$$p'_x = \frac{\rho}{A} \cdot I_0^2 \int_0^x \left(1 - \frac{X}{L} \right)^2 dx = \frac{\rho}{A} \cdot I_0^2 \left[X - \frac{2X^2}{2L} + \frac{X^3}{3L^2} \right]_0^x = \frac{\rho}{A} \cdot I_0^2 \left[-\frac{L}{3} \cdot \left(1 - \frac{X}{L} \right)^3 + \frac{L}{3} \right]$$

$$p' = \frac{1}{3} \frac{\rho}{A} \cdot L \cdot I_0^2 (W)$$

Irodalom

- [1] Kassai, J.: Villamos berendezések és hálózatok. Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar, Pécs, 1998.
- [2] Kádár, A. szerkesztette: Erősáramú zsebkönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.
- [3] Szandtner, K.: Szabványok szerepe a kisfeszültségű vezetékek és kábelek kiválasztásában. Magyar Részpiaci Központ és MEE közös rendezvényének előadása kéziratban. MEE Budapest, 2004.
- [4] Szandtner, K.: Épületek villamos berendezéseinek létesítése az MSZ 2364 szabványsorozat előírásai alapján. Villamos biztonságtechnika tárgy előadási anyaga kéziratban. BME Villamos Energetika Tanszék Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport, Budapest, 2003-2004.
- [5] Arató, Cs. szerk.: Erősáramú berendezések időszakos felülvizsgálóinak kézikönyve. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Budapest, 2002.
- [6] Kékesi, Gy.: villamos vezetők gazdaságos keresztmetszetének számítása. Magyar Részpiaci Központ, Budapest, 1999.

Budapest, 2005. 04. 15.

Dr. Szandtner Károly
egyetemi adjunktus
BME Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport