



ÓBUDAI EGYETEM



KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI KAR

Dr. Novothny Ferenc (PhD)

Villamosenergia-ellátás I.

Változatlan utánnymás

ÓE KVK 2052
Budapest, 2010.

Lektor:

Dr. Komlósy Pál

Szerző:

Dr. Novothny Ferenc (PhD)

Felelős kiadó: Dr. Turmezei Péter az ÓE KVK dékánja
Készült az ÓE Nyomdájában
Műszaki vezető: Bélteky István
Jegyzetszám: ÓE KVK 2052
Munkaszám: 19/2009

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK.....	3
1. VILLAMOS HÁLÓZATI IMPEDANCIÁK.....	7
1.1. Mérésponthi impedancia.....	7
1.2. Átviteli impedanciák.....	8
1.3. Üresjárású mérésponthi és átviteli impedanciák.....	10
2. SZIMMETRIKUS ZÁRLAT SZÁMÍTÁSA.....	11
2.1. A szinkrongép zárlati viszonyai.....	11
2.2. A szinkrongép hirtelen háromfázisú kapocszárlata.....	11
2.3. Hálózati 3F zárlat számítása a hálózati elemek saját zárlati teljesítményével.....	20
3. ASZIMMETRIKUS HIBÁK SZÁMÍTÁSA.....	23
3.1. Egyfázisú földzárlat közelítő számítása és kompenzálása.....	23
3.2. Aszimmetrikus hibák számítása a szimmetrikus összetevők alkalmazásával.....	28
3.3. A hálózati elemek különböző sorrendű impedanciái.....	29
3.3.1. Szinkrongép különböző sorrendű áramokkal szembeni reaktanciái.....	31
3.3.2. Transzformátor különböző sorrendű áramokkal szembeni reaktanciái.....	32
3.3.2.1. Szabadvezeték zérus sorrendű impedanciái.....	32
3.3.2.2. A csillagpont és a föld közé iktatott impedancia.....	36
3.3.2.3. A transzformátor fázisforgató hatása.....	36
3.3.3. A hálózati elemek különböző sorrendű impedanciái.....	40
3.3.3.1. Szabadvezeték zérus sorrendű impedanciái.....	40
3.3.3.2. A kábelek zérus sorrendű impedanciái.....	42
3.4. A hálózati elemek különböző sorrendű impedanciái.....	44
3.5. Sönthibák számítása.....	47
3.5.1. Egyfázisú földrövidzárlat (FN) számítása.....	47
3.5.2. Kétfázisú földrövidzárlat (2FN) számítása.....	49
3.5.3. Kétfázisú zárlat (2F) számítása.....	49
3.6. Soros hibák számítása.....	51
3.6.1. Egyfázisú szakadás (1f) számítása.....	51
3.6.2. Kétfázisú szakadás (2f) számítása.....	53
3.7. Szimultán hibák számítása.....	55
3.7.1. Kettős földzárlat (2Ff) számítása.....	55
4. A ZÁRLATI ÁRAM KORÁTOZÁSA.....	59
4.1. A zárlati teljesítmények növekedése.....	59
4.2. Zárlatkorlátozó fojtótekerccs.....	60
4.3. A zárlatkorlátozás egyéb módszerei.....	65
5. HÁLÓZATOK VILLAMOS MÉRETEZÉSE.....	66
5.1. Két végéről táplált vezeték méretezése.....	66
5.1.1. Két végéről azonos feszültséggel táplált vezeték méretezése feszültségesésre.....	66
5.1.2. Két végéről azonos feszültséggel táplált vezeték méretezése teljesítményvesztésre.....	68
5.1.3. Két végéről különböző feszültséggel táplált vezeték méretezése feszültségesésre.....	70
5.2. Hurkolt hálózatok méretezése.....	72
6. TÁVVEZETÉK LÉTESÍTÉS.....	78
6.1. Szabadvezeték szilárdsági számítások.....	78
6.1.1. A vezetők teherbíró képessége.....	83
6.1.2. A vezetőre ható erők.....	84
6.1.3. Szabadvezeték belógása.....	90

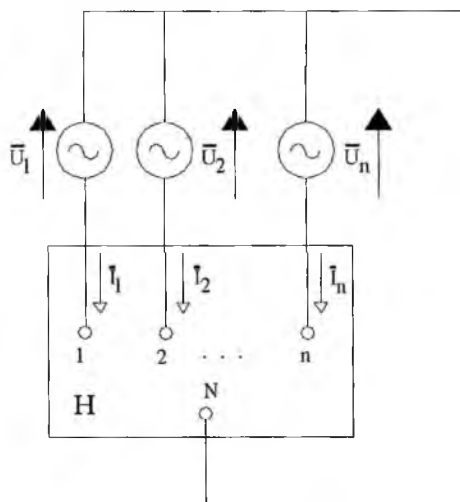
6.1.4. A vezetők állapotváltozása.....	98
6.2. Feszített vezetők mozgása.....	101
6.2.1. Függszigetelők kilengése a tartószerkezethez.....	101
6.2.2. A vezetők összelengése.....	102
6.2.3. A vezetők felcsapódása.....	104
6.3. A vezetékelrendezés mére szabályai.....	105
6.3.1. Biztonsági intézkedések.....	105
6.3.2. A vezetők föld feletti magassága.....	105
6.3.3. A vezetők kölcsönös távolsága.....	106
6.3.4. A vezetők távolsága a tartószerkezettől.....	108
6.3.5. Megközelítések és keresztezések.....	109
6.3.6. Villámvédő vezető.....	110
6.4. Szabadvezetékek építése, szerelése.....	111
6.4.1. A szerelés előkészítése.....	111
6.4.2. Alapozási munkák.....	111
6.4.3. Oszlopkészítés.....	112
6.4.4. A vezeték húzás és a beszabályozás.....	112
6.5. Kábelfektetés.....	113
6.5.1. A nyomvonal kijelölése.....	113
6.5.2. A kábelfektetés előkészítése.....	113
6.5.3. A kábelfektetés főbb szempontjai és módjai.....	114
7. ERŐMŰVEK ÉS TRANSZFORMÁTORÁLLOMÁSOK TÉRBELI KIALAKÍTÁSA.....	117
7.1. Erőművek térbeli kialakítása.....	117
7.1.1. Gőzturbinás hőerőművek.....	117
7.1.2. Gázturbinás erőművek.....	121
7.1.3. Vízerőművek.....	123
7.1.4. Atomerőművek.....	126
7.2. Kapcsolóberendezések térbeli kialakítása.....	128
7.2.1. Belsőtéri kapcsolóberendezések.....	128
7.2.1.1. Nagyfeszültségű belsőtéri kapcsolóberendezések.....	128
7.2.1.2. Középfeszültségű belsőtéri kapcsolóberendezések.....	130
7.2.2. Szabadtéri kapcsolóberendezések.....	135
7.2.2.1. Középfeszültségű szabadtéri kapcsolóberendezések.....	136
7.2.2.2. Nagyfeszültségű szabadtéri kapcsolóberendezések.....	140
7.2.3. Kisfeszültségű kapcsoló- és vezérlőberendezések.....	144
7.2.3.1. Nyitott ill. mellső oldalon burkolt kapcsoló és vezérlő berendezések.....	144
7.2.3.2. Tokozott elosztószekrények.....	147
7.2.3.3. Többdobozos, tokozott kisfeszültségű elosztó.....	148
7.2.3.4. Burkolt síncsatornás rendszer (tokozott síncsatorna).....	149
7.3. Transzformátorállomások térbeli kialakításának egyes szerkezettani kérdései.....	151
7.3.1. Nagy/nagy, nagy/közép és közép/középfeszültségű transzformátorállomások.....	151
7.3.2. Közép/kisfeszültségű transzformátorállomások.....	153
7.4. Segédüzemi berendezések.....	158
7.4.1. Erőművek és állomások segédüzemi berendezései.....	158
7.4.2. Erőművek gépészeti segédüzemének villamos berendezései.....	160
7.4.2.1. A segédüzem energiaellátása.....	160
7.4.2.2. Segédüzemi fogyasztók.....	163

8. A TRANSZFORMÁTOROK, VEZETÉKEK ÉS A KAPCSOLÓBERENDEZÉS KÉSZÜ- LÉKEINEK, MÉRŐVÁLTÓINAK, ZÁRLATKORLÁTOZÓ FOJTÓTEKERECSEINEK KIVÁLASZTÁSA.....	166
8.1. A transzformátorok kiválasztása.....	166
8.2. A vezetékek villamos méretezése, kiválasztása.....	168
8.2.1. Nagyfeszültségű készülékek kiválasztása.....	168
8.2.2. Méretezés mechanikai igénybevételre.....	170
8.2.2.1. Gyűjtősínek és merev áramvezetők mechanikai méretezése.....	170
8.2.2.2. Támszigetelők és átvezető szigetelők méretezése.....	174
8.2.3. Vezetékek hőigénybevétele.....	175
8.2.3.1. Szigetelt vezetékek megengedett áramterhelése.....	178
8.2.3.2. Erősáramú kábelek megengedett áramterhelése.....	181
8.2.3.3. Szabadvezetékek megengedett áramterhelése.....	181
8.2.3.4. Sínek és csupasz vezetékek megengedett áramterhelése.....	183
8.2.3.5. Ellenőrzés zárlati melegeedésre.....	184
8.2.4. A kábelek kiválasztása.....	186
8.2.5. Szigetelt vezetékek kiválasztása.....	187
8.3. A kapcsolóberendezés készülékeinek, mérőváltóinak zárlat-korlátozó fojtótekerceinek kiválasztása.....	187
8.3.1. A kapcsolóberendezésre jellemző villamos fogalmak és adatok.....	187
8.3.2. Nagyfeszültségű készülékek kiválasztása.....	188
8.3.2.1. Megszakítók.....	189
8.3.2.2. Szakaszolók.....	190
8.3.2.3. Kapcsolók.....	190
8.3.2.4. Kontaktorok és nehézüzemi mágneskapcsolók.....	192
8.3.2.5. Biztosítók.....	193
8.3.3. Áramváltók.....	193
8.3.4. Feszültségváltók.....	197
8.3.5. Zárlatkorlátozó fojtótekercs.....	199

1. VILLAMOS HÁLÓZATI IMPEDANCIÁK

1.1. Mérésponți impedancia

Tekintsünk egy tetszőlegesen bonyolult, csak vezetékeket és fogyasztókat tartalmazó, azaz passzív lineáris hálózatot (H). Legyen a hálózatnak n számú táppontja ideális váltakozó áramú feszültségforrással. Egyfázisú helyettesítő ábrában felrajzolva az elmondottakat (1.1.-1. ábra) jelölje N az impedanciamentes földpotenciálón levő gyűjtősínt, amelyhez a fogyasztók és a feszültségforrások is kapcsolódnak (csillagpont). A valóságos hálózatot így passzív és aktív elemekre szétválasztva határozzuk meg a generátorok által a hálózatba táplált áramokat. Adottnak tekintjük a generátorok feszültségeit és a hálózati elemek impedanciáinak értékeit.



1.1.-1. ábra. n számú feszültségforrással rendelkező hálózat modellje

Rögzítsük az áram pozitív irányát! Pozitív az áram iránya, ha a táplálási pontban a hálózatba befelé folyik.

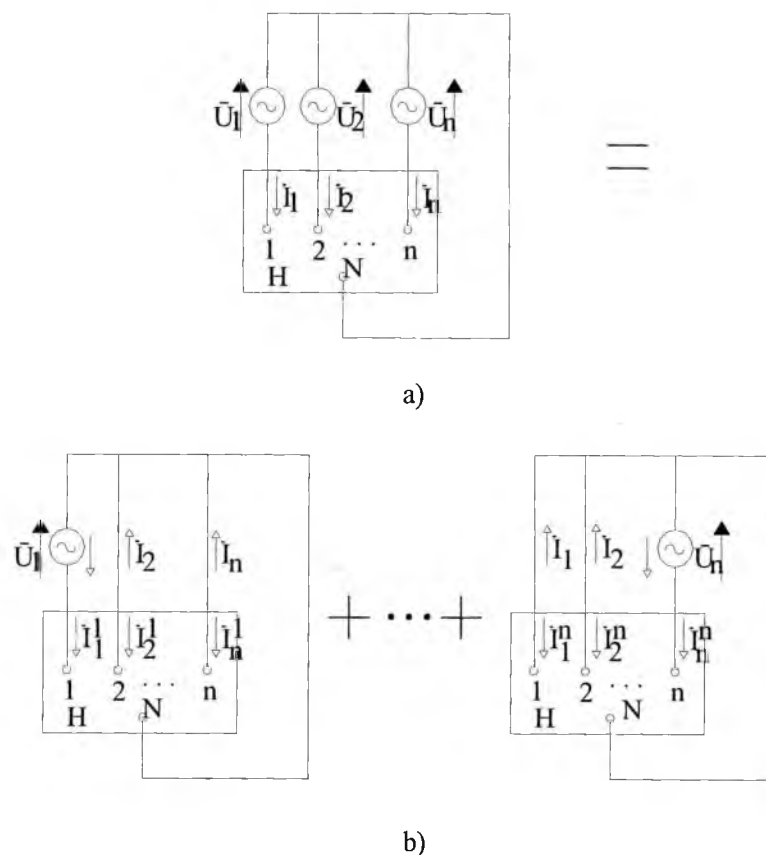
A szuperpozíció elvét alkalmazva — azaz a passzív hálózatba az aktív elemeket, a generátorokat egyenként alkalmazva, miközben a többi generátort dezaktivizáljuk — az egyes generátorok által áthajtott áramokat az ágakon összegezve a keresett árameloszlás könnyen meghatározható.

Tápláljon a 1.1.-2/b. ábra látható módon az első generátor a hálózatba \bar{I}_1 áramot. Természetesen a passzív hálózatba tápláló többi dezaktivizált feszültség generátor helyén a feszültség $\bar{U}_2 = \bar{U}_3 = \dots = \bar{U}_n = 0$. Ekkor az ábrán szaggatottan jelölt tényleges árameloszlás alakul ki.

A 1.1.-2/b. ábra első hálózatában az 1-es helyen \bar{U}_1 feszültség hatására $\bar{I}_1^{(1)}$ áram folyik be. Ebben az állapotban — amikor a 2., 3., ... n -edik generátor hely az N sínhez rövidre van zárva — az \bar{U}_1 feszültség és az $\bar{I}_1^{(1)}$ áram hányadosa egy impedancia, egész hálózat eredő impedanciája az 1-N hely felől nézve:

$$\bar{Z}_{11} = \frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_1^{(1)}} \quad (1.-1)$$

Ezt az impedanciát a hálózat 1-es pontjához tartozó **rövidzárási mérésponți impedanciának** nevezzük. (A rövidzárási jelző a feszültségforrások rövidzárására utal.)



1.1.-2. ábra. A szuperpozíció elve n feszültségforrású hálózat esetén

1.2. Átviteli impedanciák

A befolyt áram egy része a 2-es ponton folyik ki a hálózatból. A kifolyó áram nagysága arányos \bar{U}_1 -gyel. Az $-\frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_2^{(0)}}$ viszony impedancia jellegű mennyiség (a negatív előjelre azért van szükség, mert az áram és a feszültség iránya ellentétes!) Ezt az impedanciát \bar{Z}_{21} -gyel jelöljük (a feszültség az 1-es pontban hat, az áram a 2-es ponton folyik ki), és ezt az értéket az 1-es és 2-es pont közötti rövidzárási átviteli (transzfer) impedanciának nevezzük.

Hogy az impedancia valós része — gyakorlati esetekre — pozitív értékű legyen, $-\bar{I}_2^{(0)}$ -vel, a felvett áramiránnyal ellentétes tényleges áramiránnyal kell osztani, tehát a **rövidzárási átviteli impedancia** definíció szerint:

$$\bar{Z}_{21} = -\frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_2^{(0)}} \Big|_{U_2; U_3; U_4; \dots; U_n = 0} \quad (1.-2)$$

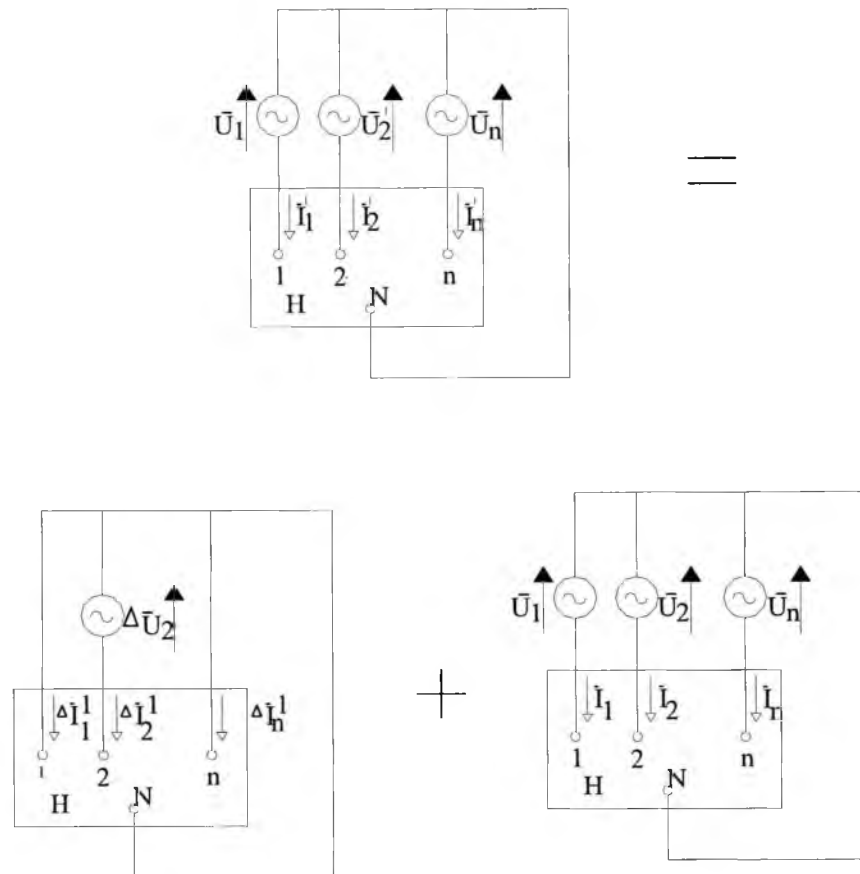
Miután feltételünk szerint a H hálózat passzív és lineáris, így

$$\bar{Z}_{12} = \bar{Z}_{21}. \quad (1.-3)$$

A (1.-2) összefüggés alapján, az első hálózatra az 1-es pont és a többi pont között több átviteli impedancia is definiálható, azaz:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{31} &= -\frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_3^{(1)}} \Big|_{U_2; U_3; \dots; I_n = 0}, \\ \bar{Z}_{n1} &= -\frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_n^{(1)}} \Big|_{U_2; U_3; \dots; U_{n-1} = 0}.\end{aligned}\quad (1.4)$$

Így meghatároztunk egy olyan módszert, amellyel — természetesen az 1.1.-2b bármelyik generátor hatására az 1., 2., 3., ..., n -edik pontokon be- és kifolyó áramok meghatározhatók.



b)

1.2.-1. ábra. A szuperpozíció alkalmazása az árameloszlás megváltozására, ha egy feszültségforrás feszültsége megváltozik

Ha a 2., 3., ..., n -edik generátor hatására folyó áramokat minden vezetékre felírjuk, és az így kapott áramokat a 1.1.-2/b. ábrán vázoltak szerint szuperponáljuk, akkor az (1.-5) egyenletrendszer szerint megkapjuk a generátorok hálózatba táplált áramait:

$$\begin{aligned}\bar{I}_1 &= \frac{\bar{U}_1}{\bar{Z}_{11}} - \frac{\bar{U}_2}{\bar{Z}_{12}} - \dots - \frac{\bar{U}_n}{\bar{Z}_{1n}} = \bar{I}_1^{(1)} + \bar{I}_1^{(2)} + \dots + \bar{I}_1^{(n)}, \\ \bar{I}_2 &= -\frac{\bar{U}_1}{\bar{Z}_{21}} + \frac{\bar{U}_2}{\bar{Z}_{22}} - \dots - \frac{\bar{U}_n}{\bar{Z}_{2n}} = \bar{I}_2^{(1)} + \bar{I}_2^{(2)} + \dots + \bar{I}_2^{(n)}, \\ \bar{I}_n &= -\frac{\bar{U}_1}{\bar{Z}_{n1}} - \frac{\bar{U}_2}{\bar{Z}_{n2}} - \dots + \frac{\bar{U}_n}{\bar{Z}_{nn}} = \bar{I}_n^{(1)} + \bar{I}_n^{(2)} + \dots + \bar{I}_n^{(n)}.\end{aligned}\quad (1.5)$$

Itt kell felhívni a figyelmet arra, hogy nem szabad összetéveszteni a rövidzárási mérésiimpedanciát az önimpedanciával, a rövidzárási átviteli impedanciát a kölcsönös impedanciával, mert bár a jelölésük azonos, a fogalmak különbözőek.

A (1.-5) egyenletrendszer a gyakorlati számítások szempontjából rendkívül fontos. A hálózat bármely pontján bekövetkező változást könnyű vele figyelembe venni, nem kell újra számolni az árameloszlást. Példaként vizsgáljuk meg, hogyan számítható az egyik, például a 2. generátor feszültségének \bar{U}_2 -ről \bar{U}_2^1 -re való változásakor az árameloszlás!

A feszültségváltozás: $\Delta\bar{U}_2 = \bar{U}_2^1 - \bar{U}_2$ hatását az árameloszlásra egyszerűen meghatározhatjuk a szuperpozíció tételével. Nem szükséges előről kezdeni az árameloszlás számítását, elegendő a $\Delta\bar{U}_2$ hatására bekövetkező $\Delta\bar{I}_1, \Delta\bar{I}_2, \dots, \Delta\bar{I}_n$, áramokat a (1.-5) egyenletek alapján meghatározni, és ezeket az eredeti áramokra szuperponálni (1.2.-1. ábra).

1.3. Üresjárási mérésiimpedanciák és átviteli impedanciák

Az eddig tárgyalt mérésiimpedancia és átviteli impedancia meghatározását az jellemezte, hogy a vizsgált ponton kívüli összes csatlakozási pont rövidre volt zárva (1.2.-1/b. ábra). Ezért $\bar{Z}_{11}, \bar{Z}_{22}, \dots, \bar{Z}_{nn}$ neve rövidzárási mérésiimpedancia, míg $\bar{Z}_{12}, \bar{Z}_{13}, \dots, \bar{Z}_{1n}, \dots, \bar{Z}_{kn}$, neve rövidzárási átviteli impedancia.

Ha a hálózat energiaforrásait áramgenerátorokkal képezzük le, és a hatásukra kialakuló feszültségeloszlást kívánjuk meghatározni, úgy megint a szuperpozíció tételét kell segítségül hívni. Az egyes áramgenerátorok árama által a vizsgált pontokon kialakuló feszültség értékek meghatározásához most a többi áramgenerátor dezaktivizálása szakadással helyettesítést jelent, azaz „üresjárás”. Így a vizsgált pontokon kialakuló feszültségek és az egyetlen tápláló áramgenerátor áramának hányadosaként definiált impedanciák neve értelemszerűen:

üresjárási mérésiimpedancia,

$$\bar{Z}_{11}^u = \frac{\bar{U}_1^{(1)}}{\bar{I}_1}$$

illetve,

üresjárási átviteli impedancia.

$$\bar{Z}_{21}^u = \frac{\bar{U}_2^{(1)}}{\bar{I}_1}$$

Természetesen az így meghatározott impedanciák nem csak nevükben, hanem értékeikben is lényegesen különbözőek a korábban definiált rövidzárási impedanciákhoz képest. Segítségükkel az „n” darab áramgenerátorral táplált passzív hálózat áramgenerátorainak feszültsége a következőképpen írható fel:

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= \bar{Z}_{11}^u \bar{I}_1 + \bar{Z}_{12}^u \bar{I}_2 + \bar{Z}_{13}^u \bar{I}_3 + \dots + \bar{Z}_{1n}^u \bar{I}_n \\ \bar{U}_2 &= \bar{Z}_{21}^u \bar{I}_1 + \bar{Z}_{22}^u \bar{I}_2 + \bar{Z}_{23}^u \bar{I}_3 + \dots + \bar{Z}_{2n}^u \bar{I}_n \\ &\vdots \\ \bar{U}_n &= \bar{Z}_{n1}^u \bar{I}_1 + \bar{Z}_{n2}^u \bar{I}_2 + \bar{Z}_{n3}^u \bar{I}_3 + \dots + \bar{Z}_{nn}^u \bar{I}_n \end{aligned}$$

2. SZIMMETRIKUS ZÁRLAT SZÁMÍTÁSA

2.1. A szinkrongép zárlati viszonyai

Egy villamosenergia-rendszerben a zárlati áram forrása a párhuzamosan járó valamennyi szinkrongép, sőt bizonyos mértékig minden egyéb, a hálózaton levő villamos forgógép (villamos motorok) is. A gyakorlati esetek nagyobb részében azonban elegendő a szinkrongépek szolgáltatása zárlati áramot figyelembe venni, ui. a többi forgógépben lejátszódó zárlati jelenségek igen gyors lefolyásúak és a szinkrongépekhez képest csekély mértékben vesznek részt a zárlati áram kifejlődésében.

A szinkron gépen fellépő zárlat következményei súlyosak, egyrészt a villamosenergia-átvitel korlátozása, másrészt komoly károkozás (dinamikus; melegeedés, olvasztás, ív) következhet be.

A káros hatások elleni védekezés módja a védelem érzékelésének (kioldó parancsának) hatására a megszakító kikapcsolásával a gyors zárlathárítás. A szinkrongépben háromféle zárlatfajta jöhet létre:

- egyfázisú zárlat
- kétfázisú zárlat;
- háromfázisú zárlat.

Az egyfázisú földzárlat a gyakorlatban nem lép fel, mert a generátorok csillagpontja szigetelt. A szinkrongépek üzemében igen fontos és az egész berendezésre nagymértékben meghatározó a háromfázisú zárlat. Ezért a szinkrongépek hirtelen bekövetkező háromfázisú zárlatával (3F) fogunk foglalkozni.

2.2. A szinkrongép hirtelen háromfázisú kapocszárlata

A zárlatot a következő feltételek mellett vizsgáljuk:

- szimmetrikus forgórészű szinkrongépeket tekintünk;
- a rövidzárás a szinkron fordulattal és a névleges feszültségre gerjesztett üresen járó gépen következik be ($U_k = U_p = U_n / \sqrt{3}$).
- a fázistekercsek ellenállását (rezisztenciáját) az induktív reaktancia mellett elhanyagoljuk (nagy generátorok esete);
- a forgórész vastest, ill. a forgórész csillapító rudzatának csillapító hatása érvényesül.

A zárlati áram — az állórész tekercselés *ellenállásának elhanyagolása* miatt — a feszültséghez képest 90° -kal késő tisztán induktív áram, amely — minthogy a zárlat a gép kapcsain feltételezett, így közel van, a zárlati áramkör eredő induktív reaktanciája kicsi —, a forgórészre erős lemágnesező hatást fejt ki. Ez az armatúreakció az indukált feszültség gyors letörését eredményezi, így — állandó reaktanciát feltételezve — a zárlati áram is csökken. (A gyakorlati modellezésben a feszültséget tekintjük állandónak és feltételezzük a reaktanciák időbeli változását.)

A zárlati áram időbeli lezajlása szerint két eset léphet fel:

- szimmetrikus lefolyású zárlati folyamat;
- aszimmetrikus lefolyású zárlati folyamat.

A két eset fő jellegzetességét a zárlat bekövetkezésének pillanata szabja meg. Az első esetben a 3F zárlat a feszültség maximumánál lép fel $u(0) = u_m$, míg a második esetben a zárlat a

feszültség pozitív félhullámának nulla átmeneténél következik be $u(0) = 0$. A kialakuló folyamatokat a szinkrongép átmeneti jelenségeinek nevezzük.

Az átmeneti jelenségek vizsgálatának az alapja egy soros R-L kör, amelyre $t = 0$ időpillanatban szinuszos, és az időben állandó amplitúdójú u feszültséget kapcsolunk. (Az alaposabb tanulmányozás érdekében tehát átmenetileg eltekintünk attól a feltételtől, hogy az ellenállást elhanyagolhatjuk.)

A jelenséget leíró differenciálegyenlet:

$$Ri + L \frac{di}{dt} = u(t) = u_m \cdot \sin(\omega t + \psi) \quad (2.-1)$$

ahol ψ a feszültsézfázornak a $t = 0$ pillanatban az ordinátatengellyel bezárt szöge.

Az (2.-1) egyenlet i -re történő megoldása – a villamosságatanban megismerteknek megfelelően – két tagból áll:

- az i_a állandósult állapotot leíró, vagy *váltakozó áramú összetevőből*, és
- az i_t átmeneti állapotot leíró, ún. *egyenáramú összetevőből*.

Ezt figyelembe véve (a mi esetünkben a zárlati áramra alkalmazva a (2.-1) kifejezést):

$$i(t) = i = i_a + i_t = i_{zv} + i_{ze} = i_z,$$

ahol a "Z" index a zárlatra utal.

$$i_z = \frac{u_m}{Z} \left[\sin(\omega t + \psi - \varphi) - e^{-\frac{t}{T_e}} \sin(\psi - \varphi) \right] \quad (2.-2)$$

ahol φ a fázisszög; $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ az áramkör impedanciája; T_e az egyenáramú összetevő időállandója; ψ a zárlatra kapcsolás pillanatában a feszültség szöghelyzete. (Ha a feszültség maximális $t = 0$ -ban akkor $\Psi = \pi / 2$)

A (2.-2) egyenlet segítségével egyrészt meg lehet állapítani a zárlati folyamatok jellegét és meg lehet határozni a legnagyobb zárlati áramokat, másrészt le lehet vezetni a 3F-kapocszárlatkor fellépő zárlati áram pillanatértékének időbeli lefolyására és számítására alkalmas matematikai kifejezését.

A zárlati folyamatok jellegét két szélső esetre, (azon belül két kitüntetett időpontra) vizsgáljuk.

a) eset: $\psi = \frac{\pi}{2}; \varphi = \frac{\pi}{2}$, azaz $\psi - \varphi = 0$

a₁) eset: $t = 0$.

A (2.-1) és a (2.-2) egyenletekből következően:

$$u = u_m \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) = -u_m \quad (2.-3)$$

$i_{zv} = 0; I_{ze} = 0$, azaz: $i_z = 0$. (2.-4)

a₂) eset: $t = T/4$ (T a periódusidő).

Ugyancsak a (2.-1) és a (2.-2) egyenletből kapjuk:

$$u = u_m \sin(\pi/2 - \pi/2) = 0; \quad (2.-5)$$

$$i_{zv} = \frac{u_m}{Z} = \frac{\sqrt{2}U_f}{Z} = \sqrt{2}I_z = i_{m_{zv}}, \quad i_{ze} = 0 \quad (2.-6)$$

Az a) esetben kialakuló áramgörbét mutatja az (2.2.-1. ábra).

Ezt az átmeneti zárlati jelenséget, amikor a szinkrongép hirtelen háromfázisú kapocszárlata a feszültség maximális értékénél lép fel, **szimmetrikus lefolyású zárlati áramnak** nevezzük. Az áram az időtengelyre szimmetrikus, és nincs egyenáramú összetevő.

b) eset: $\psi = 0, \quad \varphi = \pi/2$, azaz $\psi - \varphi = -\pi/2$

b₁) eset: $t = 0;$

A (2.-1) és a (2.-2) egyenlet felhasználásával:

$$u = 0;$$

(2.-7)

$$i_{Zv} = -u_m/Z;$$

$$i_{Ze} = u_m/Z,$$

azaz

$$i_Z = 0$$

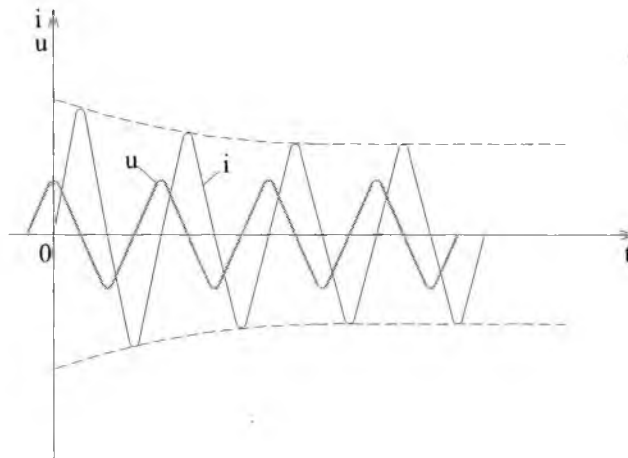
(2.-8)

b₂ eset:

$$t = T/2$$

azaz

$$\omega t = \pi/2$$



2.2.-1. ábra. Szimmetrikus lefolyású zárlat áramgörbéje

A (2.-1) és a(2.-2) egyenletből kapjuk:

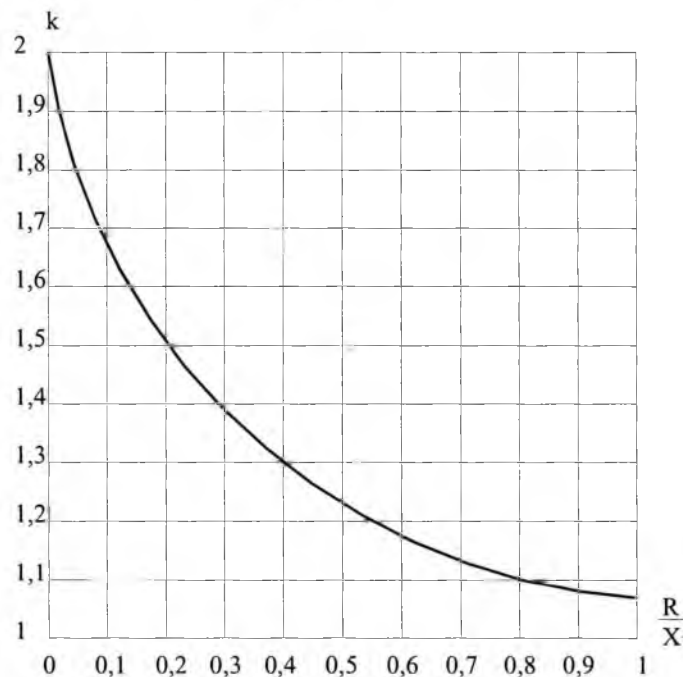
$$u = 0;$$

(2.-9)

$$i_{Zv} = u_m/Z$$

$$i_{Ze} = \frac{u_m}{Z} e^{-\frac{T/2}{T_e}}$$

(2.-10)



2.2.-2. ábra. A lökési tényező változása az R/X függvényében

A zárlati áram legnagyobb pillanatértékének kifejezései:

- a csillapítás elhanyagolásával ($T_e \gg T$):

$$i_{z_{cs}} = 2 \frac{u_m}{Z} = 2\sqrt{2} \frac{U_f}{Z} = 2\sqrt{2} I_z \quad (2.-11)$$

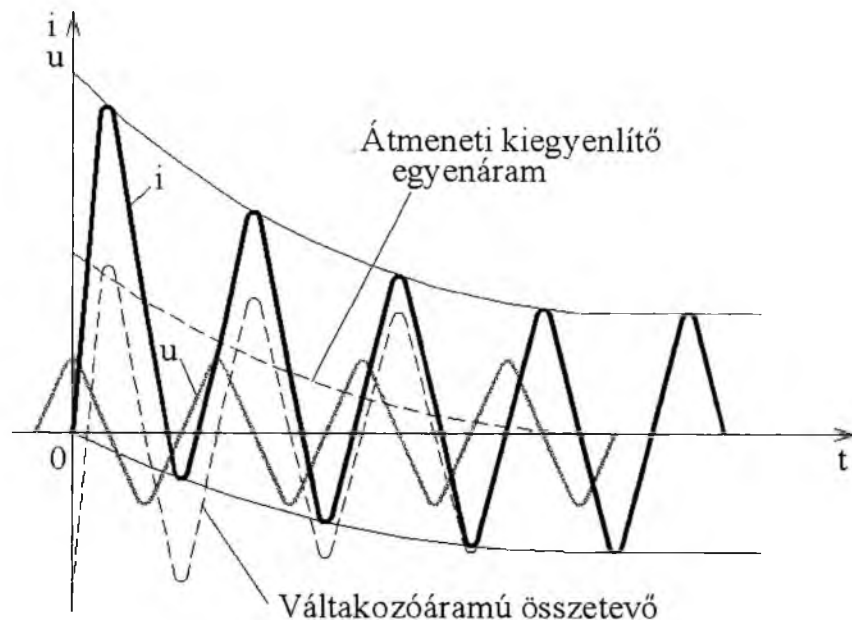
- a csillapítás figyelembevételével:

$$i_{z_{cs}} = k\sqrt{2} I_z \quad (2.-12)$$

ahol k a csúcs- vagy a lökési tényező. Értéke a csillapodás mértékétől azaz a zárlati áramkör R/X viszonyától függ (2.2.-2. ábra.)

Azt az átmeneti zárlati jelenséget, amikor a szinkrongép hirtelen 3F-kapocszárlata a feszültség pozitív nullaátmeneténél lép fel, **aszimmetrikus lefolyású zárlati áramnak** nevezzük.

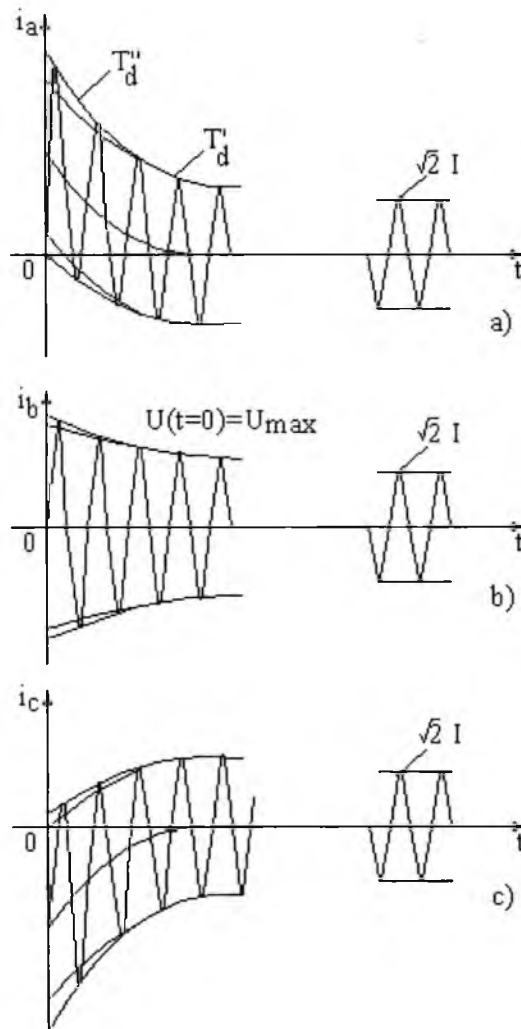
A kialakuló áramgörbe szimmetriatengelye az egyenáramú összetevő (2.2.-3. ábra). Ez utóbbi gyorsan bekövetkező lecsengése után az aszimmetrikus zárlati áram szimmetrikussá válik, és végül a szimmetrikus zárlat állandósuló értékére csökken.



2.2.-3. ábra. Aszimmetrikus lefolyású zárlat áramgömbéje

A valóságos szinkron gép számára ez a modell túl egyszerű. A hirtelen, az állórészen létrehozott villamos kapcsolási változást – 3F zárlat – a mágneses energia változása, azaz a fluxuskép-változás csak véges idővel tudja követni, ráadásul mágnesesen kapcsolt villamos körökkel állunk szembe, hiszen a forgórészen ott a gerjesztőtekercs.

Háromfázisú szinkrongenerátorok rövidzárlati áramában az állandósult váltakozó áramú összetevő mindegyik fázisban ugyanakkora, ellenben az egyenáramú összetevő fázisonként más-más értékű aszerint, hogy a zárlat az illető fázis feszültség-hullámának mely pontján következett be. Ebből az következik, hogy a zárlati áram egész lefolyása általában mindegyik fázisban más: ha az egyik fázisban szimmetrikus, akkor a másik kettőben úgy aszimmetrikus, hogy a két aszimmetrikus hullámsor egymásnak tükörképe (2.2.-4. ábra). Nézzünk egy oszcillogramot:



2.2.-4. ábra. Egy háromfázisú generátor fázisainak rövidzárlati áramlefofolyása

A szinkrongenerátorokon végzett rövidzárlati kísérletek alkalmával felvett hullámrajzok pontos elemzése azt mutatja, hogy a zárlati áram mindhárom fázisban felbontható négy összetevőre: egy csillapodó egyenáramú, két csillapodó váltakozó áramú és egy állandó nagyságú váltakozó áramú összetevőre (2.2.-5. ábra).

Ez fizikailag azt jelenti, hogy a zárlati áram, a zárlatot követő első néhány periódus alatt gyorsabban csillapodik, mint később. Ezt a generátor forgórészén levő egyes fémes alkatrészeknek (pl. csillapítórudak, tekercsrögzőtő-ékek), mint zárt áramköröknek a visszahatása okozza.

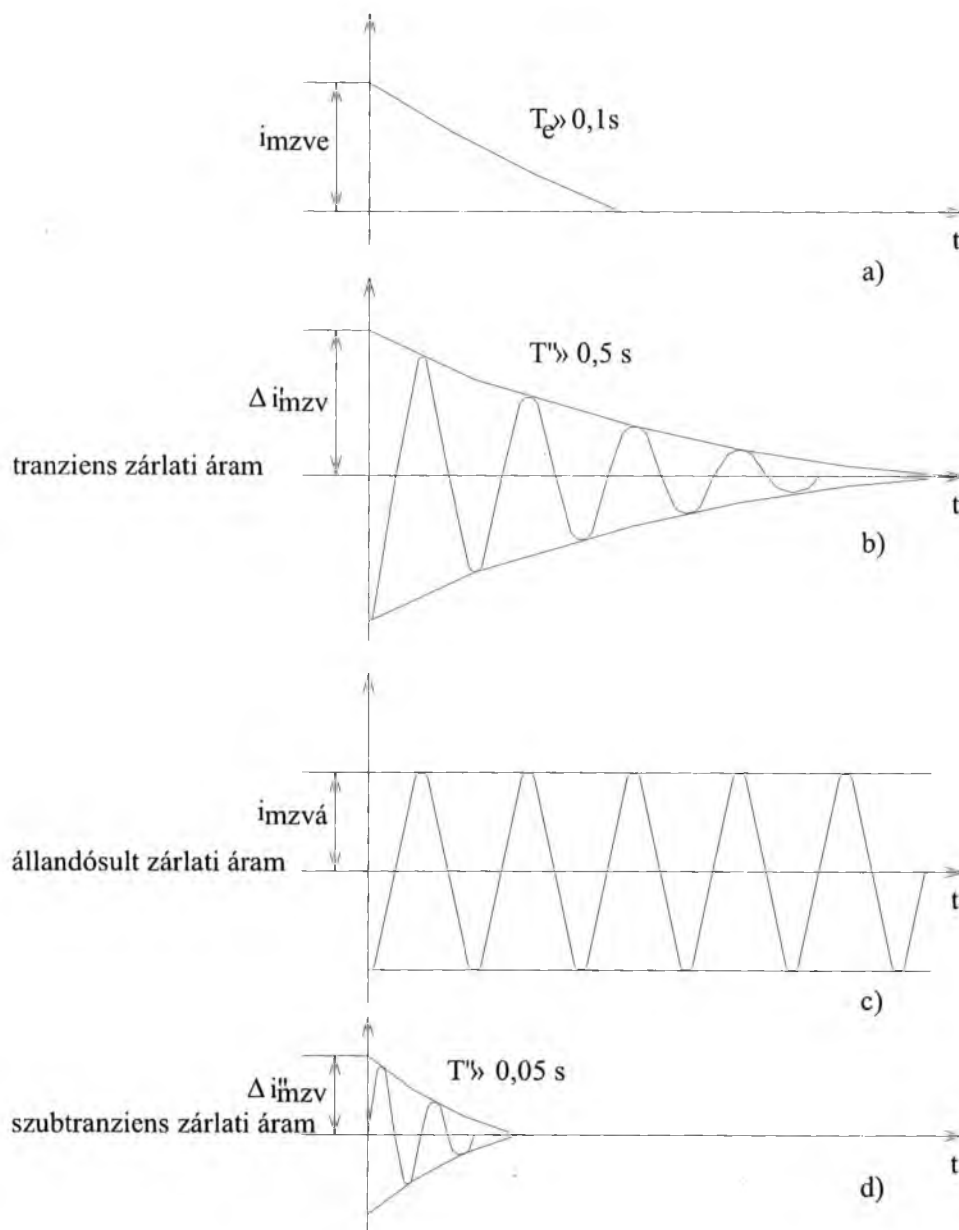
A csillapodó áramok olyan, a hirtelen állapotváltozás miatt létrejövő kiegyenlítő áramok, amelyek nem lépnének fel, ha a szinkron gép külső (terhelési) áramkörének impedanciáját folyamatosan csökkentenénk le nullára.

A folyamat megértése a **fluxusállandóság elve** alapján lehetséges. A mágneses mező energiát tartalmaz, tehát az energia megmaradásának elvéből következően a mágneses mező (fluxus) nem tud ugrásszerűen (nulla idő alatt) megváltozni, csak folyamatosan.

A gépben a zárlat előtt a forgórész gerjesztésének megfelelő nagyságú forgó mágneses mező volt. Az állórészben fellépő zárlati áram olyan együttforgó mágneses mezőt hoz létre, amely a forgórész mágneses mezejét gyöngíti (ezért nevezzük armatúra reakciónak).

Az első pillanatban a gyöngítés csak kismértékű, mivel ugrásszerű csökkenés a (fluxusállandóság miatt) nem jöhet létre. Ezért az állórész zárlati áramának megfelelő mező erővonalai az első pillanatban nem tudnak behatolni a forgórész gerjesztő tekercsébe, hanem

csak a szórási utakon (fogak közt, tekercsfejek körüli utakon, forgórész pólusain át) záródnak, amelyek túlnyomóan levegőutak.



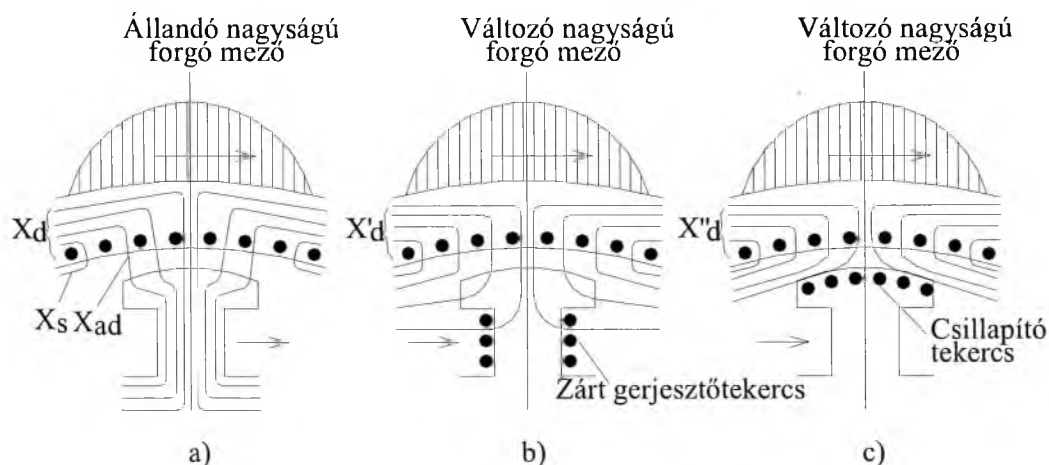
2.2.-5. ábra. A zárlati áram négy összetevője (fiktív)

a) egyenáramú összetevő;

(b) tranziens- (c), állandósult- (d), szubtranziens váltakozó áramú összetevő

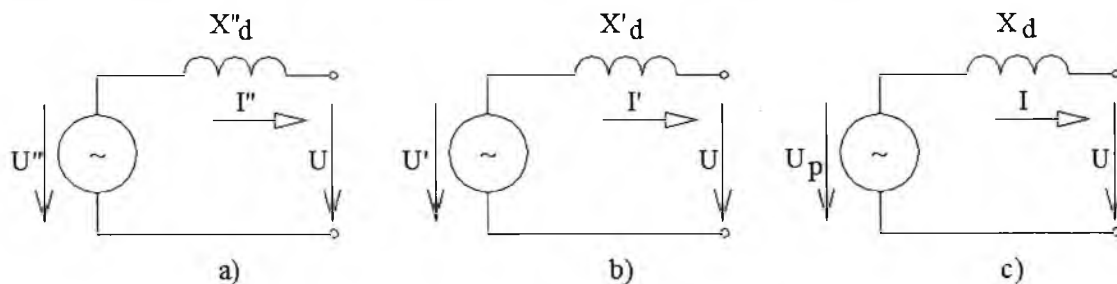
Ezek **nagy mágneses ellenállást** és igen kis reaktanciát képviselnek, ezt **tranziens reaktanciának** nevezzük. Ennek következtében a hirtelen fellépő zárlati áram, az ún. tranziens zárlati áram az első pillanatban nagy értékű (2.2.-6/b. ábra).

A forgórészben a gerjesztőtekercseken kívül más rövidrezárt áramkörök is vannak: kiképzett pólusú gép csillapító rúdjai, turbógenerátor forgórészében a tömör vasmag. Ezért az armatúreakció ezek közé sem tud behatolni és így az armatúreakció erővonalai még kisebb keresztmetszetre, kevesebb vason és több levegőn át való záródásra kényszerülnek, mint csillapítótekercs nélküli forgórész esetében, ezért a kis **szubtranziens reaktanciának** megfelelő ún. szubtranziens áram nagyobb a tranziensnél (2.2.-6/c. ábra).



2.2.-6. ábra. Fluxuskapcsolódás a forgórész különböző kialakításakor
 a) szinkron reaktancia fluxusa; b) tranziens reaktancia fluxusa;
 c) szubtranziens reaktancia fluxusa

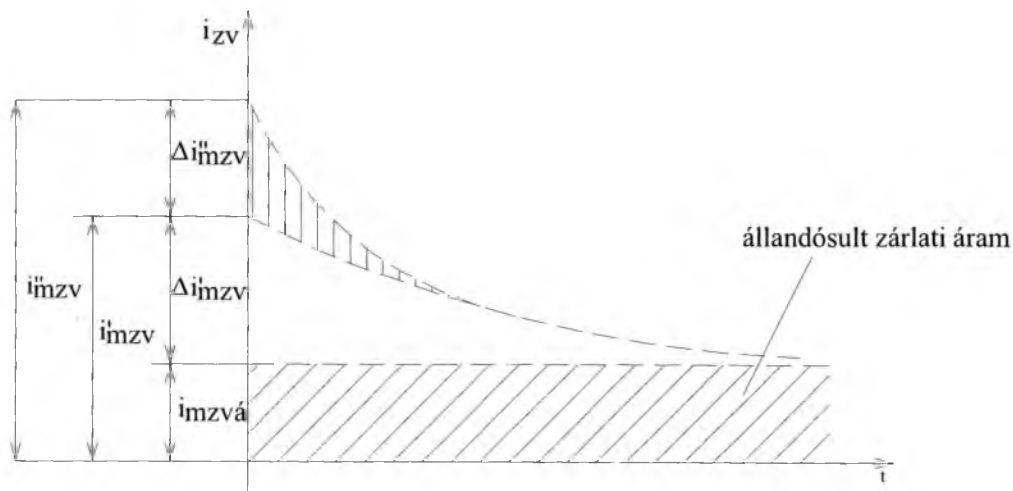
A szinkrongépet saját üzemviszonyainak (ill. a hálózatok üzemviszonyainak) a vizsgálatához – az egyfázisú helyettesítő kapcsolásban – valóságos feszültségforrással helyettesítjük. Az elmondottak alapján a zárlati áram időbeli lefolyása három szakaszának megfelelően, a vonatkozó reaktanciák ismeretében a szinkrongépnek három helyettesítő kapcsolása van, éspedig a szubtranziens, a tranziens és az állandósult állapotra. Ezen egyfázisú helyettesítő vázlatokat 3F-kapocszárlatra a 2.2.-7. ábra mutatja.



2.2.-7. ábra. A szinkrongép egyfázisú helyettesítő kapcsolási vázlatai
 a) szubtranziens állapotban (U'' a szubtranziens reaktancia mögötti fázisfeszültség);
 b) tranziens állapotban (U' a tranziens reaktancia mögötti fázisfeszültség);
 c) állandósult állapotban (U_p a pólusfeszültség fázisértéke); U a kapocsfeszültség fázisértéke

A zárlati áram átmeneti jelenségének (tranziens jelenségének) leírására, a fluxusképek változását figyelembe vevő három váltakozó áramú és egy egyenáramú áramösszetevő szolgál.

$$i_z(t) = \left(\Delta i_m^{(0)} e^{-\frac{t}{T_d^{(0)}}} + \Delta i_m^{(1)} e^{-\frac{t}{T_d^{(1)}}} + i_{má} \right) \sin(\omega t + \psi - \varphi) + i_{me} e^{-\frac{t}{T_c}} \sin(\psi - \varphi) \quad (2.-13)$$



2.2.-8. ábra. A zárlati áram váltakozóáramú áramösszetevőjének felbontása a pozitív félhullámok burkológörbéjének ábrázolásával
 $(i_{mzv}^{()})$ a szubtranzienst, $(i_{mv}^{()})$ a tranziens, és $(i_{mvá})$ az állandósult zárlati áram csúcsértéke
 $(\Delta i_{mzv}^{()})$ a szubtranzienst, $(\Delta i_{mv}^{()})$ a tranziens összetevő

A zárlati áram váltakozó áramú összetevőinek burkológörbéit illetve a burkológörbe $t=0$ időpontra vonatkozó értékeit a 2.2.-8. ábra mutatja. Az ábrában a „zv” index a zárlati áram váltakozó áramú összetevőjére utal, amit a továbbiakban elhagyunk!

A szubtranzienst burkológörbe $t = 0$ -ra extrapolált értékét, szubtranzienst áramnak $(i_m^{()})$, a tranziens burkológörbe $t = 0$ -ra extrapolált értékét tranziens áramnak $(i_m^{'})$ nevezzük. A gyakorlatban — mint minden szinuszosan váltakozó áramnak — nem a csúcsértéket, hanem az effektív értékeket $(I^{()})$; $(I^{'})$ szokták megadni!

Számításuk a mágneses viszonyokat kifejező szubtranzienst: $X_d^{()}$, ill. tranziens: $X_d^{'}$ reaktanciák segítségével lehetséges. (A „d” index a generátor tengelyirányára utal!)

Tehát az első, a zárlat bekövetkezése utáni pillanatokban jelentkező ún. szubtranzienst áram burkológörbéjének $t=0$ időpontra visszavetített (csúcs) értéke: $i_m^{()} = \sqrt{2} \frac{U_f}{X_d^{()}}$, ahol

$X_d^{()} = \frac{\varepsilon_d^{()}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}$ a szubtranzienst reaktancia, ohmban kifejezve. A szubtranzienst áram $T_d^{()}$, ún.

szubtranzienst időállandó szerint csillapodik.

A második szintén exponenciálisan csillapodó összetevő a néhány periódus után beálló ún. tranziens áram. Ezen lassabban csillapodó összetevő burkológörbéjének $t=0$ időpontra visszavetített (csúcs) értéke: $i_m^{' } = \sqrt{2} \frac{U_f}{X_d^{'}}$, ahol $X_d^{' } = \frac{\varepsilon_d^{'}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}$ a tranziens reaktancia. A

tranziens áram $T_d^{'}$ tranziens időállandóval csillapodik;

A harmadik váltakozó áramú összetevő az állandósult zárlati áram, amelynek csúcsértéke:

$$i_{mvá} = \sqrt{2} \frac{U_f}{X_d}, \text{ ahol } X_d \text{ a szinkron reaktancia.}$$

A szintén exponenciálisan csillapodó egyenáramú összetevő maximuma a szubtranzien áram $t = 0$ időpillanatban vett értéke, mert $t=0$ -ban az áram nagysága $i_z(t) = 0$, miután a zárlat üresjárás állapotból következik be.

A szubtranzien időállandóval csillapodó váltakozó áramú összetevő:

$$\Delta i_m^{(0)} = i_m^{(0)} - i_m^0 = \sqrt{2}U_f \left(\frac{1}{X_d^{(0)}} - \frac{1}{X_d^0} \right). \quad (2.-14)$$

A tranzien időállandóval csillapodó váltakozó áramú összetevő:

$$\Delta i_m^{(1)} = i_m^{(1)} - i_{má} = \sqrt{2}U_f \left(\frac{1}{X_d^{(1)}} - \frac{1}{X_d^0} \right). \quad (2.-15)$$

Az állandósult zárlati áram (váltakozó áram) csúcserőértéke:

$$i_{má} = \sqrt{2}U_f \frac{1}{X_d^0} \quad (2.-16)$$

Az egyenáramú összetevő maximális értéke:

$$i_{me} = \sqrt{2}U_f \frac{1}{X_d^{(0)}} \sin(\psi - \varphi), \quad (2.-17)$$

amely összetevő a T_c egyenáramú időállandóval csillapodik.

A (2.-13)...(2.-17) egyenletek felhasználásával szinkrongenerátor zárlati áramának egyenlete $U_{mf} = \sqrt{2} U_f$ figyelembevétel:

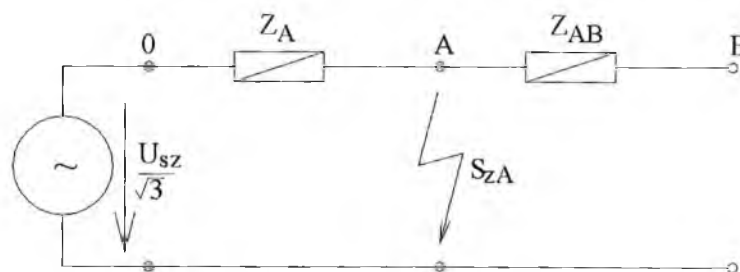
$$i_z(t) = U_{mf} \left\{ \left[\left(\frac{1}{X_d^{(0)}} - \frac{1}{X_d^0} \right) e^{-\frac{t}{\tau_d^{(0)}}} + \left(\frac{1}{X_d^{(1)}} - \frac{1}{X_d^0} \right) e^{-\frac{t}{\tau_d^{(1)}}} + \frac{1}{X_d^0} \right] \sin(\omega t + \psi - \varphi) - \frac{1}{X_d^{(0)}} e^{-\frac{t}{T_c}} \sin(\psi - \varphi) \right\} \quad (2.-18a)$$

A (2.-18a) összefüggés a reaktanciák százalékos értékével kifejezve a következő:

$$i_z(t) = \sqrt{2}I_n \left\{ \left[\left(\frac{100}{\varepsilon_d^{(0)}} - \frac{100}{\varepsilon_d^0} \right) e^{-\frac{t}{\tau_d^{(0)}}} + \left(\frac{100}{\varepsilon_d^{(1)}} - \frac{100}{\varepsilon_d^0} \right) e^{-\frac{t}{\tau_d^{(1)}}} + \frac{100}{\varepsilon_d^0} \right] \sin(\omega t + \psi - \varphi) - \frac{100}{\varepsilon_d^{(0)}} e^{-\frac{t}{T_c}} \sin(\psi - \varphi) \right\} \quad (2.-18b)$$

2.3. Hálózati 3F zárlat számítása a hálózati elemek saját zárlati teljesítményével

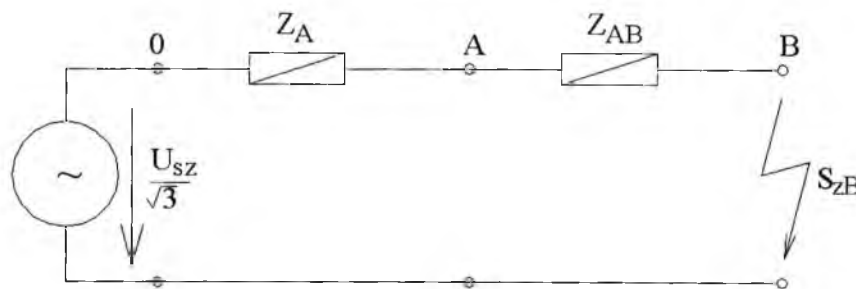
Ez a módszer célszerűen csak nyitott (hurkot nem tartalmazó) hálózatokon alkalmazható, de ott a *leggyorsabb* és *legegyszerűbb* eljárás, ugyanis sem feszültség-, sem teljesítményredukciónak nem igényel.



2.3-1/a. ábra Egyfázisú helyettesítő kapcsolási vázlat a soros hálózati elemek saját zárlati teljesítményének számításához (3F zárlat az A pontban)

Tételezzük fel, hogy a 2.3-1/a. ábrán vázolt hálózaton ismerjük az A pont zárlati teljesítményét (S_{ZA}). Számítsuk ki az A pont mögötti hálózat eredő impedanciáját Z_A -a az U_{SZ} számítási feszültségre vonatkoztatva:

$$Z_A = \frac{U_{SZ}^2}{S_{ZA}} \quad (2.-19)$$



2.3-1/b. ábra. Egyfázisú helyettesítő kapcsolási vázlat a soros hálózati elemek saját zárlati teljesítményének számításához (3F zárlat az B pontban)

Ha az A pontból induló Z_{AB} impedanciájú (pl. távvezeték) hálózati elem B végén lép fel háromfázisú zárlat (2.3-1/b. ábra), akkor a hibahelyi zárlati teljesítmény:

$$S_{ZB} = \frac{U_{SZ}^2}{Z_A + Z_{AB}} \Rightarrow \frac{1}{S_{ZB}} = \frac{Z_A}{U_{SZ}^2} + \frac{Z_{AB}}{U_{SZ}^2} \quad (2.-20)$$

Az előbbieket (2.-20) szerint:

$$\frac{1}{S_{ZA}} = \frac{Z_A}{U_{SZ}^2} \quad (2.-21)$$

legyen

$$\frac{1}{S_{AB}^{\prime}} = \frac{Z_{AB}}{U_{SZ}^2}, \quad (2.-22)$$

melyet vesszővel jelölve egy fiktív teljesítményt kapunk:

$$S_{AB}^{\prime} = \frac{U_{SZ}^2}{Z_{AB}} \quad (2.-23)$$

$S_{AB}^)$ a hálózat **AB** elemének ún. *saját zárlati teljesítménye*, vagyis az a zárlati teljesítmény, ami **B** pont háromfázisú zárlatakor lépne fel, ha az **A** pont feszültsége állandó "merev" maradna, vagyis az **A** pontzárlati teljesítménye végtelen nagy lenne.

Ezek alapján:

$$\frac{1}{S_{ZB}} = \frac{1}{S_{ZA}} + \frac{1}{S_{AB}^)}, \quad (2.-24)$$

amiből:

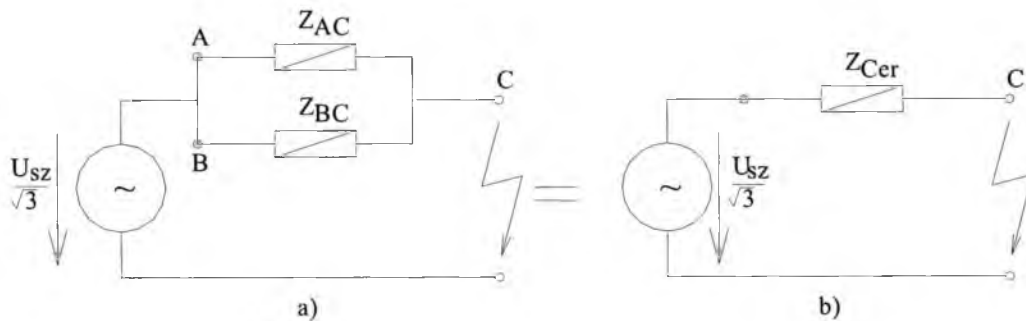
$$S_{ZB} = \frac{S_{ZA} \cdot S_{AB}^)}{S_{ZA} + S_{AB}^)} \rightarrow \frac{S_{AB}^)}{1 + \frac{S_{AB}^)}{S_{ZA}}}, \quad (2.-25)$$

ha $S_{ZA} \gg S_{AB}^)$, ekkor $S_{ZB} = S_{AB}^)$.

Ha tehát egy hálózat valamely pontjának zárlati teljesítménye ismert, akkor a hozzá sorosan kapcsolódó további elem végén fellépő zárlati teljesítmény az előző összefüggés alkalmazásával, a kapcsolódó elem saját zárlati teljesítményének ismeretében egyszerűen meghatározható.

Ha a hálózat két-ismert impedanciájú-eleme párhuzamosan kapcsolódik a hálózat adott pontjához, akkor a csatlakozási pont zárlati teljesítménye a következőkben ismertettek szerint számítható ki:

Az 2.3.-2/a. ábra elrendezésben kapcsolódnék a hálózat **C** pontjához egymással párhuzamosan a Z_{AC} , ill. a Z_{BC} impedanciájú két elem.



2.3.-2. ábra. Egyfázisú helyettesítő kapcsolási vázlat a párhuzamos hálózati elemek saját zárlati teljesítményének számításához

Lépjen fel a **C** pontban háromfázisú rövidzárlat, amelynek zárlati teljesítménye az U_{sz} számítási feszültségre a 2.3.-2/b. ábra alapján:

$$S_{ZC} = \frac{U_{sz}^2}{Z_{Cer}}. \quad (2.-26)$$

ahol Z_{Cer} a hálózatnak a hibahelyre (**C**) vonatkoztatott eredő impedanciája.

Mivel két párhuzamosan kapcsolt elemből áll a hálózat, igaz az, hogy:

$$\frac{1}{Z_{Cer}} = \frac{1}{Z_{AC}} + \frac{1}{Z_{BC}}, \quad (2.-27)$$

az egyenletet U_{sz}^2 -nel megszorozva adódik az egyes elemek saját zárlati teljesítménye:

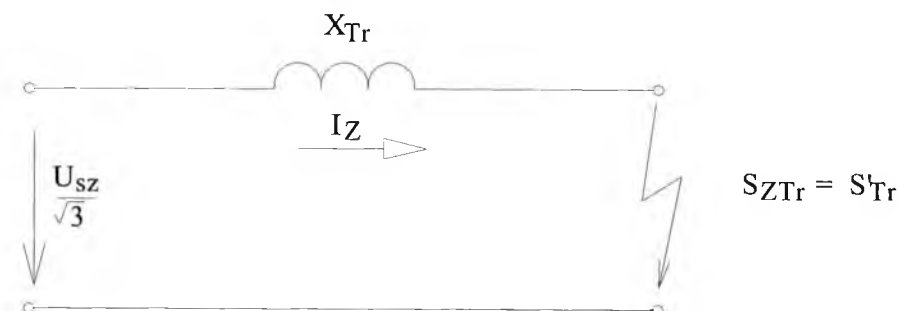
$$S_{AC}^)} = \frac{U_{sz}^2}{Z_{AC}}, \quad (2.-28)$$

$$S_{BC}^{)} = \frac{U_{sz}^2}{Z_{BC}} \quad (2.-29)$$

Így a 2.-27-os összefüggés alapján a zárlati teljesítmény:

$$S_{ZC} = S_{AC}^{)} + S_{BC}^{)} \quad (2.-30)$$

Eszerint tehát ha a hálózat adott pontján fellépő 3F zárlatot az e ponthoz egymással párhuzamosan kapcsolódó elemek táplálják, akkor a hibahely zárlati teljesítménye a hibahelyre csatlakozó elemek saját zárlati teljesítményeinek összegeként adódik.



2.3.-3. ábra. Egyfázisú helyettesítő vázlat transzformátor saját zárlati teljesítményének számításához

Az egyes hálózati elemek saját zárlati teljesítményeit az alábbiak szerint számíthatjuk ki:

A generátorok, transzformátorok és fojtótekercek saját zárlati teljesítménye az S_n névleges teljesítmény és az arra vonatkoztatott százalékos reaktancia (ε) ismeretében az alábbi:

$$S_{Tr}^{)} = \frac{U_{sz}^2}{X_{Tr}^{)}} \quad (2.-31)$$

$$X_{Tr}^{)} = \frac{U_{sz}^2}{U_n^2} \cdot X_{Tr} \text{ és } X_{Tr} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}$$

Az alábbi egyenletből:

$$S_{Tr} = \frac{U_{sz}^2 \cdot U_n^2}{U_{sz}^2 \cdot X_{Tr}} = \frac{U_n^2 \cdot 100 \cdot S_n}{\varepsilon_{Tr} \cdot U_n^2} = \frac{100 \cdot S_n}{\varepsilon_{Tr}}$$

Mind generátorra, mind transzformátorra a saját zárlati teljesítmény számítása:

$$S^{)} = \frac{100}{\varepsilon} \cdot S_n \quad (2.-32)$$

Az U_n névleges feszültségű Z impedanciájú távvezeték saját zárlati teljesítménye pedig:

$$S^{)} = \frac{U_n^2}{Z} \quad (2.-33)$$

3. ASZIMMETRIKUS HIBÁK SZÁMÍTÁSA

3.1. Egyfázisú földzárlat közelítő számítása és kompenzálása

A nem közvetlenül földelt csillagpontú hálózatokon az egyfázisú földzárlatok nem jelentenek azonnali kikapcsolást megkövetelő rövidzárlatot, mert a fellépő földzárlati áram kicsi. Ilyen hálózatokon az energiaszolgáltatás a földzárlat ellenére is hosszabb-rövidebb ideig fenntartható.

A szabadvezetékes hálózatok gyakori zárlatfajtája az ívelő földzárlat. Általában a távvezetékek elszennyeződött vagy sérült szigetelőinél keletkezik, ugyanis a szigetelők szigetelési képessége annyira meggyengülhet, hogy légtéri túlfeszültség vagy esetleg már a normál üzemi feszültség hatására is átívelnek a földpotenciálon levő tartóoszlophoz. Az így létrejött váltakozó áramú ív az áram nulla átmeneteinél (félperiódusonként) kialszik, majd ismét újragyullad, így a hibahelyen egymást ciklikusan követő földzárlatok keletkeznek.

A szigetelt csillagpontú hálózatok ívelő földzárlatainál tranziens feszültséglengések lépnek fel, amelyek igen nagy (a névleges feszültség 3-3,5-szeresét is elérő) túlfeszültséget idéznek elő a hálózaton, amely az ép fázisokban további zárlatokat, tehát igen nagy károkat okozhat. **A földzárlati ív megszüntetése (újragyulladásának megakadályozása) tehát igen fontos feladat.** Ha a hálózatot tápláló transzformátorok csillagpontját viszonylag nagy reaktanciájú, vasmagos tekercsen keresztül földelik, akkor a földzárlatok többségét kitevő ívelő földzárlatok jelentős része az üzem megzavarása nélkül megszüntethető.

A csillagpont és a föld közé iktatott vasmagos tekercset ívöltő tekercsnek, kompenzáló tekercsnek, vagy Petersen-tekercsnek szokás nevezni. Az ilyen hálózatok az ún. **kompenzált hálózatok**.

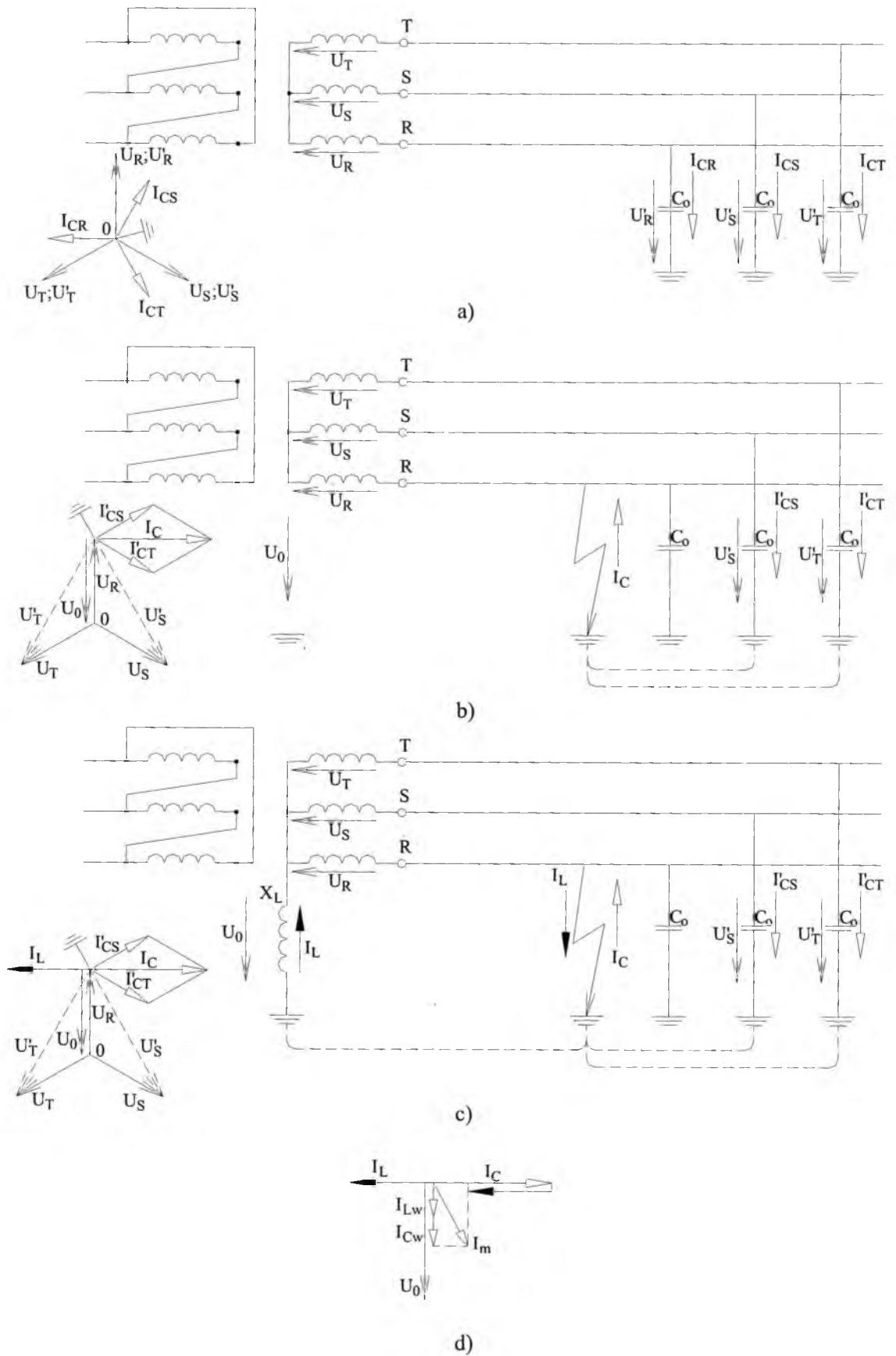
A következőkben részletesen megvizsgáljuk a szigetelt csillagpontú és a kompenzált hálózatok földzárlati viszonyait, a földzárlat-kompenzálás hatását (3.1.-1. ábra).

Hibamentes üzemállapot

Normális üzemben a hálózat csillagpontját a fázisok földhöz viszonyított kapacitásai (C_0) földpotenciálon tartják. Ennek az állapotnak felel meg az 3.1.-1/a. ábrán látható helyettesítő vázlat és fazorábra (ép üzem). A fazorábra feltünteti az egyes fázisok földkapacitásán átfolyó, a fázisfeszültséghez képest 90° -kal siető kapacitív töltőáramokat, melynek értékei rendre:

$$I_{CR} = I_{CS} = I_{CT} = U_f \cdot \omega \cdot C_0$$

Az összefüggésben U_f a fázisfeszültség, mert a Millmann tétel értelmében a szimmetrikus terhelést jelentő földkapacitások miatt nincs csillagpont eltolódás. A helyettesítő vázlat kondenzátoraira így a fázisfeszültségekkel megegyező, vesszővel jelölt feszültség jut.



3.1.-1. ábra. Egyfázisú földzárlat és kompenzálása
a) hibamentes üzemállapot; b) földzárlat; c) kompenzálás; d) kompenzálás maradékárama

Szigetelt csillagpontú hálózat földzárata

A hálózaton fellépő földzárlat az érintett fázis földhöz képesti kapacitását rövidre zárja, annak potenciálját a földhöz rögzíti. A másik két fázis földhöz képesti feszültsége ($U_S'; U_T'$) így vonali feszültségre emelkedik (3.1.-1/b ábra), és a transzformátor csillagpontja is fázisfeszültségnyire kerül a földhöz képest, vagyis $\bar{U}_0 = -\bar{U}_R$, ahol U_0 a csillagpont földhöz viszonyított feszültsége ($|\bar{U}_R| = U_f$).

A két ép fázis földhöz viszonyított kapacitásán átfolyó áram – ezen fázisok megnövekedett feszültségével arányosan – szintén megnő, mégpedig:

$$I_{CR} = I_{CS} = \sqrt{3}U_f \cdot \omega \cdot C_0$$

értékűre. A két fázis kapacitív töltőáramának eredője:

$$I_C = 3 \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_0$$

Ezeket a viszonyokat a 3.1.-1/b. ábra fázorábrája (földzárlat) szemlélteti. Az I_C kapacitív áram átfolyik a hibahelyen, és a zárlati ívet fenn tudja tartani.

A kompenzálás

A kompenzálás módszere abban áll, hogy a csillagpont és a föld közé egy X_L reaktanciájú vasmagos tekercset kapcsolunk (3.1.-1/c. ábra), amelyen át földzárlatkor:

$$I_L = \frac{U_f}{X_L} = \frac{U_f}{\omega \cdot L}$$

induktív áram fog folyni. Ez az áram, a földzárlati kapacitív áramhoz hasonlóan a zárlatos fázison, a hibahelyen és a földön keresztül záródik. A fázorábrából is látható, hogy I_L és I_C iránya egymással ellentétes, ha tehát nagyságuk egyenlő, akkor eredőjük nulla, vagyis a hibahelyen megszűnik az áram. Ez pedig egyértelműen a földzárlati ív megszűnését eredményezi.

A kompenzáló tekercs reaktanciáját (vagy induktivitását) tehát úgy kell megválasztani, hogy

$$I_L = I_C$$

legyen. Behelyettesítve az előzőekben meghatározott értéket:

$$\frac{U_f}{\omega \cdot L} = 3U_f \cdot \omega \cdot C_0,$$

amiből

$$X_L = \omega \cdot L = \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C_0},$$

vagy

$$L = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C_0}$$

A valóságban a földzárlati áramot nem lehet nullára csökkenteni, mindig jelentkezik ún. maradékáram.

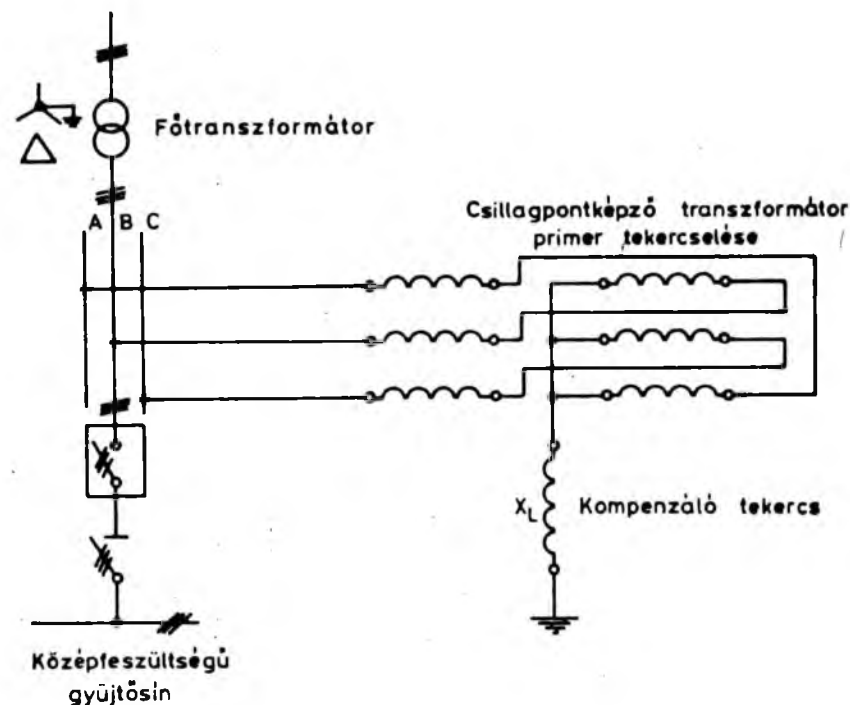
A maradékáram elsősorban abból adódik, hogy a kompenzáló tekercsnek van ohmos ellenállása, valamint a szigetelők szivárgási, levezetési jelenségei miatt az I_C kapacitív és az I_L induktív áramhoz mindig hozzájárul hatásos összetevő is, ezért ezek egymással 180° -nál

kisebbszögű zárnak be. Ezek eredője a maradékáram (I_m). A viszonyokat a 3.1.-1/d. ábra fázorábrája mutatja be.

A kompenzáció maradékárama – egy meghatározott érték fölött – már képes fenntartani a földzárlati ívet. Az ívöltés sikeressége érdekében tehát célszerű a maradékáramot minél kisebb értékre korlátozni. A gyakorlati tapasztalatok szerint, ha a középfeszültségű hálózatokon fellépő maradékáram értéke nem haladja meg az 5 A-t, akkor a földzárlati ív instabillá válik, és biztosan kialszik. A maradékáramok csökkentésének egyik eszköze lehet az egyébként kapcsolódó középfeszültségű hálózatoknak különböző táppontokra való szétválasztott üzemeltetése, vagyis az egy táppontból üzemeltetett hálózat hosszának csökkentése.

Megjegyezzük, hogy a kompenzáció az alapharmonikusra vonatkozik, így a felharmonikus-áramok kompenzálatlanok maradnak. Ez az ún. felharmonikus-maradékáram általában jóval kisebb, mint az előzőekben tárgyalt maradékáram, azonban esetenként – különösen a tranzienst jelenségek tartama alatt – fenntarthatja az ívet.

Ha a kompenzáló hálózat tápláló transzformátora delta tekercselésű, akkor a kompenzáló tekercs elhelyezhetősége érdekében ún. mesterséges csillagpontot szokás kialakítani. Erre a célra általában megfelel a transzformátorállomások váltakozó áramú segédüzemi transzformátora, amelynek zég-zug kapcsolású primer tekercsének kivezetett csillagpontja és a föld közé helyezik el a kompenzáló tekercset (3.1.-2. ábra).



3.1.-2. ábra. Kompenzáló tekercs elhelyezése a mesterséges csillagpontban

Egy hálózat kellő mértékű földzárlat-kompenzálásához választandó kompenzáló tekercs induktivitásának értéke – mint láttuk – a hálózat fázisvezetőinek a földhöz viszonyított összkapacitásától (C_0) függ. Ez utóbbit viszont – adott vezetékrendezés mellett – egyértelműen megszabja a hálózat fázisvezetőinek hosszúsága. Minden hálózatnak létezik egy ún. normál kapcsolási állapota, amelyhez adott hálózatossz tartozik. A hálózat üzeme során azonban gyakran el kell térni a normál kapcsolási állapottól, s ez egyúttal azt is jelenti, hogy adott tápponthoz csatlakozó hálózat hossza a gyakorlatban sohasem állandó.

Előfordulhat, hogy egy gyűjtősínről leágazó vezetékek közül karbantartás miatt kikapcsolják az egyiket, vagy egy távvezetéken fellépett zárlatra a védelem kapcsolja ki azt. Ezek következtében a tápponthoz tartozó hálózat hossza – néhány órás vagy napos időtartamra – csökken. De ugyanígy növekedhet is a hálózathossz, például olyan esetben, amikor a fogyasztói igények bővülése miatt új távvezetéseket kell üzembe helyezni, vagy egy másik táppont tartós üzemzavara miatt az ahhoz tartozó hálózat egy részét átmenetileg, üzemzavari kisegítésként, az adott táppont hálózatához kell hozzacsatolni.

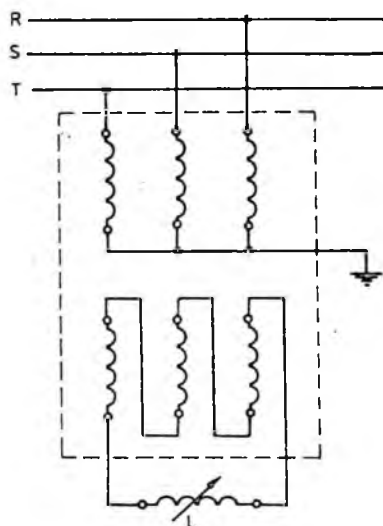
A hálózathossz üzem közbeni változása azt jelenti, hogy a kompenzáló tekercs induktivitása vagy nagyobb, vagy pedig kisebb lesz a pontos kompenzáció által megkívánt értéknél, és jelentős alulkompenzáció vagy túlkompenzáció lép fel.

Az alulkompenzált vagy túlkompenzált hálózatokon fellépő egyfázisú földzárlatok esetén a hibahelyen a megengedett maradékáramokat jóval meghaladó kapacitív vagy induktív áram folyik, ami az ív fennmaradását okozza, tehát a földzárlatból adódó villamos ív oltása sikertelenné válik. Ennek elkerülése érdekében a Petersen-tekercsüket úgy alakítják ki, hogy induktivitásuk üzem közben változtatható (hangolható) legyen. Ily módon beállítható az optimális kompenzáció a hálózathossz üzem közbeni változásakor.

Megjegyezzük, hogy a gyakorlatban a hálózatokat kismértékben alulkompenzáltan üzemeltetik, ugyanis teljesen pontos kompenzáció esetén soros rezonancia léphet fel, ami káros túlfeszültségeket okozhat a hálózaton.

A hazai gyakorlatban 20 és 35 kV névleges feszültségű, szabadtéri, olajhűtésű kompenzálótekercs-típusok terjedtek el, ráépített, terhelés alatti átkapcsolókkal, mely utóbbiak segítségével meghatározott fokozatokban, vagy az újabb típusok esetében folyamatosan változtatható a tekercs induktivitása.

A földzárlat-kompenzálnak ismert egy másik módja is: a Bauch-transzformátorok alkalmazása. A Bauch-transzformátor a földzárlat-kompenzálnás céljait szolgáló, kis teljesítményű transzformátor. Ennek deltába kapcsolt szekunder tekercsei által képzett hurokba beiktatott változtatható induktivitás kompenzálja a földzárlati kapacitív áramokat (3.1.-3. ábra). Az eljárás előnye, hogy a Bauch-transzformátor a hálózat bármely pontján, az erőátviteli transzformátoroktól függetlenül elhelyezhető. Hátránya, hogy a Bauch-transzformátor üresjárású fogyasztása állandó veszteséget okoz. A hazai gyakorlatban a Bauch-transzformátoros földzárlat-kompenzálnás nem terjedt el.



3.1.-3. ábra. Földzárlat kompenzálnás Bauch-transzformátorral

3.2. Aszimmetrikus hibák számítása a szimmetrikus összetevők alkalmazásával

Eddigiekben a zárlati jelenségek elemzése mellett megismertük a zárlati számítások alapvető módszereit, de ezek alkalmazását olyan esetekre kellett korlátoznunk, amikor a feladatot egyfázisú áramkörrel tudtuk megoldani. A háromfázisú zárlatok áramát és a zárlatos hálózat bármely pontjának feszültségét ennek megfelelően szabatosan ki tudjuk számítani, mivel a fázisok 120° -os szimmetriája az áramokban és feszültségekben egyaránt érvényesül, így egyetlen fázis feszültségével és impedanciáival számolhatunk; a hibahelyen pedig a feszültséget a szimmetria miatt nullának tekintjük, függetlenül attól, hogy a zárlat ténylegesen érinti-e a földet vagy nem.

Ha nem is szabatos, de közelítő módon ki tudjuk számítani a kétfázisú zárlat és a kettős földzárlat áramát is. A közelítés itt abban áll, hogy a hálózat táppontján a feszültséget merevnek tekintjük, és így a feladatot az érintett fázisok közötti vonali feszültségről táplált egyfázisú áramkörre vezetjük vissza.

Olyan - egyébként nagyon is fontos és gyakori - zárlati esetekre azonban, ahol a transzformátorok fázist forgatnak vagy a csillagpont földelésén át zárlati áram folyik, nincs egyszerűen használható közelítő eljárásunk. Ezt a nehézséget hidalja át a szimmetrikus összetevők módszere, amely az aszimmetrikus zárlatok és soros hibák (szakadások) számítását szabatos módon egyfázisú áramkörök megoldására redukálja azon az áron, hogy egy háromfázisú hálózat helyett három (pozitív, negatív és zérus sorrendű) egyfázisú hálózaton kell a számítást elvégezni.

A szimmetrikus összetevők módszerének alapelve az a felismerés, hogy bármilyen tetszőlegesen aszimmetrikus háromfázisú fázor (akár áram, akár feszültség) felbontható három, olyan szabályos háromfázisú, szimmetrikus fázorrendszerre, amelyek mindegyikében egy fázis fazora szükségszerűen meghatározza a másik kettőt is.

E három szimmetrikus fázorrendszer, a **pozitív sorrendű**, **negatív sorrendű** és **zérus sorrendű** összetevő, melyeket korábbi Villamosságtan tanulmányaik során megismertek.

A zárlatszámítási feladatokban az aszimmetrikus fázorkép szimmetrikus összetevőkre bontása és a számított szimmetrikus összetevőkből az aszimmetrikus fázorkép összeállítása a feladatmegoldások során többször is ismétlődik. Ezért ismétlésként ezt a két egyenletrendszert – a kényelmesebb és egyszerűbb mátrix írásmódban – felírjuk.

Az aszimmetrikus fázorkép mindig fázismennyiségeket tüntet fel, amelyeket egyezményesen **a**, **b**, **c** betűkkel jelölünk, és amelyek egyértelmű meghatározására elegendő a választott referenciafázis "a" szimmetrikus összetevőinek ismerete (**a**₁, **a**₂, **a**₀ index).

Az aszimmetrikus fázorok meghatározása az "a" fázis szimmetrikus összetevőinek ismeretében:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{a0} \\ \bar{I}_{a1} \\ \bar{I}_{a2} \end{bmatrix}, \quad (3-1)$$

azaz:

$$\bar{I}_{AS} = \underline{A} \bar{I}_S. \quad (3-2)$$

Az aszimmetrikus fázorok ismeretében az "a" fázis szimmetrikus összetevői:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{a0} \\ \bar{I}_{a1} \\ \bar{I}_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix}, \quad (3-3)$$

azaz

$$\bar{I}_S = \underline{A}^{-1} \bar{I}_{AS}. \quad (3.-4)$$

Az összefüggésekben \bar{a} , ill. \bar{a}^2 operátorok értékei:

$$\bar{a} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = e^{j120^\circ},$$
$$\bar{a}^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = e^{j240^\circ}.$$

ahol j a komplex egységfázor.

3.3. A hálózati elemek különböző sorrendű impedanciái

Ebben a szakaszban a különböző sorrendű áramokkal szemben fellépő impedanciákkal, ill. a hálózaton okozott különböző sorrendű feszültségeséssel foglalkozunk. Kizárólag állandósult állapotra és alapfrekvenciára vonatkozó impedanciákat veszünk tekintetbe, és vizsgálatainkat arra az esetre korlátozzuk, amikor a hálózatban szereplő elemek impedanciái szimmetrikusak.

Ha valamely szimmetrikus impedanciarendszerben pozitív sorrendű áramok folynak, akkor a három fázisban azonos nagyságú és pozitív sorrendű feszültségesés-rendszer lép fel, azért mert szimmetrikus hálózatban minden áramot a három fázisban azonos nagyságú és fázisszögű impedanciával kell szorozni.

A pozitív sorrendű áramokkal szemben jelentkező impedancia tehát:

$$\bar{Z}_1 = \frac{\bar{U}_{a1}}{\bar{I}_{a1}} = \frac{\bar{U}_{b1}}{\bar{I}_{b1}} = \frac{\bar{U}_{c1}}{\bar{I}_{c1}} = \frac{\bar{a}^2 \bar{U}_{a1}}{\bar{a}^2 \bar{I}_{a1}} = \frac{\bar{a} \bar{U}_{a1}}{\bar{a} \bar{I}_{a1}} = \frac{\bar{U}_{a1}}{\bar{I}_{a1}}. \quad (3.-5)$$

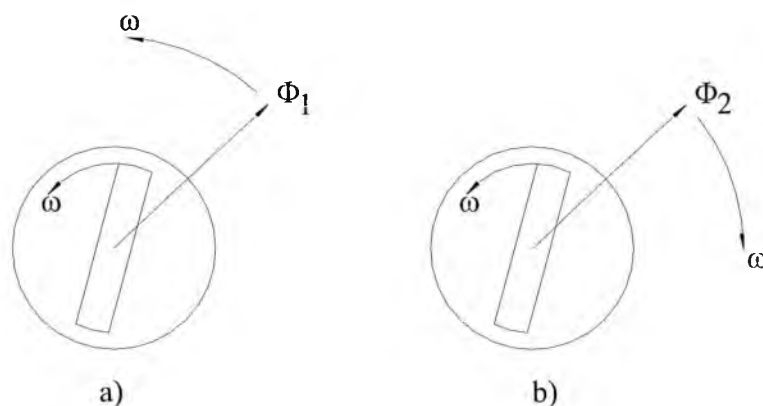
\bar{Z}_1 tehát nem egy aszimmetrikus impedancia-rendszernek az áramokra vagy feszültségre vonatkozó felbontási módszerével nyert "pozitív sorrendű" impedancia, hanem ***a pozitív sorrendű áramokkal szemben mutatkozó impedancia***. Hasonlóan, ha negatív sorrendű áram folyik a szimmetrikus impedancia-rendszeren keresztül, akkor a feszültségek és áramok nagyságának viszonya, ill. szögelfordulása a három fázisban azonos kell, hogy legyen. Tehát a negatív sorrendű áramokkal szemben mutatkozó impedancia:

$$\bar{Z}_2 = \frac{\bar{U}_{a2}}{\bar{I}_{a2}} = \frac{\bar{U}_{b2}}{\bar{I}_{b2}} = \frac{\bar{U}_{c2}}{\bar{I}_{c2}}. \quad (3.-6)$$

A kérdés az: \bar{Z}_1 egyenlő-e \bar{Z}_2 -vel? Azaz egy hálózati elem pozitív sorrendű áramokkal szemben ugyanolyan ellenállást fejt-e ki mint negatív sorrendű áramokkal szemben?

A következőkben láthatjuk, hogy statikus elemek, tehát forgó részeket nem tartalmazó elemek, pl. távvezetékek, transzformátorok esetében, $\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2$, de forgó gépek esetén ez általában nem igaz.

Vegyük szemügyre egy szimmetrikusan tekercselt állórészű szinkrongépet! A forgórész forogjon az óramutató járásával ellentétes (pozitív) irányban ω szögsebességgel (3.3.-1a. ábra).



3.3.-1. ábra. A szinkrongép forgórészének és fluxusának forgásirányai
 a) pozitív sorrendű állórész áramok esetén; b) negatív sorrendű állórész áramok esetén

- A pozitív sorrendű állórész áramok hatására forgó mágneses mező keletkezik, amelynek Φ_1 eredő fluxusa a forgórészszel egy irányban, azzal azonos szögsebességgel forog a térben. Így a fluxus vektora a forgórész szimmetriatengelyével (hosszirányú tengely) állandó szöget zár be. A forgórészhez képest az állórész eredő fluxusa állandósult állapotban mozdulatlan. A fluxus így nagyobb részét vasban haladhat végig, és a pozitív sorrendű impedancia ennek megfelelően nagy lesz.
- Ha negatív sorrendű áramrendszert kapcsolunk a változatlan irányban forgó szinkrongépre, akkor ez utóbbi fáziskövetési sorrendje **a, c, b**. Így a negatív sorrendű áramok hatására a forgórész forgásirányával szemben forgó Φ_2 fluxust kapunk (3.3.-1b. ábra). Az eredő negatív sorrendű fluxus tehát a forgórészhez képest kétszeres fordulatszámmal mozdul el. Így szó sem lehet arról, hogy a fluxus behatolhasson a vasba. A negatív sorrendű reaktancia kicsi lesz.
- A zérus sorrendű feszültségek és áramok viszonyára is igaz, hogy:

$$\bar{Z}_0 = \frac{\bar{U}_{a0}}{\bar{I}_{a0}} = \frac{\bar{U}_{b0}}{\bar{I}_{b0}} = \frac{\bar{U}_{c0}}{\bar{I}_{c0}} \quad (3.-7)$$

Általában azonban

$$\bar{Z}_0 \neq \bar{Z}_1 \text{ és } \bar{Z}_0 \neq \bar{Z}_2. \quad (3.-8)$$

A (3.-8) egyenlőtlenségek okát vizsgáljuk meg például egy szabadvezeték esetén!

Ha azon akár pozitív, akár negatív sorrendű áram folyik keresztül, az impedancia azonos, mert nincs kitüntetett fáziskövetési sorrend. Akár pozitív, akár negatív sorrendű áram folyik keresztül egy fázisvezetőn, mindig a másik két fázisvezetőn folyik vissza, az oda és visszavezetés viszonylag közel van egymáshoz (3.3.-2a. ábra). Ennek következtében a pozitív és a negatív sorrendű induktív reaktancia egymással egyenlő, és értéke viszonylag kicsi.

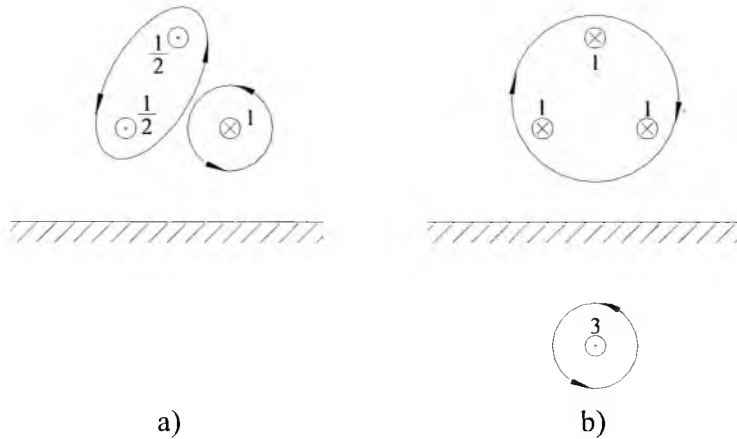
A zérus sorrendű áramok a földben nagy (kb. 1 km) mélységben folynak vissza. A zérus sorrendű reaktancia így nagyobb, mint a pozitív vagy negatív sorrendű.

A hálózati elemek zérus sorrendű impedanciáinak vizsgálatakor, a zérus sorrendű áram természetéből kell kiindulni.

Miután mind a három fázisban egyidejűleg egy irányban folynak, így a háromfázisú hálózatban kialakulásuknak egyéb feltételei is vannak.

Csillagkapcsolás esetén csak akkor folyhat zérus sorrendű áram, ha a csillagpont galvanikusan össze van kötve a földdel. Amennyiben ez a feltétel nem teljesül (pl. szigetelt csillagpontú generátor), úgy a zérus sorrendű reaktancia a pozitív \bar{Z}_1 és negatív \bar{Z}_2 sorrendű reaktancia értékétől függetlenül $\bar{Z}_0 = \infty$, ami a zérus sorrendű áramokkal szemben szakadást

jelent.



3.3.-2. ábra. A szabadvezeték körül kialakuló mágneses tér
a) pozitív vagy negatív sorrendű áramok; b) zérus sorrendű áramok esetén

Háromszögkapcsolás esetében nem tud a zérus sorrendű áram sem befolyjni sem kifolyjni a hozzá kapcsolódó vezetékhalózat felé. A zérus sorrendű áramok számára a deltatekeres a hálózat felé szakadást jelent, így a zérus sorrendű impedancia itt is végtelen.

Meg kell azonban jegyezni, hogy magában a delta tekeresben folyhat zérus sorrendű áram, hiszen három sorba kötött elemről van szó.

Az elmondottak után nézzük, hogy az egyes *hálózati elemek különböző sorrendű helyettesítő vázlatai* milyenek és mekkora impedancia értékekkel vehetők figyelembe.

3.3.1. Szinkrongép különböző sorrendű áramokkal szembeni reaktanciái

Pozitív sorrendű reaktancia

A szinkrongép hirtelen 3F-kapocszárlata szimmetrikus üzemállapotot jelent: a fellépő zárlati áramok szimmetrikus háromfázisú rendszert alkotnak. A szinkrongépnek pozitív sorrendű áramrendszerrel szemben mutatott reaktanciáit a 2.2. fejezet tárgyalta (pozitív sorrendű reaktanciák). A gyakorlati zárlatszámításban – a védelmek beállításához – a tranziens állapot helyettesítő vázlatait alkalmazzuk: $X_1 = X_d'$.

A szinkrongépek állandósult aszimmetrikus üzemében (pl. állandósult 2F-zárlat), valamint a két fázis közötti hirtelen rövidzárlatkor aszimmetrikus áram- (ill. feszültség) viszonyok lépnek fel, amelyekkel szemben a szinkrongép a pozitív sorrendűtől eltérő, más reaktanciákat mutat (negatív, ill. zérus sorrendű reaktanciák).

Szinkrongép negatív sorrendű reaktanciája

Mint az előzőekben elmondtuk negatív sorrendű áramrendszer fluxusa a forgórészszel szemben forog, nagy a mágneses ellenállás, nem tud a vasban záródni ezért a reaktancia kicsi. A gyakorlatban a szubtranziens reaktanciával számolunk:

$$X_2 \cong X_d''.$$

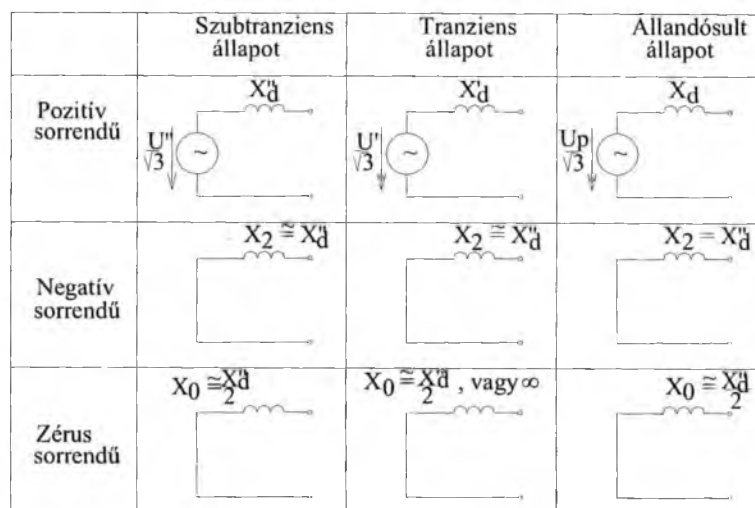
A negatív sorrendű áramok erősen melegítik a gép tömör forgórészét és így rongálódást okozhatnak.

Szinkrongép zérus sorrendű reaktanciája

A zérus sorrendű áramok a szinkrongépben forgó mezőt nem hoznak létre (ezek az áramok a három fázisban folyó, irányra és nagyságra egyenlő áramok). A létrejövő mező álló, ún.

pulzáló mező. A pulzáló fluxussal szemben a forgórész zárt köreibben áramok keletkeznek, s így a fluxusok gyakorlatilag csupán a szórt mezőből alakulnak ki. A jelentkező reaktancia a zérus sorrendű reaktancia, amelynek értéke igen kicsi és kb. a szubtranzien্স reaktancia felével egyenlő.

$$X_0 \cong \frac{X_d''}{2} \quad (3.-10)$$



3.3.-3. ábra. Szinkrongenerátorok egyfázisú helyettesítő vázlatai pozitív, negatív és zérus sorrendű áramok esetén

A zérus sorrendű áramok szintén melegítő hatásban jelentkeznek.

A szinkrongépeknek a pozitív, a negatív és a zérus sorrendű áramok esetén érvényes egyfázisú helyettesítő vázlatait a 3.3.-3. ábra mutatja. Negatív sorrendű helyettesítő vázlata feszültségforrást nem tartalmaz (a feszültséggenerátor helyén rövidzár), és mint az előzőekben szó volt róla, időben állandó szubtranzien্স reaktanciával vesszük figyelembe, melyek leggyakrabban előforduló százalékos értéke $\varepsilon_d'' = 7...15\%$.

A zérus sorrendű helyettesítő vázlata sem tartalmaz feszültségforrást - hiszen a szinkron generátor tiszta pozitív sorrendű feszültséget állít elő, így a feszültséggenerátor helyén ekkor is rövidzár van. A zérus sorrendű reaktancia a generátor tekercskapcsolásától függően:

$$X_0 = \frac{X_d''}{2} \quad \text{földelt csillagkapcsolás,}$$

$$X_0 = \infty \quad \text{szigetelt csillagkapcsolás vagy háromszögműkapcsolás esetén.}$$

3.3.2. Transzformátor különböző sorrendi áramokkal szembeni reaktanciái

A pozitív és a negatív sorrendű reaktanciák és helyettesítő vázlatok megegyeznek, hiszen a transzformátor statikus elem. Ennek megfelelően a transzformátorban a pozitív és a negatív sorrendű áramok egyforma mágneses mezőt hoznak létre, így a pozitív és a negatív sorrendű áramokkal szemben a transzformátorok azonos reaktanciát mutatnak:

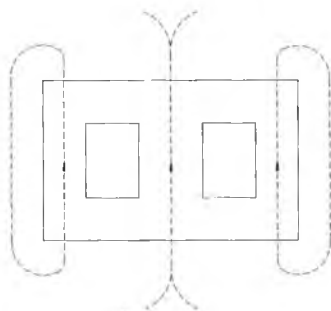
$$X_1^{Tr} = X_2^{Tr}$$

3.3.2.1. Transzformátor zérus sorrendű impedanciája

A transzformátor zérus sorrendű reaktanciája a szerkezeti elrendezéstől és a transzformátor kapcsolásától függ. A három egyfázisú egységből álló, a köpeny típusú és az ötoszlopos

transzformátor zérus sorrendű áramok keltette mezeje teljesen vason át képes záródni, ezért a zérus sorrendű soros és párhuzamos impedancia magára a transzformátorra nézve azonosnak vehető a pozitív sorrendűvel.

Más a helyzet a magtípusú háromoszlopos transzformátornál. Zérus sorrendű áramokkal való gerjesztés esetében a három oszlopban egyirányú fluxus nem tud a vasban záródni, ezért a járomból kilépve, a levegőben záródik: a középső oszlop fluxusa csak nagyobb mágneses ellenálláson keresztül tud záródni a két szélső oszlopéhoz képest, így a párhuzamos impedanciája kisebb lesz, mint a két szélső oszlopé (3.3.-4. ábra).



3.3.-4. ábra. Magtípusú transzformátor zérus sorrendű fluxusai

Ennek következtében a zérus sorrendű párhuzamos impedancia – a helyettesítő vázlat párhuzamos ága – lényegesen (egy-két nagyságrenddel) kisebb a pozitív sorrendűnél. Ugyanakkor a szórési impedanciák a pozitív sorrendűvel megegyeznek. Ez azt jelenti, hogy a zérus sorrendű párhuzamos impedanciának a helyettesítő vázlatbeli elhanyagolása már jelentősebb hibát okoz, ha a transzformátort a zérus sorrendű viszonyokra és az egyszerűsített egyfázisú kapcsolási vázlattal kívánjuk helyettesíteni. A korábban már jelzett speciális vizsgálatoknál azonban a gyakorlatban zérus sorrendű helyettesítő kapcsolási vázlatként az egyszerűsített sémát alkalmazzák. (Zárlatszámításoknál ez a biztonság javára történő eltérést jelent, ui. a zérus sorrendű átviteli impedancia a valóságosnál kisebb, az átmenő áram pedig ennek megfelelően nagyobb lesz.)

A transzformátor kapcsolása kétféleképpen befolyásolja a zérus sorrendű impedancia nagyságát és a helyettesítő kapcsolásba való beiktatás módját. E feltételek a következők:

1.) Számottevő nagyságú áram csak akkor tud folyni a tekercsekben, ha a megfelelő ellengerjesztés ki tud alakulni. Más szóval, ha a szekunder tekercsben áram nem tud folyni, és ezért a gerjesztési egyensúly (más szóval ellenampermenet) nem tud kialakulni akkor a transzformátor mint egy nagy impedanciájú induktivitás szerepel. A gyakorlati zárlatszámításban ezen nagy impedanciát szakadásként vesszük figyelembe. Összefoglalva, hogy egy transzformátor a szórési reaktanciájával figyelembe vehető legyen a zérus sorrendű áramkörben, ahhoz a zérus sorrendű áramúton kívül ellenampermenetre is szükség van.

2.) Zérus sorrendű áram csak olyan transzformátorban folyhat, amelyiknek egyik tekercselése csillagba, vagy zeg-zugba van kötve és a csillagpontja földelt.

E két feltétel a következő kapcsolási csoportú transzformátorokra teljesül (a kivezetett és a földelt csillagpontot a jelölésben 0 index jelzi): Y_{0d} ; Y_{0y0} ; Y_{z0} ; D_{y0} ; D_{z0} ; Z_{0y} ; Z_{0d} .

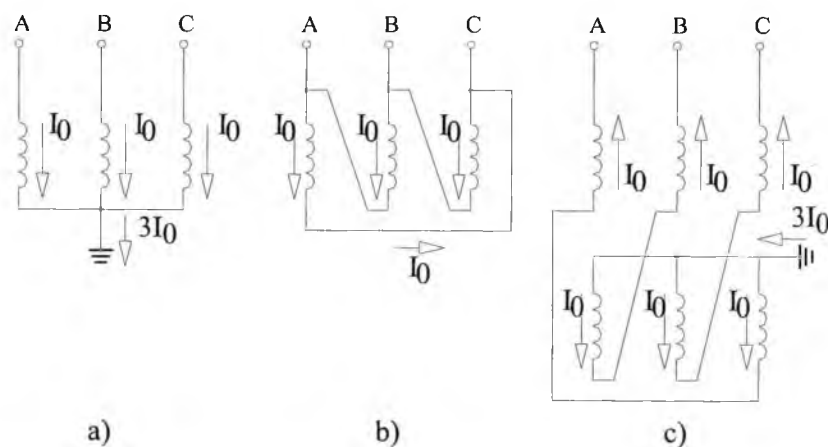
A három jellemző tekercskapcsolást a kialakuló zérus sorrendű áramokkal a 3.3.-5. ábra mutatja;

- az a) és a c) jelű ábrából látható, hogy a transzformátor kivezetett és földelt csillagpontján a három fázisvezető zérus sorrendű áramának az összege, azaz $3 I_0$ folyik;

- a delta tekercselésben is folyhat zérus sorrendű áram az egyik fázistekercselésből a másikba, ha a másik tekercselés csillagba van kötve, s abban zérus sorrendű áram folyik. A delta tekercsből a hálózat felé tehát zérus sorrendű áramok nem folyhatnak, s a hálózatból sem a delta tekercsbe (b) ábra);

- földelt csillagpontú zeg-zug tekercselésben folyó zérus sorrendű áramok gerjesztései

oszloponként egyensúlyban vannak, függetlenül attól, hogy a másik transzformátortekercs milyen kapcsolású /c ábra/.



3.3.-5. ábra. A zérus sorrendű áramok kialakulása a jellemző transzformátortekercs-
kapcsolásokban a) csillag; b) delta; c) zeg-zug

A gyakorlatban leggyakrabban előforduló transzformátor-kapcsolások zérus sorrendű helyettesítő vázлата a 3.3.-6. ábrán látható.

Kapcsolás	Zérus sorrendű helyettesítő vázlat

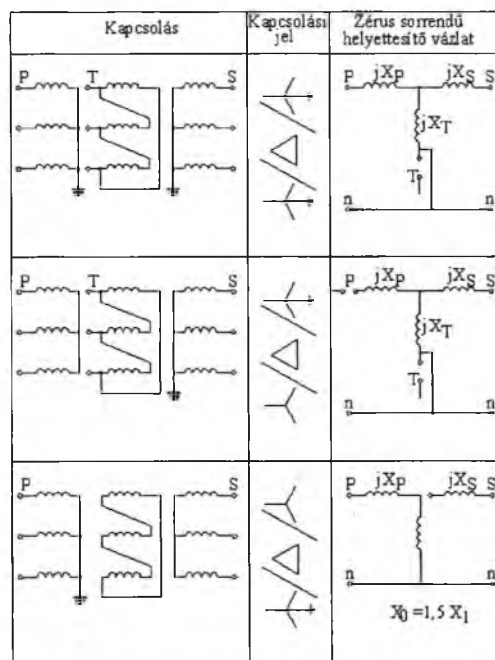
3.3.-6. ábra Különböző kapcsolású **kéttékercselésű** transzformátorok zérus sorrendű helyettesítő kapcsolása

Földelt csillag/delta típusúhoz tartoznak Magyarországon a 120/35 kV-os és a 120/10 kV-os transzformátorok (3.3.-6. ábra legfelső). Az ampermenet-egyensúly biztosított, a földelt csillagoldal felől a zérus sorrendű áramút is, így a primer és szekunder szórásreaktancia összege kerül a helyettesítő vázlatba. A delta tekercs felőli oldal természetesen szakadt. A 3.3.-6. ábrán felülről a harmadik sorban látható kapcsolásúak a nagy/nagyfeszültségű transzformátorok, pl. a 220/120 kV-os transzformátorok. Mind a két oldal felől biztosított a zérus sorrendű áramút, és a gerjesztések is egyensúlyban vannak, így a

zérus sorrendű impedancia azonosnak vehető a pozitív és negatív sorrendű reaktanciával. Földelt csillag / szigeteltszillag transzformátornál nincs lehetőség az ellenampermenetek kialakulására, ezért a zérus sorrendű impedanciát végtelennek tekintjük, ami a zérus sorrendű hálózatban szakadást jelent (3.3.-6. ábra felülről negyedik sor). Ugyanez elmondható a delta/delta, delta/szigetelt csillag, szigetelt csillag/szigetelt csillagkapcsolású transzformátorokra, azaz $x_0 = \infty$.

A 3.3.-6. ábra utolsó sorában egy zeg-zug kapcsolású transzformátort ábrázol. A zeg-zug tekercs csillagpontjának földelése következtében a zérus sorrendű áramok a szekunder oldal felől a föld felé elfolynak. Az ellengerjesztésről maga a szekunder féltekercs gondoskodik, így a zérus sorrendű egyfázisú helyettesítő vázlatba a szekunder tekercs szórási reaktanciája kerül. A primer kivezetés — az ellenampermenetek hiánya miatt — szakadással helyettesítendő. Még akkor is, ha netán a zérus sorrendű áramút (pl. földelt csillagpont következtében) biztosítva lenne.

A háromtekercselésű transzformátorok zérus sorrendű helyettesítő vázlata nem jelent újabb problémát. A kéttekercselésű transzformátorok zérus sorrendű helyettesítő vázlatainak ismeretében úgy kell eljárunk, hogy a háromtekercselésű transzformátort két-két tekercsenként kétgombolyításúnak tekintjük. Példaként a 3.3.-7. ábrán a földelt csillag/szigetelt csillag/delta, a földelt csillag/delta/földelt csillag, ill. a szigetelt csillag/delta/földelt csillag gombolyítású transzformátorok zérus sorrendű helyettesítő vázlatait rajzoltuk fel. Számításaink során a transzformátorok fázisforgatásával nem foglalkozunk.



3.3.-7. ábra. Háromtekercselésű transzformátorok zérus sorrendű egyfázisú helyettesítő vázlatai

A 3.3.-7. ábra harmadik sora tartalmazza a 120/20kV-os transzformátorok jellegzetes kapcsolását.

A kiegyenlítő delta tekercsben szimmetrikus üzemben nem folyik áram, de lehetővé teszi az ampermenetek egyensúlyát zérus sorrendű áram esetében. A deltatekercs rendszerint a névleges teljesítmény 1/3-ának megfelelő keresztmetszettel készül, és a két fő tekercsen kívül helyezkedik el, így a szórási utak hosszabbak, azért a zérus sorrendű reaktancia kb. 1,5-szerese a pozitív-, ill. negatív sorrendű reaktanciának.

3.3.2.2. A csillagpont és a föld közé iktatott impedancia

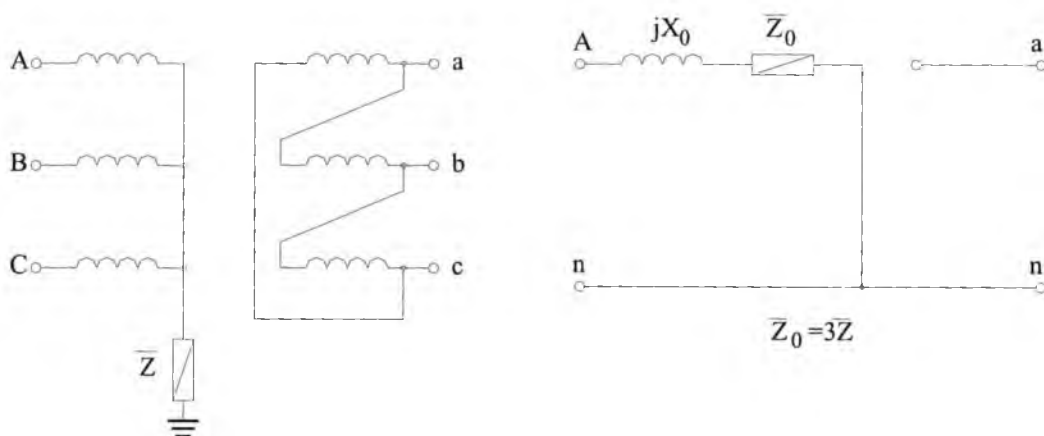
Mint azt a hálózatok csillagpontkezelésének tárgyalásakor láttuk, a transzformátor csillagpontja és a föld közé adott esetekben impedanciát iktatunk.

Ez az impedancia a pozitív és negatív sorrendű helyettesítő vázlatokban nem szerepel, mert szimmetrikus pozitív, ill. negatív sorrendű áram a csillagpontból induló nullavezetőn nem folyik, így ezen az impedancián sem tud átfolyani.

Más a helyzet azonban a zérus sorrendű helyettesítő vázlattal. A csillagponton mind a három fázis zérus sorrendű árama kifolyik és átfolyik az oda beiktatott impedancián. Miután egyfázisú helyettesítő vázlatot akarunk készíteni, az elmondottakat úgy is értelmezhetjük, hogy egy fázis árama háromszor akkora impedancián folyik keresztül, mint a beiktatott impedancia. A csillagpont feszültségemelkedése:

$$\begin{aligned}\bar{U}_0 &= (3\bar{I}_{a0})\bar{Z} = \bar{I}_{a0}(3\bar{Z}). \\ \bar{Z}_0 &= 3\bar{Z} .\end{aligned}\tag{3.-11}$$

Azaz a csillagpont és a föld közé iktatott impedancia a transzformátor szórásreaktanciájával sorosan háromszoros értékkel kerül a zérus sorrendű áramútba (3.3.-8. ábra):

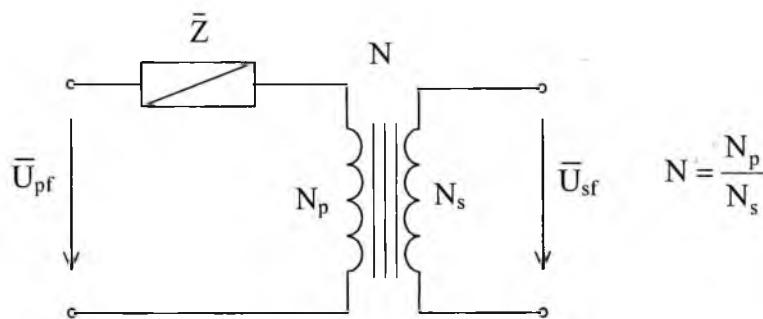


3.3.-8. ábra. Csillagpont és a föld közé iktatott impedancia
a) három fázisú vázlat; b) egyfázisú helyettesítő vázlat

3.3.2.3. A transzformátor fázisforgató hatása

A transzformátort zárlatszámításhoz a 3.3.-9. ábra. szerinti kapcsolással vesszük figyelembe, ahol Z a soros (rövidzársi) impedancia, N a menetszám áttétel.

Vizsgáljuk meg, hogy a tényleges feszültségekre és áramokra milyen hatást gyakorol a háromfázisú transzformátor áttétele és kapcsolása.



3.3.-9. ábra

A transzformátor a feszültség áttétele és N menetszám áttétele között a kapcsolási csoporttól függően az alábbi összefüggések vannak:

$$\begin{aligned}
 Dd \text{ és } Yy \text{ kapcsolás esetén: } a &= N \\
 Dy \text{ kapcsolás esetén: } a &= \frac{1}{\sqrt{3}} N \\
 Yd \text{ kapcsolás esetén: } a &= \sqrt{3} N \\
 Dz \text{ kapcsolás esetén: } a &= \frac{2}{3} N \\
 Yz \text{ kapcsolás esetén: } a &= \frac{2}{\sqrt{3}} N
 \end{aligned}
 \tag{3.-12}$$

Ahol az a feszültség áttétel az üresjárási feszültségek abszolút értékére vonatkozik. A kapcsolási csoportok fázisforgatása a 3.3.-10. ábrán követhető nyomon. A szabványos jelölés első (nagy) betűje a nagyobb feszültségű tekercs kapcsolását, a második (kis) betűje a kisebb feszültségű tekercs kapcsolását jelenti. Az ezek után következő szám a 12 órás óralapon a kismutató óraállásával adja meg — a 12-esen álló nagymutatóhoz képest — azt a szögelfordulást, amellyel a transzformátor kisebb feszültségű oldalán az üresjárási feszültség eltér a nagyobb feszültségű oldal azonos betűjelzésű fázisához képest.

Az elmondottak alapján a *szimmetrikus pozitív sorrendű* feszültségek és áramok közötti összefüggések felírhatók. (A nagybetű a nagyobb feszültségű, a kisbetű a kisebb feszültségű oldalra utal az indexben.) Az óraállást \acute{o} -val jelölve, és figyelembe véve, hogy egy óra 30 fokos szögelfordulást jelent az óralapon:

$$\bar{U}_{a1} = \frac{1}{a} e^{-j\frac{\pi}{6}\acute{o}} \bar{U}_{A1}
 \tag{3.-13}$$

Az áramot a transzformátor ugyanúgy forgatja, de az áttétel reciprokával transzformálja:

$$\bar{I}_{a1} = a \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}\acute{o}} \bar{I}_{A1}
 \tag{3.-14}$$

Az impedanciát mint a feszültség és az áram hányadosát felírva kapjuk, hogy az impedanciát a transzformátor nem forgatja:

$$\bar{Z}_{a1} = \frac{1}{a^2} \bar{Z}_{A1}
 \tag{3.-15}$$

Nagyobb feszültségű tekercs		Kisebb feszültségű tekercs				
Jelölőszám	12	0	6	5	11	
Vektorkép						
Kapcsolás						
Vektorkép						
Kapcsolás						

Nagyobb feszültségű tekercs		Kisebb feszültségű tekercs	
Jelölőszám	12	1	7
Vektorkép			
Kapcsolás			
Vektorkép			
Kapcsolás			

3.3.-10a. ábra.

Nagyobb feszültségű tekercs		Kisebb feszültségű tekercs	
Jelölőszám	12	5	11
Vektorkép			
Kapcsolás			

3.3.-10b. ábra.

A felírt összefüggések akkor is alkalmazhatók, ha a kisebb feszültségű oldalról transzformáljuk a jellemzőket a nagyobb feszültségű oldalra. A kívánt mennyiséget kifejezve azt kapjuk, hogy a forgatás ellentétes irányú.

Az aszimmetrikus jellemzőket a transzformátor szintén forgatja. Ez esetben úgy járunk el, hogy az aszimmetrikus mennyiségeket szimmetrikus összetevőkre bontjuk, az egyes szimmetrikus összetevőket transzformáljuk, majd az egyenként átranszformált összetevőkből előállítjuk az immáron átvitt aszimmetrikus jellemzőket. Az elmondottakhoz nélkülözhetetlen a negatív és zérus sorrendű szimmetrikus összetevő transzformációjának ismerete.

A szimmetrikus negatív sorrendű feszültségek és áramok közötti összefüggések.

A negatív sorrendű összetevőt a transzformátor ugyanakkora szöggel, de ellenkező irányban forgatja.

A negatív sorrendű feszültségre felírható:

$$\bar{U}_{a2} = \frac{1}{a} e^{j\frac{\pi}{6}} \bar{U}_{A2} \quad (3-16)$$

míg a negatív sorrendű áramra igaz, hogy:

$$\bar{I}_{a2} = a \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} \bar{I}_{A2} \quad (3-17)$$

A negatív sorrendű impedanciát a transzformátor nem forgatja:

$$\bar{Z}_{a2} = \frac{1}{a^2} \bar{Z}_{A2} \quad (3-18)$$

A **zérus sorrendű összetevő** nagysága nem írható fel ilyen egyértelműen, mert az a transzformátor kapcsolásától, továbbá a csillagpont földelésének módjától függ. Általában a zérus sorrendű áram és feszültség vagy nem jut át a transzformátor egyik oldaláról a másikra, vagy ha igen, akkor nincs szögelfordulás (0 jelzőszám), illetve a szögelfordulás 180° (6 jelzőszám), azaz:

$$\bar{U}_{a0} = \pm \frac{1}{a} \bar{U}_{A0} \quad (3-19)$$

míg a zérus sorrendű áramra igaz, hogy:

$$\bar{I}_{a0} = \pm a \bar{I}_{A0} \quad (3.-20)$$

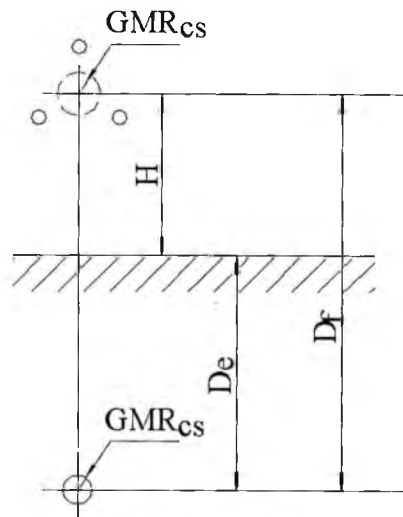
Befejezésül még egyszer fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a transzformátor egyik oldalán ismeretes aszimmetrikus fázisáramokból és feszültségekből nem lehet a másik oldal áramait és feszültségeit **közvetlenül** számítani, hanem a **szimmetrikus összetevőkkel** kell számolni!

3.3.3. Háromfázisú távvezeték zérus sorrendű impedanciái

3.3.3.1. Szabadvezeték zérus sorrendű impedanciái

A távvezetéknek is megegyezik a pozitív és negatív sorrendű impedanciája, ezért foglalkozunk csak a zérus sorrendűvel.

A szabadvezeték zérus sorrendű soros impedanciája teljesen más, mint a pozitív és a negatív sorrendű. A pozitív és a negatív sorrendű áramkörben a három fázisvezetőben folyó áram együttes értéke mindig nulla. Egy fázis áramkört vizsgálva, az csak odavezetésből áll, a visszavezetéssel (áramhurokkal) nem kell törődnünk, mert azt mindig a másik két fázis együttesen képviseli; másrészt mágneses térük a három fázisvezető közötti belső, és a közvetlen közeli külső térben foglal helyet. Ezzel szemben a zérus sorrendű áram a három fázisvezetőben irányra és nagyságra mindig azonos, azaz a három fázisvezető mint egyetlen közös vezető fogható fel, amely a zérus sorrendű áramhuroknak csak az odavezetését alkotja. A zérus sorrendű áramok esetén **az odavezetés a vezetéken, míg a visszavezetés más úton történik; a földön**, a védővezetőn vagy nullavezetőn – ill. ezeken együttesen – keresztül. A zérus sorrendű áramkör mágneses tere a három fázisvezetőtől nagy távolságban is észlelhető. A háromfázisú vezeték zérus sorrendű impedanciájában jelentős szerepe van a földvezetésnek.



3.3.-11. ábra

A földvisszavezetés mélysége:

$$D_f \approx D_e = 659 \sqrt{\frac{\rho_{föld}}{f}} \text{ m}, \quad (3.-21)$$

$[D_f] = \text{m}$ az a távolság, amely a GMR_{cs} sugarú helyettesítő fázisvezető és a föld mélyében elképzelt ugyanolyan GMR_{cs} sugarú és a föld vezetését helyettesítő vezető között van;

$[f] = \text{Hz}$, a frekvencia.

Az egyenletben a föld fajlagos ellenállása $[\rho_{\text{föld}}] = \Omega \cdot \text{m}$. Általában $\rho_{\text{föld}} = 100 \Omega \cdot \text{m}$, mocsaras területen pedig $\rho_{\text{föld}} = 10 \Omega \cdot \text{m}$. Közepes vezetőképességű talaj esetén $D_f \approx 660 \cdot \sqrt{2} \approx 1 \text{ km}$ körüli érték, ami a vezeték szerkezeti méreteinél nagyságrenddel nagyobb.

A földreaktancia (X_f) értéke:

$$X_f = 0,435 \cdot \lg \frac{D_f}{GMD} \quad \Omega / \text{km}. \quad (3.-22)$$

ahol D_f , a GMR_{cs} sugarú vezető és a föld mélyében elképzelt ugyancsak GMR_{cs} sugarú földvisszavezetés távolsága (3.3-11. ábra).

$$GMR_{cs} = \sqrt[3]{GMR^3 D_{ab}^2 D_{ac}^2 D_{bc}^2} \quad (3.-23)$$

a fázisvezetők csoportját helyettesítő vékonyfalú cső sugara; és

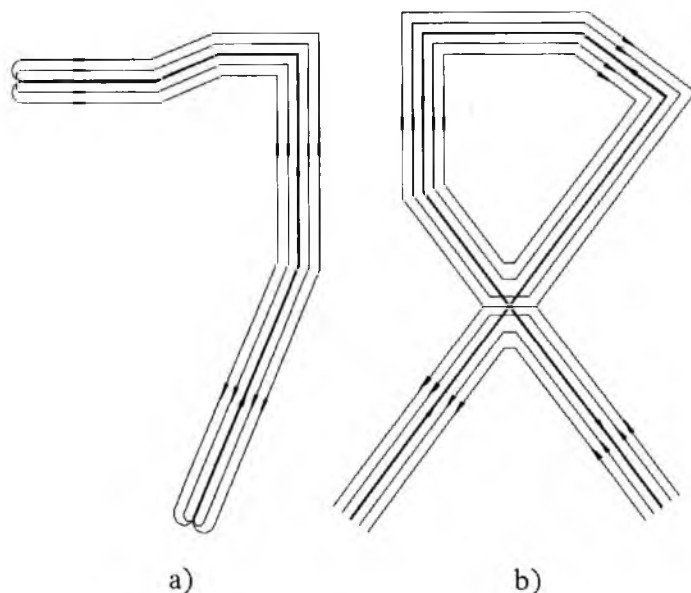
$$GMD = \sqrt[3]{D_{ab} D_{ac} D_{bc}} \quad (3.-24)$$

a vezetők geometriai mértékű távolsága.

A földáramokkal kapcsolatban a reaktanciának a fajlagos ellenállástól való függése bővebb magyarázatot igényel.

Egyenáram esetén a földáram a legkisebb ellenállás mentén halad, ami azt jelenti, hogy nagy keresztmetszeten a lehető legrövidebb úton.

Váltakozó áram esetén a legkisebb impedancia a mértékadó. Azaz a wattos összetevő az áramszálakat egymástól igyekszik eltávolítani, és a geometriai egyenes mentén tartani, de minél távolabbi a földben folyó áramszálak súlypontja a föld feletti vezetőtől, annál nagyobb az áramkör reaktanciája. A két ellenkező hatás eredményeképpen az áramszálak sokkal jobban a föld feletti vezető nyomvonalához közelében haladnak, mint egyenáram esetén. Ha a ρ nagy, nem a földellenállás nő meg, hanem az áramszálak megfelelően kitágulnak és nagyobb keresztmetszeten haladnak át, ami által az áramhurok is több mágneses erővonalal kapcsolódik, vagyis az X_f reaktancia megnő. Váltakozó áramnál a reaktancia nagyon megnőne, ha a földben folyó áram útja eltérne a vezeték nyomvonalától és ezért a földáram útja követi a nyomvonal minden kanyarulatát (3.3.-12. ábra).



3.3.-12. ábra. A földáramok útja zérus sorrendű áramkörben a vezeték nyomvonalát követi

A szabadvezeték zérus sorrendű soros impedanciája:

$$Z_0 = (R_v + 0,148) + j \left(0,145 \cdot \lg \frac{GMD}{GMR} + 0,435 \cdot \lg \frac{D_f}{GMD} \right) \Omega/\text{km}. \quad (3.-25)$$

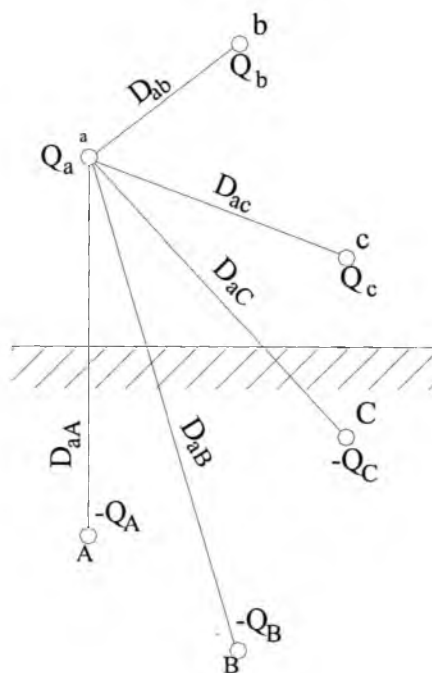
A föld ellenállása: $R_f = 0,148 \Omega/\text{km}. \quad (3.-26)$

Evvel: $Z_0 = R_v + R_f + j(X_v + X_f) \quad (3.-27)$

Ha nem áll rendelkezésünkre pontos adat, akkor az $Z_0 \sim 3X_v$ közelítő értéket használhatjuk ($X_v \approx 0,4 \Omega/\text{km}$). Közös oszlopsoron haladó kettős rendszerű vezetékeknel az eredő mágneses teret a hat fázisvezetőben folyó zérus sorrendű áram közösen alakítja ki, így eredőben az egy rendszerre számított zérus sorrendű impedancia nem feleződik, mint a pozitív vagy negatív sorrendű impedanciánál, hanem jelentősen nagyobb lesz ($x_0 = 1 \Omega/\text{km}$).

A szabadvezeték zérus sorrendű párhuzamos impedanciája:

Egyrendszerű, háromfázisú, védővezető nélküli szabadvezeték zérus sorrendű kapacitív reaktanciája a 3.3.-13. ábra elrendezése alapján számítható,



3.3.-13. ábra. Föld hatását figyelembe vevő tükörtöltések

avval a kitétel, hogy a töltések és a tükörtöltések — a zérus sorrend miatt — mind egyformák. (A szabadvezeték védővezetőt nem tartalmaz.)

$$x_0^j = 0,132 \lg \frac{1}{r} + 0,396 \lg GMD_0 + 0,264 \lg GMD \quad \text{M}\Omega\text{km}. \quad (3.-28)$$

A (3.-28) összefüggésben szereplő mennyiségeket milliméterben kell behelyettesíteni! A GMD_0 zérus sorrendű geometriai mértékű távolság pontos értéke a 3.3.-13. ábra jelöléseivel:

$$GMD_0 = \sqrt[9]{D_{aA} D_{bB} D_{cC} D_{aB}^2 D_{bC}^2 D_{cA}^2} \quad (3.-29)$$

Valójában a vezetők föld feletti magassága sokkal nagyobb, mint a fázisok közötti távolságok, ezért a gyakorlat számára GMD_0 a (3.-29) összefüggésnél egyszerűbben is számítható:

$$GMD_0 \approx \frac{2}{3}(H_a + H_b + H_c) \quad (3.-30)$$

A (3.-30) összefüggésben szereplő H_x vezetékmagasságokat jelöli, amelyet a vezeték belógásának figyelembevételével — mint közepes magasságokat — kell számításba venni. Azaz a felfüggesztési magasságból (H_0) a belógás (b) értékének kétharmadát le kell vonni:

$$H_x = H_{x0} - \frac{2}{3}b_x \quad (3.-31)$$

3.3.3.2. A kábelek zérus sorrendű impedanciái

A kábelek zérus sorrendű soros impedanciája

A kábelek zérus sorrendű soros impedanciáját a szabadvezeteki számításhoz hasonló gondolatmenettel határozhatjuk meg. Az eltérés abban van, hogy míg szabadvezetéknel a zérus sorrendű áram visszavezetésére csak két út volt: a föld és a védővezető, addig kábeleknél több visszavezetési út lehetséges. A kábeleken — igen kevés kivételtől eltekintve — mindig van valamilyen fémárnyékolás, fémköpeny vagy vasszalag (vashuzal) páncélzat, amely rendszerint le van földelve. A kisfeszültségű kábelek legtöbbje még nullavezetőt is tartalmaz. A zérus sorrendű áram jelentős része ezen át záródik, és a nagyobb impedanciát képviselő földön keresztül csak kisebb rész folyik.

A számítást kábeltípustól függően kell elvégezni, azaz aszerint, hogy a zérus sorrendű áramok visszavezetése hogyan történik. Az elméletileg figyelembe vehető sokféle eset közül itt csak a következő három esetet fogjuk tárgyalni:

- visszavezetés csak a földön át (fémrészek a földtől szigeteltek);
- visszavezetés csak a köpenyen, árnyékoláson, azaz fémvisszavezetésen át;
- visszavezetés a földön és a köpenyen át, (ez a magyar gyakorlat).

a) *Visszavezetés csak a földön át*

Ez az eset csak olyan kábeleknél fordul elő, amelyek vízhatlan védőburkolata nem fém, hanem más anyag (gumi vagy műanyag) és páncélzat sincs. Ide sorolhatók még azok is, amelyeknek köpenye és esetleges páncélzata nincs leföldelve, és száraz homokban vagy betoncsatornában fekszenek, ahol a köpeny, ill. a páncélzat és a föld közötti átmeneti ellenállás igen nagy.

Az ilyen tisztán föld-visszavezetésű áramkörben a zérus sorrendű soros impedancia gyakorlatilag ugyanazzal az összefüggéssel fejezhető ki, mint a szabadvezetéké:

$$Z_0 = (R_v + R_f) + j(X_v + X_f) \quad (3.-32)$$

ahol R_v a vezető ellenállása; R_f a föld ellenállása; X_f a földvezetési reaktancia; X_v a kábel zérus sorrendű saját reaktanciája.

A (3.-32) összefüggés csak egyetlen háromfázisú kábelvezetékre érvényes, amely tehát vagy három egyerű kábelből, vagy pedig egy háromerű kábelből áll.

b) *Visszavezetés csak a köpenyen át*

Nagyfeszültségű, továbbá nullavezető nélküli kisfeszültségű kábeleknél ez az eset a legfontosabb. Általában minden rövidebb kábelvonal zérus sorrendű impedanciája e szerint számítható. Ide tartozik minden olyan eset is, amikor a köpeny nincs földelve és a zérus

sorrendű áramot előidéző hiba nem terjed ki a földre, hanem csak a köpenyre.

A háromfázisú kábel zérus sorrendű impedanciájának nagysága ilyenkor a kábel kialakításától függően:

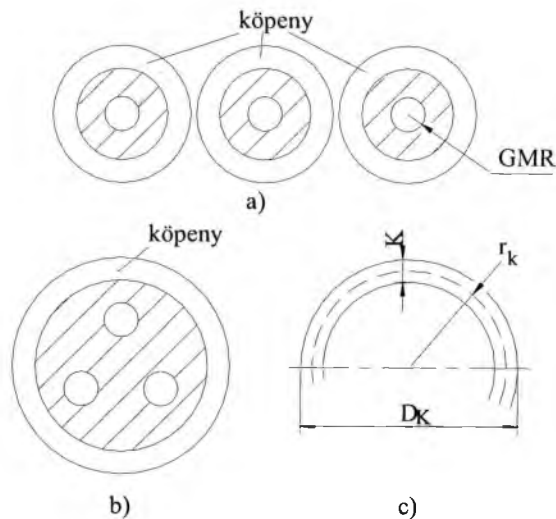
- háromerű kábel esetén (3.3.-14b. ábra):

$$Z_0 = R_v + 3R_{köpeny} + j \left(0,145 \lg \frac{GMD}{GMR} + 0,435 \lg \frac{r_k}{GMD} \right) \Omega/\text{km} \quad (3.-33)$$

- három egyerű kábel esetén (3.3.-14a. ábra):

$$Z_0 = R_v + R_{köpeny} + j 0,145 \lg \frac{r_k}{GMR} \Omega/\text{km} \quad (3.-34)$$

ahol az $r_k = \frac{D_K - K}{2}$ a köpeny középvonalának sugara (3.3.-14c. ábra).



3.3.-14. ábra

c) Visszavezetés a földön és a köpenyen át

Hosszabb nagyfeszültségű kábelek zérus sorrendű impedanciáját e módszer szerint kell számolni, ha pontos értéket szeretnénk. A számítást nem végezzük el, mert a köpennyel párhuzamosan kapcsolt földvezetés ágimpedanciája oly nagy, hogy gyakorlatilag az eredő zérus sorrendű impedancia nagyságára hatása elhanyagolható. Megjegyzendő azonban, hogy irányát számottevően megváltoztatja.

A kábelek zérus sorrendű párhuzamos impedanciája

Egyvezetős (egyerű) és H-típusú kábelek pozitív, negatív és zérus sorrendű párhuzamos impedanciájának értéke egyenlő. Ezzel szemben övszigetelésű kábelek zérus sorrendű impedancia értéke nagyobb, mint a pozitív és negatív sorrendű.

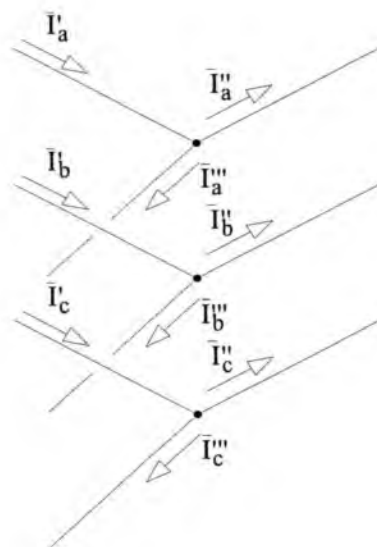
3.4. A hálózat pozitív, negatív és zérus sorrendű helyettesítő vázlatai

A különböző szimmetrikus elemek (vezetékek, generátorok, transzformátorok stb.) különböző impedanciájuk a pozitív, negatív és zérus sorrendű áramokkal szemben. Ha egy bonyolult, sok ágból és különböző elemekből álló hálózaton átfolyó szimmetrikus áramrendszer hatását vizsgáljuk, akkor az aszimmetrikus áramrendszer hatását helyettesíthetjük három szimmetrikus áramrendszer – a pozitív, a negatív és a zérus sorrendű áramrendszer – hatásának pontonkénti szuperponálásával. Ez elvégezhető úgy, hogy képzeletben egymás után átbocsátjuk a hálózaton az áramkomponenseket, s a három áram-, ill. feszültség-összetevőt minden egyes ponton összegezzük.

A szuperpozíció úgy is végrehajtható, hogy felrajzoljuk, vagy modellmérés esetén összeállítjuk külön a pozitív, a negatív és a zérus sorrendű hálózatokat:

- a pozitív sorrendű hálózatban a szimmetrikus viszonyok esetén is érvényes impedanciák szerepelnek, s csak pozitív sorrendű áram folyik,
- a negatív sorrendű hálózatban a negatív sorrendű áramokkal szemben mutatkozó impedancia szerepel, és rajta negatív sorrendű áram folyik át,
- a zérus sorrendű hálózatban a zérus sorrendű áramokkal szemben mutatkozó impedancia szerepel, és rajta zérus sorrendű áram folyik át.

A pozitív, negatív és zérus sorrendű hálózatokban az egyes impedanciák számértékben különböznek, de a hálózatok felépítése, topológiája (geometriai kialakítása) azonos. Ennek igazolására vizsgáljunk meg egy háromágú háromfázisú csomópontot (3.4.-1. ábra)!



3.4.-1. ábra. Háromfázisú csomópont

Az ábrának megfelelően mind a három fázisban felírható Kirchhoff I. csomóponti törvénye:

$$-\bar{I}_a' + \bar{I}_a'' + \bar{I}_a''' = 0, \quad (3.-35)$$

$$-\bar{I}_b' + \bar{I}_b'' + \bar{I}_b''' = 0, \quad (3.-36)$$

$$-\bar{I}_c' + \bar{I}_c'' + \bar{I}_c''' = 0. \quad (3.-37)$$

Írjuk fel most az egyes fázisok áramait az "a" fázissal kifejtett szimmetrikus összetevőkkel:

$$a \quad -(\bar{I}_{a0} + \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2}) + (\bar{I}_{a0}'' + \bar{I}_{a1}'' + \bar{I}_{a2}'') + (\bar{I}_{a0}''' + \bar{I}_{a1}''' + \bar{I}_{a2}''') = 0. \quad (3.-38)$$

$$b \quad -(\bar{I}_{a0} + \bar{a}^2 \bar{I}_{a1} + \bar{a} \bar{I}_{a2}) + (\bar{I}_{a0}'' + \bar{a}^2 \bar{I}_{a1}'' + \bar{a} \bar{I}_{a2}'') + (\bar{I}_{a0}''' + \bar{a}^2 \bar{I}_{a1}''' + \bar{a} \bar{I}_{a2}''') = 0. \quad (3.-39)$$

$$c \quad -(\bar{I}_{a0} + \bar{a} \bar{I}_{a1} + \bar{a}^2 \bar{I}_{a2}) + (\bar{I}_{a0}'' + \bar{a} \bar{I}_{a1}'' + \bar{a}^2 \bar{I}_{a2}'') + (\bar{I}_{a0}''' + \bar{a} \bar{I}_{a1}''' + \bar{a}^2 \bar{I}_{a2}''') = 0. \quad (3.-40)$$

Rendezzük úgy a (3.-38, 3.-39, 3.-40) egyenletrendszert, hogy az azonos sorrendű áramok kerüljenek egy-egy csoportba:

$$- \mathbf{a} \text{ fázisra: } (-\bar{I}_{a0} + \bar{I}_{a0}'' + \bar{I}_{a0}''') + (-\bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a1}'' + \bar{I}_{a1}''') + (-\bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a2}'' + \bar{I}_{a2}''') = 0, \quad (3.-41)$$

$$- \mathbf{b} \text{ fázisra: } (-\bar{I}_{a0} + \bar{I}_{a0}'' + \bar{I}_{a0}''') + \bar{a}^2 (-\bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a1}'' + \bar{I}_{a1}''') + \bar{a} (-\bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a2}'' + \bar{I}_{a2}''') = 0, \quad (3.-42)$$

$$- \mathbf{c} \text{ fázisra: } (-\bar{I}_{a0} + \bar{I}_{a0}'' + \bar{I}_{a0}''') + \bar{a} (-\bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a1}'' + \bar{I}_{a1}''') + \bar{a}^2 (-\bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a2}'' + \bar{I}_{a2}''') = 0. \quad (3.-43)$$

A három egyenletet összeadva:

$$-\bar{I}_{a0} + \bar{I}_{a0}'' + \bar{I}_{a0}''' = 0. \quad (3.-44)$$

A második egyenletet \bar{a}^{-2} -vel a harmadikat \bar{a}^{-2} -tel szorozva és az egyenleteket összeadva:

$$-\bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a1}'' + \bar{I}_{a1}''' = 0. \quad (3.-45)$$

A második egyenletet \bar{a}^{-2} -tel, a harmadikat \bar{a}^{-1} -vel szorozva és az egyenleteket összeadva:

$$-\bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a2}'' + \bar{I}_{a2}''' = 0. \quad (3.-46)$$

A (3.-35, 3.-36, 3.-37) egyenletcsoport a hálózat mindhárom fázisára volt igaz. A (3.-44), (3.-45), (3.-46) egyenletek a három különböző sorrendű hálózatokra teljesülnek. Tehát, ahol az eredeti háromfázisú hálózaton csomópont van, ott mindhárom egy fázisú sorrendi hálózatban is csomópont lesz. Így mindhárom sorrendi hálózat kialakítása az eredetivel azonos. Természetesen a zérus sorrendű impedancia esetenkénti végtelen nagy volta (szakadás) miatt a zérus sorrendű hálózat egyes ágai elmaradhatnak.

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy egy szimmetrikusan táplált és a három fázist tekintve szimmetrikus elemekből álló hálózaton az átfolyó aszimmetrikus áramok aszimmetrikus feszültségeket keltenek.

Az ilyen háromfázisú rendszert, ha az elemek lineárisnak tekinthetők, le lehet képezni **három egyfázisú rendszerrel**.

A pozitív sorrendű rendszer lényegében a szimmetrikus rendszer leképzése. Feszültségforrást csak ez a pozitív sorrendű hálózat tartalmaz, hiszen a generátorok szerkezetüknél és működés módjuknál fogva pozitív sorrendű feszültséget állítanak elő.

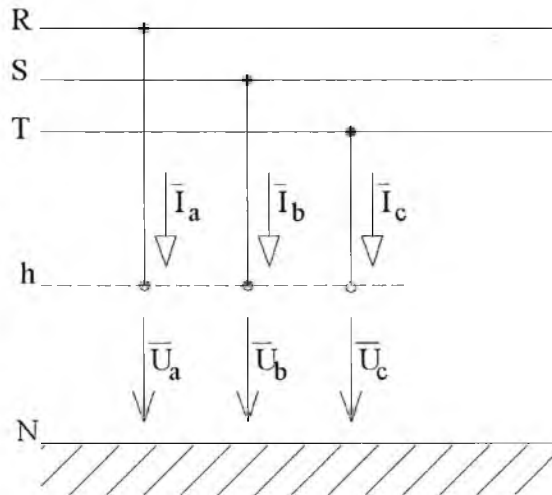
A negatív és zérus sorrendű hálózatban az ideális feszültségforrás helyén rövidzárat találunk.

Mind a három rendszerben az azonos sorrendű áramok az azonos sorrendű áramokkal szemben fellépő impedancián azonos sorrendű feszültségeket keltenek.

Világos, hogy a feszültségforrást tartalmazó pozitív sorrendű hálózatban folyik áram, arról azonban nem volt szó, hogy miért folyik a negatív és a zérus sorrendű hálózatban áram. Erre a kérdésre a következő fejezetekben, a hálózati hibák (zárlatok, szakadások) számításakor kapunk választ.

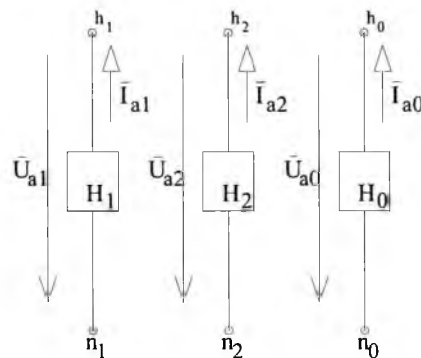
Miután az itt elhangzottak a hibaszámításnál kívánjuk használni, a hálózatban a hiba helyének igen fontos szerep jut. Azt a helyet, amely a hálózaton bárhol lehet, "h" betűvel jelöljük, és úgy képezzük ki, hogy a három fázisvezetőről impedanciamentes kivezetéseket ágaztatunk le (3.4.-2. ábra).

Ilyen kivezetés a valóságban nincs, azonban ezekre a képzelt kivezetésekre szükség van, hogy figyelembe tudjuk venni a hálózatból a hibahelyen kifolyó áramokat. Fokozottan ügyelni kell a jelölések következetességére és az egységesen használt pozitív áramirányokra, máskülönben a részhálózati eredmények szuperpozíciója lehetetlen!



3.4.-2. ábra. A hálózat hibahelyének kialakítása

A hibahelyet h_1 , h_2 , h_3 jellel természetesen a sorrendi hálózatokban is feltüntetjük. A különböző sorrendű egyfázisú helyettesítő vázlatok "nulla" vezetőit n_1 , n_2 , n_0 -val jelöljük. Ezek után lehetőségünk van a különböző sorrendű hálózatok szimbolikus jelölésére (H_1 , H_2 , H_0), melyet, a 3.4.-3. ábrán rajzoltunk meg.



3.4.-3. ábra. Egyfázisú helyettesítő vázlatok szimbolikus jelölése
a) pozitív sorrendű; b) negatív sorrendű; c) zérus sorrendű

A helyettesítő hálózatok hibahelyi áram- és feszültségösszetevői mind az "a" fázis mennyiségei. Azért az "a" fázis a választott referenciafázis, mert összefüggéseinkben a többi fázis sorrendi összetevőit az "a" fázis összetevőivel fejeztük ki.

3.5. Sönthibák számítása

A szimmetrikus összetevők segítségével a háromfázisú hálózatok bármilyen jellegű aszimmetrikus hibái, így a különféle zárlatok (sönthibák), szakadások (soros hibák) és azok kombinációi (szimultán hibák) szabatosan számíthatók.

Az egyes hibafajták és számításuk esetén a tényleges hálózat és a hibahelyek alapján felrajzolt H_1 , H_2 , H_0 összetevő hálózatok a hibafajtának megfelelő módon kapcsolható össze. Az így kialakított egyfázisú hálózat áramait és feszültségeit Ohm és Kirchhoff törvényei szerint határozzuk meg.

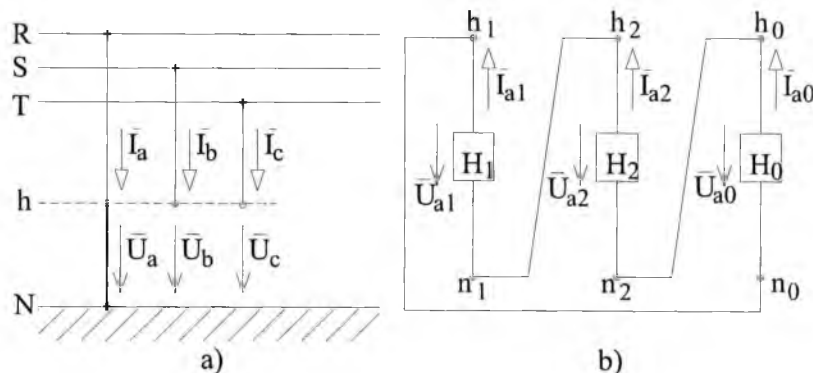
Az egyszerű zárlatfajták esetében a hálózatok összekapcsolása is egyszerű, csak soros vagy párhuzamos kapcsolás fordul elő. Az összetettebb (szimultán) hibák esetén a hálózatok kapcsolata bonyolultabb és visszacsatoló, ill. fázisforgató váltókat is tartalmaz.

3.5.1. Egyfázisú földrövidzárlat (FN) számítása

Olyan hálózatban, ahol a generátorok, transzformátorok csillagpontjai impedancia mentesen földeltek, az egyik fázis földérintésénél az áramkör kis impedancián keresztül záródik, és nagy rövidzárlati áram folyik.

Az FN zárlat hibahelyének kialakítását a 3.5.-1/a. ábrán láthatjuk. Az a, b, c kivezetésekből kifolyó áramokat hibahelyi áramoknak nevezzük. Az a, b, c pont földhöz képesti feszültsége a hibahelyi feszültség.

A hibát számításainkhoz célszerű mindig az "a" referencia fázisra szimmetrikusan feltételezni. Az FN zárlat létrejötté egyenértékű tehát azzal, hogy impedancia mentes vezetékdarabbal az "a" pontot az N földdel összeköttöttük.



3.5.-1. ábra. Egyfázisú földrövidzárlat (FN)
a) hibahely kialakítása; b) helyettesítő hálózatok kapcsolása

Az ábra alapján felírhatjuk a hibahelyre érvényes feszültség- és áramösszefüggéseket:

$$\bar{U}_a = 0, \quad (3.-47)$$

$$\bar{I}_b = 0, \quad (3.-48)$$

$$\bar{I}_c = 0. \quad (3.-49)$$

Az S és T fázisokban ettől függetlenül folyhatnak áramok, mert terhelőáram vagy több pontról való betáplálás esetén kiegyenlítő áram folyhat a fázisvezetőben. Írjuk fel a hibahelyi áramok szimmetrikus összetevőit, figyelembe véve (3.-48) és a (3.-49) feltételeit:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{a0} \\ \bar{I}_{a1} \\ \bar{I}_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3.-50)$$

a (3.-50) összefüggés szerint

$$\bar{I}_{a0} = \bar{I}_{a1} = \bar{I}_{a2} = \frac{\bar{I}_a}{3}. \quad (3.-51)$$

Ez azt jelenti, hogy egyfázisú földzárlat esetén mindhárom összetevő hálózatból a "h" hibahelyen ugyanakkora áram lép ki. Figyelembe véve, hogy (3.-47) alapján:

$$\bar{U}_{a0} + \bar{U}_{a1} + \bar{U}_{a2} = 0, \quad (3.-52)$$

azaz a három összetevő-hálózat feszültségének összege nulla.

Az áramokra és feszültségekre kapott eredmények alapján meg tudjuk határozni a három összetevő-hálózat kapcsolásának módját. A három hálózatot a hibahelyen sorba kell kötni, amint azt a 3.5.-1/b. ábrán tettük. Ezek után választ tudunk adni arra a kérdésre, hogy hogyan folyik áram a negatív és zérus sorrendű hálózatban.

A pozitív sorrendű hálózat, amelyben a feszültségforrások vannak, a "h" ponton kerül kapcsolatba a másik két hálózattal, melyek csak passzív elemeket tartalmaznak. A hiba hatására az eddig feszültség és árammentes negatív és zérus sorrendű hálózat ágaiban áram folyik, és az összetevő-hálózat különböző pontjain feszültséget lehet mérni.

Így bármely pontban, ill. ágon megállapítható a feszültség, ill. az áram három sorrendi összetevője, melyekből bárhol meghatározható a fázisáram és fázisfeszültség.

Ha a hálózat csillagpontjai nincsenek impedancia mentesen földelve, csak földzárlatról (1Ff) beszélhetünk. Ezen zárlatfajta ugyanúgy számítható, mint a rövidzárlaté, hiszen a hibahelyre azonos feltételek vonatkoznak. A körben folyó áramok, a zérus sorrendű hálózat eltérő volta – kapacitások figyelembevétele – miatt különbözőek lesznek.

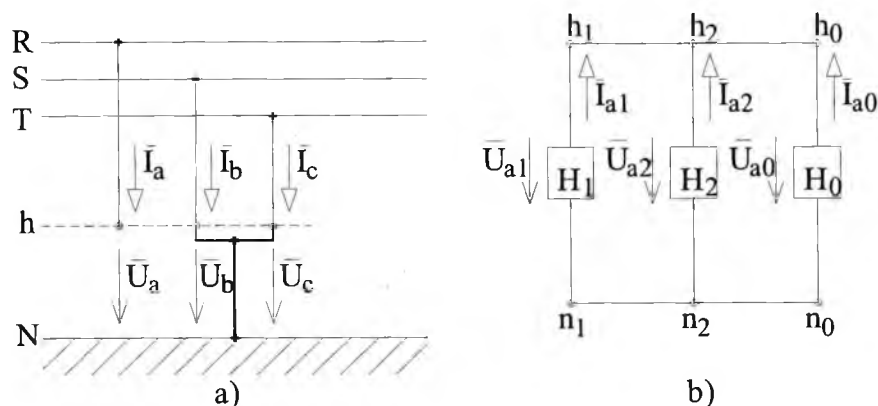
3.5.2. Kétfázisú földrövidzárlat (2FN) számítása

A "h" hibahelyet megint az "a" referenciafázisra szimmetrikusan alakítjuk ki, azaz a b és c pontokat kötjük össze egymással és a földdel (3.5.-2a ábra). Az áramokra és feszültségekre három hibahelyi feltétel írható fel:

$$\bar{U}_b = 0, \quad (3.-53)$$

$$\bar{U}_c = 0, \quad (3.-54)$$

$$\bar{I}_a = 0. \quad (3.-55)$$



3.5.-2. ábra. Kétfázisú földrövidzárlat (2FN)
a) hibahely kialakítása; b) helyettesítő hálózatok kapcsolása

Írjuk fel először a hibahelyi feszültségösszetevők számítására szolgáló összefüggést a (3.-53) és (3.-54) feltétellel:

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_{a0} \\ \bar{U}_{a1} \\ \bar{U}_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{U}_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3.-56)$$

ami szerint

$$\bar{U}_{a0} = \bar{U}_{a1} = \bar{U}_{a2} = \frac{\bar{U}_a}{3}. \quad (3.-57)$$

Tehát mind a három sorrendi hálózat feszültsége a "h" és "n" pontok között egyforma. A (3.-55)-et szimmetrikus összetevőivel felírva:

$$\bar{I}_{a0} + \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2} = 0. \quad (3.-58)$$

Ezek szerint a három hibahelyi áramösszetevő egy csomópontba fut össze.

A (3.-57) és (3.-58) feltételnek a három összetevő-hálózat párhuzamos kapcsolása tesz eleget (3.5.-2/b ábra).

A helyettesítő kapcsolásból következik, hogy a feszültségforrással rendelkező H_1 hálózatból kifolyó áram, az impedanciák által megadott arányban a H_2 és a H_0 hálózaton megoszolva folyik vissza. A 3.5.-2/b. ábra helyettesítő kapcsolási vázlatában az eredő reaktancia nem a három sorrendi reaktancia párhuzamos eredője!

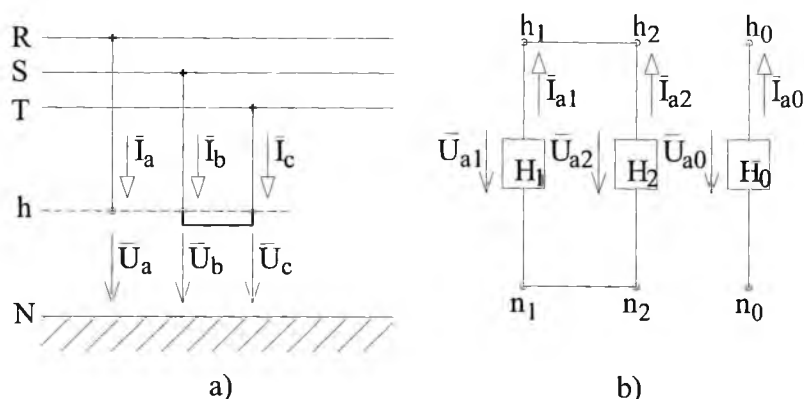
3.5.3. Kétfázisú zárlat (2F) számítása

A zárlatot az a fázisra szimmetrikusan, a "b" és "c" fázisok között célszerű felvenni, míg a helyettesítő kapcsolások megoldásaként kapott hibahelyi áramok és feszültségek az "a" fázis szimmetrikus összetevői lesznek. A hibahely 3.5.-3/a. ábra szerinti kialakításából a következő feltételek olvashatók ki:

$$\bar{I}_a = 0, \quad (3.-59)$$

$$\bar{I}_b + \bar{I}_c = 0, \quad (3.-60)$$

$$\bar{U}_b = \bar{U}_c. \quad (3.-61)$$



3.5.-3 ábra. Kétfázisú zárlat (2F)

a) hibahely kialakítása; b) helyettesítő hálózatok kapcsolása

A referencifázis hibahelyi áramának szimmetrikus összetevői (3.-59) és (3.-60) egyenleteket figyelembe véve:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{a0} \\ \bar{I}_{a1} \\ \bar{I}_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{I}_b \\ -\bar{I}_b \end{bmatrix}, \quad (3.-62)$$

ami szerint

$$\bar{I}_{a0} = 0, \quad (3.-63)$$

$$\bar{I}_{a1} = -\bar{I}_{a2}. \quad (3.-64)$$

Miután $\bar{I}_{a0} = 0$, így a zérus sorrendű hálózaton nem folyik áram. Ez azt is jelenti, hogy a földben nem folyik áram még akkor sem, ha a hálózat csillagpontjai mereven földeltek. Ez viszont csak akkor lehetséges, ha a zérus sorrendű feszültség értéke is nulla, azaz

$$\bar{U}_{a0} = 0. \quad (3.-65)$$

A (3.-65) segítségével a hibahely "a" fázisának feszültség-összetevőire a következő írható:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \bar{U}_{a1} \\ \bar{U}_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{U}_a \\ \bar{U}_b \\ \bar{U}_b \end{bmatrix}, \quad (3.-66)$$

azaz

$$\bar{U}_{a0} = \frac{1}{3}(\bar{U}_a + 2\bar{U}_b) = 0. \quad (3.-67)$$

$$\bar{U}_{a1} = \bar{U}_{a2}. \quad (3.-68)$$

Miután \bar{I}_{a0} és \bar{U}_{a0} nulla; így a kapcsolásban csak a pozitív és a negatív sorrendű hálózat szerepel, a zérus sorrendű hálózat ilyen hibafajta számításakor el is hagyható. A (3.-64) és (3.-68) összefüggéseket H_1 és H_2 párhuzamos kapcsolása elégíti ki, amit a 3.5.-3/b. ábrán tüntettünk fel.

A (3.-67) összefüggésből a hibás fázis feszültségét kifejezve:

$$\bar{U}_b = -\frac{\bar{U}_a}{2}. \quad (3.-69)$$

Azaz elmondható, hogy a hibás fázisok feszültségeinek nagysága az ép fázis feszültségének a fele. Ha most (3.-69) egyenletet figyelembe véve fejtjük ki a (3.-66) mátrixegyenlet második és harmadik sorát, azt kapjuk, hogy:

$$\bar{U}_{a1} = \bar{U}_{a2} = \frac{\bar{U}_a}{2}.$$

Azaz az ép fázis feszültségének fele adja a pozitív, ill. negatív sorrendű feszültség-összetevőt a hibahelyen.

Végül megjegyezzük, hogy a transzformátorok kapcsolási csoporttól függő fázisforgató hatása is figyelembe veendő, amelyet a hibahelytől kiindulva kell a sorrendi összetevőkön végrehajtani. A transzformátor a kapcsolási jeléből eredőszöggel és irányban:

- a pozitív sorrendű összetevőt forgatja el,
- a negatív sorrendű összetevőt ugyanakkora szöggel, de ellentétes irányban forgatja el,
- a zérus sorrendű összetevőt — ha a kapcsolásból adódóan egyáltalán át tudja vinni — nem forgatja.

3.6. Soros hibák számítása

Soros hiba az egyébként teljesen szimmetrikus hálózaton akkor keletkezik, ha az egyik fázisvezető soros impedanciája egy igen rövid szakaszon eltér a másik két fázisvezető impedanciájától. Ebben a szakaszban a soros hibák két gyakori esetét, az egyfázisú (1f) és a kétfázisú (2f) szakadást tárgyaljuk.

Nézzünk néhány gyakorlati esetet, amikor egyfázisú szakadás keletkezik a hálózaton:

- egy fázisban a biztosító kiolvad,
- egysarkú végleges megszakítás esetén ("sántaüzem" közvetlenül földelt hálózatban),
- egy fázisvezető elszakad (de nem érintkezik sem egy másik fázisvezetővel, sem a földdel).

Kétfázisú szakadásról beszélünk, ha

- két fázisban a biztosító kiolvad,
- háromsarkú megszakításkor a megszakító egyik fázisa nem kapcsol (beragad),
- két vezető elszakad (de nem érintkezik sem a harmadik fázisvezetővel, sem a földdel).

3.6.1. Egyfázisú szakadás (1f) számítása

Először, mint azt a zárlatszámításnál is tettük, a hibát leképző kapcsolási vázlat kialakításáról kell szólnunk. A hibákat most is a referenciafázisra szimmetrikusan kell felvenni, azaz esetünkben az R fázis (a hibahelyen "a"-val jelölve) szakadt.

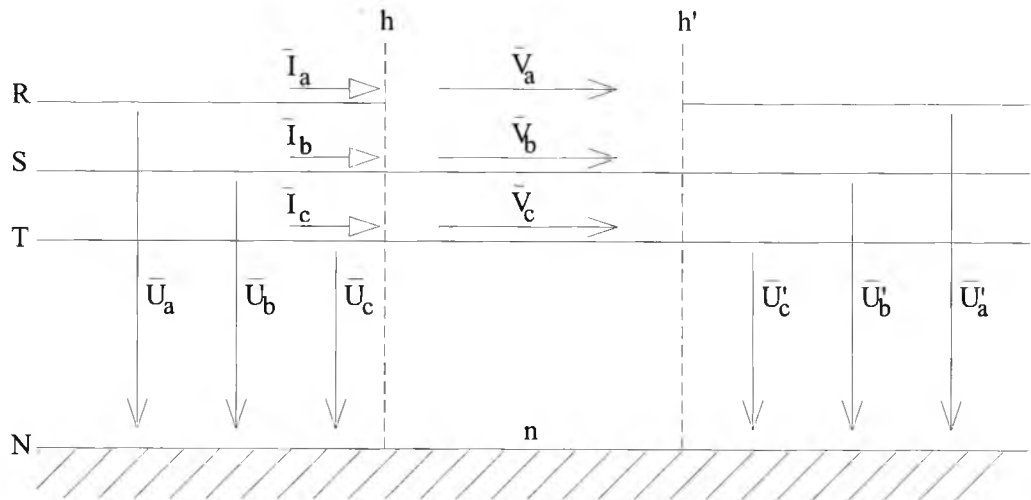
Meg kell különböztetnünk a hibahelyen elszakadt vezeték két végét, amelyet h-val és h'-vel fogunk jelölni. Így helyettesítő hálózatunk nem két, hanem három kivezetése lesz, például a H_1 -nek h_1 , h_1' és n_1 . Miután számunkra sokszor a szakadt végek közötti feszültség a fontos, definiáljuk a következő soros feszültségeket:

$$\bar{V}_a = \bar{U}_a - \bar{U}_a', \quad (3.-70)$$

$$\bar{V}_b = \bar{U}_b - \bar{U}_b', \quad (3.-71)$$

$$\bar{V}_c = \bar{U}_c - \bar{U}_c'. \quad (3.-72)$$

Az egyfázisú szakadás hibahelyének elmondottak szerinti kialakítása a 3.6.-1. ábrán látható. Az áramok ismét a "h" hibahelyen a hálózattól kifelé folynak.



3.6.-1. ábra. Egy vezető szakadása

Az ábra alapján az 1f szakadásra a következő egyenletek írhatók fel:

$$\bar{I}_a = 0, \quad (3.-73)$$

$$\bar{V}_b = 0, \quad (3.-74)$$

$$\bar{V}_c = 0. \quad (3.-75)$$

Határozzuk meg a soros hibahelyi feszültség "a" fázisának szimmetrikus összetevőit (3.-60, 3.-61, 3.-62) feltételek figyelembevételével:

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{a0} \\ \bar{V}_{a1} \\ \bar{V}_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

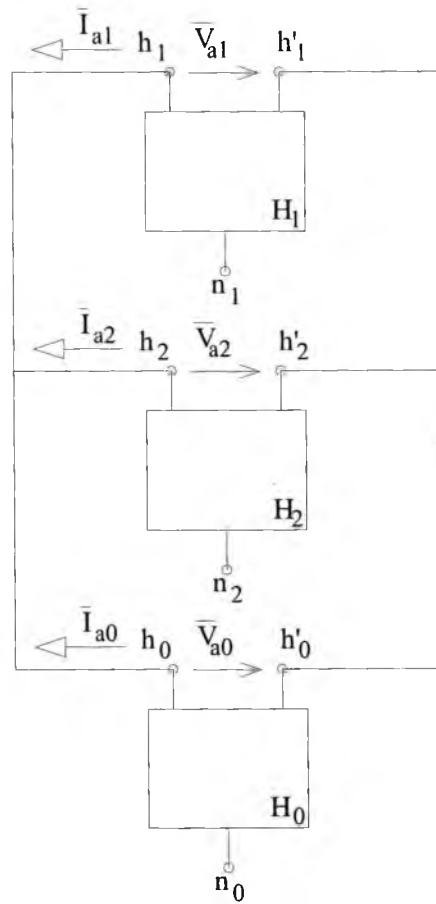
miszerint

$$\bar{V}_{a0} = \bar{V}_{a1} = \bar{V}_{a2} = \frac{1}{3} \bar{V}_a. \quad (3.-76)$$

A hibahelyi áram szimmetrikus összetevői az "a" fázisban (3.-73, 3.-74, 3.-75) alapján:

$$\bar{I}_a = \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a0} = 0. \quad (3.-77)$$

A feszültségösszetevők megegyeznek egymással, az áramösszetevőkre a csomóponti törvény teljesül, tehát a három hálózatot a szakadt végekre nézve párhuzamosan kell kötni (3.6.-2. ábra).



3.6.-2. ábra. A helyettesítő hálózatok kapcsolása 1f szakadás esetén

Szimmetrikus háromfázisú hálózatok egyfázisú szakadása esetén is van teljesítmény-átvitel. Ezt a h_1 és h'_1 pontok közé kapcsolódó negatív és zérus sorrendű hálózat biztosítja. Ez azt jelenti, hogy a negatív és zérus sorrendű hálózaton is folyhat áram. Az aszimmetrikus áram és feszültségrendszer minden hálózati pontra a korábban tanultak szerint határozható meg.

3.6.2. Kétfázisú szakadás (2f) számítása

A 2f szakadás hibahelyét szintén az "a" fázisra szimmetrikusan vesszük fel, azaz a "b" és a "c" fázisvezető szakadt.

A 3.6.-3. ábra megtekintéséből látható, hogy a hibahelyre a következő összefüggések igazak:

$$\bar{V}_a = 0. \quad (3.-78)$$

$$\bar{I}_b = 0, \quad (3.-79)$$

$$\bar{I}_c = 0. \quad (3.-80)$$

A $\bar{V}_a = 0$ egyenletből adódik, hogy

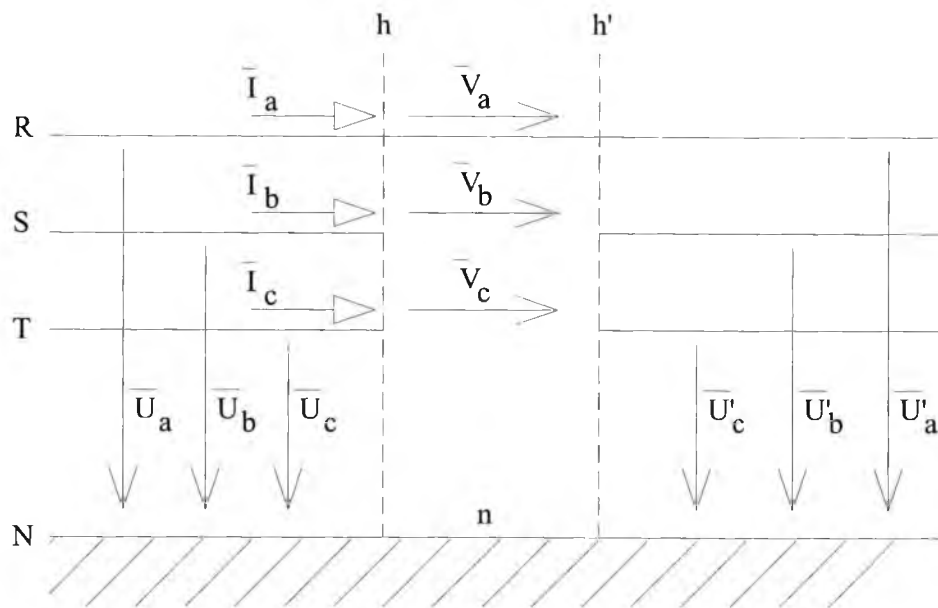
$$\bar{V}_a = \bar{V}_{a1} + \bar{V}_{a2} + \bar{V}_{a0} = 0, \quad (3.-81)$$

míg az áramok szimmetrikus összetevői:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{a0} \\ \bar{I}_{a1} \\ \bar{I}_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^{-2} \\ 1 & \bar{a}^{-2} & \bar{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

miszerint:

$$\bar{I}_{a0} = \bar{I}_{a1} = \bar{I}_{a2} = \frac{1}{3} \bar{I}_a. \quad (3.-82)$$

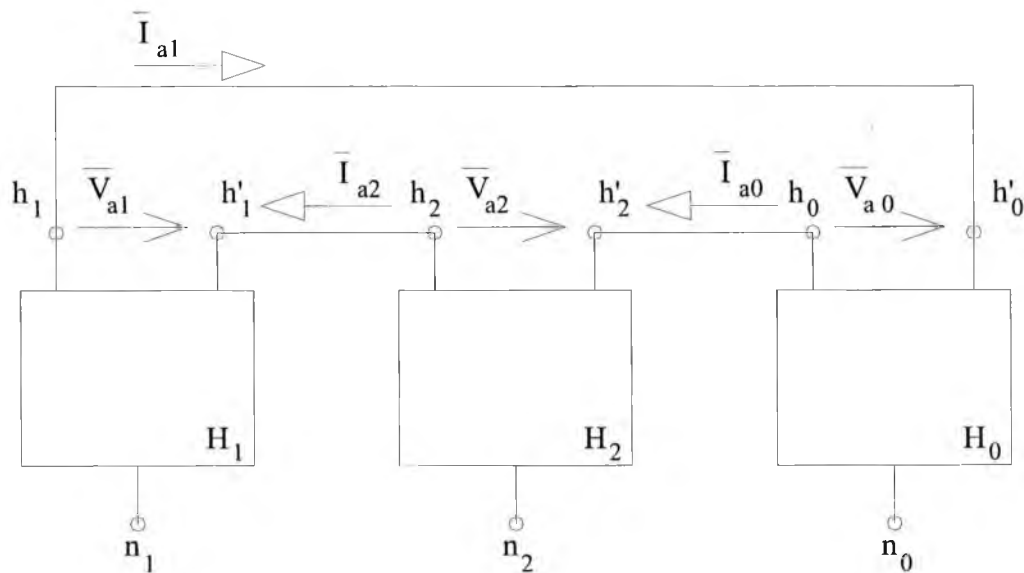


3.6.-3. ábra. Két vezető szakadása

A (3.-81)-es egyenlet Kirchhoff huroktörvényét elégíti ki, amely szerint a három sorrendi hálózatot sorba kapcsoltuk.

Így teljesül a (3.-82) feltétel is. A 3.6.-4. ábra szerint most a pozitív sorrendű hálózat h_1 és h'_1 kapcsai közé a negatív és a zérus sorrendű hálózat sorba kötött eredője kapcsolódik be. Az energiaátvitel létrejöhet, bár igen nagy aszimmetria mellett.

Azaz két vezető szakadása esetén is lehet energiát szállítani, természetesen csak akkor, ha a zérus sorrendű hálózat nem szakadt, azaz a csillagpontok földeltek. Ekkor egy vezetóből és a földből alakul ki az áramkör.



3.6.-4. ábra. A helyettesítő hálózatok kapcsolása 2f szakadás esetén

Ha a csillagpontok nem földeltek, akkor

$$\bar{I}_{a0} = \bar{I}_{a1} = \bar{I}_{a2} = 0,$$

aminek következtében

$$\bar{I}_a = \bar{I}_b = \bar{I}_c = 0.$$

3.7. Szimultán hibák számítása

A hálózatok üzemeltetése során, az esetek nem kis százalékában nem az eddig tanult egyszerű hibafajtákkal állunk szemben. Sőt gyakran épp a fellépő hibával oksági kapcsolatban egy második hiba is keletkezik.

Ha például a földeletlen csillagpontú hálózaton az egyik fázisvezető földzárlatossá válik, akkor, mint korábban láttuk (3.1. fejezet), az ép fázisok feszültsége a földhöz képest vonali szintre emelkedik. Így a szigetelőkre megnövekedett igénybevétel hárul, és valahol másutt a leggyengébb szigetelési pontnál a szigetelő átível, vagy átüt, amivel egy újabb hibahelyen keletkezik egy következő földzárlat.

Más esetben [például a szabadvezeték egyik fázisvezetője elszakad, soros hiba keletkezik, és a leszakadt vezeték ráesik egy másik fázisvezetőre, esetleg a földre vagy mindkettőre, így egyidejűleg sönthiba is fellép.]

└ Ha egyidejűleg több hiba keletkezik a hálózaton, akkor ún. szimultán hibáról beszélünk. A szimultán hibák ismeretének nemcsak elméleti jelentősége van, bár a védelmek nagy része nem képes a szimultán hibát észlelni.

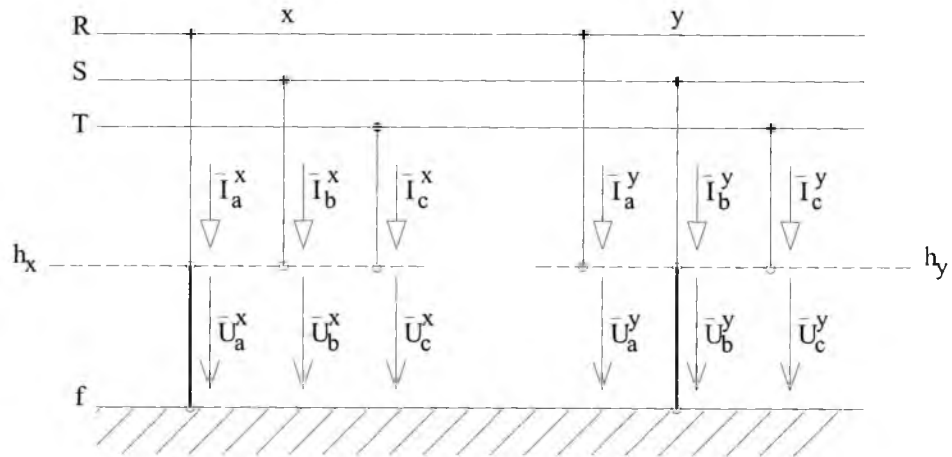
A szimultán hibák vizsgálatához felhasználjuk a soros és sönthibáknál megismerteket, azonban a szuperpozíciót nem lehet mechanikusan elvégezni, a feltételek egyidejű kielégítésére leválasztó transzformátorokat kell alkalmazni.

3.7.1. Kettős földzárlat (2Ff) számítása

Először ismét a hibahely kialakításáról kell szólnunk. Egyidejűleg több hibahely van, így ezeket x és y felső indexekkel különböztetjük meg. Kettős földzárlat kétféleképpen jöhet létre, vagy azonos fázisban különböző helyen, vagy különböző fázisban és különböző helyen.

Nézzük a bonyolultabb esetet (2Ff/R,S)!

Az R fázis "x" hibahelyén lépjen fel egy egyfázisú földzárlat (3.7.-1. ábra).



3.7.-1. ábra. 2Ff (R,S) kettős földzárlat hibahelyeinek kialakítása

Az "x" hibahelyre felírt egyenletek:

$$\bar{U}_a^x = 0, \quad \bar{I}_b^x = 0, \quad \bar{I}_c^x = 0, \quad (3.-83)$$

amiből,

$$\bar{I}_{a1}^x = \bar{I}_{a2}^x = \bar{I}_{a0}^x, \quad (3.-84)$$

$$\bar{U}_{a1}^x = \bar{U}_{a2}^x = \bar{U}_{a0}^x = 0. \quad (3.-85)$$

Ha most az "y" ponton az "S" fázis ér a földhöz (3.7.-1. ábra), akkor a következő egyenletek írhatók fel:

$$\bar{I}_a^y = 0, \quad \bar{I}_c^y = 0, \quad \bar{U}_b^y = 0. \quad (3.-86)$$

Az "y" hibahelyi áram szimmetrikus összetevői:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{a0}^y \\ \bar{I}_{a1}^y \\ \bar{I}_{a2}^y \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{I}_b^y \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3.-87)$$

amely mátrixegyenletből a szimmetrikus összetevőket kifejezve kapjuk, hogy:

$$\bar{I}_{a0}^y = \frac{\bar{I}_b^y}{3}, \quad (3.-88)$$

$$\bar{I}_{a1}^y = a \frac{\bar{I}_b^y}{3}, \quad (3.-89)$$

$$\bar{I}_{a2}^y = a^2 \frac{\bar{I}_b^y}{3}. \quad (3.-90)$$

\bar{a}^{-2} -tel, ill. \bar{a} -val szorozva a második, ill. harmadik egyenletet:

$$\bar{I}_{a0}^y = \frac{\bar{I}_b^y}{3}, \quad (3.-91)$$

$$\bar{a}^2 \bar{I}_{a1}^y = \frac{\bar{I}_b^y}{3}, \quad (3.-92)$$

$$\bar{a} \bar{I}_{a2}^y = \frac{\bar{I}_b^y}{3}, \quad (3.-93)$$

azaz

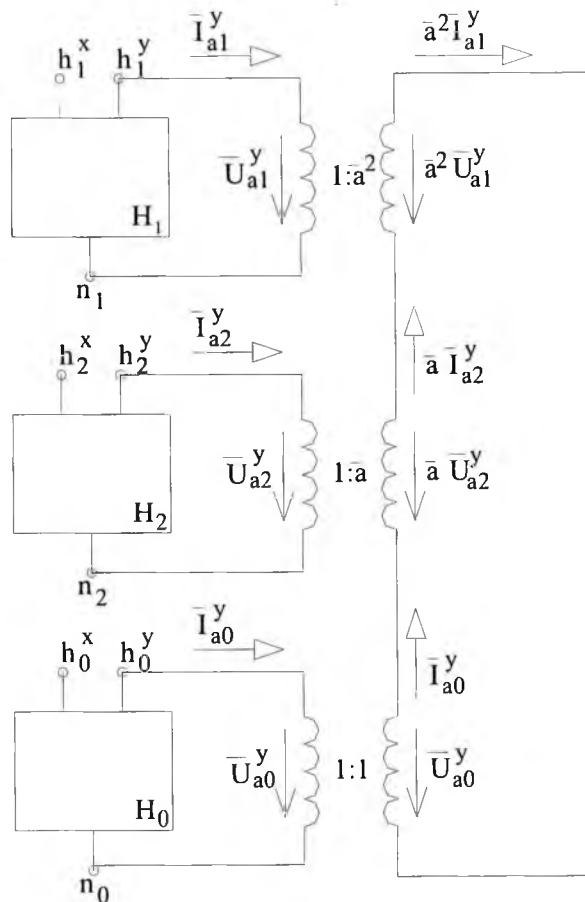
$$\bar{I}_{a0}^y = \bar{a}^2 \bar{I}_{a1}^y = \bar{a} \bar{I}_{a2}^y. \quad (3.-94)$$

A hibahelyi feszültségegyenletre a következők írhatók:

$$\bar{U}_b^y = \bar{U}_{b0}^y + \bar{U}_{b1}^y + \bar{U}_{b2}^y, \quad (3.-95)$$

azaz

$$\bar{U}_b^y = \bar{U}_{a0}^y + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^y + \bar{a} \bar{U}_{a2}^y. \quad (3.-96)$$

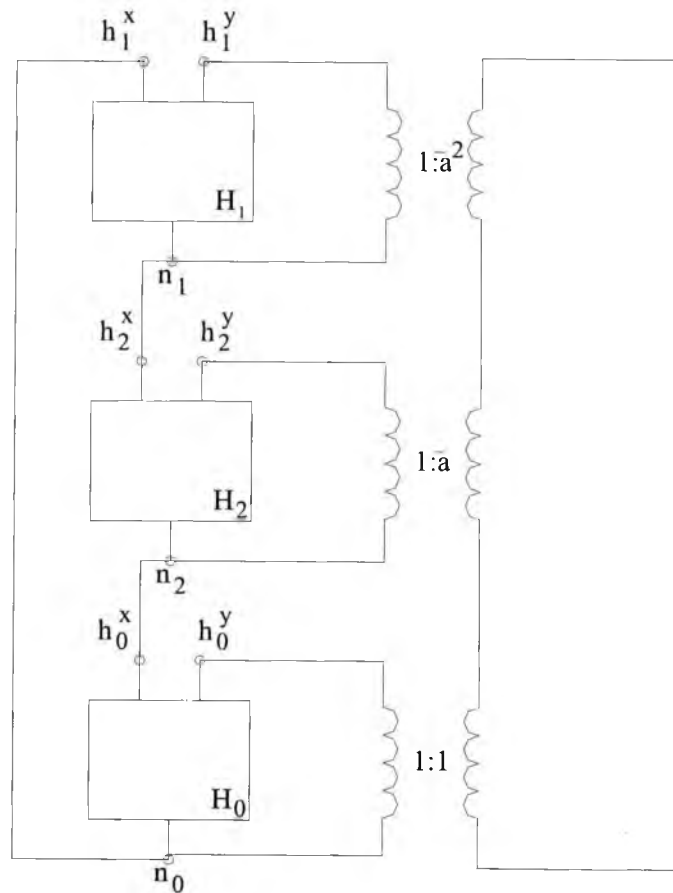


3.7.-2. ábra. Az y hibahely a "b" fázisban levő földzárlat esetére a hálózatok összekötése

Ha a (3.-94), ill. (3.-96) egyenletek kielégítésére a hibahelyi sorrendi hálózatok valamilyen összekapcsolását keressük, akkor ilyen megoldást 1:1, 1: \bar{a} és 1: \bar{a}^2 áttételű ideális fázisforgató transzformátorok alkalmazásával nyerhetünk. Az "y" hibahely egyenleteit kielégítő, azaz a "b" fázisban fellépő egyfázisú földzárlat helyettesítő kapcsolása a 3.7.-1. ábrán látható.

Ha tehát egy hálózat "h^x" pontján az "a" fázis Ff zárlatos lesz, és a "h^y" helyen a "b" fázisban egy újabb Ff zárlat lép fel, akkor felrajzolható a 3.7.-2. ábrán látható helyettesítő kapcsolat.

A kapcsolásból látható, hogy a kettős földzárlat esetében akkor is folyhat zárlati áram, ha a zérus sorrendű hálózat szakadt. Ennek feltétele, hogy a h_0^x és h_0^y pontok össze legyenek kötve (például egy összefüggő vezetékrendszeren van a két hiba), mert ez esetben a H0 hálózatot megkerülve az 1:1 áttételű transzformátoron keresztül záródik az áramkör.



3.5.-3. ábra. 2 Ff (R, S) kettős földzárlat helyettesítő kapcsolása

4. A ZÁRLATI ÁRAM KORÁTOZÁSA

4.1. A zárlati teljesítmények növekedése

Az energia egyre nagyobb szerepet játszik a társadalmak életében, és a felhasznált energia mennyisége évről-évre nő. A legutóbbi időkig a növekedés üteme is gyorsult, amely alapvetően három fő okra vezethető vissza:

- az ipari termelés állandó növekedése;
- a motorizálás térhódítása (közlekedés, mezőgazdaság gépesítése);
- a lakosság villamosenergia-fogyasztásának állandó növekedése.

Így a világ energiafelhasználásának egyre nagyobb részét a villamosenergia-fogyasztás képezi, amely a XXI. században várhatóan az összes energiafelhasználás harmadát is meghaladja. Miután az évente igényelt és termelt villamos energia mennyisége állandóan nő, mindig újabb és újabb erőműveket, vezetékeket és transzformátorokat kell az energiarendszerbe beépíteni, és így a hálózat soros impedanciája csökkenő jelleget mutat. Ennek megfelelően a zárlati áramok, s a belőlük számolt zárlati teljesítmények növekednek.

A zárlati teljesítmények növekedési üteme eltér a fogyasztás növekedési ütemétől, és a hálózat jellegétől függően igen különböző értékű lehet. A leggyorsabban a zárlati teljesítmények a legnagyobb feszültségű kooperációs hálózatokban nőnek, világviszonylatban évi 13,6%-kal. A legkisebb a növekedés a sugaras közép- és kiefeszültségű hálózatokban, mivel ezekben a növekvő fogyasztói igényeket — gazdasági okokból — elsősorban új transzformátorállomások létesítésével elégítik ki, és a meglévő transzformátoroknak nagyobb teljesítményűvel való kicserélésére — ami a zárlati teljesítmények növekedésével jár együtt — csak nagyobb időközökben kerül sor. E hálózatokban a zárlati teljesítmény növekedési üteme — nagyobb fogyasztói terület és sok éves időszak átlagában — 2...5% szokott lenni.

A legkézenfekvőbb megoldás a megnövekedett igényeknek megfelelően a hálózat gyenge részeinek átépítése, készülékeinek kicserélése újabbakra, amelyek a megnövekedett és még 15...20 évig várhatóan tovább növekvő zárlati áramokra is alkalmasak. Ezt a megoldást alkalmazták hazánkban is, amíg a megszakítók képezték az állomás leggyengébb elemeit

Azonban ez az út az állomás átépítésének igen nagy költségét-, és az üzem igen hosszú időn át történő zavarását tekintve, nem járható.

Mivel pedig a növekedés állandó és a hálózat egy bizonyos idő elteltével, azaz egy adott zárlati áramszint elérése után már nem felel meg a fokozott zárlati igénybevételnek, ezért alakultak ki a zárlatkorlátozási módszerek.

Egy berendezés meghibásodásakor a zárlati igénybevétel minél kisebb értékre való szorítása a feladat. A zárlati áram a kapcsolóberendezésben háromféle káros hatást idézhet elő:

- a megszakítók vagy biztosítók túlterhelését;
- dinamikus hatást;
- termikus hatást.

A megszakítók és a biztosítók megfelelő megválasztásával a 7. fejezet foglalkozik.

A dinamikus hatás az áram csúcsértékének négyzetével, míg a termikus hatás az áram effektív érték négyzetének és az áramfolyás időtartamának a szorzatával arányos.

Ha az áram dinamikus hatását kívánjuk korlátozni, a zárlati áramcsúcsot kell csökkenteni, ha pedig a zárlati áram hőhatását, akkor ennek effektív értékét ajánlatos csökkenteni, időtartamát pedig feltétlenül korlátozni kell. A zárlati időtartam lehető legkisebb

értékre való korlátozásával érhető el a zárlati áram által okozott kár és rombolás hatásos csökkentése. Ehhez igen gyors működésű megszakítókra van szükség.

Az áramkorlátozó megszakítóknak és az olvadóbiztosítók egyik csoportjának, az ún. áramkorlátozó biztosítóknak az a jellegzetes tulajdonsága, hogy a zárlati áram időtartamát és nagyságát egyaránt korlátozzák.

Zárlatkorlátozás alkalmazására kétféle szempontból kerülhet sor:

- üzembiztonsági, ill. műszaki okok indokolhatják, ekkor okvetlenül alkalmazni kell a később ismertetendő megoldások valamelyikét;

- gazdaságossági megfontolások. Ezen esetben gazdaságossági számítások alapján kell dönteni, mert például a leggyakrabban alkalmazott soros fojtótekerccs esetében is a készülékkel szemben támasztott kisebb zárlatbiztonsági követelmények folytán elérhető megtakarítással szemben áll a zárlatkorlátozó fojtótekerccsek és az esetlegesen szükségessé váló feszültségszabályozó berendezés beruházási és üzemi költsége. (A feszültségszabályozó transzformátorra, a fojtótekerccsen létrejövő terheléstől függő feszültségingadozás kiegyenlítése céljából lehet szükség.)

Ha a zárlati számítások szerint a hálózat valamely helyén várható zárlati áram meghaladja a berendezés üzembiztos működésének megfelelő paramétereit, akkor a most ismertetendő zárlatkorlátozó megoldásokat lehet alkalmazni.

4.2. Zárlatkorlátozó fojtótekerccs

A lineáris karakterisztikájú (légmagos) soros fojtótekerccs a legrégebb zárlatkorlátozási eszköz, melyet ma is nagy számban használnak, főleg városi és ipari kábelhálózatokon. Mivel a kábelek soros impedanciája jóval kisebb a szabadvezetékénél, és átlagos hosszuk is egy nagyságrenddel kisebb az átlagos szabadvezeték-hosszuktól (lévén létesítésük jóval költségesebb), a rajtuk áthaladó zárlati áramokat szinte alig korlátozzák. A zárlati áramok korlátozására már csak a kábelek a termikus és a dinamikus zárlati igénybevételektől való kímélése miatt is szükség van.

A zárlatkorlátozó fojtótekerccsek alkalmazásának nagy előnye, hogy minden kapcsolási művelet, mozgó alkatrész, felügyelet, regenerálás nélkül állandóan üzembiztosan korlátozzák a bármikor fellépő zárlati áramot, fellépésének pillanatától kezdve a zárlat megszűntéig, beleértve természetesen a zárlati csúcsáramot is. A feszültség visszatérte után azonnal ismét üzembiztosak.

A fojtótekerccset általában egyfázisú egységekben gyártják, és a három fázistekercset a kisebb egységeknél egymás fölé szokták szerelni, a nagyobb egységek egymás mellé egy szintre kerülnek. A tekerccsek légmagosak és természetes hűtésűek. A jelentős zárlati erőhatásoknak ellenálló mechanikai váz betongyűrű, vagy AlMgSi fémötvözetből készült rögzítő kereszt. A tekerccselés anyaga alumínium, szigetelése impregnált papír. Az egyes tekerccsetek egymástól porcelán támszigetelők választják el.

A zárlatkorlátozó fojtótekerccsek alkalmazásának a különféle kapcsolású erőművekben és alállomásokban sokféle módja van, amelyeket a következő csoportokba sorolhatjuk:

- a) a betáplálások fojtózása,
- b) a leágazások fojtózása,
- c) sínszakaszok közötti fojtók.

A fojtótekerccs kapcsolási képhe való illesztése a következő szempontok figyelembevételével határozható meg:

a) adott S_{ze} (MVA) zárlati teljesítményű sín leágazásának S_{zu} (MVA)-ra való korlátozásához X_f (Ω) reaktanciájú fojtótekerccs kell, lásd 8.3.5. fejezet (8.-34);

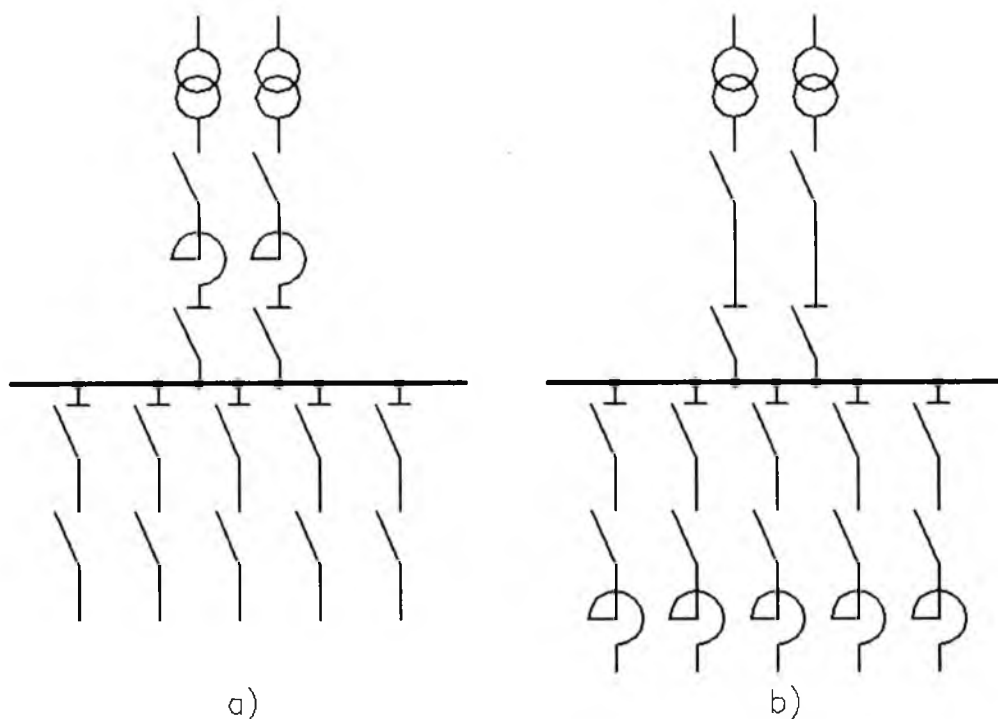
b) a fojtótekerics százalékos üzemi feszültségesése

$$\varepsilon_f = \frac{U - U_f}{U} \cdot 100 \approx \frac{\sqrt{3}X}{U} \cdot I_f \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \cdot 100\% \quad (4.-1)$$

ahol U (kV) a fojtó tápoldali vonali feszültsége; U_f (kV) a fojtó fogyasztóoldali vonali feszültsége; X (Ω) a fojtó reaktanciája fázisonként; I_f (kA) a fojtót terhelő áram; φ az U_f és I_f közötti fázisszög;

c) az elért kívánt korlátozás mértéke.

E szempontok alapján hasonlítsuk össze a betáplálási és a leágazási fojtózást (4.2.-1. ábra). Az ábrán a) esetben a fojtótekerics a betáplálásnál vannak elhelyezve, míg b) esetben a leágazásokban.



4.2.-1. ábra Fojtótekerics elhelyezése
a) betáplálásban; b) a fogyasztói leágazásokban

Az összehasonlítás alapját az képezheti, hogyha a kétféle megoldással ugyanolyan mértékű zárlatkorlátozást kívánunk elérni, akkor a fojtótekericset vagy tekericset akárhol helyezük is el az áramkörben, reaktanciájuknak azonosnak kell lennie.

Műszaki szempontból a betáplálási fojtózás előnyei:

- nemcsak a leágazásokban, hanem a gyűjtősínen fellépő zárlatot is korlátozza. Így a gyűjtősínt csak korlátozott zárlati teljesítményre kell méretezni;
- kevesebb fojtótekericsre van szükség, mint a leágazási fojtózásnál;
- a leágazási mezőkhöz nem kell a drága, nagyméretű épített és szellőzött fojtócellák sora, hanem azok korszerű és kis helyigényű tokozott kapcsolóberendezésként is kialakíthatók.

A megoldás hátrányai:

- a transzformátor üzemi árama (a leágazások összárma) nagyobb feszültségesést okoz annál, mint ami a leágazási esetben fellép, amikor az ugyanolyan reaktanciájú

- fojtótekerccsen csak egy leágazás árama folyik át;
- minél több leágazásról van szó, annál nagyobb az üzemi feszültségesésen kívül a hatásos és a meddőteljesítmény-veszteség is.

Illusztrálja ezt a következő összehasonlító példa.

Vizsgáljunk egy N leágazású, egyenként S_{nb} névleges terhelésre méretezett, egyetlen transzformátor által táplált alállomást. Legyen a leágazások terhelése egyenletes, a fojtótekerccs reaktanciája X.

A leágazásonkénti fojtótekerccsek névleges saját teljesítménye és százalékos feszültségesése:

$$3Q_{nb} = 3I_{nb}^2 X = \frac{\varepsilon_b}{100} \cdot S_{nb} \text{ MVA} \quad (4.-2)$$

ahol

$$S_{nb} = \sqrt{3} \cdot U_n I_{nb} \text{ MVA.} \quad (4.-3)$$

Így a százalékos feszültségesés:

$$\varepsilon_b = \sqrt{3} \cdot X \cdot \frac{I_{nb}}{U_n} \cdot 100 = X \cdot \frac{S_{nb}}{U_n^2} \cdot 100 \% \quad (4.-4)$$

A betáplálási fojtótekerccs névleges saját teljesítménye és százalékos feszültségesése:

$$3Q_{na} = 3I_{na}^2 X = 3(NI_{nb})^2 \cdot X = \frac{\varepsilon_a}{100} \cdot S_{na} \text{ MVA} \quad (4.-5)$$

ahol

$$S_{na} = \sqrt{3}(NI_{nb}) \cdot U_n = NS_{nb} \text{ MVA.} \quad (4.-6)$$

(4.-5) és (4.-2) összevetéséből adódik, hogy

$$Q_{na} = N^2 Q_{nb} \text{ MVA.} \quad (4.-7)$$

A betáplálási fojtó százalékos feszültségesése:

$$\varepsilon_a = \sqrt{3} \cdot X \cdot \frac{NI_{nb}}{U_n} \cdot 100 = X \cdot \frac{S_{na}}{U_n^2} \cdot 100 \% \quad (4.-8)$$

azaz

$$\varepsilon_a = N\varepsilon_b \% \quad (4.-9)$$

- a nagyméretű betáplálási fojtótekerccs elhelyezése általában csak külön szellőzött épületben vagy szabadtéren, drága olajszigetelésű típussal oldható meg.

Az 4.2.-1/b ábrán a fojtótekerccsek a leágazásokban vannak.

Ezen elhelyezés műszaki előnyei a következők:

- az üzemi feszültségesés kisebb, azaz sokkal kisebb százalékos fojtással lehet a kívánt csökkentett zárlati teljesítményt elérni, mint az a) megoldásnál;
- hálózati zárlat esetén az ép leágazások feszültsége kevésbé törik le.

Hátránya, hogy az a) megoldással szemben a gyűjtősínek és a transzformátorok igénybevitelét sínzárlatok esetén nem korlátozzák fojtótekerccsek.

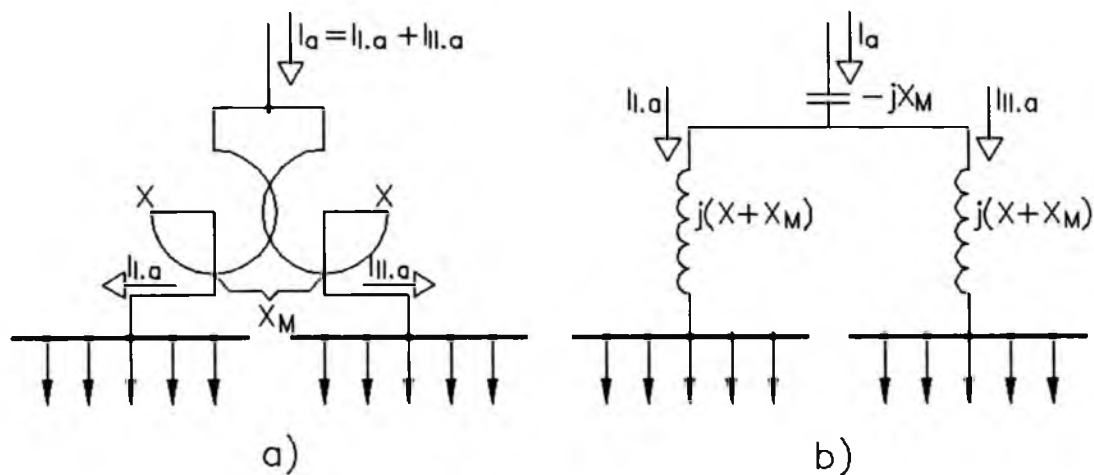
A két megoldás gazdaságossági összehasonlítását tekintve a következők mondhatók el. Ha az összehasonlítás során nem vesszük figyelembe az építészeti költségeket, amelyek az a) megoldás esetén nagyobbak, sem a hatásos veszteségeket, amelyek viszont a b) megoldás esetén nagyobbak, s így részben a költségeltérések kompenzálják egymást, hanem az összehasonlítást leegyszerűsítjük maguknak a fojtóknak a rajtuk keletkező meddőteljesítmény veszteségnek kompenzálásához szükséges kondenzátortelemek beruházási költségeinek vizsgálatára, akkor elmondható, hogy:

- maguknak a fojtóknak a beruházási költsége az a) esetben valamivel kisebb, mint a b) esetben, de a keletkező meddőveszteség kompenzálásához szükséges kondenzátorok költségei oly jelentősek, hogy ez egyértelműen a leágazásonkénti fojtózás javára billenti a mérleget:

- a betáplálási fojtó nagy leágazási szám (pl. 10) esetén már elviselhetetlenül nagy feszültségesést is okoz.

A betáplálási fojtótekercs kedvezőtlen üzemi viszonyain sokat lehet javítani ikerfojtó alkalmazásával.

Az ikerfojtó kapcsolási elrendezését és helyettesítő kapcsolási vázlatát az 4.2.-2. ábra mutatja.



4.2.-2. ábra A tápláló mezőben alkalmazott ikerfojtó tekercs
a) kapcsolási elrendezés; b) helyettesítő vázlat

Mindegyik fázistekercsén középső megcsapolás van, ez csatlakozik a tápoldalhoz. A tekercs két vége két különálló fogyasztót lát el. Ha a két fogyasztó terhelőárama egymással egyenlő, a két féltekercs mágneses tere — a közöttük levő k csatolási tényező arányában — egymás ellen hat, és így csökkenti a feszültségesést és a meddő veszteséget.

A helyettesítő vázlatból jól látható, hogy az egyik ágon fellépő zárlati árammal szemben az ikerfojtó igen jó közelítéssel $(X+X_m)-X_m=X$ reaktanciát képvisel.

További előnye még az ikerfojtónak, hogy a zárlat által nem érintett sínról leágazó fogyasztók feszültsége a zárlat fennállása alatt sokkal kisebb mértékben csökken, mint amilyen mértékben a soros fojtótekercs leágazásba történő beépítése esetén, vagy a soros fojtótekercs betáplálási alkalmazásakor.

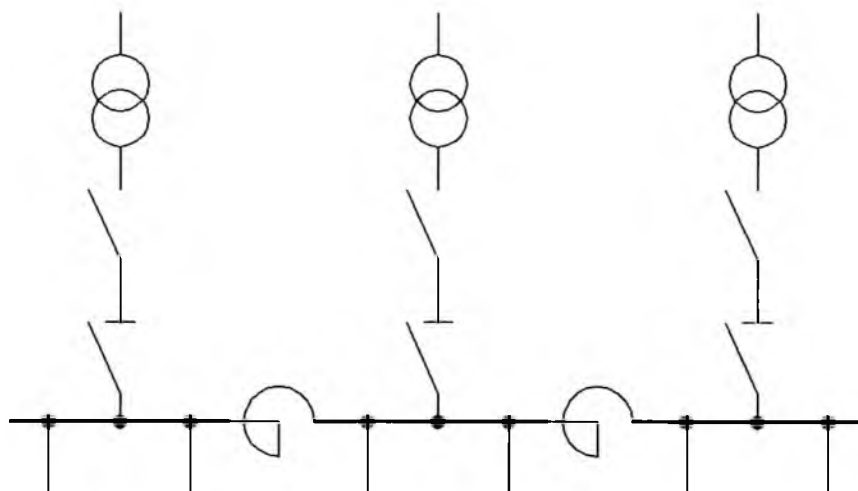
A betáplálási ikerfojtó költségeit illetően közbülső helyet foglal el a leágazási és a betáplálási fojtók költségeihez képest, ugyanakkor egyéb műszaki előnyökkel rendelkezik mindkét megoldással szemben.

A gyűjtősín hosszában elhelyezett fojtótekercsek segítségével (4.2.-3. ábra) három

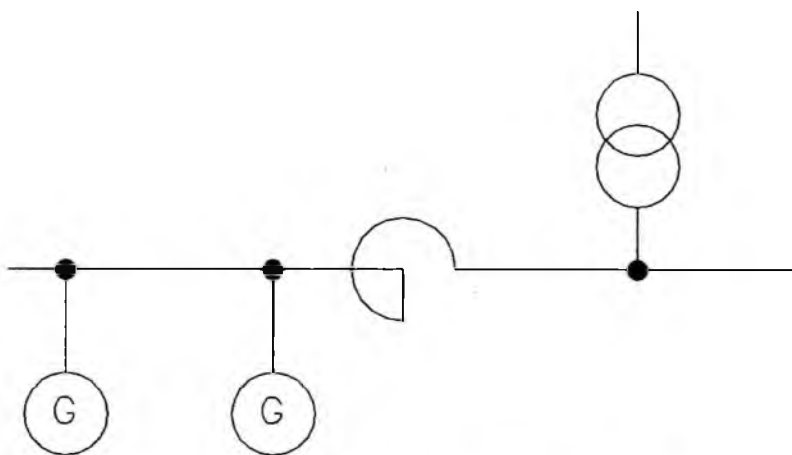
részre osztott gyűjtősín zárlati teljesítménye jelentősen kisebb az osztatlan gyűjtősín zárlati teljesítményénél. Ha az egyes sínszakaszon belül a betáplált és a fogyasztott áramok nincsenek egyensúlyban, akkor a sínbontó fojtótekercsen átfolyó üzemi áram a fojtótekercsen feszültségesést okoz.

A sínbontó fojtótekercs másik használati módja az ún. kooperációs fojtótekercs (4.2.-4. ábra), amin keresztül nagy teljesítményű hálózattal kisebb erőmű kooperál.

A fojtótekercs használatát legtöbbször gazdasági okok döntenek el. Megtakarítást tesz lehetővé a kisebb zárlati igénybevételű berendezésben és még a sín és a fojtó közötti megszakítót is elegendő a korlátozott zárlati teljesítményre méretezni. Ugyanakkor a meddőteljesítmény-igényének fedezéséről gondoskodni kell, és az ellenállásán keletkező veszteség is költséget jelent. Műszaki hátránya — az üzemi feszültségesésen kívül — az, hogy a megszakító visszaszökő feszültségének meredekségét, ill. a rezgési frekvenciáját megnöveli, ami a megszakítóra kedvezőtlen.



4.2.-3. ábra A gyűjtősín hosszában elhelyezett fojtótekercsek



4.2.-4. ábra Kooperációs fojtótekercsek

4.3. A zárlatkorlátozás egyéb módszerei

A transzformátorok rövidzárási feszültségének növelése

A módszer célja itt is a soros áramút reaktanciájának növelése. Előnyei és hátrányai azonosak az előző fejezetben tárgyalt soros fojtótekerccsel, de annál mégis hátrányosabb, mert:

- a transzformátor soros reaktanciájának X -szel történő megnövelése mindig költségesebb, mint egy X reaktanciájú fojtó;
- ez a táplálás fojtózásának felel meg, ami viszont költségesebb, mint a leágazások fojtózása.

Léptetett megszakítás

Mint zárlatkorlátozási módszer abban áll, hogy az alállomás egy vagy több, viszonylag nagy zárlati áramot tápláló mezőjében - vagy a sínáthidaló mezőben - olyan gyors védelemmel ellátott megszakítót alkalmaznak, amely közeli zárlat esetén azonnal nyit, s ezáltal a hibás vonal megszakítójának már kisebb zárlati áramot kell megszakítani, mint amekkora eredetileg fellépett.

Előnye az, hogy olcsón és rövid idő alatt bevezethető, és a hurkolt hálózati üzem fenntartható.

Hátránya, hogy egyedül a zártos leágazás megszakítójának megszakítási feladatát könnyíti meg, de nem csökkenti magának a megszakítónak és a berendezés többi részének a teljes zárlati csúcsáram által okozott dinamikus igénybevételét.

Zárlatkorlátozó hálózati kapcsolások, hálózatbontás

A hálózat hurkoltságának üzemszerű lazításából, ezáltal a zárlati impedanciák növeléséből áll. Természetesen erősen csökkennek a korábban jobban hurkolt hálózat előnyei, csökken az üzembiztonság, nőnek a hálózati veszteségek. Így ezt a megoldást, miként az előzőt is, csak átmeneti, kényszermegoldásnak lehet tekinteni.

Áramkorlátozó biztosító

Igen hatásos eszköz a zárlati áramok korlátozására, mert egyrészt gyors működése következtében képes a zárlati csúcsáramot is korlátozni, másrészt lényegesen olcsóbb, mint a fojtótekerccs, és nincsenek wattos és meddő veszteségei. Hátránya, hogy kis névleges áramra (50...250 A) és maximum középfeszültségre gyártható. További hátránya, hogy kioldásától kicseréléséig az általa védett leágazásban az áramszolgáltatás kényszerűen szünetel. Ez alkalmazását igen kérdésessé teszi, mert a mai fogyasztók egyre érzékenyebbek az áramkimaradásra. Tény viszont, hogy a zárlatvédelem és zárlatkorlátozás legolcsóbb és leghatásosabb eszköze.

Zárlatkorlátozó készülékek

Az eddig tárgyalt megoldásoknak igen sok hátránya van, így a rohamosan növvő zárlati áramok hatásos korlátozására elvileg új módszerre és eszközre van szükség.

A zárlati áramot korlátozni csak valamilyen soros impedanciának az áramkörbe való beiktatásával lehet.

Mivel az e célra beváltan alkalmazott soros fojtótekerccseknek sok hátrányuk van, a fojtót üzemi állapotban megfelelő kapcsolókészülékkel söntölni kell, és ha zárlat lép fel, e kapcsolókészüléket nyitni. Ez a készülék lehet: pl. biztosító vagy megszakító. E megoldás viszont a zárlati áram okozta dinamikus igénybevételt nem korlátozza.

5. HÁLÓZATOK VILLAMOS MÉRETEZÉSE

A vezeték méretezés szempontjait és az egyszerű vezetékek, hálózatok méretezését a Villamos energetika I. tantárgyban megismertük. Most a nagyobb ellátási biztonságot nyújtó kétoldalról táplált és hurkolt hálózatok méretezésére kerül sor

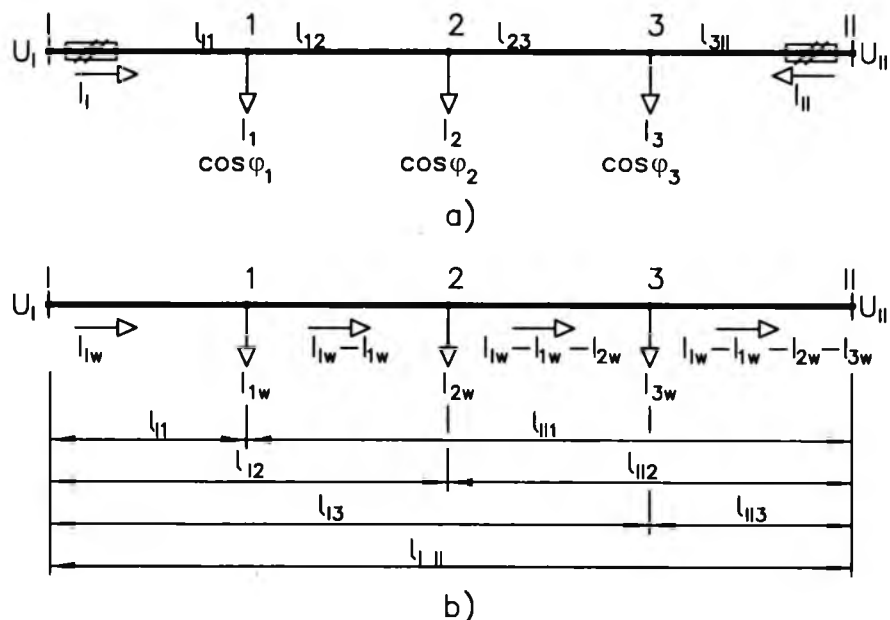
5.1. Két végéről táplált vezeték méretezése

A két végéről táplált vezetékek létesítésének oka a fogyasztók biztonságosabb ellátása, azaz az egyik tápoldal kiesése esetén az energiaellátás még megoldható legyen. Azonban ezen rendes üzemállapottól eltérő táplálási módra a vezetéket nem méretezzük. Ennek következtében az üzemzavar tartamára a feszültségesések túlléphetik a megengedett értéket, melyre a vezetők üzemi viszonyainak megállapításánál kellő figyelemmel kell lenni, és az üzemi melegedés ellenőrzése során is gondolni kell.

5.1.1. Két végéről azonos feszültséggel táplált vezeték méretezése feszültségesésre

Az 5.1.-1/a. ábrán látható vezetéknél $U_I = U_{II}$. Az olyan vezetéket, amelynek a kezdő és végpontja azonos feszültségen van, körvezetékeknek nevezzük, miután általában a két végpont azonos táppontból indul. Az ábra vezetékét tehát, mint táppontban felnyitott és kiterített körvezetéket tekinthetjük.

Az ábrán a szakaszáramokra felvett irányokat önkényesen választottuk meg — a tényleges áramirányokat a terhelőáramok határozzák meg egyértelműen — ez azonban nem befolyásolja elvi vizsgálatainkat.



5.1.-1. ábra Két oldalról táplált vezeték
 a) kiterített körvezeték; b) körvezeték felvett szakaszáramai

Az egyes szakaszokon azonos keresztmetszetet feltételezve, a szakaszok mértékadó feszültségesei az alábbiak lesznek:

$$\begin{aligned} e_{II}^j &= \frac{\rho}{A} I_{IW} \ell_{I1} , \\ e_{12}^j &= \frac{\rho}{A} (I_{IW} - I_{1W}) \ell_{12} , \\ e_{23}^j &= \frac{\rho}{A} (I_{IW} - I_{1W} - I_{2W}) \ell_{23} , \end{aligned} \quad (5.-1)$$

E feszültségesek összegének, vagyis a vezeték teljes feszültségeseinek definíciószerűen egyenlőnek kell lennie a két táppont közötti feszültségkülönbséggel, mely utóbbi viszont nulla:

$$U_I - U_{II} = 0,$$

tehát

$$e^j = e_{II}^j + e_{12}^j + e_{23}^j + e_{3II}^j = 0. \quad (5.-2)$$

A feszültségesek értékeit behelyettesítve:

$$\frac{\rho}{A} (I_{IW} \ell_{I1} + (I_{IW} - I_{1W}) \ell_{12} + (I_{IW} - I_{1W} - I_{2W}) \ell_{23} + (I_{IW} - I_{1W} - I_{2W} - I_{3W}) \ell_{3II}) = 0.$$

Mivel mindig igaz, hogy

$$\frac{\rho}{A} \neq 0,$$

így a zárójelben levő kifejezésnek kell nullának lennie, ami rendezés után az alábbi egyenletre vezet:

$$I_{IW} (\ell_{I1} + \ell_{12} + \ell_{23} + \ell_{3II}) - I_{1W} (\ell_{12} + \ell_{23} + \ell_{3II}) - I_{2W} (\ell_{23} + \ell_{3II}) - I_{3W} \ell_{3II} = 0,$$

amiből

$$I_{IW} = \frac{I_{1W} (\ell_{12} + \ell_{23} + \ell_{3II}) + I_{2W} (\ell_{23} + \ell_{3II}) + I_{3W} \ell_{3II}}{\ell_{I1} + \ell_{12} + \ell_{23} + \ell_{3II}}. \quad (5.-3)$$

Az így kapott egyenlet számlálójában a terhelőáramok és a terhelések II. tápponttól mért távolságainak szorzatát, vagyis a II. táppontra vett áramnyomatékok összegét találjuk. A nevezőben levő összeg pedig a vezeték teljes hossza „ $I_{I,II}$ ” (5.1.-1b. ábra). Ezt figyelembe véve, általánosan n db fogyasztó esetében írható:

$$I_{IW} = \frac{\sum_{j=1}^n I_{jW} \ell_{jII}}{\ell_{I,II}} , A \quad (5.-4)$$

Azonos módon számítható a II. táppont felől befolyó áram:

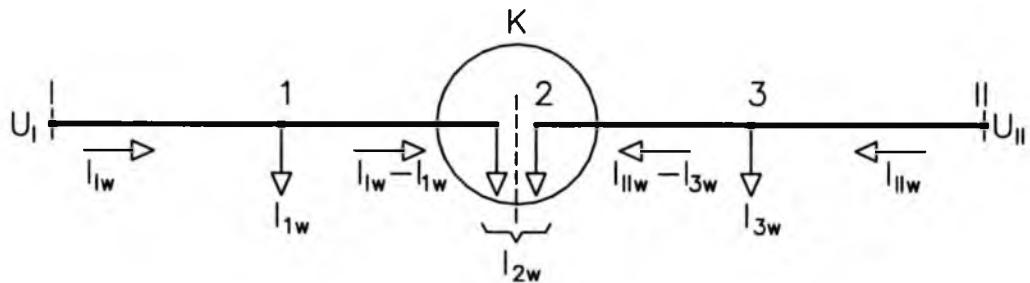
$$I_{IIW} = \frac{\sum_{j=1}^n I_{jw} \ell_{jI}}{\ell_{I,II}}, \text{ A} \quad (5.5)$$

amely egyszerűbben is megkapható Kirchhoff I. törvénye alapján:

$$I_{IIw} = \left(\sum_{j=1}^n I_{jw} \right) - I_{Iw}. \quad (5.6)$$

fentiekből látható, hogy az áramnyomatékokat mindig a keresett tápponti árammal ellenkező oldali táppontra kell számítani (5.1.-1/b. ábra).

A tápponti áramok ismeretében a vezeték szakaszáramai Kirchhoff I. törvénye alapján meghatározhatók. Ezt mutatja az 5.1.-2. ábrán látható árameloszlás. Az ábrából világosan kitűnik, hogy lesz egy olyan fogyasztó, ahova mindkét táppont felől befolyik az áram (K). Miután a szakaszáramok mindkét táppontból a kétfelől táplált K pont felé mutatnak ezért ennek a pontnak lesz a legkisebb a feszültsége, azaz mindkét oldal felől eddig a pontig lesz a legnagyobb a feszültségesés. A K pontban tehát a vezetéket felvághatjuk. A K pontban levő fogyasztó áramát a mellette levő két szakaszáramnak megfelelően szétosztva két, egyik végéről táplált nyitott vezetéket kapunk, amelynek méretezését a korábban tanultak alapján (Villamos energetika I. jegyzet 7.2.1. szakasz szerint) végezhetjük el. Mivel a K pontban a feszültségesés bármely oldalról számítva is azonos, a méretezést elegendő az egyik oldalról elvégezni. Az ily módon kiszámított keresztmetszet lesz a két végéről azonos feszültséggel táplált vezeték keresztmetszete.



5.1.-2. ábra Két oldalról táplált vezeték árameloszlása

5.1.2. Két végéről azonos feszültséggel táplált vezeték méretezése teljesítményvesztésre

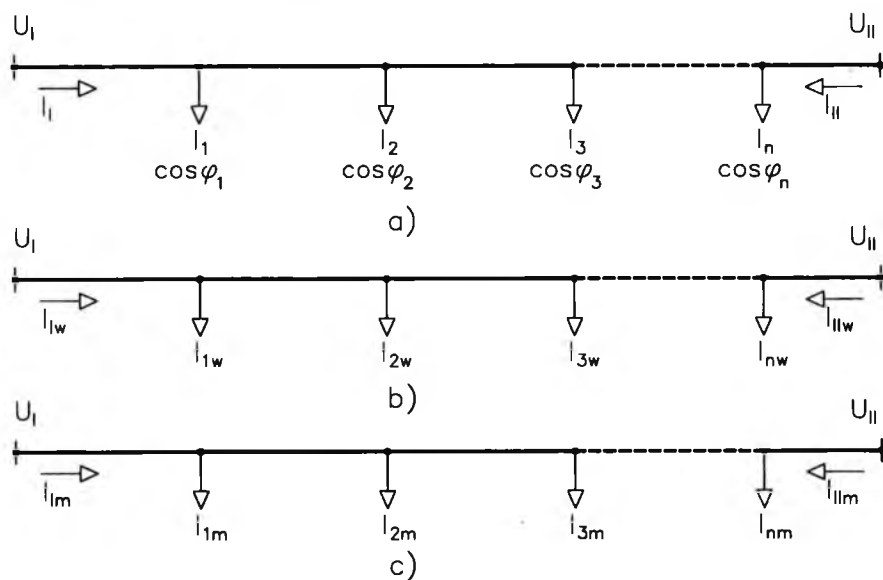
Tekintsük a 5.1.-3/a. ábra két végéről azonos feszültséggel táplált több fogyasztóval terhelt vezetékét! Az egyes szakaszok veszteségeinek meghatározásához ismerni kell a szakaszáramokat. Ehhez ki kell számítani a fogyasztói áramok hatásos és meddő összetevőit:

$$I_{kw} = I_k \cos \varphi_k,$$

$$I_{km} = I_k \sin \varphi_k = I_{kw} \operatorname{tg} \varphi_k. \quad (5.7)$$

A következő feladat az árameloszlás — azaz a látszólagos áramok nagyságának a — meghatározása, mivel a fogyasztói áramok wattos- és meddő összetevői külön-külön egymással mind fázisban vannak, így a valóságos terhelési állapotot két egymástól független

terhelési állapotokra bonthatjuk. Az egyikben (5.1-3/b. ábra) csak a wattos áramok, a másikban (5.1-3/c. ábra) csak a meddő áramok szerepelnek.



5.1.-3. ábra Két oldalról táplált vezeték árameloszlása
 a) eredő áramok; b) wattos áram összetevők; c) meddő áram összetevők

E két állapotra külön-külön határozandó meg az árameloszlás. Az előző fejezet (5.-4) és (5.-5) összefüggései segítségével meghatározhatók a táppontokon befolyó áramok hatásos összetevői, majd ezek ismeretében a wattos árameloszlás. A két vezetékvégpont azonos feszültsége miatt a keresztirányú feszültségesés is nulla, minek következtében a hatásos áramösszetevőkre levezetett (5.-4) összefüggéssel teljesen azonos kifejezést kapunk az I-es táppontból befolyó áram meddő összetevőjére:

$$I_{im} = \frac{\sum_{j=1}^n I_{jm} \ell_{jII}}{\ell_{I,II}}, \text{ A} \quad (5.6)$$

A meddő árameloszlás a tápponti meddő összetevő ismeretében egyszerűen meghatározható. (A meddőáram-eloszlás kétfelől táplált pontja független a hatásos árameloszlás kétfelől táplált pontjának helyétől.)

Nyilvánvaló, hogy a wattos árameloszlás és a meddő árameloszlás ismeretében a szakaszáramok, mint az egyes szakaszok meddő- és wattos összetevőinek eredői meghatározhatók.

Az elmondottak alapján tehát az egyes szakaszáramok nagysága:

$$I_{xy} = \sqrt{I_{xyw}^2 + I_{xym}^2}, \quad (5.7)$$

teljesítménytényezője:

$$\cos \varphi_{xy} = \frac{I_{xyw}}{I_{xy}}. \quad (5.8)$$

Mind a két összetevőre vonatkozóan lesz egy-egy kétfelől táplált fogyasztó, de nem szükségszerűen ugyanazon fogyasztó. Ennek nincs különleges jelentősége, mivel a szakaszok

látszólagos áramát az illető szakaszban folyó wattos és meddő áramok négyzetösszegéből képezzük.

A szakaszáramok ismeretében a vezetéken keletkező mértékadó teljesítményveszteség, ha az I-es táppontot 0-val, a II-es táppontot „ $n+1$ ”-gyel jelöljük:

$$v) = \frac{\rho}{A} \sum_{k=1}^{n+1} \ell_{(k-1)k} I_{(k-1)k}^2, \text{ V} \quad (5.-9)$$

5.-9 egyenletből a szükséges keresztmetszet — a mértékadó teljesítményveszteség ismeretében számítható, azaz a vezeték szükséges keresztmetszete:

$$A = \frac{\rho}{v)} \sum_{k=1}^{n+1} \ell_{(k-1)k} I_{(k-1)k}^2, \text{ mm}^2 \quad (5.-10)$$

Ahol: n a fogyasztók száma.

Itt sem szabad azonban elfeledkezni a méretezett vezeték feszültségesésre való ellenőrzéséről! (A feszültségesés számításakor csak a wattos áramképet kell figyelembe venni, így a legnagyobb a feszültségesés a wattos áramkép kétfelől táplált pontjában van.)

Ezen kívül terhelhetőségre is ellenőrizni kell a vezetéket, amely szempontból a táppontokon befolyó áramok nagyobbika a mértékadó (látszólagos áram).

5.1.3. Két végéről különböző feszültséggel táplált vezeték méretezése feszültségesésre ($U_I \neq U_{II}$)

Két különböző, de azonos névleges feszültségű táppont tényleges feszültsége a gyakorlatban szinte mindig kisebb-nagyobb mértékben különbözik egymástól. Ennek oka a táppontok eltérő terhelési állapota, valamint az esetlegesen szabályozható táptranzformátorok szabályozóinak eltérő állása. Az ilyen táppontokat összekötő vezeték tehát mindig két végéről különböző feszültséggel táplált vezetéknek tekinthető.

A vezetéket a szuperpozíció elvének alkalmazásával méretezhetjük, vagy feszültségesését ellenőrizhetjük. Ennek megértéséhez vizsgáljuk a 5.1.-4. ábrán látható egyszerű hálózatot.

Az első lépésben tekintsünk el attól, hogy a táppontok feszültsége különböző, és az 5.1.1. pontban tárgyaltak alapján határozzuk meg a táppontból befolyó áramokat:

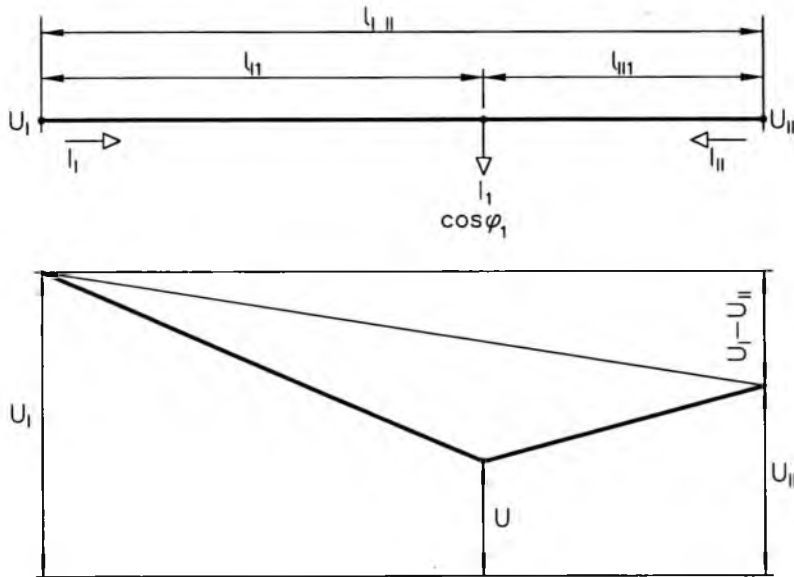
$$I_{Iw} = \frac{I_{Iw} \cdot \ell_{II}}{\ell_{I,II}}, \quad (5.-11)$$

$$I_{IIw} = \frac{I_{Iw} \cdot \ell_{II}}{\ell_{I,II}}. \quad (5.-12)$$

Ezeket az áramokat nevezzük az áram terhelési összetevőinek, mert az azonos feszültségű táppontokat összekötő *terhelt* vezeték esetére számítottuk ki. A tápponti áramok ismeretében a *terhelési áramok* eloszlása meghatározható

Ezután tekintsük a vezetéket fogyasztó nélküli, *üresen járó* vezetéknek. Mivel a vezeték különböző feszültségű táppontokat köt össze, a nagyobb feszültségű pontból a kisebb feszültségű felé megindul egy üresjárási áram. Minthogy feltételezésünk értelmében a vezetéknek csak ohmos ellenállása van (R) az üresjárási áram nagysága ($I_{ü}$), ha $U_I > U_{II}$:

$$I_{ü} = \frac{U_I - U_{II}}{R}. \quad (5.-13)$$



5.1.-4. ábra. Két oldalról különböző feszültséggel tápláltvezeték
a) egyvonalas képe; b) feszültségviszonyai

A terhelési áramösszetevők és az üresjárási áram szuperpozíciójával adódó tényleges áramra elmondható, hogy a nagyobb feszültségű pont felől a terhelési összetevőn kívül az üresjárási áram is befolyik a rendszerbe, míg a kisebb feszültségű táppont felől az üresjárási árammal csökkentett terhelési összetevő folyik be:

$$I_{Iw} = I_{Iw}^j + I_{\bar{u}} \quad (5.-14)$$

$$I_{IIw} = I_{IIw}^j - I_{\bar{u}} \quad (5.-15)$$

Az elmondottakat általánosítva kimondhatjuk, hogy két végéről különböző feszültséggel táplált, több fogyasztóval (n) terhelt vezeték tápáramait úgy kaphatjuk meg, hogy az azonos feszültséggel kiszámított terhelési áramösszetevőket és a táppontok közötti feszültségekülönbségből Ohm törvénye alapján kiszámított üresjárási áramokat szuperponáljuk:

$$I_{Iw} = \frac{1}{\ell_{I,II}} \sum_{j=1}^n \ell_{jII} I_{jw} + \frac{U_I - U_{II}}{R} \quad (5.-16)$$

$$I_{IIw} = \frac{1}{\ell_{I,II}} \sum_{j=1}^n \ell_{jI} I_{jw} - \frac{U_I - U_{II}}{R} \quad (5.-17)$$

Természetesen, ebben az esetben is igaz, hogy

$$I_{Iw} + I_{IIw} = \sum_{j=1}^n I_{jw} \quad (5.-18)$$

hiszen az üresjárási áram csak átfolyik a vezetéken, a fogyasztókhoz nem folyik be.

A vezeték méretezése azonban meglehetősen bonyolult (5.1.-5/a. ábra), hiszen az üresjárási áram kiszámításához ismerni kellene a vezeték ellenállását, ez pedig — minthogy éppen a vezeték keresztmetszetének meghatározása a feladat — nem áll rendelkezésre.

Ilyen esetben először megállapítjuk a kétfelől táplált pont helyét, feltételezve azt, hogy a táppontok feszültsége azonos, és a vezetéket a teljes fogyasztás terheli (5.1.-5/b. ábra). Ezután a két táppont feszültségkülönbségéből — a kétfelől táplált pont táppontoktól számított vezetékhozszaik arányában — kiszámítjuk a táppont és a kétfelől táplált pont közötti vezeték szakaszra jutó feszültségesés-hányadot e'' (5.1.-5/c. ábra). Ha kivonjuk az üresjárás mértékadó feszültségesés értékét az ε és U_n ismeretében kiszámított e' megengedett feszültségesésből, akkor megkapjuk a vezeték-keresztmetszet kiszámításához felhasználható, terhelési összetevőre maradó mértékadó feszültségesést (e'_t).

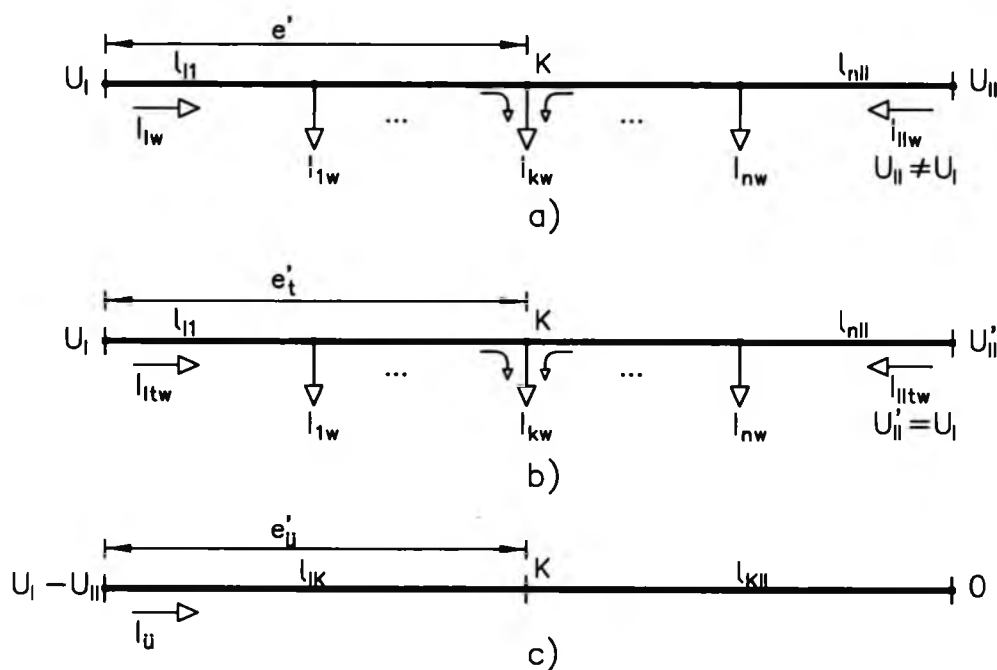
$$e'_t = e' - e'' \quad (5.-19)$$

Evvel a feszültségesés-értékkel az 5.1.-5/b. ábra K pontjában felhasított vezeték rész keresztmetszete a terhelési áramösszetevők lineáris áramnyomatéka segítségével meghatározható:

$$A = \frac{\rho}{e'_t} \sum_{i=1}^k I_{iw} l_{oi} \quad (5.-20)$$

A keresztmetszet ismeretében kiszámítjuk az üresjárás áramot (5.-13), majd a két árameloszlás összegzésével a végleges wattos árameloszlást.

A tényleges kétfelől táplált pont ismeretében ellenőrizzük a vezetéket feszültségesésre.



5.1.-5. ábra. Két oldalról különböző feszültséggel táplált vezeték
a) tényleges árameloszlás; b) vezetékmodell a terhelési áramokkal;
c) üresjárás vezetékmodell

5.2. Hurkolt hálózatok méretezése

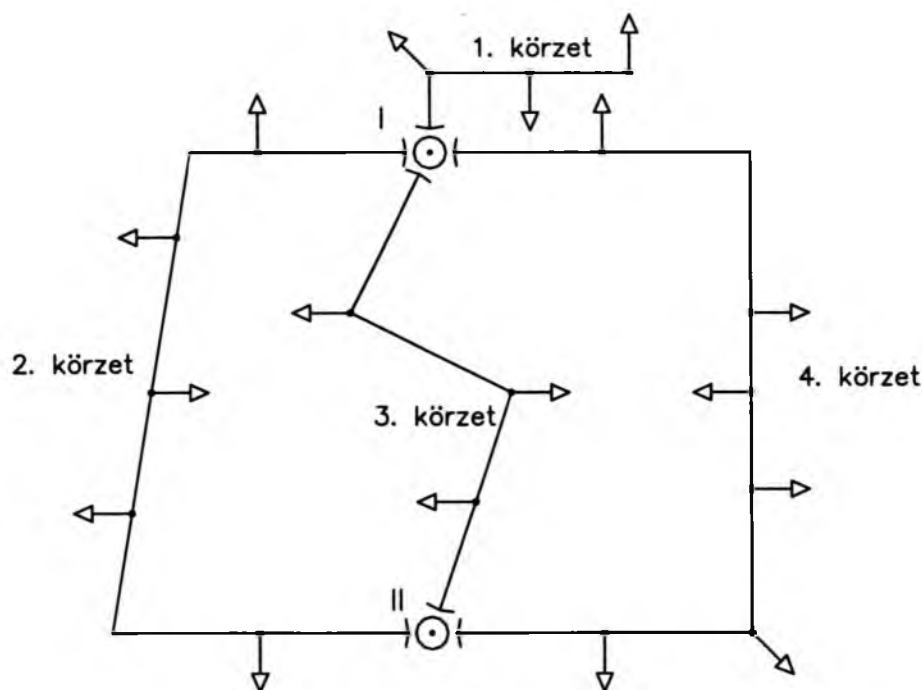
A fogyasztók ellátási területének növekedése magával hozta a fogyasztói hálózat rendszerének növekedését is. Így egyes táppontoknak már többféle vezeték — körvezeték, iv,

nyitott vezeték — táplálását is el kell látni. Ha az összes táppont feszültsége azonos, az ilyen hálózatok méretezése viszonylag egyszerű a körzetekre bontás módszerével.

A vezetékrendszert a táppontokban szétválasztjuk, így olyan hálózati elemekhez jutunk, amelyek csupán két végéről táplált vezetékekből, ill. nyitott vezetékekből állnak (5.2.-1. ábra). Az ilyen körzetek eddig ismertettek szerint méretezhetők, mert az áram útja kizárólag a táppontoktól a hozzá kapcsolt vezetéken keresztül a fogyasztók felé vezet.

Abban az esetben azonban, ha a körzetekre bontás nem végezhető el, vagy valamelyik táppont feszültségmentes állapotával is számolni kell, ami által lesznek olyan pontjai a vezetékhalózatnak, amelyben több különböző irányban folyó áram találkozik, e feladat már nem oldható meg az egyszerű vezetékmeretezési szabályok szerint.

A hálózat azon pontjait, amelyben több különböző irányban folyó áram találkozik, csomópontnak nevezzük. Itt kell megjegyezni, hogy a két végéről táplált vezetékben minden fogyasztói leágazás csatlakozópontja is csomópont, éspedig mivel két ág csatlakozik a tápponthez, kétágú csomópont. Általában azonban a csomópont elnevezésen legalább három táplált vezeték csatlakozási pontját értjük.



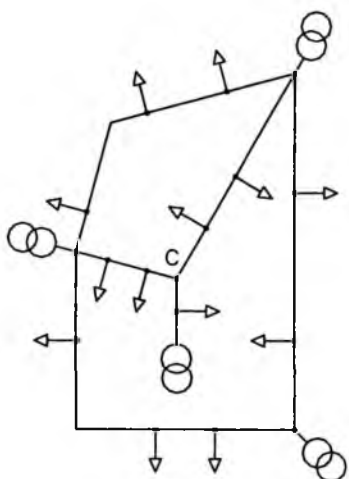
5.2.-1. ábra. Zárt vezetékből kialakított elosztókörzetek, $U_I=U_{II}$

A 5.2.-2. ábrán látható hálózatnak csak egy része bontható a táppontokban körzetekre és választható szét. A „C” pontban mint csomópontban a hálózat nem bontható. A csomópontok vezetékhalózatban való megjelenése a fogyasztói körzetek kialakítását tehát már nem teszi lehetővé. A csomópontok megjelenésével, azok táppontokkal való összekötésével alakul ki a hurkolt hálózat.

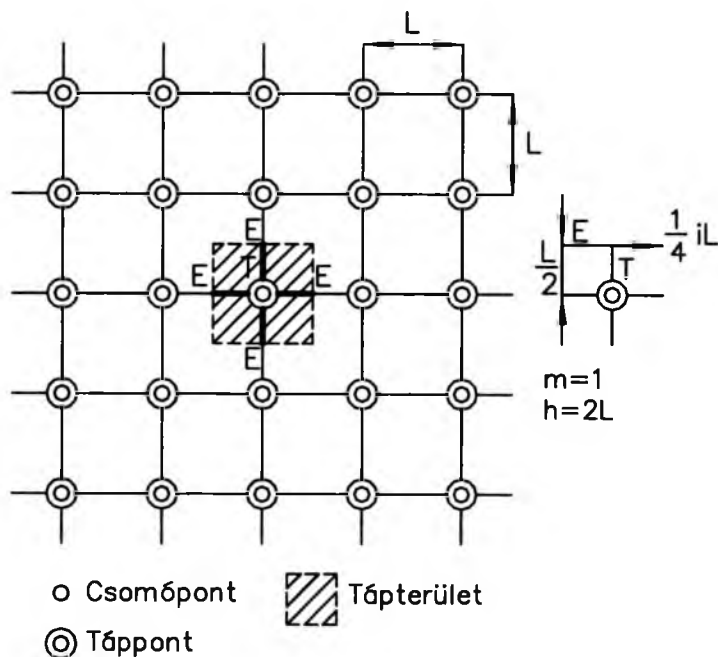
Nagyvárosokban, ahol az utcák többnyire a rendezett négyszögeket alkotnak, a kiefeszültségű elosztókábeleket is az utca elrendezése szerint fektetik. A jobb, biztonságosabb ellátás érdekében a kábeleket a kereszteződésekben egymással összekötik, így egy szabályos hurkolt hálózat jön létre.

A 5.2.-3. ábra négyzetes elrendezésű kiefeszültségű hálózatot mutat, melyben a kis bejelölt körök a transzformátorok táppontjai. Vizsgáljuk meg ezt a legkedvezőbb esetet,

amikor minden csomópont egyben táppont is, és tételezzük fel, hogy a vezetékek terhelése egyenletes!



5.2.-2. ábra Zárt vezetékalkazat egy csomóponttal



5.2.-3. ábra Négyzetes elrendezésű kifizeszültségű hurkolt hálózat

Az egyszerűbb tárgyalásmód érdekében legyenek az utcanégyszögek négyzetek, és oldalhosszuk „L”. Így egy hurok területe L^2 .

Nevezzük el az egy táppontból ellátott, egyenként L^2 területű hurkok számát *fajlagos tápterületi számnak* (m), és az egy táppontból ellátott vezetékszakaszok összes hosszát (h) *fajlagos táphossznak*.

A fajlagos tápterületi számnak és a fajlagos táphossznak a táppontok számával való szorzata az összes hurkok számát, ill. az egész vezeték hosszát, tehát az egész hálózatot szolgáltatja. Így „m” és „h” a szabályos hurkolt hálózatot egyértelműen jellemzi, s egy

alapelem áram- és feszültségviszonyainak tisztázása a szimmetrikus ismétlődés miatt az egész hálózatot megoldja.

Vizsgáljuk meg, hogyan számítható a szabályos hurkolt hálózat feszültségese különböző fajlagos tápterületi szám és táphossz mellett, ha a hálózat terhelése olyan sűrű, hogy egyenletesnek minősíthető. A terhelés jellemző értéke $[i] = A/m$, amely az egyszerűbb tárgyalásmód érdekében wattos áram legyen.

A 5.2.-3. ábra minden vezetéke két oldalról táplált, egyenletesen terhelt, így a feszültségese legnagyobb értéke az „E”-vel jelölt pontokban (a T tápponttól $L/2$ távolságra) lép fel.

Az ábrán a vonalkázott terület és az ábra jobb oldalán külön megrajzolt alapelem ellátási körzetéből leolvasható:

$$m = 1 \quad \text{és} \quad h = 2L.$$

Az egyenletesen terhelt vezeték méretezésénél elmondottakat alkalmazva az $L/2$ hosszú egyenletesen terhelt vezeték tápponti árama $I_0 = i(L/2)$, a mértékadó feszültségese értéke:

$$e^1 = \frac{1}{2} \frac{\rho}{A} \left(i \frac{L}{2} \right) \frac{L}{2} = \frac{\rho}{A} \frac{iL^2}{8}, \text{V} \quad (5.21)$$

Az 5.2.-4a; 5.2.-4b; 5.2.-4c ábrákon a 5.2.-3. ábrán látható hálózat táplálását kevesebb transzformátorral oldják meg. Az ábrákon vonalkázott terület mutatja az egy transzformátor által ellátott területet, amelynek ismétlésével az adott hálózat felépíthető. A legnagyobb feszültségese az „E” csomópontokban lép fel.

Az itt bemutatott hálózatokra és táplálási módokra igaz, hogy:

$$h = 2mL,$$

és a maximális feszültségese:

$$e^1_{\max} = \frac{\rho}{A} \cdot \frac{i_m^2 \cdot L^2}{8}, \text{V} \quad (5.22)$$

Az ábrákon vázolt hurkolt hálózatokon így könnyen bemutatható, hogy a táppontok sűrűsítésével a fellépő legnagyobb feszültségese számottevően csökkenthető. Az ábrákon $m=8$ -tól $m=1$ -ig csökken a fajlagos hurkolási szám, azaz az egy transzformátorra jutó ellátandó terület, míg a maximális feszültségese értéke rohamosabban csökken:

$$e^1_8 : e^1_4 : e^1_2 : e^1_1 = 32 : 16 : 4 : 1.$$

Könnyű belátni ezek után, hogy a hurkolt hálózat a feszültségese és vele együtt a vezetékvesztés szempontjából rendkívül kedvező.

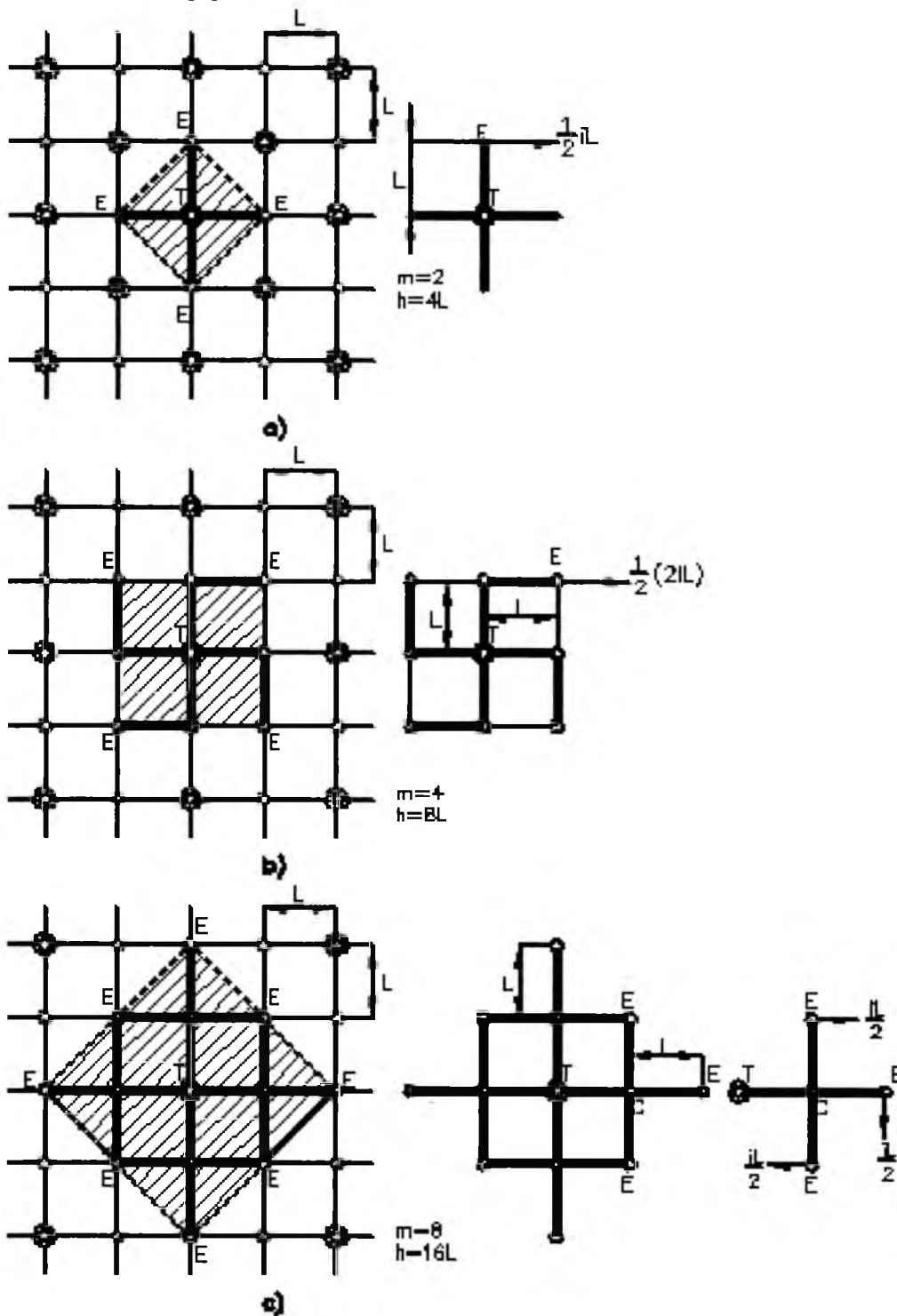
A hurkolt hálózatok általában a hálózatfejlesztéssel jönnek létre, és így csak igen ritka esetben adódik a 5.2.-4. ábrákon látott és viszonylag könnyen számítható szabályos hurkolt hálózat. A valóságos hurkolt hálózatok az esetek többségében semmiféle szimmetriát nem mutatnak, és így megoldásuk már nem olyan egyszerű.

Hurkolt hálózatban a feszültségese általánosságban pontosan nem számítható, ill. bizonytalan, mivel ilyen hálózatban az áramfelvételek nincsenek szabályszerűen szétosztva, és a terhelés időben változó volta miatt terhelésszimmetriák lépnek fel. A számítási munka ilyen módon igen sok lesz.

A gyakorlatban probléma megoldására három út kínálkozott:

- a hálózatot modellen megépíteni és kísérletileg ellenőrizni,
- a hálózat felépítését és terheléseit egyszerűsíteni úgy, hogy elfogadható számítási munkával a feladatot meg lehessen oldani,

– a hálózatot számítógépen szimulálni.



5.2.-4. ábra Négyzetes elrendezésű kifestültségű hurkolt hálózatok különböző táppontsűrűséggel

A hálózati modellek építése felett eljárt az idő. A mai igen nagy elemszámú és nagy hurkoltsági fokú hálózatok csak olyan mérvű egyszerűsítéssel modellezhetők, amelyből az eredeti hálózat jellemzőire alig, vagy csak igen nagy pontatlansággal lehet következtetni. Megépítésük, használatuk, karbantartásuk tetemes költség, és használhatóságuk igen szűk körű, a digitális számítógépek megjelenésével fokozatosan háttérbe szorultak.

A hálózatméretezés érdekében a hálózatot egyszerűbb, de egyenértékű alakra átalakítani és méretezni, ez az út mindig járható, és az átalakítás szintjét mindig az alkalmazni kívánt számítástechnikai paraméterei szabják meg. A legutóbbi időkig e módszer szerint méretezték, tervezték, ellenőrizték a hálózatokat

A hálózatok számítógépes szimulálása. Ehhez olyan komplex szimulátort kell létrehozni, amely a teljes energiarendszer viselkedését megfelelő pontossággal tükrözi.

Azaz figyelembe kell venni a fogyasztók mennyiségi és minőségi igényére, az igény időbeni változására, a földrajzi és a hálózati helyére vonatkozó adatokat, ez ellátási terület egységét, a hálózat valóságos és tervezett elemeinek villamos és mechanikai teherbíró képességét, földrajzi és hálózati elhelyezkedését, aktuális kapcsolási állapotát leíró adatokat.

A hálózat viselkedésének számítása így a komplex szimulátornak központi szerepet betöltő tevékenysége.

A hálózat viselkedése mondja meg ugyanis, hogy a fogyasztók megkapják vagy megkaphatják-e az általuk igényelt villamos energiát, másrészt a hálózat tényleges viselkedése és a fogyasztók által elvárt viselkedés közötti eltérés határozza meg a teendőket.

Ilyen komplex feladatot megoldani képes programrendszer előtt három részfeladat áll:

- az adatrendszer létrehozása és az adatok betöltése
- a hálózati események átvezetése, az adatok karbantartása
- a hálózat viselkedésének számítása,

A programrendszer igen sokrétű felhasználhatóságából (üzemzavar-elhárítás, hibabehatárolás, üzemi jellemzők számítása) egyetlen példát, a hálózat tervezés folyamatát mutatjuk be.

Hálózat tervezés. A hálózat jóságának kritériuma az, hogy minden fogyasztó megkapja az általa igényelt mennyiségű és teljesítményű energiát, a szabványokban előírt minőségi paraméterek mellett, azaz:

- megfelelő nagyságú feszültség, és
- folyamatos ellátás mellett.

A feszültségszint tartása a megengedett feszültségesés túllépésének megakadályozása.

Az ellátás folytonossága az áramutak termikus túlterhelésének elkerülését és az üzemzavari kiegészítést jelenti.

A hálózat tervezése, legyen az bármilyen időtávlatú, nem más, mint; a felsorolt kritériumok vizsgálata az időtávlat végén várható terhelés mellett, majd a hálózat topológiájának és az átvitel jellemzőinek a változtatása úgy, hogy a feltételek teljesüljenek.

A tervezés menete tehát minden esetben a következő:

- meghatározzuk és felvisszük a hálózatra az időtávlat végén várható terheléseket,
- megvizsgáljuk a hálózat jóságát
- ha a hálózat rossz, akkor az alap- és aktuális topológia; ill. az átviteli jellemzők változtatásával növeljük a hálózat teljesítőképességét, majd ismét megvizsgáljuk a hálózat jóságát,
- ezt addig folytatjuk, amíg a hálózat ki nem elégíti a jósági kritériumot.

Az ismertetettek alapján elmondható, hogy nem direkt méretezési eljárásról van szó, hanem a hálózati modelleknél alkalmazott méretezési megoldások digitális számítógépre átültetett alkalmazásáról.

6. TÁVVEZETÉK LÉTESÍTÉS

A villamos energetika I. c. tantárgy keretében megismertük mind a szabadvezetékek, mind a kábelek anyagait és szerkezeti felépítését, hálózati számításokhoz szükséges villamos paramétereit. A következő fejezetben a mechanikai számításokkal ismerkedünk meg, majd az építés, szerelés, fektetés alapvető feladatait tárgyaljuk.

6.1. Szabadvezeték szilárdsági számítások

A szabadvezeték a tartóoszlopra szigetelők közbeiktatásával felfüggesztett sodrony. A vezetők súlyuk hatására a két felfüggesztési pont között lánccörbe, más néven kötélgörbe szerint lógnak be. A belógás nagysága függ a vezetőre ható erőhatásoktól és az oszlopok távolságától, valamint attól az erőtől, amellyel a vezetőt kifeszítjük. A szabadvezeték statikailag annál biztonságosabb, minél kisebb a vezetőket feszítő erő, mert annál kisebb a veszélye annak, hogy a vezeték külső túlerő hatására elszakad. De, ha kisebb erővel feszítjük a vezetőket, nagyobb lesz a belógása. Ez a költségekre nagy kihatással van, mert magasabb oszlopot kíván, másrészt az oldalirányú szél okozta kilengés miatt, a felfüggesztő karokat szélesebbre kell készíteni, nehogy a vezetők összelengjenek, és ráadásul az üzembiztonság is csökken bizonyos szempontból. A vezeték ui. a szélerő hatására lengésbe jön, s mint tudjuk, a hosszabb inga sokkal jobban kileng, mely nagyobb igénybevételt jelent a felfüggesztési pontokban.

A vezeték mechanikai méretezésének az a feladata, hogy a vezetőket szabályosan terhelő összes erők tekintetbevételével megállapíthassuk a biztonsági szempontból legmegfelelőbb igénybevételt, majd ennek ismeretében a belógás értékét.

Emlékeztetőül a csupasz vezetéksodrony huzalanyag szerinti típusai és adatai:

- alumínium vezetéksodrony, jele: ASC (6.1.-2. táblázat);
- ötvözött alumínium vezetéksodrony, jele: AASC (6.1.-3. táblázat);
- alumínium vezetéksodrony acél erősítéssel, jele: ACSR (6.1.-4. táblázat);
- ötvözött alumínium vezetéksodrony acél erősítéssel, jele: AACSR (6.1.-5. táblázat).

A szabvány szerinti alumínium vagy nemesített alumínium sodronyt alkotó huzalokat csak hegesztéssel lehet toldani. A sodronyszerkezetben a toldási távolság elemi szálaban 500 m-nél, egy rétegben 20 m-nél, különböző rétegekben 5 m-nél nem lehet kisebb. A toldás helye a sodrony legkülső rétegén gyárilag maradandóan jelölt. A sodronyszerkezetet alkotó huzalanyagok fizikai tulajdonságait a 6.1.-1. táblázat tartalmazza 20 °C hőmérsékletre.

6.1.-1. táblázat

Sodronyszerkezetet alkotó huzalanyagok fizikai jellemzői

Fizikai jellemzők	Al 99,5E(k) alumínium	AlMgSiE (n) ötvözött alumínium	AV4 jelű acélhuzal
Sűrűség [ρ] = g/cm ³	2,703	2,700	7,800
Rugalmassági tényező [E] = N/mm ²	60 000	70 000	200 000
Lineáris hőtágulási együttható [α] = 1/°C	23*10 ⁻⁶	23*10 ⁻⁶	11*10 ⁻⁶
Fajlagos egyenáramú ellenállás [r_{20}] = Ω mm ² /m	0,0283	0,033	0,220
A villamos ellenállás hőmérsékleti együtthatója (10-30°C intervallumban)	0,004 030	0,003 600	0,001

Néveleges keresztmetszet, mm ²	Szerkezet		Számított keresztmetszet, mm ²	Külső átmérő legfeljebb, mm	Fajlagos tömeg legfeljebb, kg/km	Számított szakítóerő legalább, N	Egyenáramú ellenállás 20°C-on, legfeljebb, Ohm/km	Gyártási hossz, m
	Huzalszám, db	Huzalátmérő, mm						
16	1+6=7	1,70	15,89	5,10	43,01	2900	1,788	7300
25		2,10	24,24	6,30	65,70	4240	1,172	4700
35		2,50	34,35	7,50	93,20	5870	0,8265	3300
50		3,00	49,47	9,00	134,20	8080	0,5740	2300
70	1+6+12=19	2,10	65,79	10,50	182,3	11500	0,4408	4600
95		2,50	93,25	12,50	258,3	15940	0,3111	3300
120		2,80	117,0	14,00	324,1	19100	0,2480	2600
150		3,15	148,0	15,75	410,2	23700	0,1960	2000
185	1+6+12+ +18=37	2,50	181,6	17,50	507,4	31050	0,1611	3200
240		2,89	242,7	20,23	678,0	39650	0,1206	2400
300		3,21	299,4	22,47	836,5	48060	0,09773	1900
400	1+6+12+ +18+24=61	2,89	400,1	26,01	1122	61900	0,07338	2400
500		3,23	499,7	29,07	1401	76000	0,05874	1900
640	1+6+12+ +18+24+ +30=91	3,00	643,3	33,00	1809	99500	0,04576	2300
800		3,35	801,9	36,85	2254	120500	0,03671	1800
1000		3,74	999,5	41,14	2810	148400	0,02945	1400

Alumínium vezetékcsodronyok (ASC)

6.1.-2. táblázat

Névleges keresztmetszet, mm ²	Szerkezet		Számított keresztmetszet, mm ²	Külső átmérő legfeljebb, mm	Fajlagos tömeg legfeljebb, kg/km	Számított szakítóerő legalább, N	Egyenáramú ellenállás 20°C-on, legfeljebb, Ohm/km	Gyártási hossz, m
	huzalszám, db	huzalátmérő, mm						
16	1+6=7	1,70	15,89	5,10	43,0	4520	2,085	7300
25		2,10	24,24	6,30	65,7	6900	1,366	4700
35		2,50	34,35	7,50	93,1	8340	0,9640	3300
50		3,00	49,47	9,00	134,0	12020	0,6693	2300
70	1+6+12=19	2,10	65,79	10,50	182,1	18750	0,5140	4600
95		2,50	93,25	12,50	258,1	22650	0,3627	3300
120		2,80	117,0	14,00	323,7	28420	0,2893	2600
150		3,15	148,0	15,75	409,7	34350	0,2285	2000
185	1+6+12+ +18=37	2,50	181,6	17,50	506,8	44120	0,1880	3200
240		2,89	242,7	20,23	677,3	58960	0,1406	2400
300		3,21	299,4	22,47	835,6	72750	0,1140	1900
400	1+6+12+ +18+24=61	2,89	400,1	26,01	1121	97210	0,08556	2400
500		3,23	499,7	29,07	1400	121430	0,06850	1900
640	1+6+12+ +18+24+ +30=91	3,00	643,3	33,00	1807	152100	0,05336	2300
800		3,35	801,9	36,85	2255	194800	0,04280	1800
1000		3,74	999,5	41,14	2807	242800	0,03434	1400

Ötvözött alumínium vezetéksodronyok (AASC)

Névleges kereszt-metszet, mm ² /mm ²	Szerkezet				Az acél mag			A vezető réteg(ek)		Kereszt-metszet viszony A_{al}/A_{al}	A vezetékcsodromy				Gyártási hossz, m
	acélhuzalok		alumínium huzalok		számított kereszt-metszete, mm ²	fajlagos tömege, legfeljebb, kg/km	átmérője legfeljebb, mm	számított kereszt-metszet, mm ²	fajlagos tömege legfeljebb, kg/km		külső átmérője legfeljebb, mm	fajlagos tömege legfeljebb, kg/km	számított szakítóereje legalább, N	egyenáramú ellenállás 20°C-on legfeljebb, Ω/km	
	száma	átmérője, mm	Száma	átmérője, mm											
16/2,5	1	1,80	6	1,80	2,54	20	1,80	15,26	42	6	5,40	62	3920	1,862	6300
25/4		2,25		2,25	3,97	31	2,25	23,85	65		6,75	96	9000	1,192	4000
35/6		2,7		2,7	5,72	45	2,70	34,35	94		8,10	139	12680	0,8270	2800
50/8		3,20		3,20	8,04	63	3,20	48,25	131		9,60	194	17480	0,5887	1900
70/12	1+6=7	1,44	10+16= =26	1,85	11,40	89	4,32	69,89	196	6,16	11,72	285	27700	0,4209	6200
95/15		1,67		2,15	15,33	120	5,01	94,37	266		13,61	386	35750	0,3119	4500
120/20		1,90		2,45	19,85	156	5,70	122,5	345		15,50	501	45850	0,2402	3500
150/25		2,10		2,70	24,24	190	6,30	148,8	418		17,10	608	55250	0,1978	2900
185/30		2,33		3,00	29,85	234	6,99	183,7	517		18,99	751	66200	0,1602	2300
240/40		2,68		3,45	38,59	301	8,04	243,0	682		21,84	983	85340	0,1211	1800
250/40		2,80		3,50	43,10	337	8,40	250,1	702		22,40	1039	84000	0,1173	1600
300/50	3,00	3,86	49,48	386	9,00	304,2	854	24,44	1240	106980	0,0967	1400			
50/7	1+6=7	1,10	9+15= =24	1,65	6,65	53	3,30	51,31	144	7,7	9,90	197	17800	0,5696	7400
70/9		1,28		1,93	9,01	71	3,84	70,20	197		11,56	268	25000	0,4163	5400
95/12		1,50		2,26	12,37	97	4,50	96,25	270		13,54	367	32150	0,3036	4000
120/16		1,68		2,53	15,52	122	5,04	120,6	338		15,16	460	39800	0,2423	3200
150/20		1,90		2,86	19,85	156	5,70	154,1	432		17,14	588	50900	0,1896	2400
185/24		2,10		3,16	24,24	190	6,30	188,2	527		18,94	717	61450	0,1553	2000
240/32		2,40		3,61	31,67	248	7,20	246,6	688		21,64	936	77700	0,1190	1500
300/40	1+6=7	2,68	12+18+ +24= 54	2,68	38,59	302	8,04	297,7	838	7,71	24,12	1140	98370	0,0968	2700
400/53		3,10		3,10	52,83	414	9,30	407,5	1148		27,90	1562	131300	0,0725	2000
500/66		3,45		3,45	65,44	513	10,35	504,7	1422		31,05	1935	157500	0,0585	1600
625/82		3,84		3,84	81,07	635	11,52	625,2	1761		34,56	2396	192700	0,0473	1300
25/1,5	1+6=7	1,65	12	1,65	14,97	118	4,95	25,65	72	1,71	8,25	190	22870	1,145	7600
35/20		1,93		1,93	20,48	161	5,79	35,10	99		9,65	260	31150	0,8366	5600
50/30		2,33		2,33	29,85	234	6,99	51,16	144		11,65	378	43830	0,5740	3400
70/40		2,70		2,70	40,08	314	8,10	68,70	193		13,50	507	58570	0,4275	2700
95/56		3,20		3,20	56,30	441	9,60	96,51	271		16,00	712	81550	0,3043	2000
120/70		3,60		3,60	71,25	558	10,80	122,2	343		18,00	901	199950	0,2405	1500
150/85		3,92		3,92	84,48	662	11,76	144,8	407		19,60	1069	118100	0,2028	1300

Alumínium vezetékcsodromyok acélhuzal erősítéssel (ACSR)

6.1.-4. táblázat

Névtelen keresztmetszet, mm ² /mm ²	Szerkezet				Az acél mag			A vezető réteg(ek)		Keresztmetszet viszony A_{Al}/A_{Ac}	A vezetőcsodrony				Gyártási hossz, m
	acélhuzalok		alumínium huzalok		számított keresztmetszete, mm ²	fajlagos tömege, legfeljebb, mm ²	átmérője legfeljebb, mm	számított keresztmetszet, mm ²	fajlagos tömege, legfeljebb, kg/km		külső átmérőjű legfeljebb, mm	fajlagos tömege, legfeljebb, kg/km	számított szakítóereje legalább, N	egyenáramú ellenállás legfeljebb 20°C-on, Ω/km	
	száma	átmérője, mm	száma	átmérője, mm											
25/15	1+6=7	1,65	12	1,65	14,97	118	4,95	25,65	72	1,71	8,25	190	25660	1,3350	7600
35/20		1,93		1,93	20,48	161	5,79	35,10	99		9,65	260	35100	0,9755	5600
50/30		2,33		2,33	29,85	234	6,99	51,16	144		11,65	378	48430	0,6693	3400
70/40		2,70		2,70	40,08	314	8,10	68,70	193		13,50	507	65040	0,4985	2700
95/56		3,20		3,20	56,30	441	9,60	96,51	271		16,00	712	91360	0,3549	2000
120/70		3,60		3,60	71,25	558	10,80	122,2	343		18,00	901	112700	0,2804	1500
150/85		3,92		3,92	84,48	662	11,76	144,8	407		19,60	1069	133700	0,2365	1300
270/120	1+6+12=19	2,85	18+24=42	2,85	121,15	970	14,25	267,9	755	2,21	25,65	1725	212900	0,1285	2700
120/25	1+6+12=19	1,30	16+22+28=66	1,51	25,22	202	6,50	118,2	332	6,69	15,56	534	65500	0,2905	10000
150/30		1,43		1,66	30,52	244	7,15	142,8	401		17,11	645	79400	0,2404	8300
185/40		1,65		1,92	40,63	325	8,25	191,1	537		19,77	862	106000	0,1797	6200
240/50		1,83		2,13	49,97	400	9,15	235,1	660		21,93	1060	130000	0,1450	5100
300/70		2,12		2,46	67,07	537	10,60	313,6	880		25,36	1417	165000	0,1095	3700
400/90		2,37		2,75	83,82	671	11,85	391,9	1100		28,35	1771	203000	0,0876	3000
500/100		2,58		3,00	99,33	795	12,90	466,4	1310		30,90	2105	241000	0,0736	2500
570/120		2,86		3,32	122,1	976	14,30	575,2	1605		34,22	2581	295000	0,0602	2000
625/130		3,01		3,50	135,2	1085	15,05	634,8	1785		36,05	2870	328000	0,0541	1800

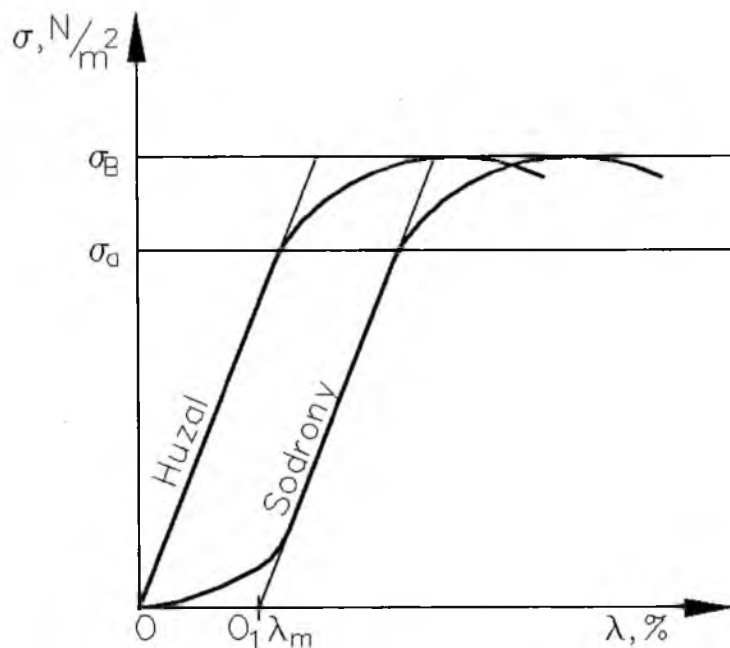
Acélerősítésű ötvözött alumínium vezetőcsodronyok (AACSR)

6.1.-5. táblázat

6.1.1. A vezetők teherbíró képessége

A vezetők szilárdsági jellemzőiről — miután az adott esetben kizárólag húzó igénybevételre kell méretezni — a szakítási próba ad felvilágosítást. A lassan, egyenletesen növekedő húzóerőnek kitett próbadarab megnyúlik és a különböző húzóerőnél fellépő nyúlások értékes adatokat szolgáltatnak a vezető szilárdsági tulajdonságairól.

A sodronyok szakítódiagramja eltér a próbapálca szakítódiagramjától (6.1.-1. ábra). Az eltérés oka a sodronyszerkezetben rejlik, hiszen a gyártás során az elemi szálak rugalmassága folytán olyan szoros szerkezet nem alakítható ki, hogy a szálak tökéletesen egymásra feszüljenek. Így a maradó nyúlás (λ_m) oka, hogy az elemi szálak csak első meghúzás után rendeződnek el végleges helyükön.

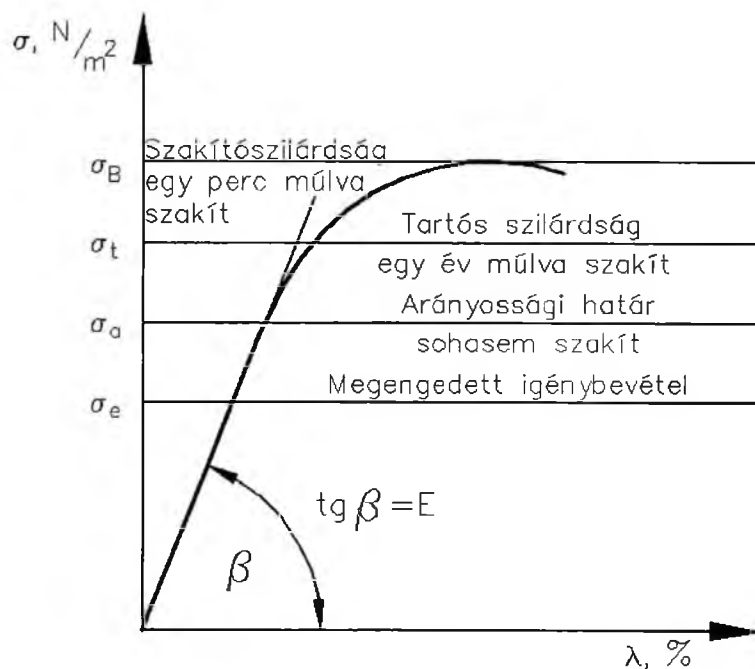


6.1.-1. ábra. Huzal és sodrony szakítási diagramja

Az alumínium sodronyok szakítódiagramján még egy pontnak van fontos szerepe, amelyik a tartós folyás jelenségével van összefüggésben. Minden alumínium sodrony, **hosszú ideig állandóan ható igénybevétel hatására** a szakítószilárdságnál (σ_B) kisebb feszültségértéknél elszakad.

A tartós szilárdság (σ_t) egy olyan állandóan ható igénybevétel, mely hatására a vezető egy év múltán szakad el.

A tartós szilárdság rendkívüli viszonyokra meghatározza azt a legnagyobb igénybevételt, amely kivételesen a vezetőt még terhelheti. Tájékoztató értéke $\sigma_t = 0,7 \dots 0,75 \sigma_B$. A 6.1.-2. ábra egy előfeszített sodrony szakítási görbét ábrázolja a szükséges feszültségértékekkel.



6.1.-2. ábra. Előfeszített sodrony szakítási görbéje

6.1.2. A vezetőkre ható erők

A vezető saját tömegével számolt súlyerő

Szabványos huzal és sodrony tömege mindenkor az érvényben levő szabványból határozandó meg. A szabványostól eltérő sodrony súlyát lehetőleg mérésrel kell megállapítani, vagy ha erre nincs módunk, akkor az

$$s = mg = cA \rho g \quad \text{N/m} \quad (6.-1)$$

összefüggéssel számolhatunk, ahol $[m] = \text{kg/m}$ a vezeték fajlagos tömege; $[A] = \text{m}^2$ a vezeték keresztmetszete; $[\rho] = \text{kg/m}^3$ a huzalanyag sűrűsége; $[g] = \text{m/s}^2$ a nehézségi gyorsulás;

c a sodrási tényező, amelynek értékei:

- 3...7 huzal esetén 1,020;
- 19 huzal esetén 1,025;
- 37 huzal esetén 1,028;
- 61 és több huzal esetén 1,032.

Pótteher

A pótteher a szabadvezetékre rakódó zúzmara, tapadó hó és ónos eső súlyhatását helyettesítő, számításaink egyszerűsítésére megállapított súly.

Távvezeteki szempontból zúzmarának nevezünk minden légköri eredetű szilárd halmazállapotú terhelést. (Meteorológiai szempontból zúzmara névvel csak a tereptárgyak környezetének páratartalmából kicsapódó ún. mikrocsepadékot illetik, és élesen elhatárolják a makrocsepadéknak nevezett, felhőkből lehulló és a tereptárgyakra ráfagyó tapadó hótól és ónos esőtől.)

A szorosabb értelemben vett zúzmara 0°C és 5°C közötti hőmérsékleten, az előzőleg fagypontra alá hűlt tereptárgyakra a levegő túlhűlt pára- vagy ködcseppecskéiből rakódik le.

A normális zúzmaraterhelést egy képzeletbeli járulékos súllyal, az ún. szabványos

pótteherrel vesszük figyelembe.

A vezetők szabványos póttehének értéke mint egyenletesen eloszló súly:

$$Z = m_z g \quad \text{N/m}, \quad (6.-2)$$

ahol $m_z = 0,325 + 0,025d$ kg/m a zúzmara fajlagos tömege; $[d] = \text{mm}$ a vezető átmérője; $[g] = \text{m/s}^2$ a nehézségi gyorsulás.

Ennél kisebb pótteherrel számolni még zúzmaraolvasztásra berendezett szabadvezetéken sem szabad. Vidékenként és esetenként a számolt értéknél lényegesen nagyobb zúzmarateher is előfordulhat, amely nagyobb, ún. kivételes pótteher számításba vételét teszi indokolttá. A szabadvezeték ilyen szakaszain az Országos Meteorológiai Intézet, az áramszolgáltató vállalatok, a posta, egyéb szabadvezetékek üzemeltetői és a helybeli lakosság adatainak és tapasztalatainak, ill. véleményének alapján kell megállapítani, hogy a szabványos pótteher helyett annak hányszorosát (n) kell a szabadvezeték méretezésénél mértékadónak tekinteni.

A vezetők igénybevétele a mértékadó póttehernél és -5°C -nál sem haladhatja meg a sodrony tartós szilárdságát.

Szilárdsági számításoknál a zúzmarával terhelt vezetőt úgy tekintjük, mintha a vezeték sűrűsége növekedne meg, miközben egyéb mechanikai tulajdonságai változatlanok maradnának. Ez az ún. zúzmarás sűrűség, amely a

$$\rho_z = \frac{m + m_z}{A} \quad \text{kg/m}^3 \quad (6.-3)$$

képlettel számítható, ahol $[m] = \text{kg/m}$ a vezető fajlagos tömege; $[m_z] = \text{kg/m}$ a zúzmara fajlagos tömege; $[A] = \text{m}^2$ a vezető keresztmetszete.

Többszörös pótteherrel történő számítás esetén a számított sűrűség:

$$\rho_{nz} = \frac{m + nm_z}{A} \quad \text{kg/m}^3. \quad (6.-4)$$

Az állószigetelőkre ráakadó zúzmara súlyát — a porcelán teherbíró képességét ismerve elhanyagolhatjuk.

Függőszigetelőkből alkotott lánc emyői között a zúzmara és a hó megreked, és eljegesedett hengerekké egészíti ki azokat, amelyek súlytöbblete már számottevő. Függőszigetelők póttehét a következő képletből kell kiszámítani:

$$y = 2000hD^2 \quad \text{N}, \quad (6.-5)$$

ahol $[h] = \text{m}$ a szigetelőlánc hossza; $[D] = \text{m}$ a szigetelő emyőjének átmérője.

Szélteher az MSZ 151 szabvány szerint

A szélteher időszakosan fellépő, változó nagyságú terhelés, amelyet a számításokban egyenletesen megoszlónak és vízszintes irányban hatónak kell tekinteni. Nagyságát a szél sebessége, a felület nagysága és alakja, valamint a szélnek felülethez viszonyított iránya határozza meg. Adott A felületre ható szélterő a következő összefüggéssel számítható:

$$F = \alpha c \frac{v^2}{1,6} A \sin \varphi \quad \text{N}, \quad (6.-6)$$

ahol α a szélterőt egyenlőtlenessége miatt csökkentő tényező, értéke;

$\alpha = 0,75$ vezető esetében,

$\alpha = 1$ minden más esetben;

c alaki tényező, amely a szélérte felület alakját és minőségét, valamint a kialakuló szívó- és örvénylő hatásokat veszi figyelembe;

sodrony esetén

- $c = 1,2$ 12 mm átmérőig,
- $c = 1,1$ 16 mm átmérőig,
- $c = 1,0$ 16 mm átmérő felett.

Nagyobb függőleges síkfelület, derékszögű négyszög, vagy I keresztmetszetű tömör szerkezet, idomacélból készült rácsos szerkezet esetén; $c = 1,4$

Kör vagy ellipszis keresztmetszetű szerkezet alaki tényezője; $c = 0,7$

$[v] = \text{m/s}$ a szél sebessége, értékét a 61.-6. táblázat tartalmazza.

A (m^2) a szélnek kitett felület; φ a szélnek kitett felület szél irányával bezárt szöge.

A (6.-6) összefüggéssel számolt szélterő a vezetőre, ill. a felületre merőlegesen hat.

6.1.-6. táblázat

A szélesebbesség értékei

Az alkatrész terepszint feletti magassága ¹ m	Szélteher		
	Általában	kisfeszültségű vezetékre beépített területen	különleges esetben
	szélesebbesség, m/s	szélesebbesség, m/s	szélesebbesség, m/s
25-ig	31	28,3	Meteorológiai Intézet által megadott
25 felett 60-ig	33,5	-	
60 felett 100-ig	38	-	
100 felett 150-ig	43	-	
150 felett 200-ig	45,5	-	

¹ Völgyátfeszítésben a vezetőnek a terepszint feletti legnagyobb magassága.

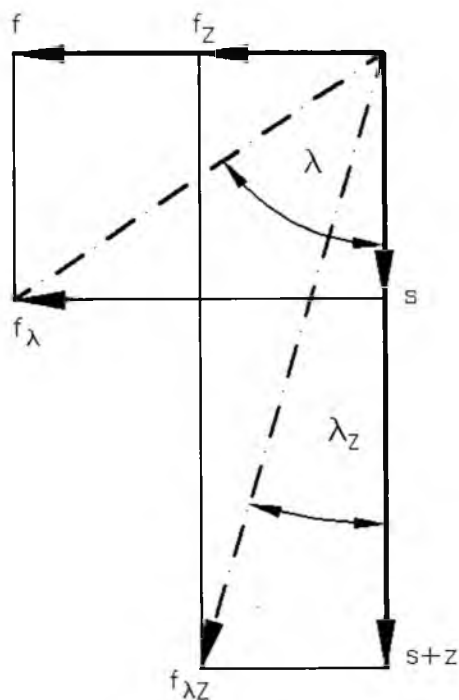
A szélnyomás hatására a vezető kileng és síkja a függőleges és a vízszintes erők eredőjének irányába áll be (6.1.-3. ábra). Zúzmaramentes állapotban a kilengés szöge λ a következő összefüggésből számítható:

$$\text{tg } \lambda = \frac{f}{s}, \quad (6.-7)$$

ahol f a hosszegységre jutó szélterő; s a vezető súlya méterenként. Zúzmarás állapotban a kilengés szöge:

$$\text{tg } \lambda_z = \frac{f_z}{s+z}. \quad (6.-8)$$

A (6.-7) összefüggésből következik, hogy azonos keresztmetszet esetén a kisebb súlyú vezetők kilengése mindig nagyobb, mint a nagyobb súlyúaké.



6.1.-3. ábra Szél által kilendített vezetőre ható erők

A szélteher hatására kilendített vezető terhelése megnövekszik és mint egyenletesen megoszló erő hat a vezetőre, melynek értéke:

$$f_{\lambda} = \sqrt{f^2 + s^2} \text{ N/m}, \quad (6.-9)$$

amely úgy fogható fel, mintha a vezetősodronyra ható nehézségi gyorsulás értéke nőtt volna meg g -ről g_{λ} -ra. A kilengési szög ismeretében

$$f_{\lambda} = \frac{s}{\cos \lambda} = m \frac{g}{\cos \lambda} = mg_{\lambda} \text{ N/m}, \quad (6.-10)$$

és így

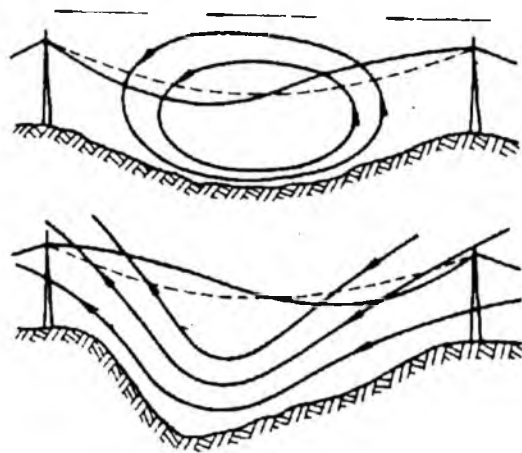
$$g_{\lambda} = \frac{g}{\cos \lambda} \text{ m/s}^2, \quad (6.-11)$$

ahol $[g] = \text{m/s}^2$ a függőleges síkban lógó sodronyra ható valóságos, $[g_{\lambda}] = \text{m/s}^2$ pedig a szélnyomás következtében megnövekedett látszólagos nehézségi gyorsulás.

Az eddig elmondottak szerinti szilárdsági számításokban, a vezetőre ható zúzmarapótkerhet a vezető sűrűségének megnövekedéseként, míg a szélterhet megnövekedett látszólagos nehézségi gyorsulással számítjuk. Meg kell azonban említeni, hogy míg a súlyteher állandóan hat a vezetőre, addig a pót- és a szélteher fellépése esetleges.

Dinamikus hatások

A távvezetéseket időszakosan dinamikus hatások is igénybe veszik. Az erősebb szél mindig löketes, s ez változó nagyságú és periódusú oldalkilengésre készíti az oszlopköz vezetőit. Nyomvonal irányú szélben hullámos terepen, völgyteknőkben vízszintes tengelyű légörvények keletkezhetnek, amelyek függőleges irányú erőhatásukkal hosszúhullámú ostorozó lengésbe hozhatják a vezetőket (6.1.-4. ábra). A lengések a vezetők húzófeszültségének ingadozását idézik elő. A lökések energiáját a vezetők rugalmas nyúlása és súrlódása emészti fel.



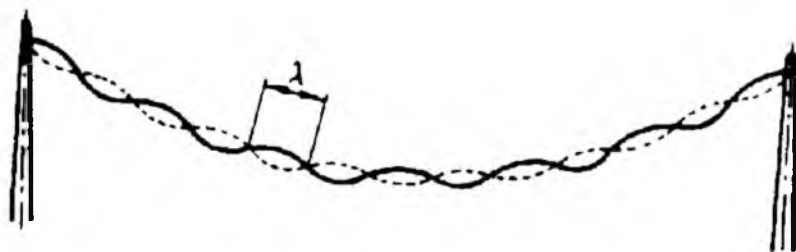
6.1.-4. ábra Vezetékek függőleges síkú lengése

Az ilyenfajta igénybevételeket a vezetők szilárdsági méretezésekor figyelmen kívül szoktuk hagyni, de az oszlopkép kialakításakor a biztonsági távolságok betartása céljából a lengéseket figyelembe kell venni.

Sokkal veszedelmesebb dinamikai hatást fejt ki a vezetők függőleges irányú olyan kilengése, amely azáltal keletkezik, hogy a zúzmarával erősen terhelt vezetőről helyenként a zúzmara lehull, és a terhétől megszabadult vezető felcsapódik. Ekkor a vezetőkben és az egyenlőtlen zúzmaraterhelés következtében már előzőleg egyoldali húzásnak kitett oszlopokban felhalmozott, és hirtelen felszabaduló helyzeti energia lengésbe hozhatja a vezetővel együtt az oszlopokat is. Ha a szomszédos oszlopok lengése kedvezőtlenül alakul, össze-vissza rángathatják a vezetőket, miközben egymással érintkezhetnek, ill. mind az oszlopok, mind a vezetők épségét veszélyeztethetik. Ilyen dinamikus hatások megakadályozására a méretezés során gazdasági okok miatt nem gondolhatunk. A tervező feladata azonban a fázistávolságok meghatározása mind a vízszintes- (összelengés) mind a függőleges kilengések (felcsapódás) figyelembevételével.

A vezetők rezgése

Ha a távvezeték nyomvonalára merőlegesen, vízszintesen, 1...5 m/s sebességű, lamináris szél fúj, a vezetők kis hullámhosszúságú és kis amplitúdójú rezgésbe jönnek (6.1.-5. ábra). A jelenséget az váltja ki, hogy a levegőrészecskék a súrlódó felületen lefékeződnek és szabályos időközökben hol a vezeték felső-, hol az alsó élén légörvény alakjában szakadnak le, és a helyükbe tóduló friss levegő függőleges síkú váltakozó irányú nyomást gyakorol a vezetékre.



6.1.-5. ábra. Rezgő vezetőkön kialakuló állóhullám

Ha e rezgések periódusa közel esik a vezetők önrezgésszámához, vagy ennek valamelyik harmonikusához, mm...cm nagyságrendű amplitúdóval néhány méteres (2...10 m)

állóhullámok keletkeznek számos csomóponttal. A rezgésszám a vezető átmérőjétől és a szél sebességétől függően másodpercenként 10...50 között szokott lenni.

A rezgés a vezetők igénybevételeben minőségi változást okoz, ami kedvezőtlen esetben a vezetők meghibásodását (elemi szálainak törését) hozhatja magával. A rezgésbe jött vezetők eredő igénybevétele a következőkből tevődik össze:

- A szerelési, statikus húzóerő, amelynek pillanatnyi nagysága, a hőmérséklettől függ (alap igénybevétel). Az alap igénybevételhez járul még a toldásoknál és a felfüggesztési helyeken a szorításból származó szintén statikus jellegű nyomófeszültség, továbbá a felfüggesztésekből származó hajlítófeszültség is.
- A rezgés okozta hajlító igénybevétel, amely a húzás és a nyomás fázisaival periodikusan változó dinamikus feszültséget ébreszt, továbbá
- a belógási görbe alakjának rezgés közben végbemenő változásából származó húzófeszültség.

Az előző feszültség-összetevők közül az alap igénybevételt jelentő statikus húzófeszültség és a hajlításból származó, ismételt feszültség van hatással az anyag viselkedésére. Egyik feszültség sem veszélyeztetné külön-külön a vezetőket, de az alapfeszültségre a lengőfeszültség rátevédik, s így az eredeti statikus igénybevételt szapora lüktető-húzófeszültséggé alakítja.

Az oszlopköz belsejében a rezgéshullámok csomópontjai állandóan változtatják helyüket (a szél sebessége nem állandó), itt a lüktető igénybevétel káros hatása elmosódik, de a vezetők megfogási pontjainál a csomópont helyben marad, tehát nagyon rövid vezetékdarabnak kell elszervenvedni a gyorsan ismétlődő hajlító igénybevételeket.

6.1.-7. táblázat

Sodronyok megengedett terhelése

A vezető anyaga	A vezető			
	legkisebb megengedett keresztmetszete, mm ²		legnagyobb megengedett húzófeszültsége, N/mm ²	
	kis-feszültségen	nagy-feszültségen	kis-feszültségen	nagy-feszültségen
Alumíniumsodrony	16	25	70	70
Nemesített alumíniumsodrony	10	16	110	110
Acélalumínium-sodrony 1:6	-	25 ^{1/2}	-	90
Acélalumínium-sodrony 1:7,7	-	95	-	85
Acélalumínium-sodrony 1:1,7	-	95	-	140
Acélsodrony Ac. I.	16	-	160	-
Acélsodrony Ac. II.	16	16	300	300
Acélsodrony Ac. III.	16	16	400	400
Acélsodrony Ac. IV.	16	16	500	500

Ezek az igénybevételek lassanként kifáradásos száltöréseket okoznak elsősorban a sodrony külső, jobban igénybe vett rétegében.

Ha tehát a vezetőket a rezgés káros hatásától meg akarjuk kímélni, csak olyan összigenybevétel kifejlődését engedhetjük meg, amely alatta marad a vezetőanyag kifáradási határértékének. Mivel a vezetők feszítésének (alap igénybevételének) csökkentésével a rezgésszám, és vele a rezgés okozta igénybevétel csökken, mindig található olyan alap húzófeszültség, amelyen az összigenybevétel már káros hatást nem fejt ki. Olyan szerelési alapfeszültség választása, amely a hozzáadódó rezgésből származó lengőfeszültséggel együtt

alatta marad a kifáradási határértéknek, gazdasági okokból általában nem választható (a nagyobb belógások miatt a távvezeték megdrágul). Ezért a gyakorlatban a σ_e szabványos legnagyobb húzófeszültség (6.1.-7. táblázat) tökéletes védelmet adó (kb. 25 %-os) leszállítása helyett megelégszünk a húzófeszültség mérsékeltebb leszállításával, de azt a csökkent értékű védelmet aktív és passzív rezgéscsillapítókkal javítjuk.

6.1.3. Szabadvezeték belógása

Két rögzített, tetszőleges pont között kifeszített, homogén anyagú, egész hosszában egyenlő keresztmetszetű, teljesen hajlékony, terhelés alatt megnyúló (tehát rugalmas) vezető végig egyenletesen eloszló, függőlegesen ható terhelés hatására felvett alakját rugalmas lánccsörbének nevezzük. A távvezeték gyakorlatban a rugalmas lánccsörbe egyenletét nem használjuk, egyrészt mert a számolás bonyolult és kényelmetlen, másrészt megengedhető egyszerűsítő feltételekkel a gyakorlat igényeit kielégítő, lényegesen egyszerűbb egyenletekhez juthatunk. Ezek az egyenletek a közönséges lánccsörbe és a parabola egyenletei. A legtöbb esetben a parabolával történő számítás kielégítő pontosságú. Igen ritkán azonban előfordul, hogy a vezető alakját lánccsörbének kell tekinteni. A lánccsörbe egyenlete transzcendens függvény:

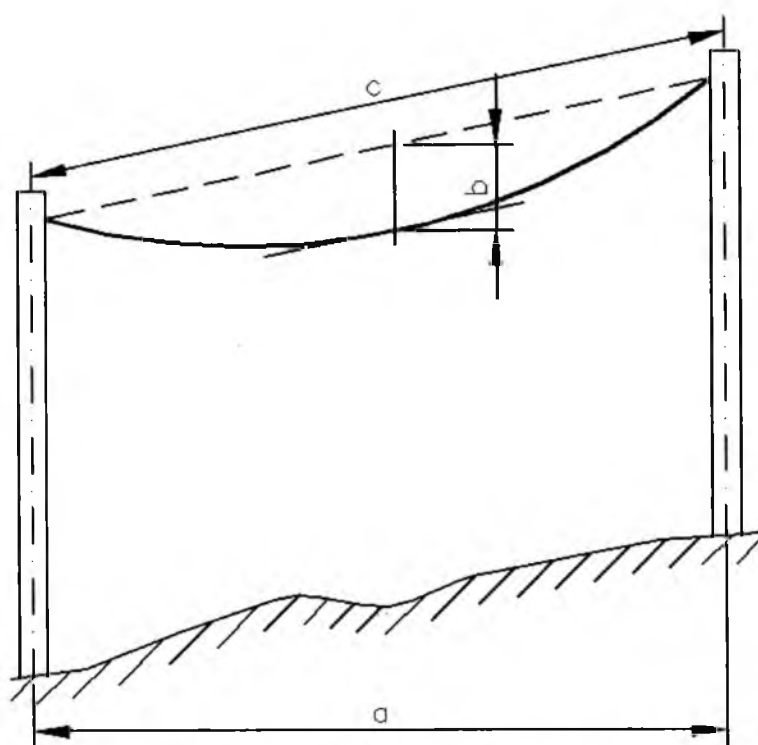
$$y = p \frac{e^{\frac{x}{p}} + e^{-\frac{x}{p}}}{2} = p \cdot \operatorname{ch} \frac{x}{p}, \quad (6.-12)$$

ahol p a görbe paramétere:

$$p = \frac{\sigma_h}{\rho g}, \quad (6.-13)$$

ahol $[\sigma_h] = \text{N/m}^2$ a húzófeszültség vízszintes összetevője; $[\rho] = \text{kg/m}^3$ a vezeték sűrűsége; $[g] = \text{m/s}^2$ a nehézségi gyorsulás.

A transzcendens függvényt közelítő algebrai függvénnyé sorba fejtéssel (Taylor-sor) alakíthatjuk át, amely oly gyorsan konvergál, hogy a függvény értékére jó közelítést ad, ha a konstanson kívül két hatványkitevős tagot veszünk figyelembe (lásd később b'').



6.1.-6. ábra Szabadvezeték belógása

A távvezeték élet- és vagyonbiztonság megkövetelte föld feletti magasságban történő vezetéséhez a vezeték legmélyebb pontja és a föld közötti távolságot kell meghatározni. A vezeték tervezésekor és beszabályozásakor azonban nem ezt a távolságot számítjuk, ill. mérjük, hanem a belógást. A *belógás b* az oszlopközben belógó vezető felfüggesztési pontjait összekötő húrral párhuzamos érintő érintési pontjának a húrtól mért függőleges távolsága (6.1.-6. ábra). Az MSZ 151 erősáramú szabadvezeték szabvány alapján akkor kell a pontosabb értéket szolgáltató láncgörbe alapján számítani a belógást, ha a belógás értéke nagyobb, mint az oszlopköz 7,5 %-a, vagy nagyobb, mint 20 m. A szabványosított anyagú és szerkezetű vezetők esetén a vezető igénybevételének és a belógásának számításához a 6.1.-10. táblázatban foglalt jellemző adatokat kell felhasználni.

Szabadvezetéki sodronyok adatai

A sodrony	Szakítószilárdság N/mm ²	Tartósszilárdság N/mm ²	Rugalmassági tényszó, N/mm ²	Hőterjedési együttható, °C	Vezető sűrűsége, kg/dm ³	A vezető fajlagos ellenállása, $\frac{\Omega \cdot mm^2}{km}$
Alumínium sodrony	160	100	56 000	23*10 ⁻⁶	2,8	29,2
Nemesített alumínium sodrony	252	210	60 000	23*10 ⁻⁶	2,8	33,7
Acél alumínium sodrony, ha az acél és alumínium keresztmetszetek viszonya:						
1:6	290	200	75 000	18,6*10 ⁻⁶	3,55	
1:7,7	280	183	70 900	19,4*10 ⁻⁶	3,41	29,3
1:1,7	500	370	103,500	15,1*10 ⁻⁶	4,75	29,3
Acélsodrony Ac. I.	400	320	185 000	11*10 ⁻⁶	8,1	163
Acélsodrony Ac. II.	620	500	185 000	11*10 ⁻⁶	8,1	204
Acélsodrony Ac. III.	1080	820	185 000	11*10 ⁻⁶	8,1	244
Acélsodrony Ac. IV.	1530	1100	185 000	11*10 ⁻⁶	8,1	244

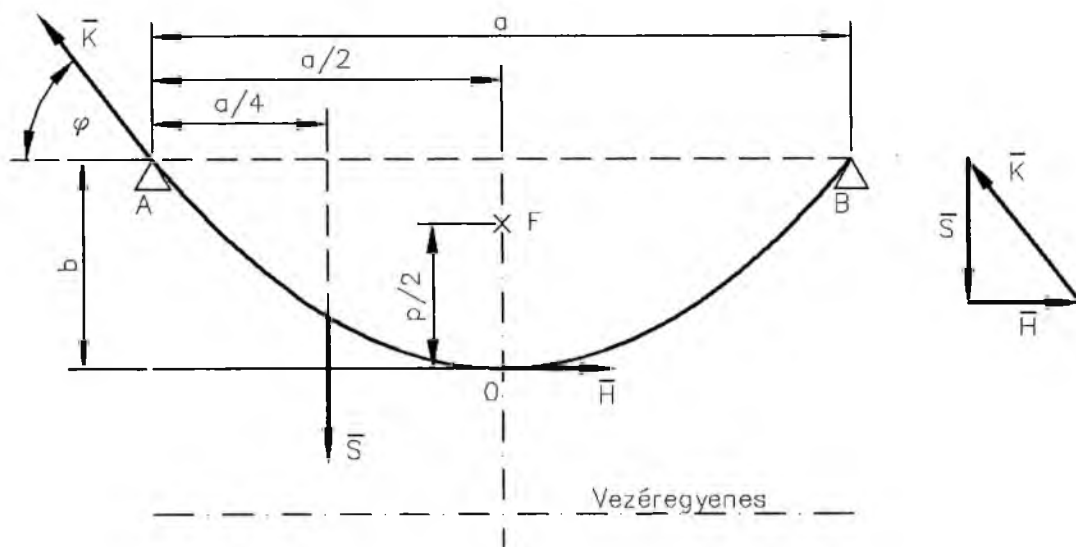
Vízszintes felfüggesztési köz belógásának számítása

A belógás meghatározásához a sodrony (kötél) statikus egyensúlyi állapotát tekintjük (6.1.-7. ábra).

A parabola belógásának kiszámításához további egyszerűsítő feltevésekkel élünk:

- a görbe fél ívének súlypontját a felfüggesztési ponttól $a/4$ távolságra vegyük fel;
- a vezeték súlyát az ív hossza helyett annak vetületével, az oszlopközze vetítjük arányosnak:

$$S = s \frac{a}{4} N. \quad (6.-14)$$



6.1.-7. ábra Vízszintes felfüggesztési köz belógása

Az így elkövetett hiba a belógás b és az oszlopköz a nagyságának viszonyától függ, amit általában százalékban szoktunk kifejezni

$$\beta = 100 \frac{b}{a} \% , \quad (6.-15)$$

és *százalékos belógásnak* nevezzük. Ha β kicsi, a belógó vezető hossza az oszlopköz hosszától alig különbözik, ezért számításokban jól használhatjuk közelítésére.

A vezető legmélyebb 0 pontjában az érintő irányú H erő tart egyensúlyt a vezető S súlyával és az A pontban ható K feszítőerővel (6.1.-7. ábra). Az A pontra felírt nyomatéki egyenlet:

$$Hb = S \frac{a}{4} . \quad (6.-16)$$

A képletet — a számítás céljára — egyszerűbb alakra hozhatjuk, ha figyelembe vesszük, hogy a parabola csúcspontjában keletkező húzóerő:

$$H = \sigma_h A \quad N , \quad (6.-17)$$

ahol $[\sigma_h] = N/mm^2$ a húzófeszültség vízszintes komponense: $[A] = mm^2$ a vezeték keresztmetszete. A vezeték súlya (6.-1) alapján:

$$s = cA \rho g \approx A \rho g , \quad (6.-18)$$

valamint (6.-14) figyelembevételével a belógás:

$$b = \frac{a^2 \rho g}{8 \sigma_h} \quad m . \quad (6.-19)$$

A belógás a vezető legmélyebb pontjára vonatkozik, amelynek a szabványban előírt M magasságban kell lennie a terepszint felett (6.1.-8. ábra).

Az (6.-19) szerint számított belógás értékek, mint ahogy azt a bevezetőben olvashattuk, csak $\beta < 7,5\%$ és $b < 20$ m esetén fogadhatók el. Máskülönb a láncgörbe alapján kell a belógást számítani. A függvényt hatványsorával közelítve és csak az első két tagot figyelembe véve adódik, hogy elegendő a parabola alapján kapott értékeket a következők szerint módosítani:

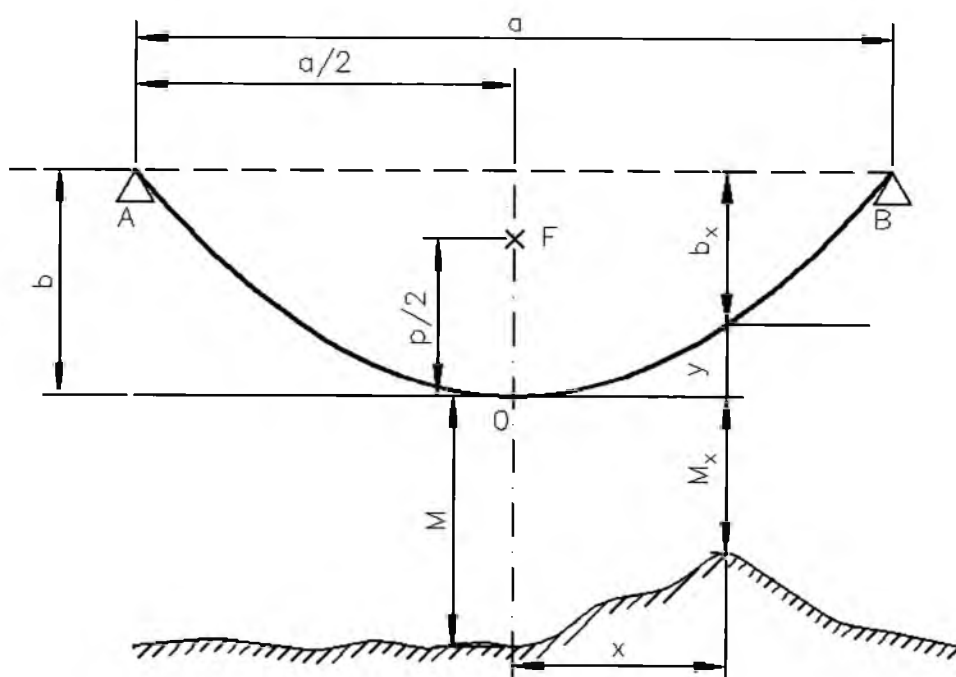
$$b'' = b + \frac{4}{3} \frac{b^3}{a^2} . \quad (6.-20)$$

Ha sík a terep, akkor a vezető minden pontja M-nél magasabban van. Ha azonban a terep hullámos vagy azon más tereptárgy vagy építmény emelkedik, akkor a vezetőknek a magasságát ellenőrizni kell azon a helyen. Ilyenformán a belógás értékére szükség lehet az oszlopköz bármely pontján. Ha a (6.-17) összefüggést a 6.1.-8. ábra jelöléseivel felírjuk és a

$$p = \frac{\sigma_h}{\rho g}$$

paramétert bevezetjük, akkor az ismert parabola összefüggést kapjuk:

$$y = \frac{1}{2p} x^2 . \quad (6.-21)$$



6.1.-8. ábra A sodrony föld feletti magassága

Az összefüggés segítségével a b_x tereptárgy feletti belógás könnyen számítható: $b_x = b - y$, így

$$b_x = b - \frac{x^2}{2p} , \quad (6.-22)$$

$2p$ értékét (6.-19)-ből kifejezve:

$$2p = \frac{a^2}{4b} , \quad (6.-23)$$

és így az oszlopköz adataival a belógás az oszlopköz tetszőleges helyén:

$$b_x = b - 4b \frac{x^2}{a^2} . \quad (6.-24)$$

A későbbiekben szükségünk lesz a parabola ívhosszára. A matematikában tanultak szerint a (6.-21) összefüggés szerinti parabola ívhosszának — kis y/x értékek esetére — jó közelítése a húr, azaz $OB_{iv} \cong OB_{húr}$, amely a hiperbolikus függvény (sh) hatványsorának első két tagjával közelítve:

$$OP \approx x \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{y}{x} \right)^2 \right]. \quad (6.-25)$$

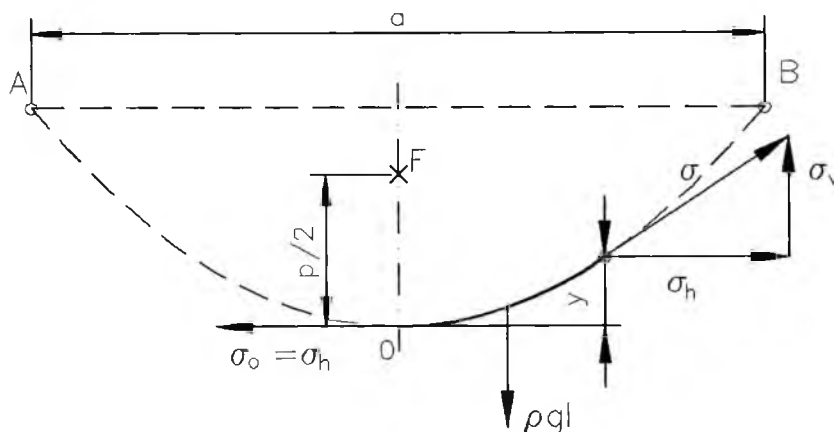
Ha a 6.1.-8. ábra AB parabolaívét l -el jelöljük akkor $l = 2OB_{húr}$, valamint $x = a/2$, és $y = b$ adatok felvételével:

$$l = 2 \left\{ \frac{a}{2} \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2b}{a} \right)^2 \right] \right\}, \quad (6.-26)$$

amely a gyakorlati számításokra alkalmas formában:

$$l = a + \frac{8}{3} \frac{b^2}{a} \quad \text{m.} \quad (6.-27)$$

A (6.-19) összefüggésből nyilvánvaló, hogy a belógás összefüggése a parabola csúcsponti igénybevételeből, azaz a σ_h húzófeszültségből számítható. Vizsgáljuk meg a feszültségviszonyokat az A és a B pontok között kifeszített egységnyi keresztmetszetű vezetőkben (6.1.-9. ábra).



6.1.-9. ábra. A sodrony feszültségviszonyai

Az egységnyi keresztmetszetű vezetőkben vágjuk ki gondolatban a P0 ívdarabot és az erőhatásokat pótoljuk. A 0 pontban σ_0 , a P pontban σ húzófeszültséggel. A húzófeszültség értékét abból az egyensúlyi feltételből állapíthatjuk meg, hogy egyensúly csak akkor lehetséges, ha az ívdarabra ható erők vízszintes és függőleges komponenseinek összege egyaránt nulla. A vízszintes (horizontális) komponensekre igaz, hogy:

$$\sigma_h - \sigma_0 = 0, \text{ azaz } \sigma_h = \sigma_0. \quad (6.-28)$$

a függőleges (vertikális) komponensekre felírható, hogy:

$$\sigma_v - \rho gl = 0, \text{ azaz } \sigma_v = \rho gl. \quad (6.-29)$$

A (6.-28) egyenletből következik, hogy a vezető egyes pontjaiban fellépő húzófeszültségek vízszintes komponensei egyenlő nagyok és értékük azonos a vezető legmélyebb pontjában keletkező σ_h húzófeszültséggel. A (6.-29) egyenlet szerint a vezető

bármely pontjában fellépő húzófeszültség függőleges komponense egyenlő a vezető legmélyebb pontjától a kérdéses pontig terjedő egységnyi keresztmetszetű vezetőív súlyával.

Az elmondottakból következik, hogy σ_h a vezetőkben ébredő legkisebb húzófeszültség, és hogy a húzófeszültség legnagyobb értéke a felfüggesztési pontban lép fel. A vezető tetszőleges pontjában fellépő σ húzófeszültség a lánccörbe ívhosszának figyelembevételével:

$$\sigma = \sigma_h + \gamma \rho g . \quad (6.-30)$$

Illetve a felfüggesztési pontokban

$$\sigma_A = \sigma_B = \sigma_h + b \rho g . \quad (6.-31)$$

A szabadvezeték szabvány azonban megengedi, hogy ha a belógás az oszlopköz 7,5 %-ánál kisebb, akkor a vezető legmélyebb pontján keletkező húzófeszültség és a felfüggesztési pontban keletkező húzófeszültség közötti különbséget elhanyagoljuk.

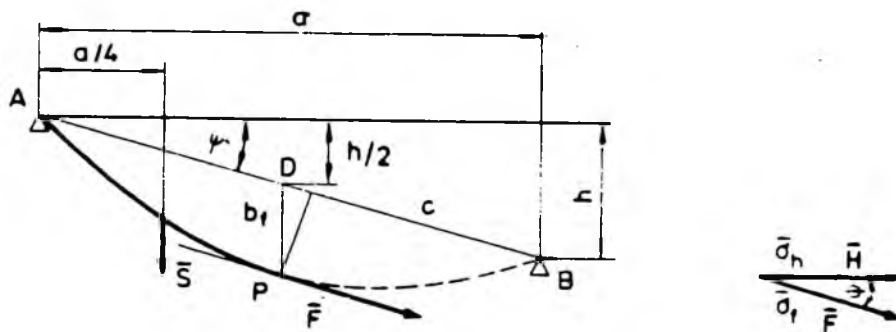
Ha a $\beta < 7,5 \%$ feltétel nem teljesül, azaz nagy a belógás, akkor a maximális megengedett húzófeszültség csökkentett értékével számolni a húzófeszültség vízszintes komponensét, amelynek értéke (6.-31) alapján:

$$\sigma_{hz} = \sigma_{\max} - b_z \rho_z g , \quad (6.-32)$$

ahol a z index a zúzmarás állapotra utal.

Ferde felfüggesztési köz

A különböző magasságban levő felfüggesztési pontok esetén a statikai egyensúly feltételéből éppen olyan egyszerűen kiszámíthatjuk a belógást, mint azt az egyenlő magasságú felfüggesztési pontok esetén tettük (6.1.-10. ábra).



6.1.-10. ábra. Ferde felfüggesztési köz belógása

Húzzunk a görbéhez a felfüggesztési pontokkal párhuzamos érintőt. Az érintési pontot (P) felvetítve függőlegesen a felfüggesztési köz egyenesére (c) azt tapasztaljuk, hogy a metszéspont (D) éppen a húr felezőpontja.

A fejezet elején elmondottak alapján belógás b_f alatt a PD távolságot értjük. Így az eddig használt közelítésekkel, valamint az ív hossza helyett a húr hosszával számítva a súlyerőt a statikai egyensúly egyenletei a következőképpen írhatók fel.

A fél parabolaív súlya:

$$S = \frac{c}{2} A \rho g . \quad (6.-33)$$

A P ponton a vezetőt feszítő érintő irányú húzóerő:

$$F = \frac{H}{\cos \psi} . \quad (6.-34)$$

A statikai egyensúlyt tükröző nyomatéki egyenlet az A pontra:

$$S \frac{a}{4} = F b_f \cos \psi . \quad (6.-35)$$

Az összefüggést a számítások céljára egyszerűbb alakra hozva:

$$\frac{c}{2} A \rho g \frac{a}{4} = \frac{H}{\cos \psi} b_f \cos \psi \quad (6.-36)$$

és

$$c = \frac{a}{\cos \psi} , \text{ valamint } H = \sigma_h A \quad (6.-37)$$

figyelembevételével

$$b_f = \frac{1}{\cos \psi} \frac{a^2 \rho g}{8 \sigma_h} , \text{ azaz } b_f = \frac{b}{\cos \psi} . \quad (6.-38)$$

Az eredményt a (6.-19) képlettel egybevetve megállapítható, hogy a ferde felfüggesztési köz belógását (b_f) ugyanolyan vízszintes felfüggesztésű oszlopköz belógásának (b) ismeretében számíthatjuk. A ferde felfüggesztés belógása a vízszintes felfüggesztés belógásának $\cos \psi$ -ed része. Ahol ψ a felfüggesztési pontokat összekötő húr vízszintes iránnyal bezárt szöge.

A csúcsponti igénybevétel pedig:

$$\sigma_f = \frac{\sigma_h}{\cos \psi} = \frac{1}{\cos \psi} \frac{a^2 \rho g}{8b} . \quad (6.-39)$$

Természetesen ferde felfüggesztés esetén is az egyik felfüggesztési pontban ennél nagyobb húzófeszültség lép fel. De ha

$$\beta < 7,5\% , \text{ és } \operatorname{tg} \psi = \frac{h}{a} \left(\frac{1,2 - 0,16\beta}{4 + 0,05\beta} \right) , \quad (6.-40)$$

akkor a vezeték legmélyebb pontjában keletkező húzófeszültség és a felfüggesztési pontban keletkező húzófeszültség közötti különbség elhanyagolható.

Ha a (6.-40) szerinti feltételek nem teljesülnek, akkor a maximálisan megengedett feszültség csökkentett értékével kell számolni. A magasabban fekvő felfüggesztési pontban a vezető húzófeszültsége:

$$\sigma_A = \sigma_f + \rho g \left(\frac{h}{2} + b_f \right) . \quad (6.-41)$$

Azaz, ha a felfüggesztési pontban maximális húzófeszültséget (σ_{max}) engedünk meg, akkor a csúcsponti igénybevétel:

$$\sigma_f = \sigma_{\max} - \rho_z g \left(\frac{h}{2} + b_{fz} \right), \quad (6.-42)$$

ahol a z index a zúzmarás állapotra utal.

6.1.4. A vezetők állapotváltozása

A vezetők egyensúlyi állapotát tükröző eddig tárgyalt összefüggések az állandósult igénybevétel állapotára vonatkoznak. Ha a vezeték mindig azonos viszonyok között, és azonos hőfokon volna, akkor eredményeink a vezeték szilárdságtani szempontból egyértelműen jellemeznék. A vezetők igénybevétele azonban az időjárási viszonyok miatt állandóan változik:

- a hőmérsékletváltozás,
- szélteher,
- és a zúzmaraterhelés hatására.

A fizikai változások a vezetők geometriai alakváltozásával járnak, ugyanis hosszváltozást hoznak létre.

Terhelésváltozás vagy a külső hőmérséklet változásának hatására a vezető hossza megváltozik, amelynek következtében a kitáguló vagy az összehúzódó vezetékben az igénybevétel is megváltozik, amely másodlagos rugalmas hosszváltozást okoz. A rugalmas hosszváltozás pedig éppen ellentétes az előzővel. E folyamatot leíró egyenletet nevezzük állapotegyenletnek.

Az állapotváltozás egyenletének nagy jelentősége van, mert olyan viszonyokat, amikor a vezetékben a legnagyobb igénybevétel, illetve — a föld feletti biztonságos magasság ellenőrzéséhez — a legnagyobb belógás lép fel, szerelés alkalmával nem tudunk biztosítani, és elő sem tudjuk ezen állapotokat mesterségesen állítani. Az állapotegyenlet segítségével azonban kiszámíthatjuk, hogy a szerelés alkalmával uralkodó hőmérsékleten milyen erővel kell a vezetőket kifeszíteni ahhoz, hogy a szabványban meghatározott terhelési- és hőmérséklet határok beállta esetén a vezetékben a megengedett igénybevételnél nagyobb ne léphessen fel. Továbbá azt is kiszámíthatjuk, hogy mekkora a legnagyobb belógás lehetséges értéke.

A méretezéskor figyelembeveendő legnagyobb igénybevétel és legnagyobb belógás állapotait a szabvány írja elő, miszerint a vezetőket szereléskor olyan húzóerővel kell feszíteni, hogy a következő esetek egyikében se keletkezhesek a vezetékben a megengedettnél nagyobb húzófeszültség:

- - 5°C hőmérsékleten pótteherrel;
- -20°C hőmérsékleten csupaszon.

A legnagyobb belógásnak a következő esetek közül a nagyobbak kiadódó belógást kell tekinteni.

- - 5°C hőmérsékleten pótteherrel;
- +40°C (120 kV felett +60°C) hőmérsékleten teher nélkül.

A vezető állapotváltozását az állapotegyenlet írja le az előbbi hőmérséklet határok között bármilyen kiindulási állapotból, tetszőleges végállapotra történő átmenet során.

Jelöljük nulla indexszel a kiindulási állapot és index nélküli a végső állapot jellemzőit. Tegyük fel, hogy csak a hőmérséklet változik, mégpedig a kezdeti t_0 hőmérséklet t -re nő. A hőtágulás okozta hosszváltozás arányos a vezető eredeti l_0 hosszával, az α hőtágulási együtthatóval és a $(t - t_0)$ hőmérsékletkülönbséggel:

$$\Delta l_t = l_0 \alpha (t - t_0) . \quad (6.-43)$$

A megnyúlt vezetőben azonban a feszültség csökken, amire a vezető rugalmasan összehúzódik, és e rugalmas rövidülés a feszültségcsökkenéssel arányos:

$$\Delta l_\sigma = -\frac{l_0}{E} (\sigma_{h0} - \sigma_h) = \frac{l_0}{E} (\sigma_h - \sigma_{h0}) \quad (6.-44)$$

ahol $[E] = \text{N/m}^2$ a vezető rugalmassági tényezője.

A vezető végső hosszváltozása a kétféle fizikai hatás eredőjeként áll elő. Ezt a hosszváltozást a parabolaív geometriai hosszával kifejezve (3.-27) alapján:

$$\Delta l = l - l_0 = \left(a + \frac{8 b^2}{3 a} \right) - \left(a + \frac{8 b_0^2}{3 a} \right) . \quad (6.-45)$$

A belógás (6.-19) összefüggését felhasználva (6.-45) egyenlet a következő alakra hozható:

$$\Delta l = \frac{a^3 \rho_0^2 g_0^2}{24 \sigma_h^2} - \frac{a^3 \rho_0^2 g_0^2}{24 \sigma_{h0}^2} . \quad (6.-46)$$

Mint hogy a geometriai hosszváltozás a két fizikai hosszváltozás eredménye:

$$\Delta l = \Delta l_t + \Delta l_\sigma , \quad (6.-47)$$

vagyis

$$\frac{a^3 \rho_0^2 g_0^2}{24 \sigma_h^2} - \frac{a^3 \rho_0^2 g_0^2}{24 \sigma_{h0}^2} = l_0 \alpha (t - t_0) + \frac{l_0}{E} (\sigma_h - \sigma_{h0}) . \quad (6.-48)$$

A kis belógás miatt elhanyagolható hibát okozó $l_0 \approx a$ közelítéssel az előbbi egyenlet:

$$\frac{a^2 \rho_0^2 g_0^2}{24 \sigma_h^2} - \frac{a^2 \rho_0^2 g_0^2}{24 \sigma_{h0}^2} = \alpha (t - t_0) + \frac{1}{E} (\sigma_h - \sigma_{h0}) \quad (6.-49)$$

Ha állapotváltáskor a terhelés is változik oly módon, hogy $\rho g \neq \rho_0 g_0$ a (6.-49) egyenlet a következőképp alakul:

$$\frac{a^2 \rho^2 g^2}{24 \sigma_h^2} - \frac{a^2 \rho_0^2 g_0^2}{24 \sigma_{h0}^2} = \alpha (t - t_0) + \frac{1}{E} (\sigma_h - \sigma_{h0}) \quad (6.-50)$$

A (6.-50) állapotegyenlet a hőmérsékletváltozás és a terhelésváltozás egyidejű fellépése esetén adja meg az új állapot adatait, tehát a vezetők általános állapot-egyenlete, amelyet első levezetőjük után WEIL-féle állapotegyenletnek is neveznek.

A ferde felfüggesztésű vezetők állapotegyenlete teljesen azonos a vízszintes felfüggesztésű vezetők állapotegyenletével, csupán a húzófeszültség vízszintes komponense helyett (σ_h) a ferde belógáshoz tartozó σ_f húzófeszültséggel kell számolni. Így az állapotváltozással összefüggő kérdések további tárgyalásakor csak a vízszintes felfüggesztésű vezetők esetével foglalkozunk.

A vezetők szilárdsági számításának célja, hogy a szerelési hőmérséklethez tartozó igénybevételt, ill. belógást meghatározzuk.

Természetesen biztosítanunk kell, hogy a vezetőkben a megengedett igénybevételnél

nagyobb igénybevétel normális (szabvány által meghatározott) körülmények között ne léphessen fel, másrészt tudnunk kell, hogy mekkora a legnagyobb belógás értéke.

A legnagyobb igénybevétel

Méretezéskor nyilván abból a legkedvezőtlenebb állapotból kell kiindulni, amikor a vezetőkben a legnagyobb igénybevétel lép fel. A szabvány előírásainak megfelelően csupasz vezetónél ez -20°C -on állhat elő, vagy pótterhes vezetők esetében -5°C -on.

Az állapotegyenletbe kiinduló állapotként a két eset közül a kedvezőtlenebbet állítjuk be a megengedhető legnagyobb igénybevétellel együtt, s ebből a húzófeszültség alakulása tetszőleges állapotra kiszámítható. A feladat tehát a kedvezőtlenebb igénybevételi állapot meghatározása. A kérdésre a kritikus oszlopköz (a_{kr}) kiszámításával kaphatunk választ.

Kritikus oszlopköz

Kritikus oszlopközön azt az oszlopközt értjük, amelyben a vezetők igénybevétele -20°C -on csupaszon ugyanannyi, mint -5°C -on pótteherrel, vagyis

$$\sigma_{-20} = \sigma_z = \sigma_{\max} . \quad (6.-51)$$

Az állapotegyenletbe helyettesítve a két határeset megfelelő értékeit:

$$\frac{a^2 \rho^2 g^2}{24\sigma_{\max}^2} - \frac{a^2 \rho_z^2 g^2}{24\sigma_{\max}^2} = \alpha[-20 - (-5)] + \frac{1}{E}(\sigma_{\max} - \sigma_{\max}) . \quad (6.-52)$$

Az egyenletet az oszlopközre megoldva:

$$a_{kr} = \frac{\sigma_{\max}}{g} \sqrt{\frac{360\alpha}{\rho_z^2 - \rho^2}} \text{ m.} \quad (6.-53)$$

Ha a vizsgált oszlopköz a_{kr} -nál kisebb (vizsgálatunk esetére szélső értéként legyen $a_{kr} = 0$), akkor az állapotegyenlet:

$$0 = \alpha[-20 - (-5)] + \frac{1}{E}(\sigma_{-20} - \sigma_z) , \quad (6.-54)$$

amiből

$$\sigma_{-20} = \sigma_z + 15\alpha E , \quad (6.-55)$$

végezredményben:

$$\sigma_{-20} > \sigma_z . \quad (6.-56)$$

A (6.-56) összefüggésből következik, hogyha $a < a_{kr}$, akkor a legnagyobb megengedhető igénybevétel -20°C -on csupaszon, ha pedig $a > a_{kr}$, akkor -5°C -on pótteherrel lép fel.

A legnagyobb belógás

Ahhoz, hogy a szabvány által előírt minimális föld feletti magasságot betarthassuk, ismernünk kell a legnagyobb belógás értékét, amely segítségével a szükséges oszlopmagasságok és biztonsági távolságok kialakíthatók.

Mint azt a fejezet elején ismertettük, a szabvány szerint a legnagyobb belógás állapota -5°C -on pótteherrel, vagy $+40^{\circ}\text{C}$ -on csupasz vezetón következik be. Hogy a két mértékadó állapot közül melyikben nagyobb a belógás, azt $a > a_{kr}$ esetében a felső kritikus hőmérséklet (t_{kr}) kiszámításával lehet eldönteni. Ha $a < a_{kr}$, — ami a gyakorlatban ritkán fordul elő — akkor

mindkét állapotra ki kell számítani a belógás értékét, és a két adatot közvetlenül össze kell hasonlítani.

A felső kritikus hőmérséklet az a hőmérséklet, amelyen a vezető belógása -5°C -on pótteherrel ugyanakkora, mint csupaszon $+40^{\circ}\text{C}$ -on.

A t_{fkr} hőmérséklet is az állapotegyenletből határozható meg:

$$\frac{a^2 \rho^2 g^2}{24\sigma_{kr}^2} - \frac{a^2 \rho_z^2 g^2}{24\sigma_z^2} = \alpha \left[t_{fkr} - (-5) \right] + \frac{1}{E} (\sigma_{kr} - \sigma_z). \quad (6.-56)$$

Az állapotegyenlet bal oldala nullával egyenlő, mert ha a belógás a két állapotban azonos, akkor a vezető hosszában sem lehet különbség. Miután a kezdeti feltételben kikötöttük, hogy $a > a_{kr}$, így $\sigma_z = \sigma_{max}$, tehát:

$$0 = \alpha (t_{fkr} + 5) + \frac{1}{E} (\sigma_{kr} - \sigma_{max}). \quad (6.-57)$$

Az azonos belógás feltételéből következik, hogy

$$\frac{a^2 \rho g}{8\sigma_{kr}} = \frac{a^2 \rho_z g}{8\sigma_{max}}, \quad (6.-58)$$

ebből a feszültség értéke a t_{fkr} hőmérsékleten:

$$\sigma_{kr} = \sigma_{max} \frac{\rho}{\rho_z}. \quad (6.-59)$$

Ezt a (6.-57) egyenletbe helyettesítve és rendezve:

$$t_{fkr} = \frac{\sigma_{max}}{\alpha E} \left(1 - \frac{\rho}{\rho_z} \right) - 5 \quad ^{\circ}\text{C}. \quad (6.-60)$$

Ha a felső kritikus hőmérséklet $+40^{\circ}\text{C}$ fölött van, akkor a legnagyobb belógás -5°C -on és pótteherrel lép fel, ha pedig alatta, akkor a legnagyobb belógás $+40^{\circ}\text{C}$ -on következik be.

6.2. Feszített vezetők mozgása

A távvezetékek biztonságához nem elegendő, ha a vezetők a külső erőhatásokra méretezzük, hanem arra is figyelemmel kell lennünk, hogy a távvezetékek épségét villamos átívelések, átégések se veszélyeztessék. A vezetők a tartószerkezeteken úgy kell elrendezni, hogy azok sem nyugvó, sem kimozdított (kilendült) állapotukban egymáshoz, más vezetőhöz vagy a tartószerkezethez túl közel ne kerülhessenek. Veszélyes közelségbe kerülhet:

- a szél által kilengtetett, függőszigetelőre szerelt vezető és a tartószerkezet;
- a szél által lengésbe hozott két vezető;
- a zúzmaraterhétől hirtelen megszabaduló és felcsapódó vezető a felette levő vezetőhöz.

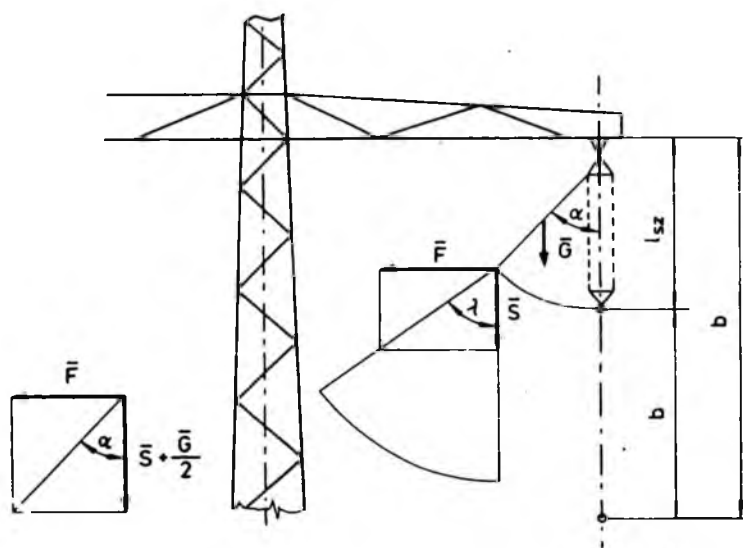
6.2.1. Függőszigetelők kilengése a tartószerkezethez

Nyomvonalra merőleges, egyenletes szélnyomás hatására nemcsak a vezető, hanem a függőszigetelő is kileng és feszültség alatt álló alsó szerelvénye a földelt oszloptörzshöz, ill. keresztartóhoz közelebb kerül, mint nyugalmi távolsága. A megközelítési távolság

ellenőrzéséhez a szigetelő kilengési szögét kell ismerni. A szigetelőre, és az általa tartott vezetőre, vízszintes irányban az F szélerő, függőleges irányban pedig a szigetelőlánc fele súlya ($G/2$ a szigetelő vezeték felőli végpontjára redukált súlyerő) és a csupasz vezető súlya (S) hat.

A szélerőt a (6.-6) képlettel kell számolni, amelyben A értéke a szigetelő két oldalán levő fél-fél oszlopköz csupasz vezetőjének felülete (a szigetelő felületét elhanyagoljuk). A vezető súlyát (6.-1) összefüggés segítségével a két szomszédos oszlopköz fél-fél vezetőhosszával számítjuk. Ezekkel a szél- és a súlyerőkkel a szigetelő kilendülési szöge (6.2.-1. ábra):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{\frac{G}{2} + S} \quad (6.-61)$$



6.2.-1. ábra Függőszigetelő kilendülése

Ha ez a szög 50° -nál nagyobbra adódna, a megközelítési távolság ellenőrzésekor akkor is csak 50° -ot veszünk figyelembe, mivel tapasztalat szerint a szigetelőlánc 50° -nál jobban nem szokott kilengeni.

6.2.2. A vezetők összelengése

A vezetők vízszintes irányú kölcsönös elrendezését a vezetők összelengésének vizsgálatával határozhatjuk meg.

A nagyobb sebességű szél mindig löketes, és ilyen hatásra a vezetők nem maradnak meg kilengetett helyzetükben, hanem lengő mozgásba jönnek. Mivel a szellökések a szomszédos vezetőket nem egy időben érik és függőleges terhelésük sem pontosan azonos, lengéseik nagysága és periódusa általában eltér egymástól, ezért veszélyes közelségbe kerülhetnek egymáshoz. Ez együttlengést és nem szembelengést jelent.

Kiindulási feltételünk, hogy a vezetőre ható szélerő a (6.-6) összefüggés által számolt értékig tetszőleges nagyságú lehet, de a szél irányba eső vezetőre ható szélerő mindig nagyobb, mint a szél által később ért vezetőre ható szélerő (szélárnyék hatás). Ez a feltételezés a fizikai valósággal éppen a mértékadó esetekben egyezik meg. Ezért a szél által később ért vezető szélesebességét 20%-kal csökkentjük, és mivel éppen ennél adódik a legkedvezőtlenebb helyzet, a többi esetet szükségtelen vizsgálni. A szélesebesség 0-tól v_{\max} -ig

változhat. A kisebb sebességű szelek szélerejét egy 0...1 közé eső x változó segítségével számíthatjuk a maximális szélesebségből:

$$v_x = xv_{\max}, \quad (6.-62)$$

és így a szélereő:

$$F_x = Cv_x^2 = Cx^2v_{\max}^2 = x^2F_{\max} \quad (6.-63)$$

ahol C a sebességtől nem függő tényezőkből adódó állandó.

A kilendülési szög:

$$\operatorname{tg} \lambda_x = \frac{F_x}{S} = \frac{Cv_x^2}{S} = x^2 \operatorname{tg} \lambda_{\max}, \quad (6.-64)$$

A szél sebessége a szél által később ért, azaz szélirányban hátrább fekvő vezetőnél:

$$v_x = 0,8xv_{\max}. \quad (6.-65)$$

Vizsgáljuk meg két adott felfüggesztési pontú vezető egymáshoz képest elfoglalt helyzetét, ha fúj a szél. A szél által előbb ért vezetőre vonatkozó mennyiségek indexe legyen 1-es, míg a szél által később ért másik vezetőre vonatkozó mennyiségeké 2-es.

A vezetőkre ható szélereő:

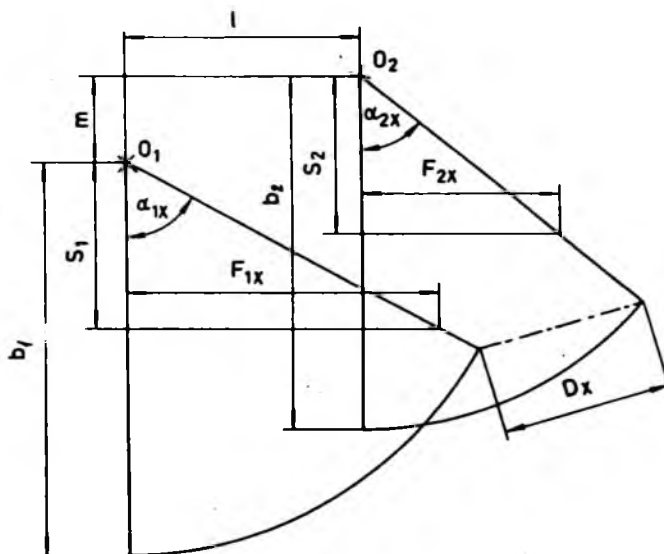
$$F_{1x} = x^2F_{1\max}, \quad F_{2x} = x^2F_{2\max}, \quad \text{ill. } F_{2x} = x^2 \cdot 0,8^2 \cdot F_{2\max}. \quad (6.-66)$$

A kilendülési szögek tangense (6.2.-2. ábra):

$$\operatorname{tg} \lambda_{1x} = \frac{F_{1x}}{S_1} = \frac{x^2F_{1\max}}{S_1} = x^2 \operatorname{tg} \lambda_{1\max}, \quad (6.-67)$$

illetve

$$\operatorname{tg} \lambda_{2x} = \frac{F_{2x}}{S_2} = \frac{x^2 \cdot 0,8 \cdot F_{2\max}}{S_2} = x^2 \operatorname{tg} \lambda_{2\max}. \quad (6.-68)$$

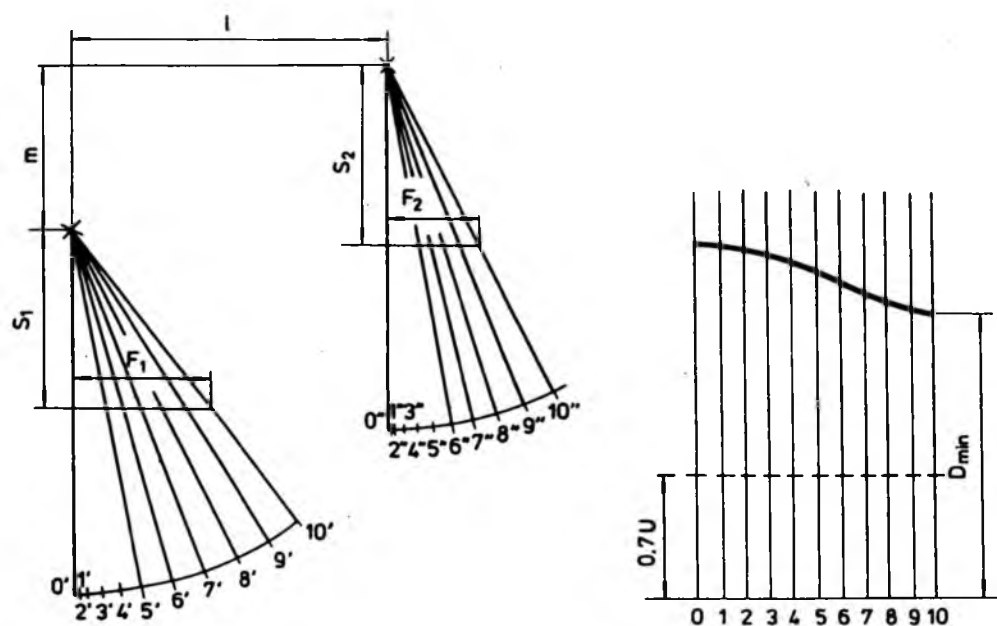


6.2.-2. ábra Két kilentett vezető távolsága

A 6.2.-2. ábra alapján a D_x távolság könnyen számolható. A gyakorlatban x értékeit célszerűen 1,0; 0,9; 0,8... stb. értékekre vesszük fel, s ezekkel az értékekkel számolt D_x értékek közül a legkisebbet meghatározzuk (D_{min}).

A (6.-67) és a (6.-68) összefüggések alapján a D_{min} távolság szerkesztéssel is könnyen meghatározható: Léptékhelyesen felrajzoljuk a két felfüggesztési pontot, majd tőlük függőlegesen lemérjük S_1 és S_2 értékét.

- A végpontokból vízszintesen, a felvett széliránynak megfelelően felmérjük a különböző x értékekhez tartozó F_{1x} és F_{2x} értékeket.
- A felfüggesztési pontból ezeket a pontokat a kilendülő vezető által leírt körívre vetítjük.
- Jelöljük az így kapott pontokat az x érték tízszeresével, és a szél által előbb ért vezető esetén egyvesszős, a hátrább levő vezető esetén kétvesszős értékkel (6.2.-3. ábra).
- Ezután rendre meghatározzuk a 10' - 10", 9' - 9" stb. távolságokat. Ha közülük valamelyik kisebb, mint az előírt biztonsági távolság, akkor az elrendezés nem felel meg.



6.2.-3. ábra Összelengés szerkesztése

6.2.3. A vezetők felcsapódása

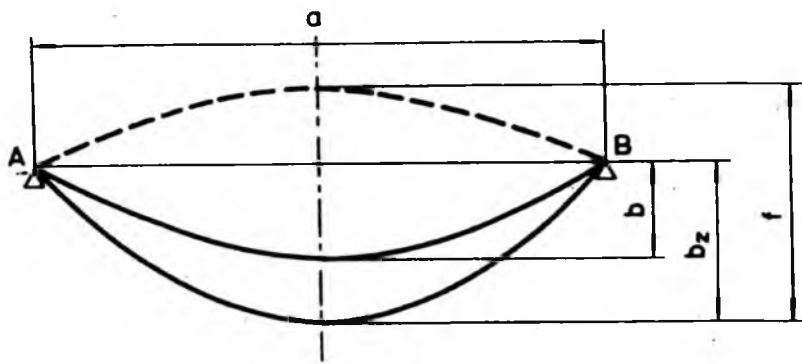
Függőleges síkban egymás fölött levő vezetők távolságának meghatározásakor figyelembe kell vennünk azt az esetet is, ha az alsó vezető a póttehertől hirtelen megszabadulva felcsapódik a felső vezető felé, amelyen a pótteher megmarad (6.2.-4. ábra).

A felcsapódás nagyságát a következő gondolatmenettel határozhatjuk meg. Miközben a vezetőre fokozatosan $[Z] = N$ pótteher rakódik a belógása b -ről b_2 -re növekszik,

$$W_1 = 0,5(b_2 - b)Z \quad \text{J} \quad (6.-69)$$

energia halmozódik fel benne. Amikor a pótteher hirtelen lehull, ez a vezetőben tárolt energia a vezetőt $[f] = m$ magasságra emeli. A végzett munka, ha $[S] = N$ a csupasz vezető súlya:

$$W_2 = fS \quad \text{J.} \quad (6.-70)$$



6.2.-4. ábra A vezető felcsapódása

Miután a tárolt energia éppen a helyzeti energia változásával egyenlő, a felcsapódás értéke:

$$f = 0,5(b_z - b) \frac{Z}{S} \text{ m.} \quad (6.-71)$$

6.3. A vezetékrendezés méretszabályai

A vezetékeknek egymáshoz a tartóvezetékekhez, valamint a környezethez viszonyított elhelyezésére vonatkozó szabályokat és méretadatokat az MSZ 151 "Erősáramú szabadvezeték" c. szabvány foglalja össze. E szabványelőírások részletes ismertetésére — amely a tapasztalatokból leszűrt és a mindenkori gyakorlathoz alkalmazkodó előírásokat tartalmazza — a nagy terjedelme miatt nincs mód.

A legfontosabb kérdésekre mégis rá kell mutatni, amelyek gyakorlati útmutatást adnak a szabvány alkalmazásához.

6.3.1. Biztonsági intézkedések

A szabadvezetéseket és tartozékait úgy kell szerelni, hogy a rendes üzemben feszültség alatt álló részek külön segédeszközök nélkül a földről, épületről vagy más, emberek által megközelíthető helyről véletlenül ne legyenek megérinthetők, ill. veszélyesen megközelíthetők. (A közvetlen érintés elleni védelem szabályai.)

A közvetett érintés elleni védelem szempontjából be kell tartani az erősáramú villamos berendezésekre vonatkozó szabvány rendelkezéseit (pl. földelések kialakítása).

Különös gondot kell fordítani a hidak és a felüljárók alatt feszített vezetékek felülről történő érintése elleni védelemre, amelyre vonatkozó előírásokat esetről-esetre a hatóságok rendelkezései szabályoznak.

A szabadvezeték szabvány előírásainak megfelelően létesített szigetelt szabadvezeték a vétlen érintés elleni védelem igényét kielégíti és csupasz tartósodronya nullavezetőként felhasználható.

6.3.2. A vezetők föld feletti magassága

A vezetők föld feletti magasságát az élet- és a vagyon-, valamint az üzembiztonságra való tekintettel úgy kell megszabni, hogy a vezető bármely pontjának földtől való távolsága ne legyen kisebb, mint a 6.3.-1. táblázatában feltüntetett távolságok. Ha a szabadvezeték

feszültsége 120 kV-nál nagyobb, akkor az 6.3.-1. táblázat értékeit 0,7 ($U-120$) cm-rel kell növelni (U értéke kV-ban helyettesítendő).

Különböző előírásokat kell tehát betartani attól függően, hogy a vezeték milyen feszültségű, milyen forgalmú, telepítésű, és alakulatú terep felett halad végig. A vezetők felfüggesztési pontjának magasságát úgy kell megválasztani, hogy az oszlopközben kiadódó legnagyobb belógás esetén is a földtől való távolság legalább az 6.3.-1. táblázatban megadott nagyságú legyen.

E magasságok betartásánál a terep kisebb egyenatlenségeit nem kell figyelembe venni. A megadott értékek minimális értékek, és mivel a belógás még pontos szerelés esetén is 2...3%-kal eltérhet a számítottól, ezért célszerű az előírt magassági értékeket 5...10%-kal megnövelni.

6.3.-1. táblázat

Sor- szám	A terület jellege	Legkisebb földtől mért távolság, m	
		1000 V és ennél kisebb	1000 V-on felül
		feszültségnél	
1.	Külterületen, ahol a vezeték alatt rendes körülmények között a) csak gyalogjárók közlekedhetnek b) járművek is közlekedhetnek	4,5 5,0	5,0 6,0
2.	Töltés, meredek hegyoldal, part megközelítésénél a vezetőknek a szél által kilengetett helyzetétől a talajig mért távolsága a) ha ott csak gyalogjárók közlekedhetnek, b) ha ott járművek is közlekedhetnek	4,5 5,0	5,0 6,0
3.	Belterületen	5,5	7,0
4.	Szőlőben, kertben (ha a növények magasságára nem kell figyelemmel lenni)	5,0	6,0
5.	Körülkerített területen, transzformátorhoz, kapcsolóházhoz csatlakozó vezeték alatt, ha ott járművek nem közlekedhetnek	3,0	4,0
6.	Szigetelt szabadvezeték gyalogjáró felett épületfalra szerelve	4,0 3,0	- -

6.3.3. A vezetők kölcsönös távolsága

A tartószerkezeten a vezetők — a villámvédő vezetőt is beleértve — úgy kell elrendezni, hogy pótteher nélkül, vagy a mértékadó pótteher alatt, vagy a szél által nyugalmi helyzetükből kilengetve sem egymáshoz, sem más feszültség alatt álló-, vagy földelt vezetékhez olyan közelségbe ne kerüljenek, hogy a feszültség átütést, vagy átívelést okozhasson.

Az 1000 V-nál nagyobb feszültségű csupasz szabadvezetéken a vezetők távolságát — a legnagyobb belógás helyén — szerkesztéssel vagy számítással kell megállapítani. Ez a biztonsági távolság $[0,7 U] = \text{cm}$, ahol $[U] = \text{kV}$ -ban helyettesítendő (6.3.-1. ábra).

Nem szükséges a vezetőtávolságot szerkesztéssel, vagy számítással megállapítani, ha a lengőhossz $[b_h] = m$, — amely a 40 °C hőmérsékleten kiadódó belógásnak és a szigetelőlánc hosszának az összege — 4,5 m-nél kisebb és a biztonsági távolság f legalább :

$$f = 0,2b_h + 65 + 0,7U \quad \text{cm}, \quad (6.-72)$$

$[f] = \text{cm}$ a vezetők egymástól való távolsága nyugalmi helyzetükben a legnagyobb belógás helyén; $[b_h] = m$ a lengőhossz;

$[U] = \text{kV}$ a névleges feszültség.

Az 1000 V-nál kisebb feszültségű szabadvezetéken a vezetőket a tartószerkezeten úgy kell elrendezni, hogy a legnagyobb belógás helyén egymástól legalább a következő távolságra legyenek:

- a) ha b_{40} , azaz a 40°C-on számolt belógás kisebb mint 70 cm, akkor a távolság:
 - vízszintes elrendezésnél annyi centiméter legyen, ahány méter az oszlopköz,
 - ferde elrendezésnél, ha a vezetők vízszintes vetülete kisebb mint 20 cm, akkor a vízszintes elrendezésnél számolt távolság 5 cm-rel csökkenthető;
- b) ha b_{40} nagyobb mint 70 cm, akkor a biztonsági távolság f legalább

$$f = 0,2b_{40} + 30 \quad \text{cm}. \quad (6.-73)$$

Az a) és a b) pont alatti képletek helyett a vezetők nyugalmi távolságát a lengések szerkesztésével, vagy számításával is meg lehet határozni, úgy, hogy a szél által kilengetett vezetők a megengedettnél jobban ne közelítsék meg egymást.

A vezetőtávolságokra vonatkozó szabványelőírásokat a jobb áttekinthetőség érdekében táblázatos formában is megadtuk (6.3.-2. táblázat).

A felcsapódásból származó vezetőközeledés vizsgálatára nincs általánosan elfogadott módszer. Ezt a 6.2.3.-ban ismertetett számítással kielégítő pontossággal ellenőrizhetjük, s a biztonságot a szabvány gyakorlatból leszűrt rendelkezéseivel csak fokozhatjuk.

Ugyanazon függőleges síkban egymás felett haladó vezetőket faoszlopokon legfeljebb 80 m, acél vagy acélbeton oszlopokon legfeljebb 40 m oszlopközig szabad alkalmazni, vagy pedig a függőleges síkban az egymástól való távolságot olyan nagyra kell választani, hogy az oszlopköz felében a vezetők akkor se közeledhessenek egymáshoz 0,7U-nál kisebb távolságra, ha az alsó vezető a pótteherrel hirtelen megszabadulva felcsapódik a felső vezető felé, amelyen a pótteher megmarad. A közölt oszlopközöknél nagyobb oszlopközök esetén az egyik felfüggesztési pontot — a másik vezetón áthaladó függőleges síktól vízszintes irányban — el kell tolni (6.3.-1. ábra):

Nagyfeszültségen:

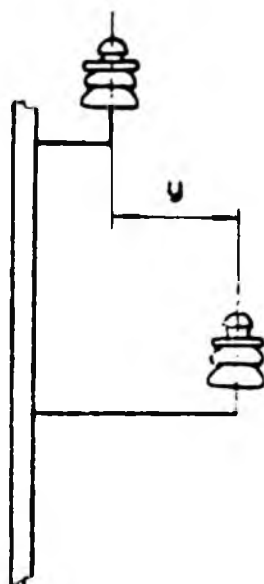
$$y = 0,7U + 20 \quad \text{cm}, \quad \text{de} \quad y_{\min} = 50 \quad \text{cm}, \quad (6.-74)$$

ahol $[U] = \text{kV}$ a szabadvezeték névleges feszültsége.

Kisfeszültségen:

$$y = 20 \quad \text{cm}. \quad (6.-75)$$

Köteges vezeték egyes vezetői között az előzőekben előírt vezetéktávolságokat nem kell betartani, de gondoskodni kell arról, hogy a zárlati áram dinamikus hatása vezetékszakadást vagy veszélyes kilengést ne okozzon.



6.3.-1. ábra Egymás felett haladó vezetők eltolása

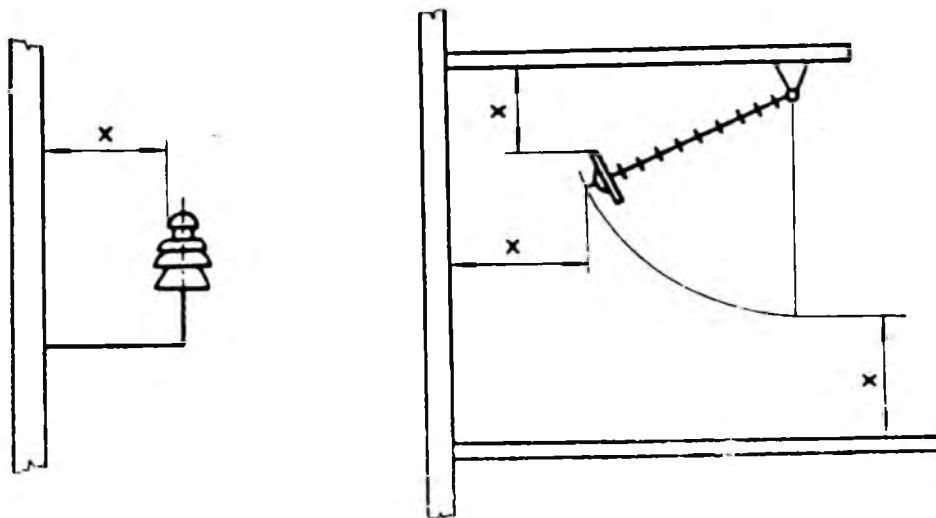
6.3.-2. táblázat

A vezetőtávolságok vonatkozó szabványelőírásai

1000 V feletti nagyfeszültségű Szabadvezetékek	$b_h \geq 4,5 \text{ m}$;	szerkesztve vagy számítva $D_{\min} = 0,7U \text{ cm}$
	$b_h < 4,5 \text{ m}$;	$f = 0,2b_h + 65 + 0,7U \text{ cm}$
1000 V alatti (kisfeszültségű) szabadvezetékeken	$b_{40} \leq 70 \text{ cm}$	$f = \frac{a}{100} \text{ cm}$ (a az oszlopköz cm-ben)
		Ferde elrendezés esetén, ha a vezetők távolságának vetülete legalább 20 cm $f = \frac{a}{100} - 5 \text{ cm}$
	$b_{40} > 70 \text{ cm}$	$f = 0,2 b_{40} + 30 \text{ cm}$
	Lengési szerkesztés vagy számítás esetén a szél által kilengett vezetékek ne érintkezzenek	

6.3.4. A vezetők távolsága a tartószerkezettől

Álló szigetelők esetében a vezetők tartószerkezethez viszonyított helyzete rögzített. Függő szigetelők azonban a szél nyomására a rájuk függesztett vezetőkkel együtt kilengenek és így a vezető, ill. a feszültségen levő tartószerelvény (lengőszorító) mind az oszloptörzshöz, mind a kereszttartóhoz közelebb kerül. Mind a nyugalmi, mind pedig a szél által kilengett állapotban a feszültség alatt álló vezetők, szerelvények és a földelt tartószerkezetek között megfelelő biztonsági távolságot kell tartani (6.3.-2. ábra). A biztonsági távolság $[x] = \text{cm}$ adatait a névleges feszültség $[U] = \text{kV}$ függvényében a 6.3.-3. táblázat tartalmazza.



6.3.-2. ábra. Feszültség alatt álló vezetők távolsága a tartószerkezettől

6.3.-3. táblázat

Feszültség alatt álló vezetők biztonsági távolsága a földelt tartószerkezettől

A vezetőre ható szél- és súlyerőből számított α szög	Biztonsági távolság [x] = cm, ha a vezeték feszültsége [U] = kV.				
	≤ 20	25	120	220	400
0,33- szoroságig	nincs előírás				280
0,80-szoroságig	20	25	84	154	210

6.3.5. Megközelítések és keresztezések

Az erősáramú szabadvezeték szabvány a később felsorolandó létesítmények vagy helyek megközelítése vagy keresztezése esetén a normálnál nagyobb, ún. megnövelt biztonságú szabadvezeték készítését írja elő. Ilyen esetekben az élet- és a vagyonbiztonságon túlmenően további biztonsági követelményeket kell betartani. A megnövelt biztonságú szabadvezeték lehet:

- fokozott biztonságú vagy
- különleges biztonságú.

A szabvány természetesen rendelkezik arról is, hogy a megnövelt biztonság két fokozata közül mikor melyiket kell alkalmazni. Az előírások nemcsak a tervezés, hanem a megvalósítás, a szerelés, a szerelvényezés és a karbantartás vonalán is mindenkor érvényesítendőek.

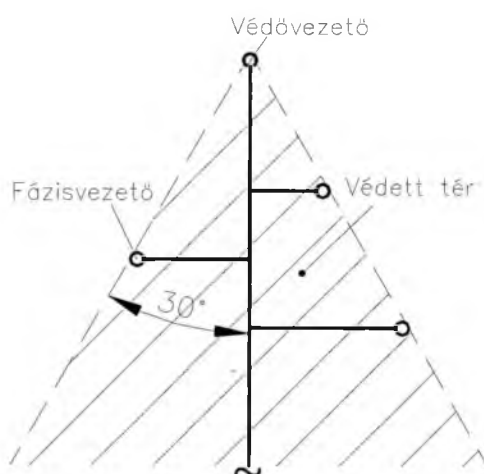
Azon esetek, amikor a szabadvezetékek fokozott vagy különleges biztonsággal létesítendőek a következők:

1. út megközelítése és keresztezése;
2. folyók, nyílt vizek megközelítése és keresztezése;
3. híd megközelítése, keresztezése és felhasználása átvezetésre;
4. mezőgazdasági terület megközelítése és keresztezése:
 - öntözött vagy permetezett terület, kerítések,
 - fák, fasorok, erdők, gyümölcsösök;

- komlótelepek;
- 5. erősáramú szabadvezeték megközelítése és keresztezése;
- 6. épület, építmény megközelítése és keresztezése;
- 7. magas műtárgy (antenna, víztorony) megközelítése és keresztezése;
- 8. csővezeték megközelítése és keresztezése;
- 9. rádióállomás, adóantenna megközelítése;
- 10. repülőtér megközelítése;
- 11. nyomvonalhoz kötött szállítóberendezés megközelítése és keresztezése.;
- 12. vezetékes távközlési berendezés megközelítése és keresztezése.

6.3.6. Villámvédő vezető

A nagyfeszültségű szabadvezetékek megelőző túlfeszültség-védelmeként védővezetőt szoktak alkalmazni ($U \geq 120$ kV). Elrendezését a tartószerkezeten nemcsak az összelengés veszélye befolyásolja — amelyet a már leírt összelengési vizsgálat szerint lehet meghatározni — hanem a védővezető rendszerint legfontosabb rendeltetésének, a túlfeszültség-védelemnek a szempontjai is. A védővezető a túlfeszültség-védelem követelményeit akkor elégíti ki, ha közvetlen villámcsapások a védendő fázisvezetőket gyakorlatilag nem érik, de közvetett villámkisülések, ún. visszacsapások is csak ritkán okoznak a szabadvezeték üzemében zavart vagy sérülést. A védővezetők védelmi terének meghatározására számos módszer ismert, a legegyszerűbb az ún. 30° -os szögek módszere. A védővezető védett tere egy vízszintesen fekvő háromszögalapú hasáb, amelynek egyik éle a védővezető. A védővezetőből kiinduló határoló síklapok a függőlegessel 30° -os szöget zárnak be (6.3.-3. ábra). Ezt, az ábrán φ -vel jelölt szöget védőszögnek nevezik.



6.3.-3. ábra Védővezető védett tere

6.4. Szabadvezetékek építése, szerelése

Ha a szabadvezetékek tervezése és a megfelelő engedélyek beszerzése után a nyomvonal kijelölése megtörtént, elkezdődhet a tényleges kivitelezés, azaz az építés, szerelés.

6.4.1. A szerelés előkészítése

Az előkészítés és az anyagszállítás igen gondos szervezőmunkát igényel. Ilyen nagy volumenű munkánál, — mint például egy nagyfeszültségű távvezeték építése — a szervezési feladatok megfelelő szintű ellátása legalább olyan fontos, mint a műszaki feladatoké. Az előkészítő tevékenység az építéshez szükséges anyagok beszerzésével kezdődik. Biztosítani kell, hogy az oszlopokat gyártó cégek a legyártott oszlopokat, vagy rácsos oszlop esetén azok szerkezeti részeit a megfelelő vasúti állomásra juttassák. A rácsos acéloszlopok alapozásához szükséges sóder és cement mennyiséget a nyomvonal mentén megfelelően kell elosztani. Ma már a legtöbb fizikai munkát gépek végzik, vagy nagymértékben segítik. Gondoskodni kell tehát a megfelelő munkagépek beszerzéséről és helyszínre juttatásáról.

Egy hosszú vezeték építése a nyomvonal mentén több helyen, — ún. szerelés-vezetőségekhez tartozó nyomvonalszakaszokon — egyszerre készül. Fontos feladat, hogy a szállítási útvonalat célszerűen jelöljük ki, mert a szerelési anyagokat (oszlopelemek, sóder, cement, szigetelők, sodronyok és szerelvények) a megfelelően megválasztott vasútállomásról ideiglenes raktárakba kell szállítani és megfelelő vagyonsvédelemmel ellátni. A nyomvonal mellett felállított ideiglenes raktárakból az építés sorrendjében kell az anyagokat a helyszínre szállítani. Először az alapozáshoz szükséges sódert és cementet kell teherautóval az oszlophelyekre vinni. A földmunkagépek általában önjárók, így csak a betonozáshoz szükséges gépeket, majd a földelőket és végül az oszlopot kell az oszlophelyre juttatni.

Az oszlopállításban szintén önjáró daruk segítenek, de a megfelelő termelékenység biztosítása céljából igen összehangolt tevékenységet kíván az alapozás és az oszlopállítás munkafázisa. A sodronyokat speciális dobszállító járműveken szállítják a nyomvonal megfelelő, kijelölt pontjaira. A szerelvények szállítása után a vezetékek terítését és beszabályozását is erre a célra kialakított külön gépcsald végzi.

6.4.2. Alapozási munkák

Az alapozás az oszlop anyagától, terhelhetőségétől és a szerkezetétől függően más és más. Beton és fa egyes oszlopokat nem kell alapozni, legfeljebb laza talaj esetén támasztólemezzel kell ellátni. Beton és fa oszlopszerkezetek részére sem készül külön alap, de az oszlopok talajszint alatti megtámasztását ezekenél is el kell végezni.

A nagyfeszültségű szabadvezeték acéloszlopai rácsos szerkezetűek és általában osztott lábúak, azaz négy különálló alaptesthez vannak rögzítve. Ettől a gazdaságos megoldástól csak igen indokolt esetben (beépített terület stb.) térnek el. Középfeszültségű acéloszlopok esetében viszont gazdaságos a zárt törzsű oszlop egybefüggő betonlappal

Az alapozás az alapgödör kitűzésével kezdődik. A teodolittal és a mérőléccel pontosan kitűzött alapokat ma már földmunkagépek mélyítik ki. A kis- és középfeszültségű külön alapot nem igénylő oszlopszerkezetek alapgödört gépkocsira szerelt földfúrók fúrják.

Az alapozás következő fázisa a beton készítése és bedolgozása. A betöltött betont csömöszöléssel vagy vibrátorral tömöríteni kell.

Rácsos acéloszlopok oszlopconkra állítva készülnek. Az oszlopconkokat az alaptest betonjába rögzítik. A conkokat az oszloppal csomólemezek segítségével csavarozzák össze.

A csomók beállítása igen gondos munkát igényel, ezért azt fémből készült beállítókerettel végzik. A beállítókeretet, a négy csomkhoz rögzítik és az így megfogott csomkokat bebetonozzák.

Az alapok készítésével egyidejűleg telepítik a földeléseket is. A rúd földelőket gépek mélyítik le, a nagy oszlopok keretföldelőit a kiásott alap gödörbe helyezik.

6.4.3. Oszlopkészítés

Az alapozást az oszlopszerelés munkafázisa követi. Kis és középfeszültségen vasbeton és faoszlopok esetében ez viszonylag egyszerű. Vasbeton tartóoszlopoknál csak a kereszt és a csúcstartókat, valamint a szigetelőket kell felszerelni, faoszlopoknál még a betongyámat kell az oszlophoz erősíteni.

Oszlopszerkezeteknél az előbb elmondottakat a szerkezet összeépítése előzi meg. Középfeszültségű rácsos acéloszlopok törzse szakaszonként készül. Az összehegesztett szakaszok összezsavarozása után kerül sor az oszlopfejszerkezet elemeinek felerősítésére.

A nagyfeszültségű oszlopok elemekből vagy elemcsoportokból készülnek. Ezeket a szállítási okokból kis egységeket a helyszínen csavarozzák össze. *Ahol a hely lehetővé teszi, ott vízszintes helyzetben szerelik össze az oszlopot és függőleges helyzetbe állítják.* Ha a földön történő szerelésre nincs mód, vagy az oszlop méretei miatt a kész oszlop állítása okozna nehézséget, az oszlopot függőleges helyzetben daruval vagy a meglévő oszlophoz erősített ún. szerelőbika segítségével építik. Az építő bika szintén rácsos szerkezetű négyszög keresztmetszetű vasoszlop, melyet alsó részénél az oszlophoz rögzítenek, a tetején levő csigát pedig négy irányban kikötik. Ez a szerelési mód nehéz körülmények között dolgozó tapasztalt szakembereket igényel, ezért csak ott alkalmazzák, ahol elkerülhetetlenül szükséges (pl. Duna-torony). A földön elkészített oszlopszerkezet többféleképpen állítható. A kisebb oszlopokat, így a fa-, ill. vasbeton oszlopokat, de a középfeszültségű rácsos szerkezetű oszlopokat is autódaruval állítják fel. Az oszlopokat addig tartja a daru, ameddig a föld visszatöltése, ill. dögölése be nem fejeződik, vagy vasoszlopok esetén, amíg a szerkezetet az oszlop csomokra erősítik. Daruval nagyfeszültségű oszlop is állítható, természetesen nagy gémkinyúlású és teherbírású különleges darukra van szükség.

6.4.4. A vezetékhúzás és a beszabályozás

A sodronyokat dobon szállítják a helyszínre. A dobokat fékes dobállványra helyezik és fékezőgépen keresztül kötik össze az előkötéssel.

Az előkötélet a behúzást végző gépcsörlőtől a dob helyig a szigetelőkre függesztett terelőkerekeken átvezetve kell eljuttatni. A dob hely és a csörlő hely egy-egy feszítőoszloppal határolt feszítőköz két végén van kialakítva. A vezetékek behúzása, — különösen köteges vezető egyszerre behúzott sodronyai esetében — igen nagy gondosságot igényel, ezért a levegőben haladó vezetékek figyelését végző személy mind a csörlő- mind a dob helyel rádióösszeköttetést tart fenn. A vezeték behúzását (terítését) követő művelet a beszabályozás. Ezen azt a műveletet értjük, hogy az egyik feszítőoszlophoz rögzített és a terelőkerekeken átvezetett vezetőt a csörlővel úgy húzzuk meg, hogy a vezeték belógása az előírt érték legyen. A mindenkori hőmérsékletre tartozó belógásértékeket előre, szerelési táblázat formájában el kell készíteni. A belógást általában két oszlopra rögzített vízszintes benézőléc segítségével ellenőrzik. A mérést végző dolgozó irányítására feszítik vagy eresztik a vezetőket, míg a két lécs és a vezető mélypontja egy egyenesbe nem esik. Beszabályozás után először a végkötést készítik el, majd a vezetékeket a szigetelőkre erősítik. Ezt követően felhelyezik a szerelvényeket (ívvédő szerelvények, kötegelő lécek, jelzőgömbök stb.).

A szerelés befejezése után helyezik el a tiltó táblákat és az oszlopok sorszám tábláit.

6.5 Kábelfektetés

6.5.1. A nyomvonal kijelölése

A kábel nyomvonalát a két összekötendő villamos berendezés között a lehető legrövidebbre kell választani. A kábel viszonylag nagy értékű berendezés, amely az esetek többségében a földbe lesz fektetve: ez a művelet elég költséges, különösen lakott területen, ahol burkolattal ellátott járda vagy esetleg úttest alá kerül, és a fektetés sokszor csak kézi erővel végezhető. Ezért a kábel nyomvonalának megválasztásakor alapvető szempont, hogy külső káros hatások a kábelt ne érhessék, és a föld felszínéről a kábel nyomvonalára meghibásodás esetén egyértelműen elérhető legyen, a feltárás és a kijavítása könnyen és gyorsan elvégezhető legyen.

Összefoglalóan a kábel nyomvonala tehát:

- a lehető legrövidebb legyen;
- a meglévő vagy tervezett létesítmények falával vagy nyomvonalával (út; vasút, csövek, kábelek) lehetőleg párhuzamosan haladjon, ill. merőlegesen keresztezze;
- kerülje el az agresszív vegyi anyagokat tartalmazó vagy fertőzött talajt, a salakfeltöltést, ill. a külső hőhatásnak kitett területeket (pl. távfűtés). Ha ez nem megoldható, a kábel védelméről természetesen gondoskodni kell:
- tegye lehetővé a kábel kellő mélységben (általában 70 cm) történő elhelyezését;
- ne igényeljen a szükségesnél nagyobb mechanikai védelmet.

A kábel nyomvonalának az előző szempontokat figyelembe vevő megtervezése után a végleges kábel nyomvonal megállapítása hatósági eljárás keretében történik. Miután a kábel közműveket közelít meg vagy keresztez, ezért a megközelített ill. keresztezett létesítmény üzemeltetőjével a terveket egyeztetni kell, azok engedélye a keresztezésekhez szükséges.

Az elkészült kábel nyomvonaláról pontos térképet kell készíteni, amelyen fel kell tüntetni a kábel által megközelített, ill. keresztezett létesítményeket is, valamint azokat a külszínen egyértelműen meghatározható fix pontokat, amelyekhez viszonyítva a térkép alapján a kábel nyomvonala biztonsággal, pontosan megtalálható.

6.5.2. A kábelfektetés előkészítése

A kábel fektetéséhez a szükséges anyagokat meg kell rendelni, és megfelelő ütemben a helyszínre szállítani. Miután a kábelfektetés sokszor burkolatbontással jár, és közműveket keresztez, ezért más tevékenységeket jelentősen akadályoz, ezért a lehető legrövidebb időn belül a burkolat helyreállításával bezárólag a fektetési tevékenységet be kell fejezni. Ennek egyik legfontosabb előfeltétele a megfelelő munkaszervezés és az anyagbiztosítás.

A kábeleket megfelelő méretű kábeldobra tekercselve szállítják. Minden dobon pontosan fel van tüntetve a kábel jele, gyártási éve, keresztmetszete és feszültsége, valamint hosszúsága. A kábeleket vasúton vagy gépjárművel lehet a helyszínre szállítani. Nagyobb kábelfektetési munkálatokhoz ajánlatos külön e célra készült kábelszállító kocsit biztosítani. A kábelek hosszát a gyártási és a szállítási lehetőségek korlátozzák. Ezekre a szempontokra már a kábel megrendelésekor gondolni kell, és fokozottan ügyelni kell arra is, hogy lehetőleg minél kevesebb kábelkarmantyú kerüljön beépítésre, mert a kábelösszekötések hibalehetősége sokkal nagyobb, mint magáé a kábelé.

A kábel, még alumínium köpeny és ér esetén is több tonna súlyú, így mozgatása különleges óvatosságot igényel. A kábelt a fektetés napján célszerű a helyszínre szállítani, mert könnyen érheti egyébként észrevétlen sérülés, amely később üzemzavart okozhat.

A kábelfektetéshez szükséges anyagok szállítását úgy kell ütemezni, hogy a kábelt

folyamatosan lehessen fektetni. A homok, téglá, beton vagy műanyag védőcső elhelyezése a nyomvonal mentén úgy történjen, hogy se a közlekedést, se az esővíz elfolyását ne gátolja.

A nyomvonal érintett föld feletti és föld alatti létesítményeket üzemben tartó vállalatokat a munka megkezdése előtt három nappal értesíteni kell a munka megkezdésének időpontjáról és várható időtartamáról.

6.5.3. A kábelfektetés főbb szempontjai és módjai

Az erősáramú kábel fektetését szakképzett munkaerő irányításával úgy kell végezni, hogy a kábel se belső, se külső sérülést ne szenvedjen. Azaz, se a köpenyszerkezet, se a szigetelés ne repedjen, törjön, mert ez a kábelvonal idő előtti meghibásodására vezetne.

Az ilyen jellegű sérülések elkerülésére a következő követelményeknek kell eleget tenni a fektetés során:

- a kábel, ill. a külső hőmérséklet nem lehet kisebb, mint 4°C papírszigetelésű kábel esetén. Műanyag szigetelésű kábel 0°C-ig fektethető;

(Azon igen ritka esetekben, ha a kábel fektetésére mégis ilyen hőmérsékleti körülmények közepette kerül sor, a kábelt megfelelően elő kell melegíteni, és ezután a fektetés fokozott gondossággal elvégezhető.)

- a kábeleket csak meghatározott hajlítási sugárnál nagyobb sugárral szabad meghajlítani. A hajlítási sugár értékét a kábelátmérő és a kábeltípus szerint termékszabvány írja elő.

A hajlítási sugár tájékoztató értéke:

- műanyag-szigetelésű kábelnél az átmérő tízszerese;
- telített papírszigetelésű kábelnél az átmérő hússzorosa;

- a kábel a fektetés során nem csavarodhat meg, ill. a megengedettnél nagyobb húzóigénybevétel nem érheti;

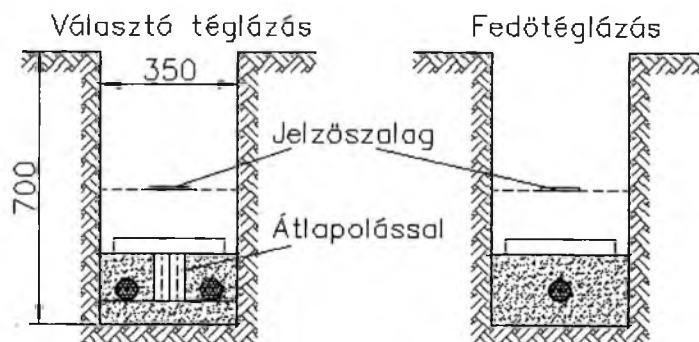
- a kábelvégek csak a szerelés és a mérés időtartama alatt lehetnek nyitottak, egyrészt, hogy belőle telítőanyag el ne szívároghasson, másrészt a kábelbe nedvesség ne hatolhasson be;

- sérült vagy hibás kábelt lefektetni tilos!

A kábel fektetése történhet:

- kábelárokba;
- kábelcsatornába vagy kábelalagútba;
- különleges körülményeknek megfelelő egyéb módon.

A leggyakoribb és legolcsóbb kábelfektetési mód a kábelárokba való fektetés. A földbe csak korrózió gátló védőburkolatú kábelt szabad elhelyezni az erre a célra megfelelően kialakított kábelárokba. Ha a kábelt útburkolattal fedett talajba kell elhelyezni, akkor a kábelárok szélességének megfelelően a nyomvonal hosszában a burkolatot fel kell szedni.



6.5.-1. ábra Kábelárok keresztmetszete

A kábelárok méretei általános esetben, tehát gyalogjáró alatt 35 cm szélesség és 70 cm mélység. A kellően megtisztított kábelárok aljára tiszta homokágyat kell készíteni. Az erre fektetett kábelt homok fedőréteggel és fedőtéglázással kell ellátni (6.5.-1. ábra) és 35 cm mélységben, 10 cm széles, villámjellel ellátott, sárga jelzőszalagot kell elhelyezni. A fedőtéglázás célja a kábelfeltáráskor, vagy földmunkák esetén a mechanikai védelem biztosítása, ill. a kábel jelenlétére történő figyelmeztetés.

A gazdaságosság sokszor azt követeli, hogy egy árokba több kábelt is fektessünk. Ez esetben az egyes kábeleket élére állított és átlapolással készített téglasor választja el egymástól. A választó téglasor biztosítja, hogy az egyik kábel zárlati meghibásodása a többi kábel üzemére ne legyen katasztrófa hatással.

A közvetlenül földbe fektetett kábel nyomvonala sok esetben halad olyan helyen keresztül, ahol a földfelszín terhelése a kábel részére meg nem engedhető külső mechanikai terhelést eredményezhet (úttest, kapubejárók). A kábel nyomvonala áthaladhat olyan helyeken is, ahol a kábel újbóli kibontása (pl. meghibásodás esetén) a szükséges időpontban nem lehetséges, vagy nagyon nehezen megvalósítható (vasút, autópálya). Ilyen esetekben, ill. helyeken a kábelt védőcsőben helyezik el. Erre a célra osztatlan, vagy két részből álló cső alkalmazható, amelynek anyaga beton, acél, eternit és egyre gyakrabban műanyag cső lehet. A csőben történő fektetés előnye a mechanikai védelem biztosításán túl, hogy burkolatbontás nélkül lehetővé teszi a kényes keresztezési helyeken történő kábelátvezetést már az első fektetés alkalmával is.

A megfelelő méretű és szilárdságú cső egy erre alkalmas szerkezet segítségével vasúti vagy közúti töltés alatt, ill. a két munkagödör között átréselhető.

A kábel elhelyezésére szolgáló cső belső átmérőjét úgy kell megválasztani, hogy a kábel, ill. kábelek abban bőven elférjenek, cseréjük ne okozzon nehézséget. Közös csőben csak 1 kV-os és ennél kisebb feszültségű jelző-, mérő-, működtető kábeleket szabad elhelyezni. A fektetés során ügyelni kell arra, hogy a csőben ne keresztezzék egymást a kábelek és természetesen toldás sem eshet a csőbe.

Alállomások, erőművek vagy üzemek területén belül — ahol általában sok kábelt kell párhuzamosan fektetni — a kábeleket célszerű kábelcsatornában vagy járható kábelalagútban elhelyezni. Az épületekben történő kábelhelyezésnek is ez a módja.

A kábelcsatorna felemelhető beton- vagy vasbeton, épületen belül recés vaslappal fedett árok, amelynek legtöbbször az alja és az oldalfalai is betonból készülnek. Előfordul, hogy a kábelcsatorna csak egyes helyeken nyitható, ahonnan a kábelfektetés, ill. a szerelés munkaműveletei elvégezhetők.

A csatornába történő fektetés legegyszerűbb módja, ha közvetlenül a csatornaféltre helyezik a kábeleket. Több kábel elhelyezésére nyílik lehetőség a csatorna oldalfalaira kiképzett polcokon vagy tartószerkezeten. Az elhelyezésnek olyannak kell lennie, hogy biztosítsa a kábelekhez való hozzáférhetőséget, és a megfelelő hűlési viszonyokat.

A kábelek egymástól kellő távolságban történő elhelyezését a hűtés biztosításán kívül az esetleges kábelzárlat vagy kábeltűz másik kábelre történő áthatolásának megakadályozása is indokolja.

A tűzveszély csökkentése érdekében a kábelekről a külső gyúlékony burkolatot ajánlatos eltávolítani, ill. célszerű lángolás terjedését fékező (oltógázt fejlesztő) műanyag-burkolatú kábelt alkalmazni.

Épületekben vagy erőművekben, ahol igen nagy számú kábel halad közös nyomvonalon, a kábeleket kábelalagútban helyezik el. A kábelalagút egyik vagy mindkét falán polcokon, "tálcákon" fekszenek a kábelek, szükség esetén a mennyezetre erősítik fel őket. Erre a fektetési módra a kábelcsatornánál elmondottakon kívül még az a jellemző, hogy az alagútban egy 0,8 m széles és legalább 1,9 m magas járható szelvény is van.

A különleges kábelfektetési módok alkalmazására kétféle esetben kerülhet sor. Ha a

kábelnyomvonal vízi utat keresztez, vagy ha bányában, ill. aknában kell kábelt elhelyezni.

Vízi utat keresztező kábelt célszerű hídon átvezetni. Ez legmegfelelőbbben a híd építéskor a gyalogjáró alatt e célra készült csatornában történik. A kábel műanyag vagy alumíniumköpenyű legyen, mert az ólom a hidregés hatására átkristályosodhat, és megrepedhet. A hőtágulásra való tekintettel a hídon lazán kell fektetni a kábeleket.

Vízben, ill. aknában különleges kivitelű, húzó igénybevételnek és külső nyomásnak ellenálló idomacél páncélozású kettős köpenyű kábelt ajánlatos fektetni.

A feszültségpróba egyenfeszültséggel vagy váltakozó feszültséggel végezhető el. A próbafeszültség értéke egyenfeszültség esetén: $4,2U_0$. Váltakozó feszültség esetén pedig $2,0U_0$. Megjegyzendő, hogy telített papírszigetelésű kábelek esetében célszerűbb az egyenfeszültségű, műanyag-szigetelésűeknél pedig a váltakozó feszültségű próbát alkalmazni.

7.ERŐMŰVEK ÉS TRANSZFORMÁTORÁLLOMÁSOK TÉRBELI KIALAKÍTÁSA

7.1. Erőművek térbeli kialakítása

Az ebben a pontban összefoglalóan az erőművek telepítésének és elrendezésének főbb általános szempontjait tárgyaljuk, valamint kissé részletesebben az egyik legfontosabb speciális feladatot, az üzemi főépület elrendezését, térbeli kialakítását.

Egy erőműnek a következő főbb követelményeket kell kielégítenie:

- funkció;

Az erőmű funkcióját alapvetően az erőmű típusa és az energiaellátásban, ill. az együttműködő energiarendszerben betöltendő szerepe szabja meg.

- gazdaságosság;

A helykijelölés meghatározó szempontja a gazdaságosság, ami azt jelenti, hogy az erőmű helyét a beruházási és az üzemeltetési költségek együttes figyelembevételével optimálisan kell megállapítani. A megvizsgálandó nagyszámú kérdés közül kiemelendők az *energiahordozók*- és az *égéstermékek szállításával*, elhelyezésével, a nagy mennyiségű *hűtővíz* beszerzésével, ill. a *hűtés* üzemével, és a termelt energia felhasználásával, ill. szállításával kapcsolatos szempontok és költségek, továbbá a bővíthetőség szükségessége és lehetőségei.

- biztonság;

Az erőmű biztonságát a létesítmények geológiai és időjárás elleni védelme, valamint az üzembiztonsági követelmények kielégítése jelenti. Ezekhez a terep- és a talajviszonyok, a talajvízszint, az árvíz- és a meteorológiai viszonyok ismerete, a technológiai utak, gépek, berendezések előírásoknak megfelelő elhelyezése és üzemeltetése szükséges.

- szakmai-jogi és társadalmi szempontok (beleértve a környezetvédelmet is);

A szakmai-jogi és társadalmi szempontok is számos követelményt támasztanak. Ide tartoznak: a mezőgazdasági területek kisajátítása, ipar- és településpolitikai, honvédelmi szempontok, és nagy jelentőséggel a személy- és a környezetvédelem is (az üzemi személyzet biztonságos és szociális munkakörülményei, a levegő- és az élővizek szennyezési problémái, a zajártalom).

- esztétikai megjelenés.

Az esztétikai követelmény azt jelenti, hogy az erőmű valamennyi létesítményével (fő- és melléképületek, fő- és segédberendezések) harmonikusan illeszkedjék be a telepítés helyének környezetébe (az erőmű és környezete között kedvező kölcsönhatás alakuljon ki).

Az előzőkből tehát összefoglalóan megállapítható, hogy egy erőmű helykijelölése, telepítése, elrendezése soktényezős, komplex feladat. A meghatározó szempontok részben egymást erősítő, részben egymás ellen ható jellegűek, ezért a megoldást kereső és a különböző szakterületeket képviselő, együtt tevékenykedő szakembereknek alapfeladata az együttes optimum megtalálása és megvalósítása.

7.1.1. Gőzturbinás hőerőművek

•A főberendezésekhez számos ún. *segédberendezés* tartozik, amelyek elengedhetetlenül szükségesek a főberendezések működéséhez és a térbeli kialakításnál szintén fontos szerepet játszanak.

A kazánüzem segédberendezései:

- levegő- és füstgázventillátorok;
- tüzelőanyag-adagoló berendezés;
- tüzelőanyag szállító és tároló berendezés;
- szénőrlő malmok, égők (szénportüzelés esetén);
- olajlefejtő, előmelegítő berendezések, olajszivattyúk és olajvezetékek (olajtüzelés esetén);
- salak- és pernyeeltávolító berendezés;
- kémény;
- sótalánító és iszapoló szerkezetek.

A turbina üzem segédberendezései:

- kondenzációs és tápházi berendezések;
- hűtővízrendszer;
- olajhűtő berendezések.

A villamos generátor üzemének segédberendezései:

- állórész hűtő berendezések;
- hidrogénellátó- és hűtőrendszerek.

- Az energiahordozó-ellátás a tüzelőanyag fajtája és minősége alapján szintén befolyásolja a térbeli kialakítást.

Tüzelőanyagként elsősorban a gyenge minőségű (kis fűtőértékű, nagy hamu- és nedvességtartalmú) szén, valamint a földgáz és a kőolajleparlás nehéz maradékai (nehéz fűtőolaj, pakura, gudron) szolgálnak. A kis fűtőértékű szén felhasználó erőművet, minthogy a megmozgatandó széntömeg igen nagy, a bánya közelében kell elhelyezni (Mátravidéki, Oroszlányi Hőerőmű).

A földgáz, ill. az olajfészeségek felhasználása nem köti az erőművet a telephelyhez, mivel ezek szállítása (csővezetéken, ill. tartálykocsikban) gazdaságosan megoldható. Az erőmű így a fogyasztói területhez közel telepíthető (Dunamenti Hőerőmű).

- Az erőmű hűtővíz-ellátásának, ill. hűtési rendszerének módozatai szintén meghatározóak:
 - természetes frissvízhűtés (nagy vízhozamú vízfolyás mellé telepített erőműnél);
 - víz visszahűtés (ha nem áll elegendő friss víz rendelkezésre, a hűtővizet zárt körfolyamatban kell tartani és visszahűtéséről gondoskodni) amely lehet:
 - hűtőtornyos hűtés;
 - hűtőtavas hűtés;
 - légekondenzációs (Heller-Forgó-féle) hűtés.

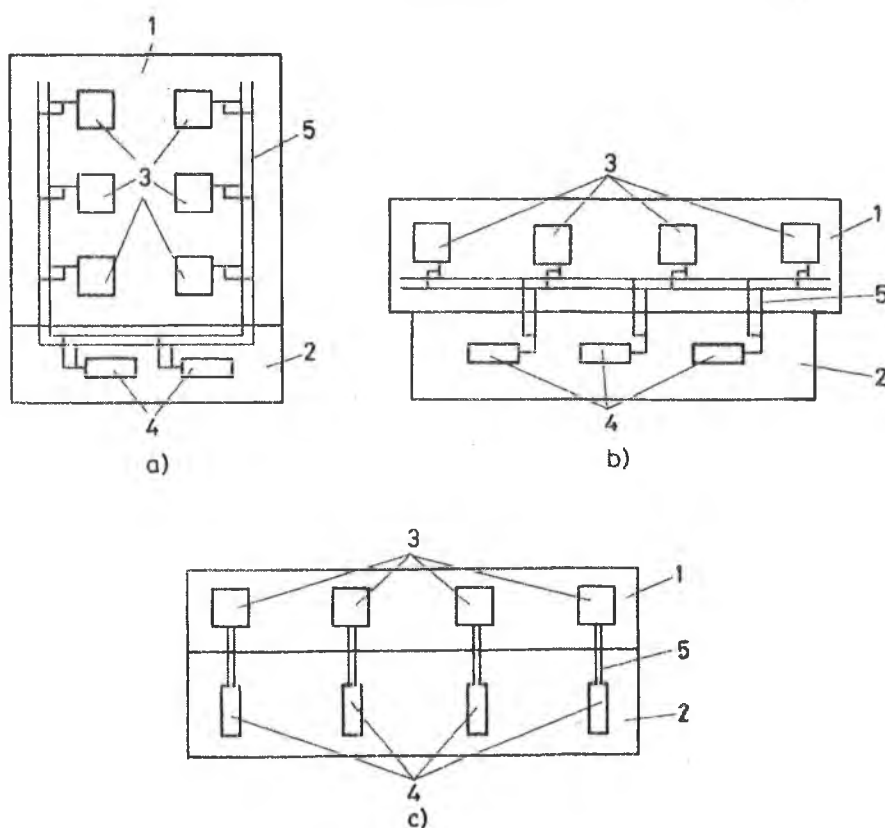
Az erőmű területén elhelyezendő legfontosabb létesítmények:

- az **üzemi főépület** (kazánház, gépház, tápház, vezénlyő- és kapcsolóberendezések);
- az **alállomás** (általában szabadtéri kivitelben);
- a **tüzelőanyag-szállító és -tároló berendezések**;
- a **hűtővíz-ellátás berendezései** (vízkivételi mű, derítomedence, hűtőmű stb.);
- utak, vasutak és berendezéseik;
- technológiai csatornák és alagutak;
- segédépületek (raktár, műhely, iroda, stb...)

Gépészeti szempontból alapvető létesítmény az üzemi főépület. Elrendezésének

kialakítását az építészeti körülmények döntően befolyásolják (hagyományos; könnyűszerkezetes; szabadtériesített).

A kazánház és a gépház hossz tengelyének egymáshoz képesti viszonyát tekintve megkülönböztetjük az ún. T-elrendezést és a párhuzamos elrendezést (7.1.-1. ábra).



7.1.-1. ábra Hőerőművek alaprajzi elrendezései

a) T-elrendezés; b) hagyományos párhuzamos elrendezés; c) blokk-elrendezés a gépcsoport kereszt-elrendezésével;

1 kazánház; 2 gépház; 3 kazánok; 4 turbina-generátor egységek ; 5 gőzvezetékek

- A T-elrendezés az erőműépítés korábbi szakaszára jellemző, amikor még csak kisebb egység-teljesítőképességű kazánokat tudtak készíteni, így egy turbina gőzellátása több kazánt igényelt. A gép- és a kazánház hosszanti tengelye egymásra merőleges; a kazánok kétsoros elrendezése csökkenti a kazánház hosszát (7.1.-1/a. ábra).
- A párhuzamos elrendezés kifejlődését a kazánok egység-teljesítőképességének növekedése tette lehetővé. E megoldásnál a kazánok egy sorban állnak. A hagyományos párhuzamos elrendezés az előzőnél kisebb helyigényű megoldás, az átlagos gőzszállítási út megrövidül. Az erőmű hosszirányában épül a kettős gőzgyűjtő vezeték, amelynek az egyik oldalára a kazánok, a másik oldalára a turbinák kapcsolódnak (7.1.-1/b. ábra). A korszerű párhuzamos elrendezést az egység vagy blokkrendezés adja (7.1.-1/c. ábra). Ennél a megoldásnál egy (vagy legfeljebb két) kazánból álló egységekkel épül fel az erőmű. A tiszta blokkelrendezésben (kazán, turbina, generátor egységkapcsolásban) a blokkok között gőzoldali összeköttetés nincs.

A párhuzamos blokkrendezésen belül a gépcsoportot tekintve további elrendezés változatok alakultak ki. Ha a turbina-generátor egységek elhelyezési tengelye a gépház hosszanti tengelyével párhuzamos, *hosszanti* gépcsoport-elrendezésről beszélünk. Ellenkező esetben *keresztirányú* elrendezésről van szó (7.1.-1/c. ábra). A blokkelrendezés a

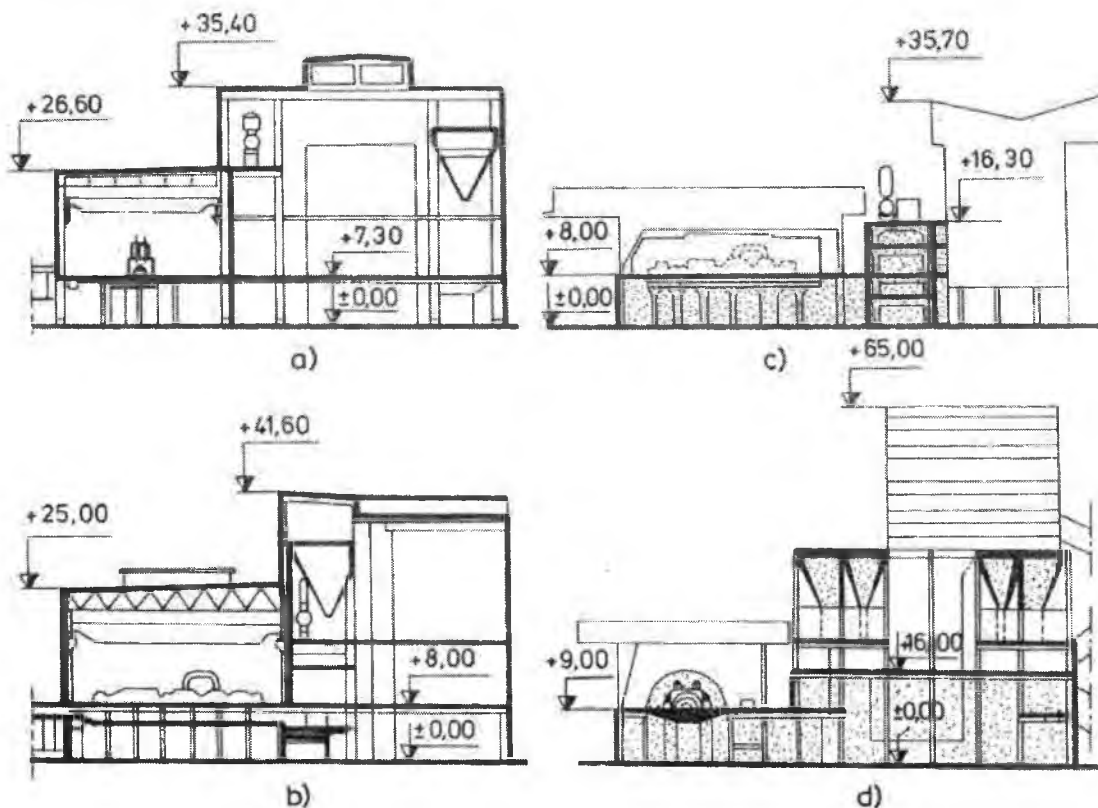
hagyományoshoz képest további hely- és költségmegtakarítást eredményez. (megjegyzendő, hogy a blokkosítás tágabb értelemben magába foglalja a generátorhoz csatlakozó szabadtéri transzformátort — az ún. blokktranszformátort is.)

Az üzemi főépület az erőmű legjelentősebb épülete, amelynek volumene többszöröse az összes többi épület együttes köbtartalmának. Elrendezése, gyakorlati kialakítása jelentős hatással van az erőmű építészeti hányadának mértékére, a létesítési idő nagyságára, eredőben a megvalósítási költséghányadra. Ez indokolja azt a világméretű, folyamatos törekvést, hogy az egyre nagyobb egységteljesítőképességek alkalmazásával egyidejűleg az erőművek építészeti hányadát — új megoldások kialakításával és bevezetésével — állandóan csökkentsék.

Az üzemi főépület kialakításában és a kapcsolódó technológiai berendezések elhelyezésében elért hazai fejlődést a következő fő szakaszok jellemzik:

- hagyományos kialakítás;
 - félszabadtéri kivitel;
 - szabadtéri kivitel.
- A **hagyományos kialakítás** egy klasszikusan értelmezett épület, amelyen belül van elhelyezve, úgyszólván minden technológiai berendezés (az épület mintegy "körülburkolja" a berendezéseket). Az ötvenes évek közepére a hazai korszerű erőművek gépészeti egységei egyre nagyobb üzemi főépületet igényeltek. Jogosan vetődött fel a kérdés: a főépülettel meddig célszerű követni a gépegységek növekedését. A megoldást a két irányban megindult fejlődés közös eredménye adta: egyrészt a tartószerkezet többcélú hasznosítása, másrészt az egyes technológiai berendezések szabadtéri elhelyezése, ill. azok szükség szerinti egyedi burkolása.
- Az ún. **félszabadtéri kivitel** az előző kialakításhoz képest a kazánház új megoldásában tér el. A kazánház ui. az az épületrész, amely a technológiai berendezések növekedésével, főleg magassági értelemben a hagyományos megoldásnál jelentős méretek felé tartott. A félszabadtéri kivitelnél a kazánok állványzatát egyben épülettartó szerkezetként is felhasználják, ugyanakkor a kazánok hátfalát az épület határfalaként alakítják ki. A megoldás jellemzői: a kazánház volumenének (m^3/MW) csökkenése és az ezzel járó tömörebb elrendezés, az építészeti és a technológia összefonódása; az épületszerkezetekben jelentős anyag, ill. költségmegtakarítás (Oroszlányi; Bánhidai Hőerőmű).
- A **szabadtéri kivitel** esetén a főépület kivitele jelentősen megváltozik, most már nemcsak a kazánházra, hanem a táp- és gépházra vonatkozóan is. A megoldás fő jellegzetessége, hogy a kazánház teljesen elmarad és a gépházi-tápházi épületrész jelentősen csökkentett mértékben létesül. A kazánok teljesen a szabadtéren vannak és zárt helyi burkolatot mindössze azok a berendezések kapnak, amelyeket az időjárás viszontagságai ellen védeni kell (pl. vízállásmutató, tápvíz-belépőkamra). A gépház csupán a gépkezelő szintig összefüggően zárt: elmarad a hagyományos, vagyis az összes gépet magába foglaló, a gépek kiszolgálásához szükséges híddaru miatt magas légterű és egyben nagy terhelésű összefüggő gépházi csarnok, és helyette az egyes gépegységeket külön-külön, a gépegység kontúrméretére kialakított építmény, a parabola ívű teleszkópikus (széthúzható) sátor védi. (A gépegységeket kiszolgáló daru a sátrak fölött mozog.) A tápsor a kazántér és a gépház között van. Tápházról már nem lehet beszélni, hiszen a jelentős terhelésű és térfogatigényű berendezések szintén a szabadba kerültek. A szabadtéri kialakításnál zárt épületet úgyszólván csak a villamos berendezések helyiségei igényelnek (Dunamenti hőerőmű). Összefoglalóan megállapítható, hogy a hazai erőmű szabadtéresítés révén az üzemi főépület tömege a széntüzelésű erőműveknél a negyedére, az olajtüzelésűeknél pedig a tizedére csökkent. A főépületi keresztmetszeteknek a hazai fejlődés során bekövetkezett változását — négy erőmű példáján — a 7.1.-2. ábra

szemlélteti.



7.1.-2. ábra A főépületi keresztmetszetek alakulása a fejlődés során
a) Tiszapalkonya; b) Oroszlány; c) Dunamenti; d) Gyöngyös

7.1.2. Gázturbinás erőművek

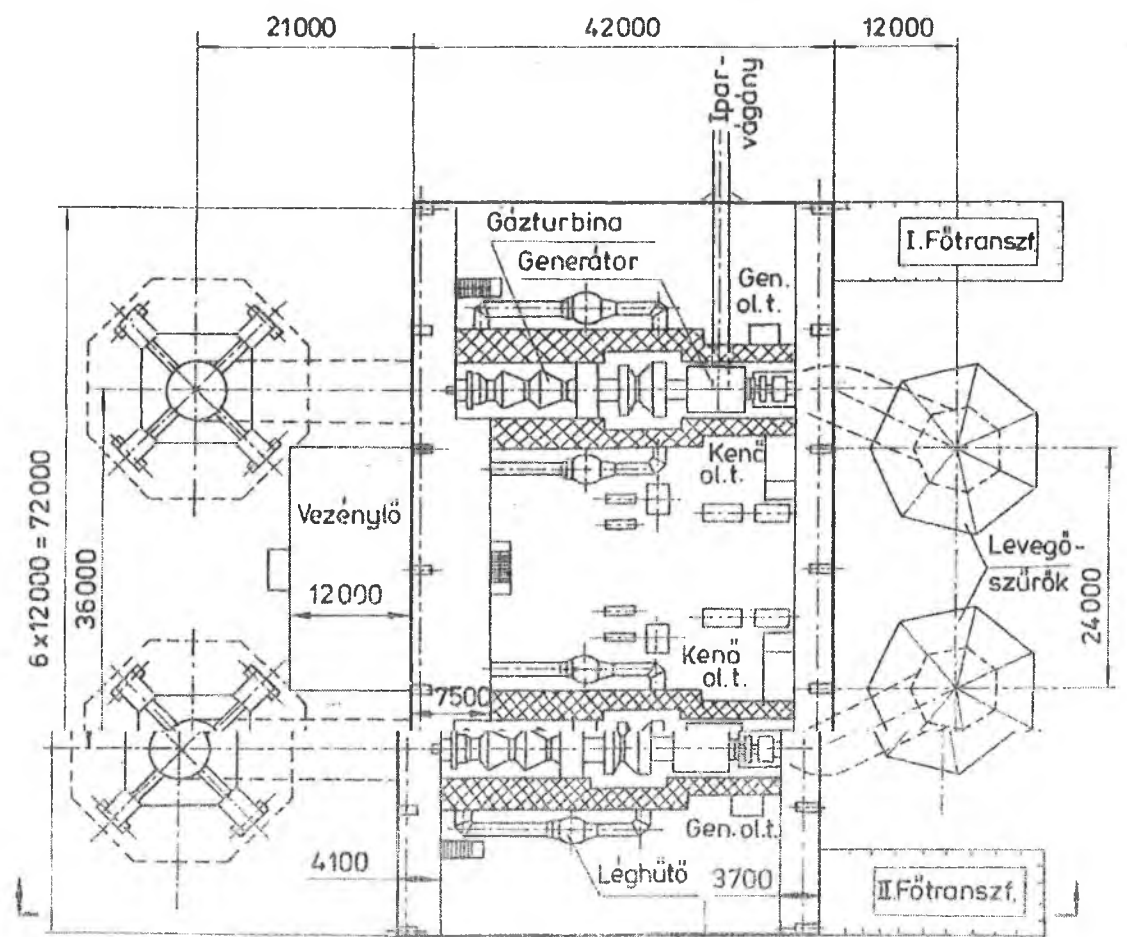
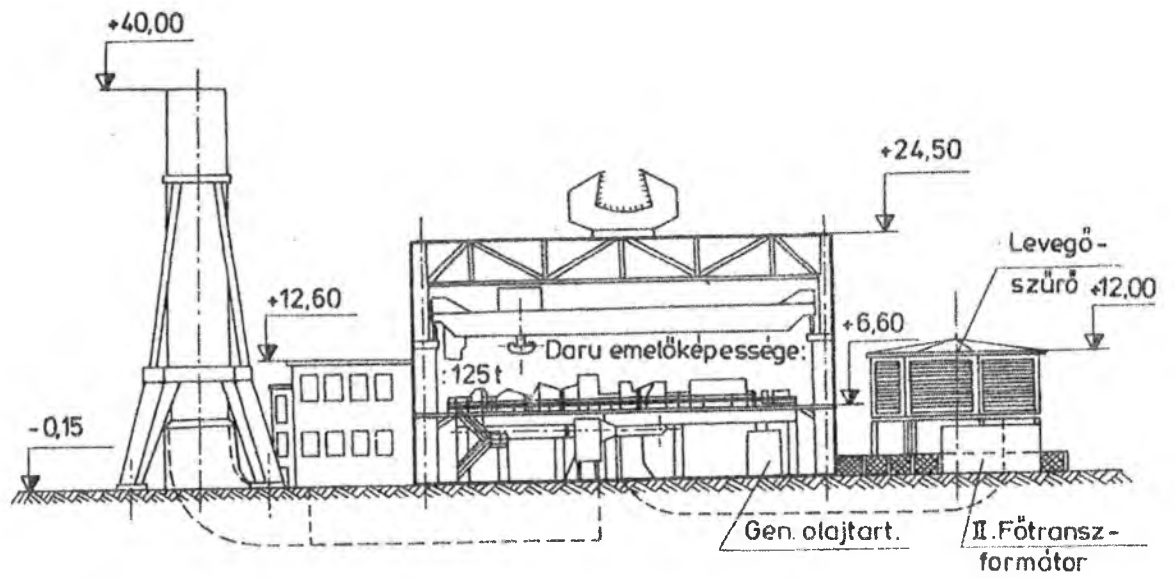
A gázturbinás erőművek telepítése, térbeli kialakítása (7.1.-3. ábra) a gőzerőművekénél lényegesen egyszerűbb feladat. Ezt a következők indokolják:

- a berendezések viszonylag kis súlya és terjedelme (nem szükséges tehát sok hely és nagy építészeti tevékenység);
- a tüzelőanyag-igény csekély (kis fogadóállomás és tárolótérigény);
- a hűtővízigény jelentéktelen mértékű;
- a környezetet az üzemvitel kevésbé szennyezi és zavarja.

A létesítés legfontosabb szempontja a minél kisebb beruházási költség elérése. Ennek érdekében viszont számos tényezőt kell figyelembe venni, amelyek közül nagyon lényegesek a következők:

- minél nagyobb egységek alkalmazása;
- lehetőleg egy-egy nagyobb erőmű telephelyén, vagy annak közvetlen közelében célszerű telepíteni;
- az energiarendszerhez történő villamos csatlakozás lehetőleg távvezeték építése nélkül megoldható legyen.

Félszabadtéri kivitel jelent az a megoldás, amelynél a gépház helyett egy szétszedhető, fémvázaz, alumínium-panelekből álló gépburkolat védi a gépegységet az időjárás behatásaitól. Épületben csak a vezénylőtermet és a villamos segédüzemet kell elhelyezni. A félszabadtéri kivitel hely- és költségtakarékos megoldást ad, amely tovább növeli a létesítés gazdaságosságát.



7.1.-3. ábra. gázturbinás erőmű gépházi elrendezése

7.1.3. Vízerőművek

A vízerőművek térbeli kialakítása, az alkalmazandó műtárgyak, gépek, berendezések elhelyezése ugyancsak soktényezős, komplex feladat. Éppen ezért a következőkben csupán néhány megoldásra, elrendezési szempontokra térhetünk ki.

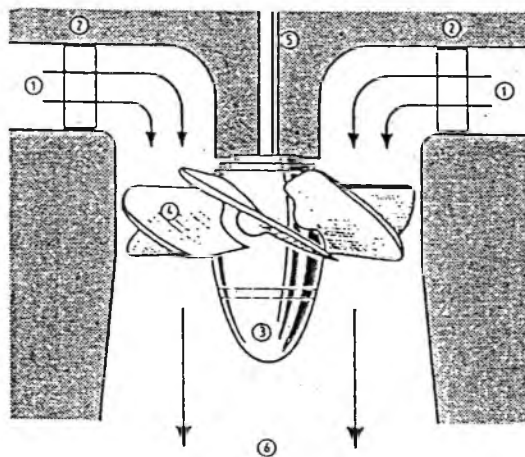
Az (üzemvízcsatornás) **vízerőmű** részei mindazok a műtárgyak és egyéb művek, amelyek részben az esés létrehozásához és a vízhozam hasznosításához szükségesek, másrészt a kihasznált folyószakaszt az elfajulástól megvédik. Az erőmű tagozódása a Villamos energetika I. jegyzet 4.3.-1. ábrán bemutatott elrendezés alapján:

1. a vízlépcső részei: duzzasztómű, hajózsilip, tutajáteresztő, hallépcső;
2. a vízkivételi mű főbb részei: torkolati küszöb és gereb, torkolati zsilip, csatornaküszöb, öblítőcsatorna és zsilip, beeresztő zsilip;
3. a felvízcsatorna közvetlenül az erőtelep előtt levő része a csatornafő, amelynek főbb műtárgyai: előtér a jégterelővel, árapasztóbukó, -csatorna és -zsilip;
4. az erőtelep részei: előcsatorna, turbinakamra, vagy csigaház; turbina; szívócső és -csatorna, felépítmény (gépház a generátorral, egyéb gépészeti és villamos berendezések), kezelőtelep és tartozékai.

A létesítményhez hozzászámíthatók azok a különböző vízszabályozó, partvédelmi és árvízvédelmi berendezések, amelyek a vízlépcső által befolyásolt szakaszon létesülnek.

A mederbe épített folyami erőmű általános elrendezésére — Villamos energetika I. jegyzet 4.3.-2. ábra — két elvi változat lehetséges:

- az erőtelep az eredeti mederszélességben helyezhető el a vízlépcső műtárgyai mellett. Ez a megoldás főképpen mélyen beágyazott medrű, magas és erózióknak jól ellenálló partokkal rendelkező, kevés hordalékot és jeget szállító, kiegyenlített vízjárású folyókon alkalmazható. Ezen feltételek miatt a leírt elrendezés Európában ritka;
- az Európában kialakult gyakorlat szerint a vízerőtelep elhelyezésére öblöt képeznek ki. Ezt az ábrán szaggatott vonal jelzi. Az erőmű tagozódása lényegében hasonló az üzemvíz csatornás elrendezéshez, annak mintegy az összezsugorítása.



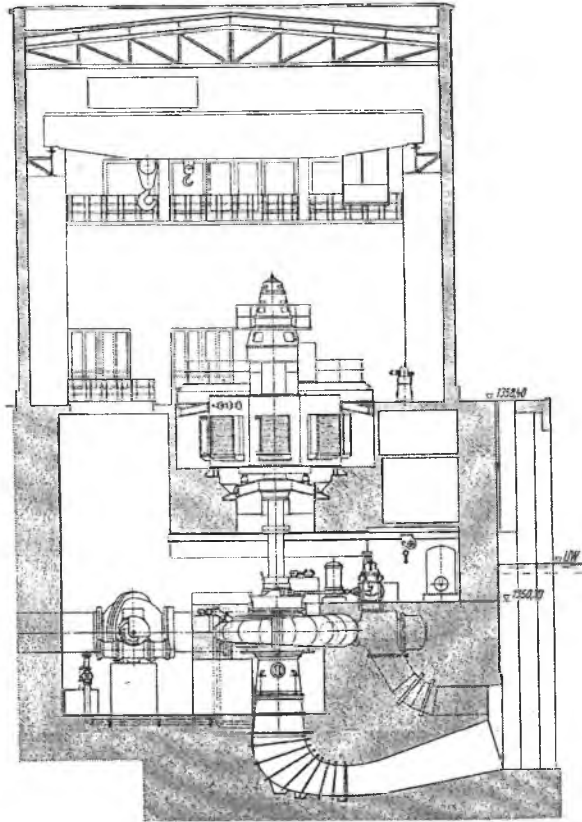
7.1.-4. ábra. Kaplan turbina

- 1- vízbevezetés; 2-állítható vezérlőlapátok; 3-járókerékagy;4-állítható járókerék-lapát;
5-turbinatengely;6-vízlevezetés

A vízerőtelep tagozódását, elrendezését mind vízszintes, mind magassági értelemben elsősorban a gépegység (turbina és generátor) tengelyiránya határozza meg.

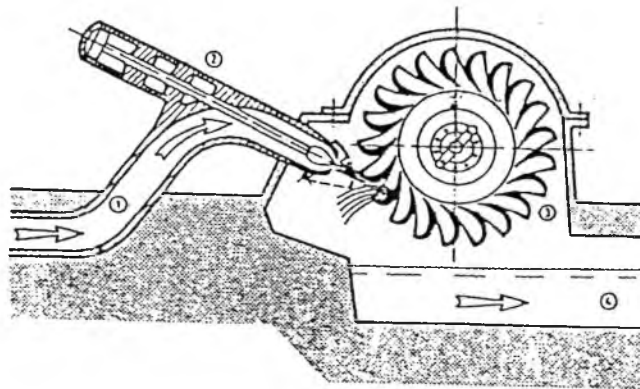
A kisesésű folyami erőművekben főleg a függőleges tengelyelrendezés terjedt el. Leginkább Kaplan turbinákat (7.1.-4.ábra) alkalmaznak,

(A közepes esésű folyami erőművek jellegzetes turbinatípusa a Francis-turbina.) A turbina-generátor tengelyrendezése függőleges (7.1.-7. ábra). A gépház építészeti kialakítása nem tér el a kisesésű erőműétől.



7.1.-7. ábra. Francis turbina beépítésű gépház keresztmetszete

(Tározós erőművekben, kisebb eséseknél Francis-turbinákat, nagyobb eséseknél szabadsugárturbinákat (Pelton-kerék 7.1.-8. ábra) alkalmaznak vízszintes elrendezésben.)



7.1.-8. ábra. Pelton turbina

1- vízbevezetés; 2-járókerékre irányítás; 3-járókerék; 4-vízelvezetés

A tározós erőmű elrendezéséből következően külön építmény a kiegyenlítőmű, a nyomócső, valamint a gépház (Villamos energetika I. jegyzet 4.3.-3. ábra). Egyik különleges kivételnek számítanak az ún. barlangerőművek, amelyek különösen a nagy esésű erőművek között gyakoriak. Az igen kedvező esésviszonyok mellett további jellemzőjük, hogy a nagynyomású vezetékek hossza csökkenthető és mostoha időjárási viszonyok esetén az érzékenyebb

berendezéseknek teljes védelmet biztosítanak.

[A szivattyús tározós erőművekben legalkalmasabb a Francis-, vagy a Pelton-turbina. Mindkét típus készíthető vízszintes és függőleges tengelyelrendezéssel, így az erőművekben mindkét elrendezés használatos. Ezek közül azonban inkább a vízszintes tengelyű a szokásos, ami nagyobb áttekinthetőséget és könnyebb szerelhetőséget biztosít. A három részből álló, közös tengelyű gépegységben a motorgenerátortól jobbra, ill. balra helyezkedik el a szivattyú, ill. a turbina. [Függőleges tengelyelrendezés esetén a gépek sorrendje felülről lefelé: motorgenerátor, turbina, szivattyú.]

[Víz erőműveknél különleges elrendezésnek számít a szabadtéri erőmű és a víz alatti erőmű. Szabadtéri erőművekben a nagyméretű vízgépek és generátorok könnyebben védhetők az időjárás behatásaitól, mint a hőerőművek berendezései. Az időjárásra érzékenyebb részeket könnyű szerkezetű fémtokozással látják el.

A víz alatti erőmű gépeit a duzzasztómű gátjába építik be. Ott alkalmazzák, ahol nincs elegendő hely a duzzasztómű és az erőmű egymás melletti elhelyezéséhez. Víz erőmű-kaskádról akkor beszélünk, amikor a víz erőmű tervszerű kihasználására valamely vízfolyás teljes hosszában víz erőműsört létesítenek.]

Az első tiszai vízlépcső a Tiszalöki vízlépcső volt (1958-59-ben helyezték üzembe), míg a másodikra Kisköre község mellett került sor (1975).

A vízlépcső-komplexum hajószilipből, duzzasztóműből, víz erőműből és melléklétesítményeiből áll. Jellemzően elsősorban öntözési, árvízvédelmi és hajózási célokat szolgál, és csak melléktermékként hasznosítják a duzzasztásból adódó vízenergiát.

7.1.4. Atomerőművek

Az erőmű-létesítéseken belül az atomerőművek létesítése képezi a legtöbb tudományág ismeretének egyidejű, összehangolt alkalmazását jelentő, azaz legösszetettebb feladatot.

Egy atomerőmű létesítésekor, a tervezés időszakában — a hagyományos erőművek telepítési szempontjain kívül — az erőmű speciális jellegéből következő további szempontokat is figyelembe kell venni, éspedig:

- a telephely közelében lehetőleg nagyobb település ne legyen;
- kevés legyen a szélmentes napok száma (kedvező meteorológiai viszonyok igénye);
- a telephely árvízveszély-mentes területen helyezkedjék el, ill. ha folyóvíz mellé telepítik, akkor a rendezett terepszintje úgy állapítandó meg, hogy még átmenetileg se öntse el az ár se a telephelyet, se a hozzávezető utat.

Az üzemi létesítmények, mint épületegyüttesek — a telepítés szempontjából — három fő csoportba oszthatók:

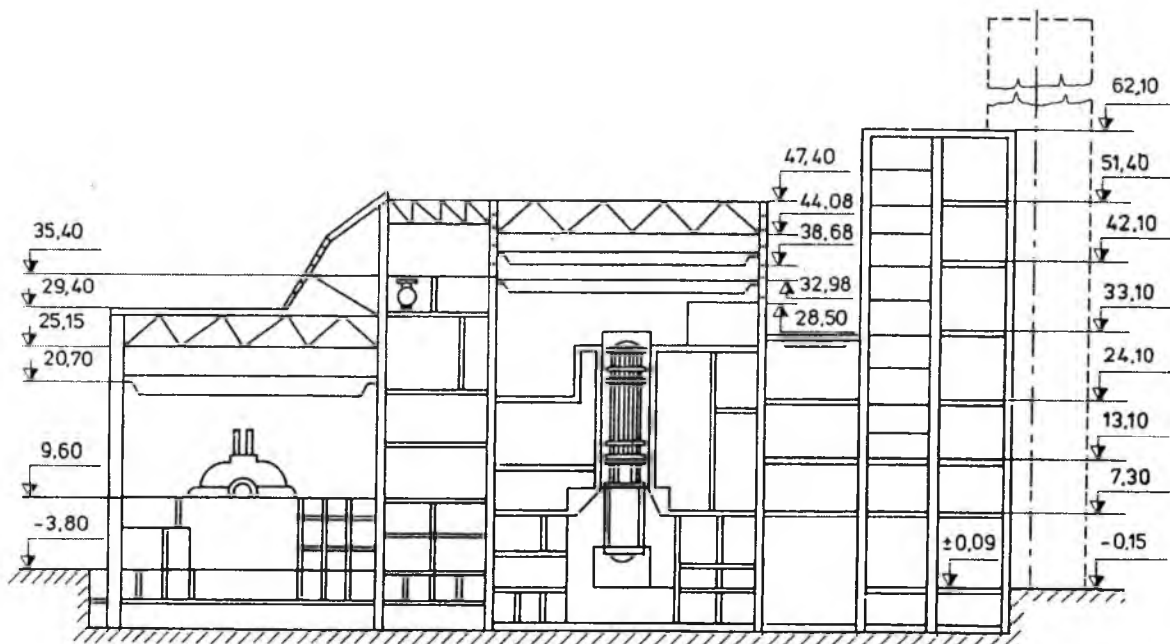
- technológiailag szoros kapcsolatban levő épületek (főépület; segédépület; Diesel-generátor épület, speciális öltöző-labor épület);
- technológiailag lazább kapcsolatban levő épületek hűtővízszivattyú-telep; vízelőkészítő épület; H₂- és N₂- fejlesztő épület; indító kazánház);
- technológiailag nem kapcsolt épületek (iroda, műhely, raktár, szabadtéri villamos kapcsolóberendezés, stb.)

A sugárzás, sugárbiztonság szempontjából a telephely és az atomerőmű környezete három zónára oszlik: a megfigyelt zóna, az egészségügyi védőzóna és az ellenőrzött zóna.

Az atomerőműben létesítendő ún. dozimetriai ellenőrző rendszer a fő- és a segédépület, a folyékony és a gáznumú radioaktív hulladék erőműből való kibocsátása, valamint az erőműben dolgozó személyzet ellenőrzésére szolgál.

További speciális feladatokat jelentenek: az üzemanyag-manipuláció; a folyékony és a szilárd radioaktív hulladék tárolása, temetése; a légkör- és az élővizek kezelése, radioaktív szennyezése, üzemzavar-védelmi és lokalizációs rendszerek kialakítása; a villamosenergia-ellátás.

Az első magyar atomerőmű Paks közelében épült. Főépülete (7.1.-8. ábra) a reaktorüzemet, a gépházat, a villamos kapcsolótereket, az elszívó szellőzőközpontot és az üzemzavari lokalizációs tornyokat foglalja magába. A villamos berendezések elhelyezésére szolgáló rész a reaktorcsarnok és a gépház között foglal helyet. A reaktorcsarnokban és a gépházban híddaruk üzemelnek.



7.1.-6. ábra. Paksi atomerőmű üzemi főépületének keresztmetszete

7.2. Kapcsolóberendezések térbeli kialakítása

A kapcsolóberendezések, amelyek a megváltoztatható kapcsolatokat biztosítják az egyes távvezetékek, leágazások között, és amelyek egyik legfontosabb része a gyűjtősín, kiviteli mód szerinti lehet: belsejtéri és szabadtéri kapcsolóberendezés. Mindkét kivitelben belül ismerünk hagyományos nyitott és ún. tokozott kapcsolóberendezéseket. A fejlődés folyamán a kapcsolóberendezések elrendezésében, térbeli kialakításában számos változat alakult ki, amelyek közül ez a fejezet a jellegzetes megoldásokat és főbb alkalmazási területeket ismerteti.

7.2.1. Belsejtéri kapcsolóberendezések

A belsejtéri kapcsolóberendezések feszültség alatt álló, ill. egyéb szerkezeti elemei az e célra kiképzett épületben, ill. helyiségben helyezkednek el. Konstruktív szempontból történő felosztásuk szerint lehetnek hagyományos *cellás* kivitelű (nyitott), valamint előregyártott kivitelű ún. *tokozott* kapcsolóberendezések. Cellás kivitel esetén a kapcsolóberendezés elemei a helyiség légterében vannak, míg tokozott kivitelnél az elemeket minden oldalról burkolat veszi körül. Belsejtéri kapcsolóberendezéseket mind a három feszültségszinten (nagy-, közép- és kisméretű) alkalmaznak. A kisméretű megoldások jelentősen eltérnek a közép- ill. nagyfeszültségű megoldásoktól, ezért tárgyalásukra külön pontban kerül sor.

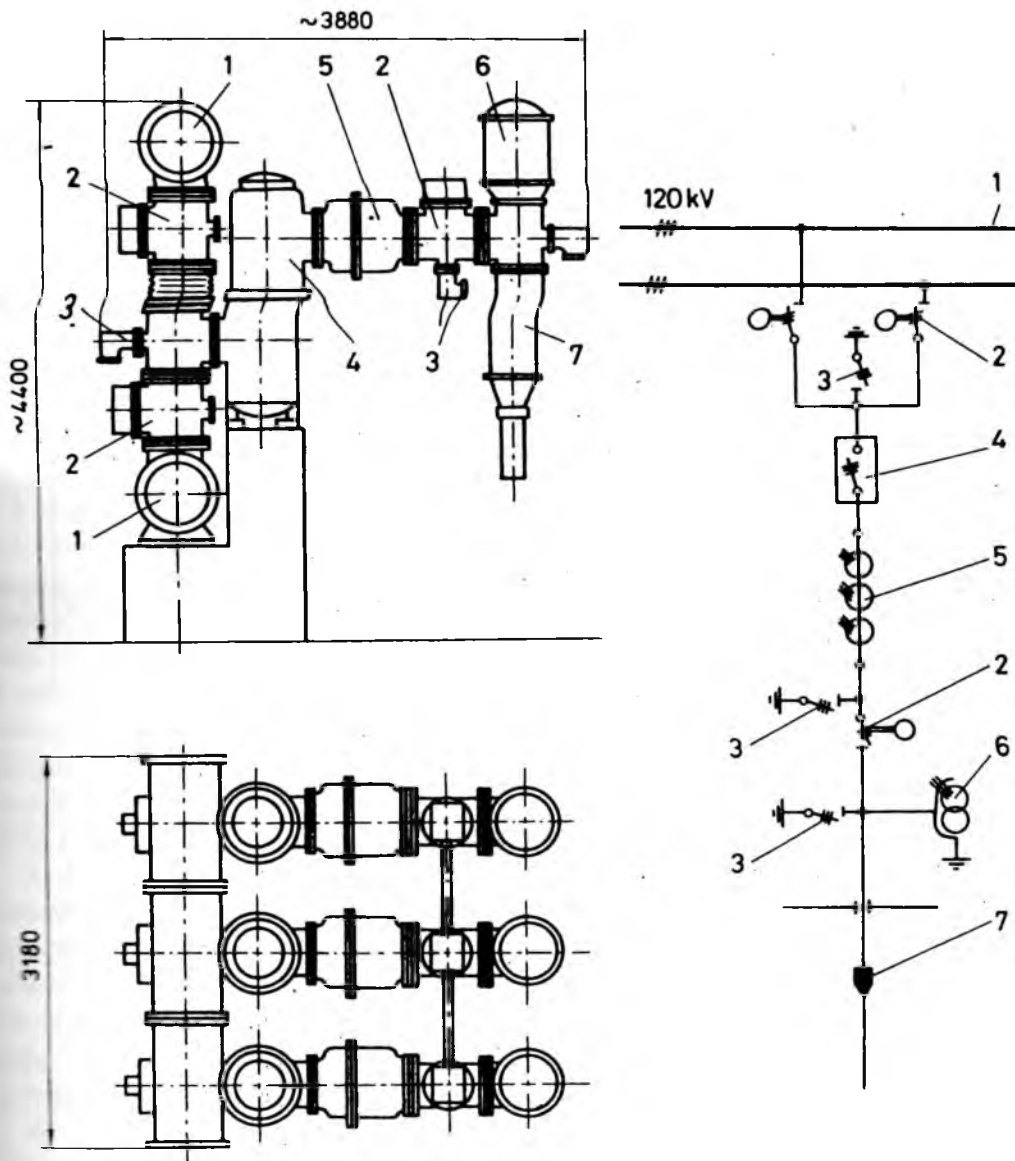
7.2.1.1. Nagyfeszültségű belsejtéri kapcsolóberendezések

A 120(220)/10 kV-os városi és a 120/10-6 kV-os ipartelepi transzformátorállomások nagyfeszültségű részét akkor szükséges belsejtéren (épületben) elhelyezni, ha az állomást sűrűn beépített területen, vagy erősen szennyezett környezetben kell létesíteni. A hagyományos megoldásnál szabadtéri készülékeket alkalmaznak, amelyek méretei és a szükséges, viszonylag nagy biztonsági távolságok nagyméretű épületeket igényelnek.

Ezen épületek nagy helyet foglalnak el, létesítésük drága és hosszú időt igényel, városi állomás esetén nehezen illeszthetők be a városképbe, ugyanakkor a berendezés kezelése nehézkes, a zárlat hatása több készülékre kiterjedhet, sőt a kezelőszemélyzetet is veszélyeztetheti.

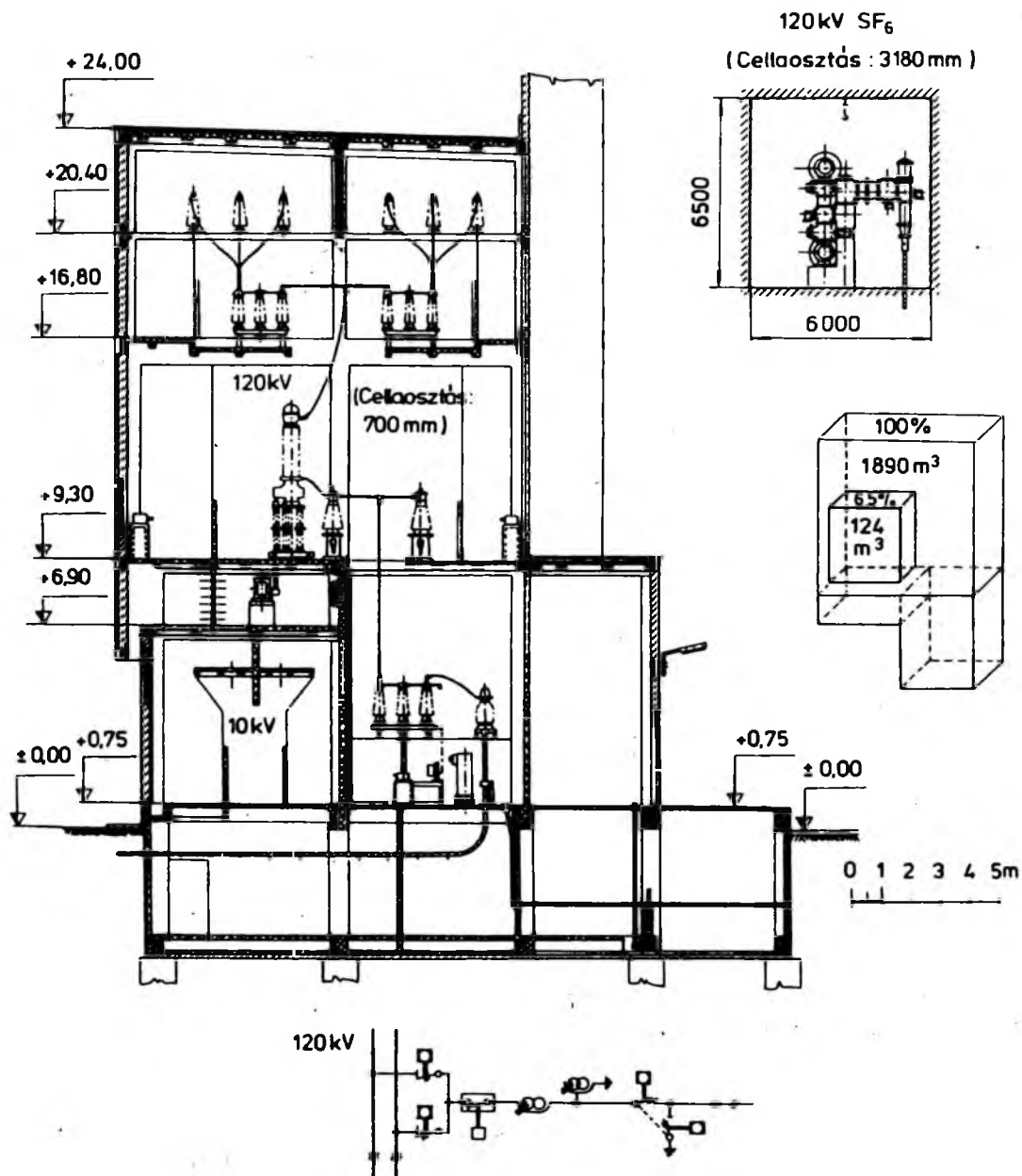
A 120, 220, 400 kV-os belsejtéri kapcsolóberendezés korszerű megoldását jelenti az SF₆-gáz szigetelésű tokozott nagyfeszültségű kapcsolóberendezés. Az SF₆ (kénhexafluorid) gáz kiváló szigetelő és ívoldó anyag.

Kapcsolóberendezésekben úgy alkalmazzák, hogy a kapcsolási képnak (készülékeknek, vezetékeknek) megfelelő (alumínium) csődarabokat gyártanak, amelyeket tömítetten egymáshoz illesztnek. Ezekben helyezik el a nagyfeszültségű készülékeket, vezetékeket, gyűjtősíneket. A csőrendszert (burkolatot, ill. tokozást) SF₆-gázzal töltik ki. A berendezés legfőbb előnye: az igen kis méret; a nagy üzembiztonság; a kis karbantartási igény; a korrózióálló alumínium burkolat; és miután a tokozás földelt, így érintésvédelmi probléma nem merül fel; végül a berendezés előregyártott, így kicsi a helyszíni munkáigénye. A 7.2.-1. ábra egy kettős gyűjtősínes kapcsolóberendezés elrendezését és kapcsolási képét mutatja.



7.2.-1. ábra. Kétgyűjtősínes 120 kV-os SF₆ gázszigetelésű tokozott kapcsolóberendezés
 1 gyűjtősín; 2 gyűjtősín szakaszoló; 3 földelő szakaszoló; 4 megszakító; 5 áramváltó; 6
 feszültségváltó; 7 kábelvégelzáró

Az SF₆-szigetelésű kapcsolóberendezés létesítésének legnagyobb előnye kis helyigény. A hagyományos és az SF₆-szigetelésű 120 kV-os kapcsolóberendezés méreteinek összehasonlítására mutat példát 7.2.-2. ábra (két gyűjtősínes megoldás).



7.2.-2. ábra Kétgyűjtősínes belsőtéri 120 kV-os kapcsolóberendezés kialakítása hagyományos készülékekkel (csarnok típus) és SF₆ gázszigetelésű tokozott berendezéssel

7.2.1.2. Középfeszültségű belsőtéri kapcsolóberendezések

A középfeszültségű belsőtéri kapcsolóberendezések egyik elterjedt kiviteli formája a *hagyományos nyitott cellás kapcsolóberendezés*. A cellás szerkezet védőfallal választja el egymástól az egyes leágazások kapcsoló készülékeit. A gyűjtősínek és a gyűjtősín szakaszolók közé a villamos ív hőhatásának ellenálló válaszfalat, ún. ernyőt (ívvédő tetőt) építenek be. A falak és az ernyők villamos jellegű szerepe az, hogy korlátozzák a zárlati ív továbbterjedését és az íves zárlat sugárzó hőjének pusztító hatását. Ez a megoldás egyben a kezelőszemélyzetnek is hatékony védelmet nyújt. Részben a tűzveszély elkerülése indokolja, hogy a berendezésben kisolajterű, vagy olaj nélküli megszakítók, valamint porcelán, vagy műgyanta-szigetelésű mérőváltókat alkalmaznak.

Egy-egy cellában a leágazás nagyfeszültségű (primer) készülékein kívül el kell helyezni kisméretű elemeket is (kábelek, készülékek, műszerek, sorozatkapcsok, stb.).

Ezeket az ún. kiefeszültségű fülke tartalmazza, amelyet a cella oldalfalaira merőlegesen, a kezelőfolyosó felé nyithatóan helyeznek el.

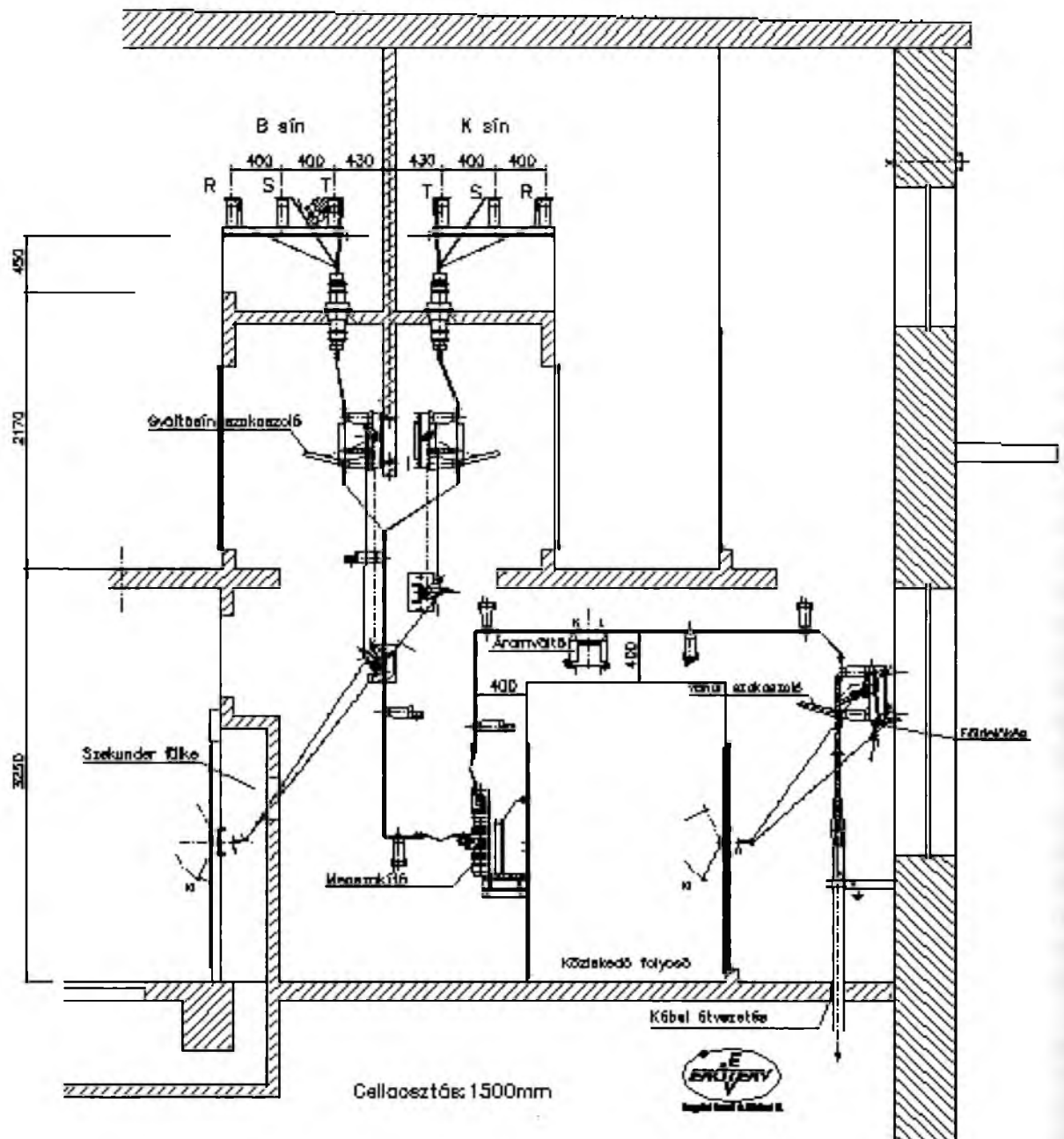
Az építészeti kialakítást a gyűjtősínek száma, a leágazások jellege és a csatlakozó vezetékek minősége (kábel vagy légvezeték) szabják meg. Az ennek megfelelően kialakult fő változatok: egy-gyűjtősínes berendezés kábel, vagy szabadvezeteki (légvezeteki) csatlakozással; kétgyűjtősínes berendezés kábel, vagy szabadvezeteki csatlakozással. A berendezések építészeti szempontból lehetnek egyszintes, vagy kétszintes elrendezésűek. A 35 kV-os berendezésekben a készülékek és a kábelfejek nagyobb méretei, a 10 ill. 20 kV-os berendezésekben pedig a létesítés megszabta körülmények tehetik szükségessé a kétszintes elrendezés építését. Végezetül a cellák elhelyezésüket tekintve lehetnek fal mellé állítottak, vagy szabadon állóak. A cellás, nyitott középfeszültségű kapcsolóberendezés korábban elterjedten alkalmazott, de ma már új berendezésként ritkán előforduló megoldása a betoncellás kapcsolóberendezés. A válaszfalak, beleértve az ernyőzést is, 8 cm vastag vasbetonból készültek. A gyűjtősínket a cellafal felső élére szerelt támszigetelők tartják. A cella a helyszínen építve és szerelve készül. A középfeszültségű, belsőtéri, nyitott kapcsolóberendezések „klasszikus”, kétgyűjtősínes elrendezés esetében az emeleti helyiségben van a megszakító, előtte a mérő-, működtető- és jelzőberendezéseket tartalmazó kiefeszültségű, ún. „szekunder” szekrény, fölötté a gyűjtősínszakaszoló és — lángterelő ernyővel elválasztva — a gyűjtősín. Az alsó szinten helyezkedik el a kábelvégelezőt, a hozzá tartozó feszültségváltót és szakaszolót, valamint az esetleges szükséges fojtótekerceset. Ettől eltérő egyszintes megoldást mutat be a 7.2.-3. ábra.

Ha a leágazás nem kábeles, hanem szabadvezetékes, akkor a vonali cellarész a megszakítóval egy szintre kerül, az összeköttetés többnyire a földem alatt van, de egyszintes elrendezésben a gyűjtősín fölött is elhelyezhető.

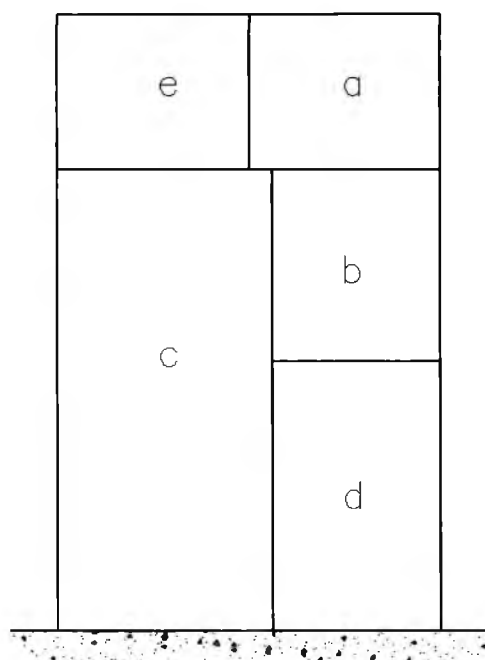
A külföldi és hazai gyakorlat nyitott kapcsolóberendezés továbbfejlesztéseként az acélvázaz *eternit válaszlapos kapcsolóberendezéseket* alkalmazta. Az acélvázaz kapcsolóberendezések celláinak formája, valamint a készülékek elrendezése a betoncellás kivitelhez hasonló. A cella vázszerkezete megfelelő szilárdságú idomacélból, hegesztett kivitelben készült és ebbe a keretbe szerelték be a 10 mm vastag eternit válaszfalakat (az ernyőzést is beleértve). A kiefeszültségű fülke a kezelőoldalon van, és a cellát teljes szélességben lezárja.

A középfeszültségű belsőtéri kapcsolóberendezések fejlesztésében, fejlődésében minőségi előrelépést jelentett a *belsőtéri tokozott kapcsolóberendezés*. Kifejlesztését a következő igények együttes jelentkezése, ill. kielégítési szükséglete mozdította elő: a kezelőszemélyzet nagyobb védelme; az üzembiztonság fokozása; a helyszükséglet csökkentése; az előregyárthatóság lehetővé tétele; az egyszerű és a gyors helyszíni szerelés biztosítása.

A tokozott kapcsolóberendezés olyan zárt fémlemez (acél vagy alumínium) szekrény, amely egy leágazás összes készülékét magába foglalja (tokozott cella). A cellán belül a készülékeket és a vezetékeket el kell választani egymástól, éspedig úgy, hogy az esetleges hiba a berendezés minél kisebb részére korlátozódjék. Ennek megfelelően a lemezből készült cella belül rekeszekre (több rekeszre, ill. térre) van osztva. A rekeszeket a bennük elhelyezett készülékek, elemek alapján csoportosítjuk. A rekeszelt cella elvi kialakítását a 7.2.-4. ábra mutatja.



7.2.-3. ábra 20 kV-os, kétgyűjtősínes, hagyományos belsőtéri nyitott kapcsolóberendezés elrendezése (Salgótarján)



7.2.-4. ábra Tokozott cella rekeszei

- a) gyűjtősín rekesz; b) érintkező rekesz; c) megszakító rekesz; d) kábelvégelzáró rekesz;
e) kiefeszültségű rekesz

Az ábrának megfelelően a rekeszek (terek) elnevezései:

- a) gyűjtősín rekesz (gyűjtősíntér);
- b) érintkező rekesz;
- c) megszakító rekesz (középfeszültségű készüléktér);
- d) kábelvégelzáró rekesz (kábelfejtér);
- e) kiefeszültségű rekesz (szekunder tér).

A tokozott kapcsolóberendezés előnyeinek érvényesülése részben annak köszönhető, hogy a hagyományos szakaszolókat újszerű megoldással, rugalmas ujjas érintkezőkkel és a hozzájuk tartozó állóérintkezőkkel helyettesítik. Így mind a gyűjtősín, mind a vonali szakaszolók nagy helyigénye, költségei, kezelése elmarad.

Az egyes rekeszek a következő készülékeket, ill. elemeket tartalmazzák:

a gyűjtősín rekeszben (a) általában csak a gyűjtősín van. Az érintkező rekeszben (b) helyezik el a gyűjtősínhez csatlakozó szakaszolás helyhez kötött részét. Az érintkezők átvezető-szigetelőkön keresztül csatlakoznak a gyűjtősínnekhez. Az érintkező rekeszt a megszakítóterttől rekeszfal választja el, amelyben nyílások vannak; ezeken át tudnak behatolni a megszakítókocsira szerelt mozgó ujjas érintkezők.

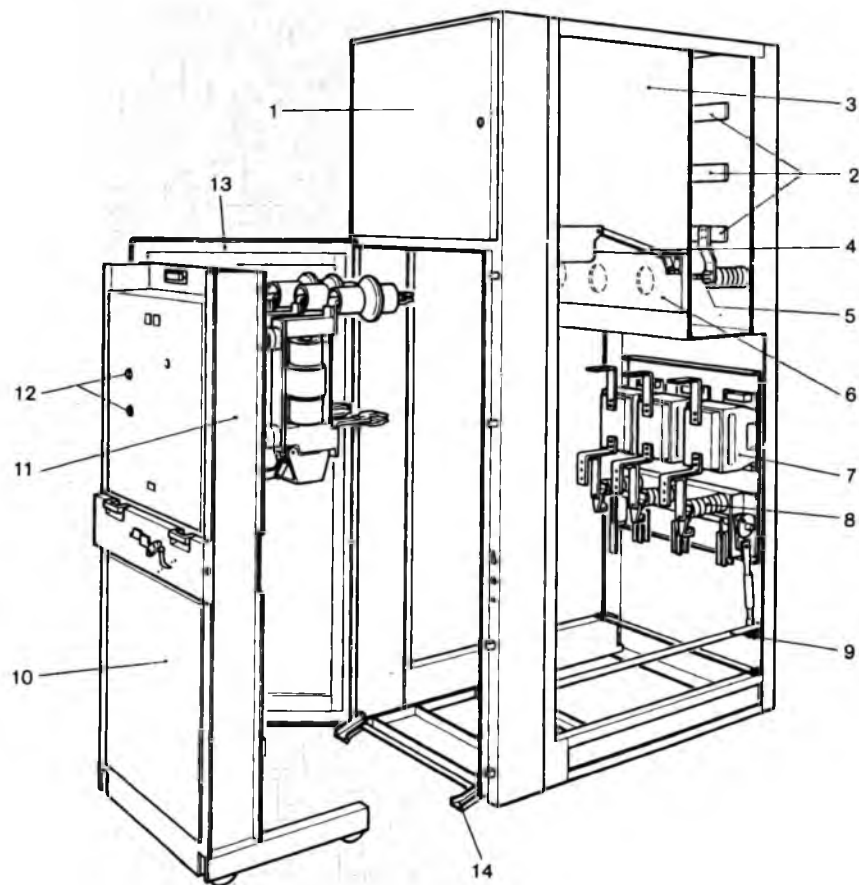
Egyes megoldásoknál az a) és a b) rekeszt nem választják külön, hanem részükre egyetlen, közös rekeszt képeznek ki. A megszakító rekeszben (c) van a kocsira szerelt megszakító. A kocsi vezetősíneken gördíthető, s kézzel, vagy mechanikai szerkezettel mozgatható. A kocsin található még egyes megoldásoknál az áram-, ill. a feszültségváltó, avagy mindkettő. Az ujjas mozgóérintkezők általában a megszakítón vannak. A kábelvégelzáró rekeszben (d) található a kábelvégelzáró, a kábelhez csatlakozó szakaszoló helyhez kötött érintkezői, valamint a kábel leföldelésére szolgáló földelőkés. Ha a mérőváltók (ill. valamelyik a kettő közül) nem a megszakítókocsin van, elhelyezésük ebben a rekeszben történik. A kiefeszültségű rekeszt (e) a kezelőfolyosó felőli oldalon kell elhelyezni. Benne található a mérő, jelző, működtető és a védelmi áramkörök készülékei. Az egyes rekeszek

válaszfalai acél-, ill. műanyag lemezek. A 7.2.-5. ábra egy közép feszültségű belsőtéri tokozott cellát ábrázol.

A tokozott cellákra szigorú reteszelési követelmények érvényesek, mivel a kocsi helytelen mozgása téves kezelést, ez pedig súlyos üzemzavarokat okozhat. A szokásos reteszelési feltételek a következők:

- bekapcsolt megszakítóval a kocsi nem mozdítható el, sem a beszakaszolt, sem a kiszakaszolt állapotnak megfelelő helyzetből;
- a két szakaszolási véghelyzet között a megszakító akár álló, akár mozgó állapotban van nem működtethető;
- a földelő szakaszoló csak kiszakaszolt kocsi esetén kapcsolható be, azaz a földelt leágazásra a megszakító kocsit nem lehet beszakaszolni.

Az előző reteszfeltételeket mechanikai reteszelő elemekkel valósítják meg. A kocsi ki- és beszakaszolt véghelyzetét végálláskapcsoló jelzőelemekkel képezik le. A közép feszültségű tokozott belsőtéri kapcsolóberendezések jellegzetes primer készülékei: megszakítóként olajszegény (kisolajterű), vagy olaj nélküli (mágneses ívfűvású lég, vákuum, SF₆) megszakítókat alkalmaznak.



7.2.-5. ábra Közép feszültségű belsőtéri tokozott cella

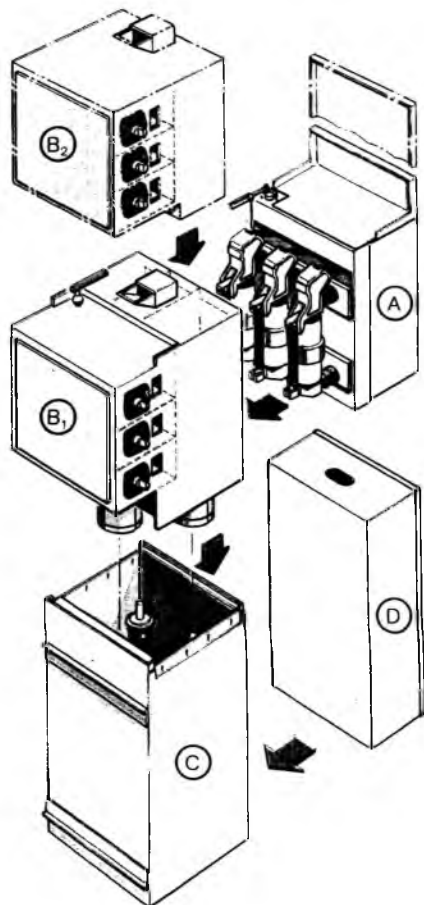
- 1 kisfeszültségű térrész; 2 gyűjtő sín; 3 gyűjtő sín rekesz; 4 leválasztó lemez működtetés;
 5 ellenérintkező; 6 védőlemez; 7 áramváltó; 8 földelőkapcsoló; 9 földelőkapcsoló hajtás;
 10 leszerelhető fém védőlemez; 11 megszakító kocsi; 12 megszakító kocsi hajtás;
 13 kapcsolótér ajtó; 14 bekocsizás segítése

Kis helyigényük és tűzveszélymentes szigetelésük miatt igen elterjedtek a műgyantába ágyazott kivitelű közép feszültségű áram- és feszültségváltók. A gyűjtő sín elrendezés jellegzetes kialakítása az egy-gyűjtősínes megoldás, azonban kétgyűjtősínes berendezések

részére is fejlesztettek ki és gyártanak tokozott cellákat. A gyűjtősínek vagy légszigetelésűek (azaz külön szigetelésük nincs), vagy műanyaggal burkoltak.

A cellák helyiségen belüli elhelyezése kétféle lehet: fal mellé állíthatók, vagy a faltól távolabb, a helyiség adott részében, szabadon. Néhány megoldásnál a cella mindkét elhelyezésre alkalmas.

A legújabb típusú kapcsolóberendezések — új szerkezeti megoldásként — a moduláris felépítésű kapcsolóberendezések, széleskörű elterjedésüket azonban borsos árak akadályozzák. Ezekben a berendezésekben SF₆-os és légmegszakítókat alkalmaznak (7.2.-6. ábra).



7.2.-6. ábra Moduláris középvezettségű kapcsolóberendezés
 (a) megszakító modul; (a₁) (a₂) gyűjtősín modul; (c)kabel csatlakozó modul;
 (d) kismegszakító modul

7.2.2. Szabadtéri kapcsolóberendezések

Szabadtér az a térség, vagy a térségnek az a része, ahol a villamos berendezések csapadéknak, vagy bármely más időjárási hatásnak (pl. szél, napsütés) ki vannak téve.

Ebben a fejezetben a szabadtéri közép- és nagyfeszültségű kapcsolóberendezések térbeli kialakításával foglalkozunk. Két nagy csoportjuk különböztethető meg:

- 1- hagyományos nyitott;
- 2- tokozott.

A két építési mód között közép- és nagyfeszültségen jelentős az eltérés mind felépítésben, elrendezésben, mind a készülékek kivitelében és a kapcsolástechnikában is.

A szabadtéri kapcsolóberendezések közös kialakítási ismérve, hogy azokat nem éghető anyagból készült kerítéssel kell körülvenni, amelynek magassága 1,8 m-nél alacsonyabb nem lehet.

A szabadtéri nyitott kapcsolóberendezések készülékei és egyéb szerkezeti részei a szabad légtér kihatásait (csapadék, hőmérsékletváltozás, légköri szennyeződés stb.) elviselési kivitelezésben készülnek, amelyeket helyszíni szereléssel alapra és tartószerkezetekre rögzítenek. A tartószerkezetek kialakításától függően a következő három elrendezés különböztethető meg:

- magas,
- középmagas,
- alacsony elrendezés.

A *magas elrendezés* a legrégebbi rendszer, amely a belsőtéri elrendezéshez hasonló alakult ki. A tartószerkezet magassága a 15 m-t is meghaladja, hiszen a szakaszolók és megszakítók felett 4 m-nél magasabban, a gyűjtősínek pedig a szakaszolók felett helyezkednek el. Előnye a magas elrendezés céljában rejlik, azaz a minél kisebb alapterület-igény. Üzemviteli-kezelési szempontból azonban több hátránya van — a gyűjtősínek és szakaszolók nehezen hozzáférhetők; az elrendezés kevésbé jól áttekinthető; a zárlatok okozta rongálódás nagy területre terjedhet ki — emiatt az elrendezés csupán szűkös terepviszonyok között lehet gazdaságos (USA, Japán).

A *középmagas elrendezés* készülékei kb. 2 m magas tartószerkezetekre vannak szerelve, aminek a kezelés és a karbantartás, ellenőrzés szempontjából nagy a jelentősége. Ezen előnyök indokolják széleskörű elterjedését (különösen Európában).

Az *alacsony elrendezés* készülékei a talajszinttől kb. fél méter magasra kiemelt alapokra vannak szerelve. A megoldás üzemviteli szempontból előnyös, azonban biztonsági okokból (érintésveszély) minden készüléket körül kell keríteni, ami viszont az áttekinthetőséget rontja. További hátrány, hogy a berendezés helyszükséglete nagy. A hátrányok mértékadó volta miatt ez az elrendezés a gyakorlatban nem terjedt el.

Szabadtéri kapcsolóberendezéseket többnyire csak 35 kV-nál nagyobb névleges feszültség szintekre építenek.

7.2.2.1. Középfeszültségű szabadtéri kapcsolóberendezések

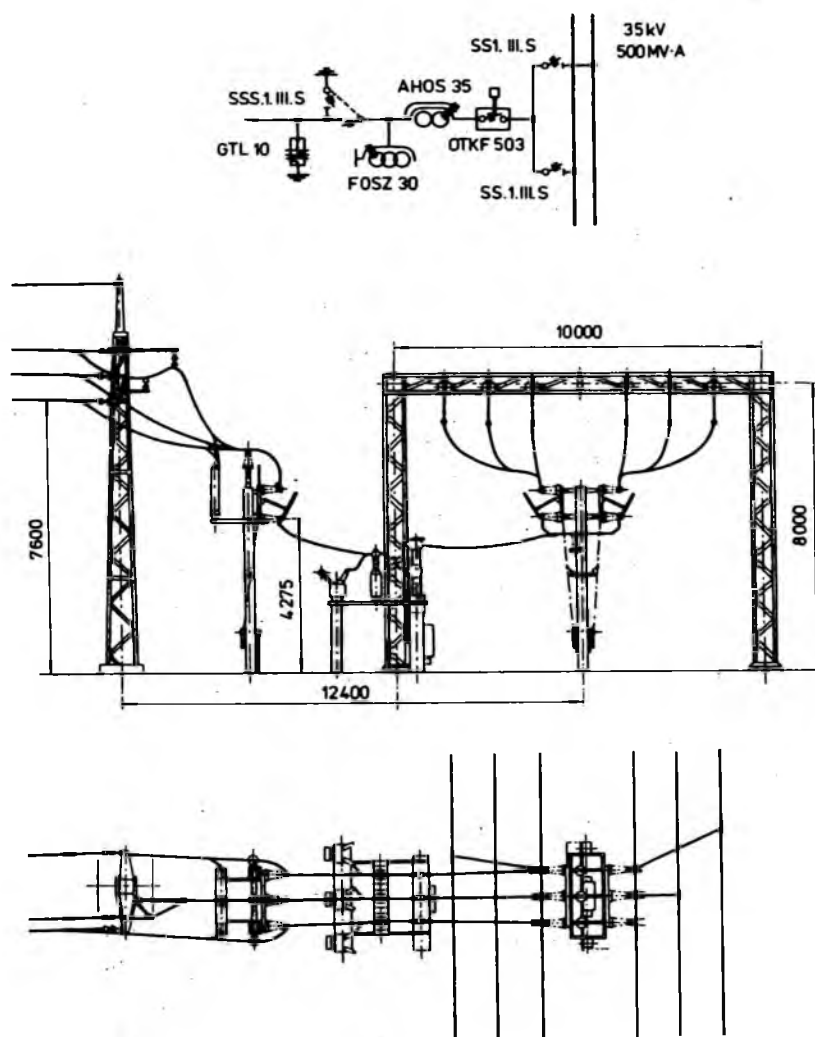
A hazai készülék- és berendezésgyártás, valamint az elrendezés tipizálás a középfeszültségű szabadtéri kapcsolóberendezések területén is figyelemre méltó eredményeket ért el, ezért a térbeli kialakítást a korábbi hazai gyakorlat alapján tekintjük át.

A nyitott, szabadtéri középfeszültségű kapcsolóberendezések hazai viszonylatban 35 kV névleges feszültségre (40,5 kV legnagyobb üzemi feszültségre), egy- és kétgyűjtősínes kivitelben készültek. A 7.2.-7. ábra a kétgyűjtősínes változatot mutatja. Mindkét változat közös jellemzői a következők:

- az építés módja a magas és a középmagas elrendezésekből kialakított megoldás. A gyűjtősínszakaszolók ui. 4 m-nél magasabban helyezkednek el, és a gyűjtősínek a szakaszolók felett, ill. kétoldalt, a földtől 8 m magasságban vannak felszerelve. A megszakítók és a mérőváltók viszont a középmagas elrendezésnek megfelelő földfeletti magasságban helyezkednek el;

- a gyűjtősínek függőszigetelőkre szerelt, nemesített alumínium-sodronyból készülnek;
- a leágazások sínjeit cső- és sodronyszerkezetű vezetők képezik;
- a szakaszolók és a földelőkapcsolók kézi hajtásúak;
- a tipizált kapcsolóberendezések 35 kV-os szigetelt, vagy kompenzált szabadvezeték-hálózati rendszerhez alkalmazhatók, rövidzárlati szilárdságuk 500 MVA.

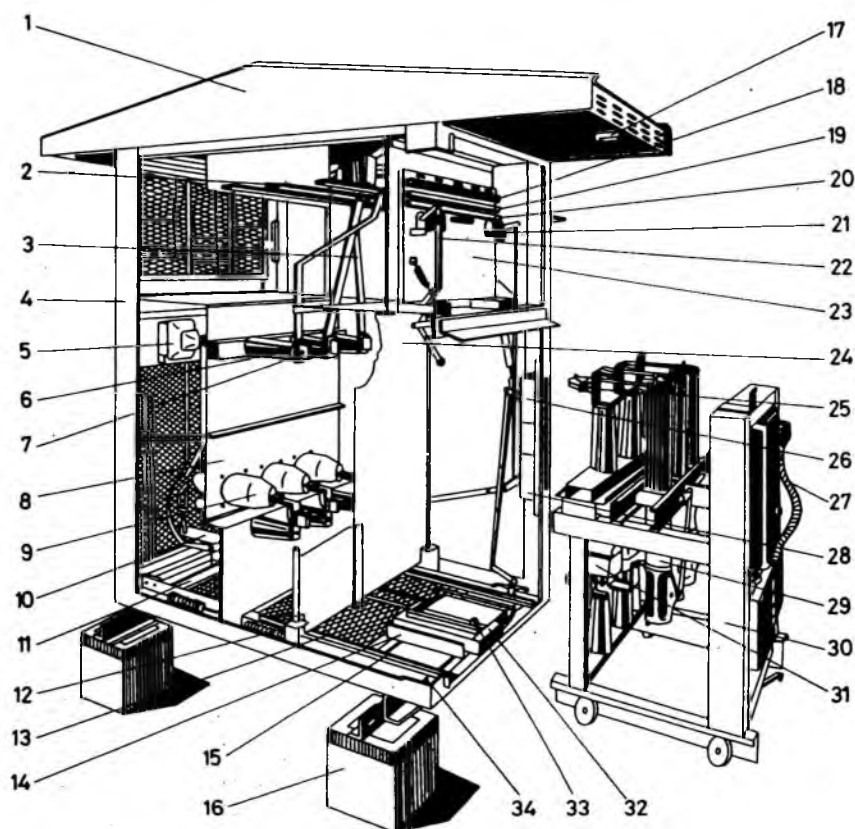
Egyes korábbi építésű szabadtéri nagyfeszültségű alállomásokban 20 kV-os feszültségzintre is létesültek nyitott, középfeszültségű kapcsolóberendezések.



7.2.-7. ábra 35 kV-os szabadtéri nyitott kétgyűjtősínes kapcsolóberendezés térbeli kialakítása

Az állandóan növekvő energiaigény mind az ipar, mind a lakosság ellátásának területén egyre több, s egyben kis építészeti hányadot, és rövid megvalósítási időt igénylő villamos berendezés létesítését tette szükségessé. Ennek az igénynek a maradéktalan kielégítésére irányuló törekvés alapján fejlődtek ki a *szabadtéri középfeszültségű tokozott kapcsolóberendezések*, amelyeket hazai viszonylatban 10 kV-os (6 kV-ra is alkalmazható) és 20 kV-os, egy-gyűjtősínes kivitelben készítettek. Kifejlesztésében felhasználták a belsőtéri tokozott cellák szerkezetében és üzemvitelében szerzett sokrétű tapasztalatokat.

A 7.2.-8. ábra a 20 SRTO-500 típusjelű, 20 kV-os (legnagyobb üzemi feszültsége 24 kV), 500 MVA-es szabadtéri tokozott cella felépítését mutatja. Az ábra magyarázatai alapján a felépítés részletei jól követhetők.

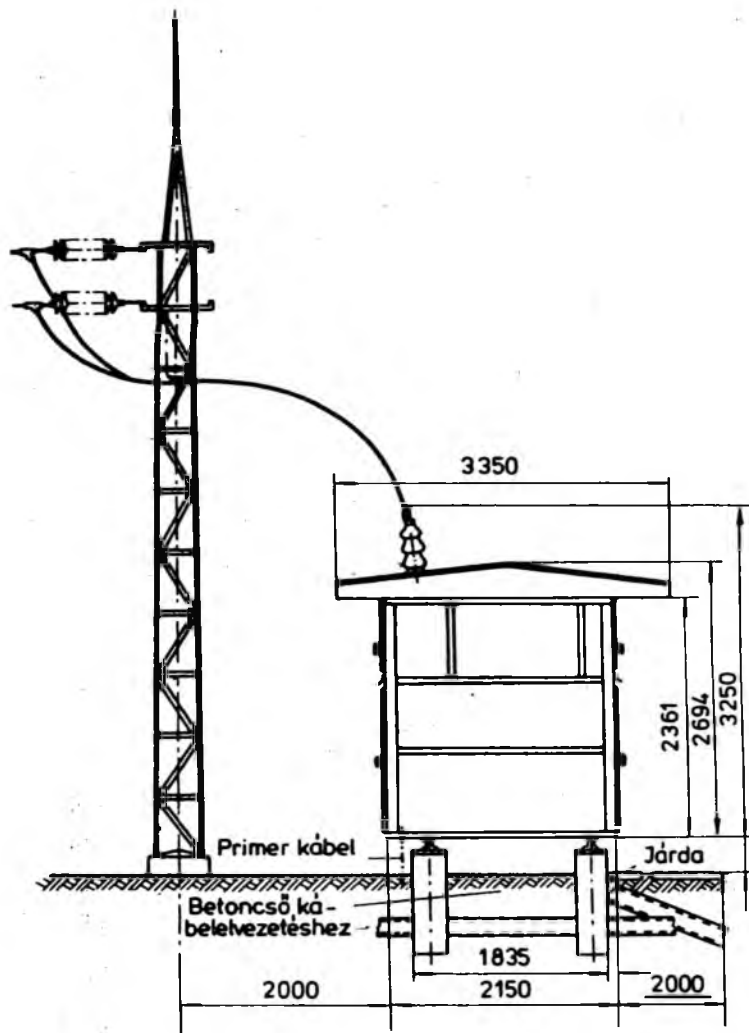


7.2.-8. ábra Szabadtéri tokozott cella elrendezési képe

- 1 tető; 2 gyűjtősín; 3 leágazó sín; 4 cellaváz; 5 feszültségváltó; 6 támszigetelő; 7 állóérintkező; 8 elválasztó lemez; 9 átvezető szigetelő; 10 földelő szakaszoló; 11 kábeltartó; 12 cella-fűtés; 13 taposórács, nyomáslevezető; 14 megszakítókocsi földelés; 15 megszakítókocsi földelés; 16 cella alap; 17 térvilágítás; 18 sorozatkapocs; 19 szekunder kábel; 20 körvezeték; 21 földelőszakaszoló segédérintkező; 22 megszakító segédérintkező; 23 szekunder szerelőlap; 24 redőny; 25 ujjasérintkező; 26 redőny működtetés; 27 szekunder dugaszoló; 28 földelőszakaszoló hajtás; 29 megszakító; 30 megszakítókocsi; 31 áramváltó; 32 megszakítókocsi mechanikus állásjelzés; 33 behúzó- és helyeztrögítő szerkezet; 34 szekunder kábelcsatorna

A hazai szabadtéri tokozott cellák egyes főbb jellemzői:

- a tokozott cellák váz- és burkolóanyaga a szilárdsági követelményeknek megfelelő, korrózióálló alumínium;
- a cellákba szériagyártmányú belsőtéri készülékeket építettek be;
- a megszakító gördíthető kocsiszerkezetre van szerelve, amelyen a 20 kV-os cella esetében a műanyag-szigetelésű mérőváltók is el vannak helyezve;
- a 10 kV-os változatban valamennyi leágazás kábelcsatlakozású, míg a 20 kV-os tokozott cellában elhelyezett gyűjtősín-leágazáshoz akár szabadvezetéki kivezetés, akár kábelleágazás csatlakozhat (7.2.-9. ábra);
- a gyűjtősín- és a vonali szakaszoló — a megszakítóra szerelt dugaszoló, ill. csúszóérintkezők alkalmazásával — elmarad;
- a tokozott cellák előregyárthatók; a tokok egymás mellé szerelésével zárt tokosor képezhető ki.



7.2.-9. ábra Középfeszültségű tokozott kapcsolóberendezés szabadvezetéki csatlakozással

7.2.2.2. Nagyfeszültségű szabadtéri kapcsolóberendezések

A nagyfeszültségű, nyitott szabadtéri kapcsolóberendezések igen elterjedt formája az ún. középmagas elrendezés, amelynek az alapvető jellemzője, hogy a kapcsolókészülékek kb. 2 m magasságban helyezkednek el. A feszültség alatt lévő vezetők térbeli szintje szempontjából a fejlődés során a következő rendszerek alakultak ki:

- három vezetősíntes,
- két vezetősíntes:
 - tandem,
 - vonalsoros

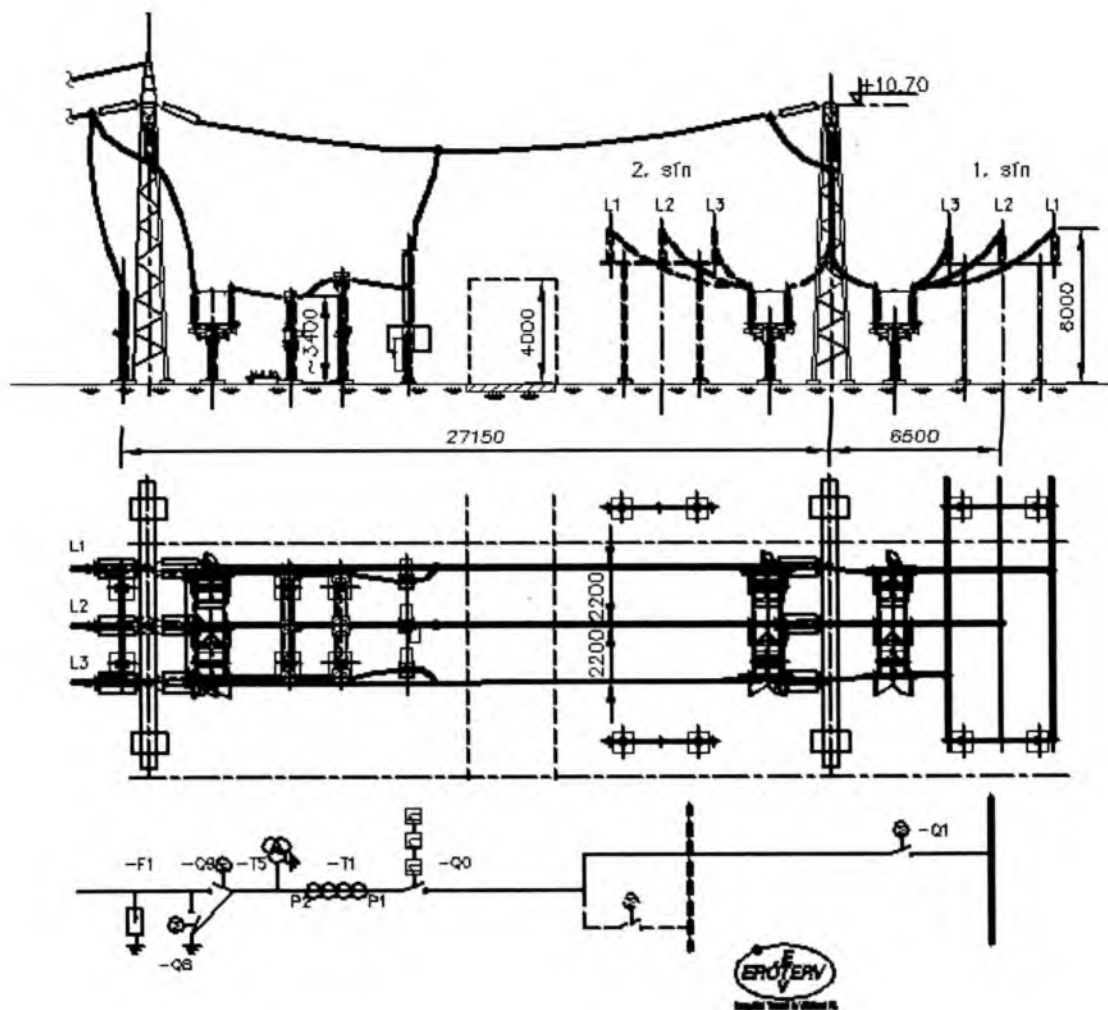
elrendezés.

A klasszikus megoldásnak számító középmagas háromvezetősíntes rendszerben az alsó szintet (a_1) a készülékcsatlakozók, a középső szintet (a_2) a gyűjtősínek, míg a felső szintet (a_3) a gyűjtősíneket felülről keresztező leágazó sínezés szintje képezi.

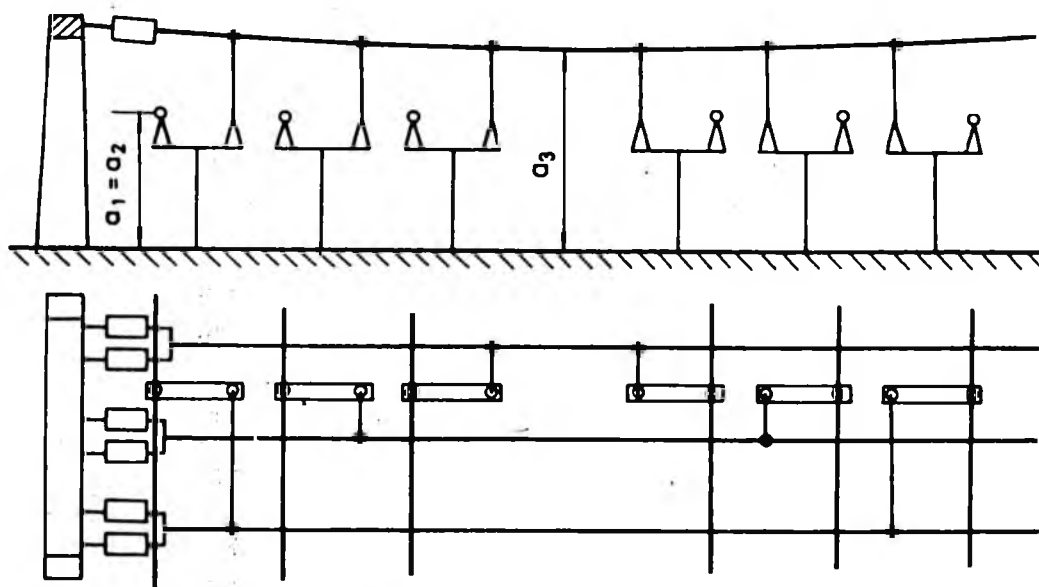
A 7.2.-10. ábra a középmagas háromvezetősíntes rendszer elrendezési képét mutatja oldalnézet-metszetben és felülnézetben. Az (a_1) szintet a gyűjtősín-szakaszoló álló szigetelőinek felső vége ("sapkája") jelenti, amelyekhez csatlakoznak, részben a gyűjtősínről leágazó sínezések, részben a keresztező leágazó sínezésekről jövő vezetékcsatlakozások. Az elrendezés jellemzői: a gyűjtősín és az összekötő-leágazó vezetékek anyaga sodrony; a keresztező-leágazó vezeték kettős gyűjtősínrendszer esetén mindig az egyik gyűjtősínrendszer felett halad. Előnyei: jól áttekinthető; az egyes készülékek könnyen áthidalhatók; mérsékelt a helyigénye. Hátrányai: nagy mennyiségű portál, alap, szigetelő és vezeték szükséges a kialakításhoz.

A gazdaságosság növelése iránti igény a külföldi gyakorlatban új megoldásokat eredményezett. Összefoglalóan ezeket két vezetősíntes elrendezésnek nevezzük, mert bármelyik változatának közös jellemzője, hogy a három szint közül kettő összevonva azonos szintet alkot. A **tandem** elrendezésben (7.2.-11. ábra) a gyűjtősínszakaszolókat a gyűjtősínekre merőlegesen helyezkednek el, vagy egyvonalban, miként az ábra mutatja, vagy ferde (diagonális) elhelyezésben. Ebben az esetben a készülékcsatlakozók (a_1) és a gyűjtősín (a_2) szintje összevonható ($a_1=a_2$) és a gyűjtősínt (csősín) a szakaszoló szigetelői tartják. A gyűjtősín alumíniumötvözetből készült csőidom, míg a keresztező leágazó sínezés sodrony, vagy szintén alumíniumcső.

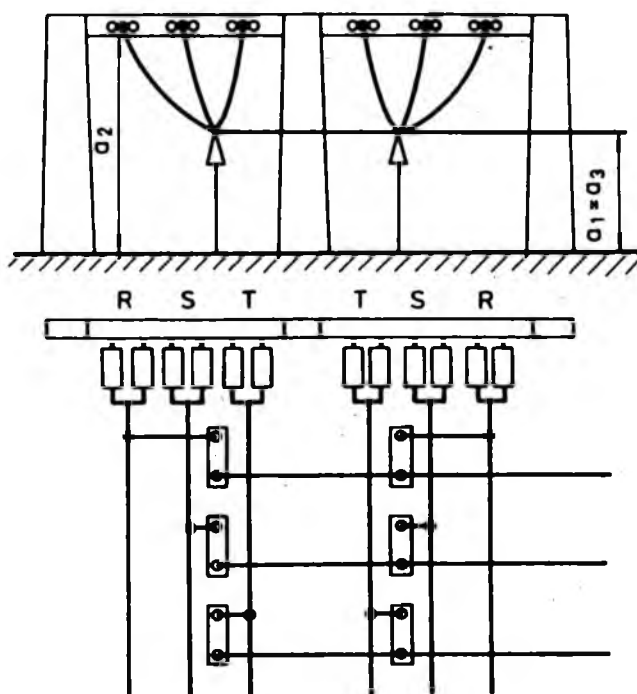
A vonalsoros elrendezésben a gyűjtősínszakaszolókat a gyűjtősínnel párhuzamosan egyvonalban (7.2.-12. ábra), vagy több vonalban helyezik el. Ebben az esetben a leágazás elmenő vezetéke (keresztező csősín) (a_3) a készülékcsatlakozás (a_1) szintjére kerül ($a_1=a_3$) és így módon alakul ki a két vezetősínt. A keresztező sínezés alumíniumcsőből, míg a gyűjtősín sodronyból, vagy szintén alumíniumcsőből van.



7.2.-10. ábra Középmagas, három vezetősíntes, nyitott nagyfeszültségű kapcsolóberendezés elrendezési képe (Veszprém-Észak, 120 kV). Az 1. sín rendszer csögyűjtősínnel létesítve, a 2. gyűjtősín még nincs kiépítve. A három vezetősínt: $a_1=10,7$ m (távvezetési leágazás); $a_2=6$ m (a gyűjtősín); $a_3=3,5$ m (a készülékek feszültség alatti pontja).



7.2.-11. ábra Középmagas, két vezetősíntes, tandem elrendezésű, nyitott, nagyfeszültségű szabotéri kapcsolóberendezés elrendezési képe



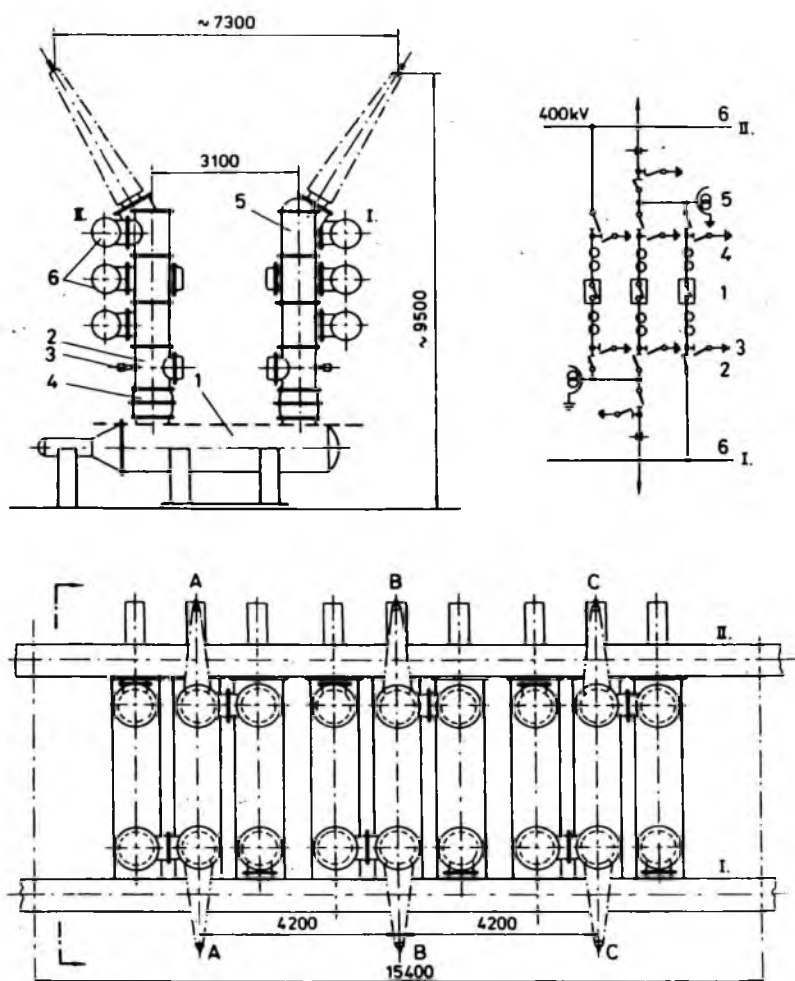
7.2.-12. ábra Középmagas, két vezetősíntes, vonalsoros elrendezésű, nyitott, nagyfeszültségű szabotéri kapcsolóberendezés elrendezési képe

Az előbbi három középmagas elrendezés részletes összevetéséből megállapíthatóan a legtöbb előnnyel a tandem elrendezés rendelkezik, ezért külföldön széleskörűen elterjedt.

A szabotéri nagyfeszültségű kapcsolóberendezések legkorszerűbb technikai megoldását adja az SF₆-gáz szigetelésű tokozott nagyfeszültségű kapcsolóberendezés. A Ganz Villamossági Művek (GVM) megvásárolta az SF₆-szigetelésű tokozott nagyfeszültségű kapcsolóberendezések gyártási licencét a BBC-től, és így már a 70-es, 80-as években lehetővé

vált ilyen berendezések hazai gyártása, ill. alkalmazása, és pedig az első lépésben belsőterre a 120 kV-os hálózaton (lásd a 7.2.1.1. pontban), míg a második lépésben szabadtérre, a 400 kV-os alaphálózaton.

A 7.2.-13. ábra a Ganz-BBC 400 kV-os, másfélmegszakítós kapcsolású, SF₆-szigetelésű tokozott kapcsolóberendezést mutatja. Jól látható a kialakítás módja: a kapcsolóberendezés teljesen zárt, fázisonkénti tokozását tömítetten összeillesztett és szerelt csődarabok rendszere képezi, amelyen belül helyezkednek el SF₆-gázban a különböző készülékek és egyéb szerkezeti elemek. A tokozás alakja jól követi a kapcsolási kép rendszerét.



7.2.-13. ábra 400 kV-os SF₆ szigetelésű szabadtéri tokozott másfélmegszakítós kapcsolóberendezés

Az SF₆ tokozott szabadtéri berendezések főbb előnyei a hagyományos, nyitott kialakításhoz képest a következők:

- Rendkívül kicsi a helyszükséglet (a hagyományosnak kb. 8-12%-a!);
- A kis helyigény miatt elkerülhető értékes mezőgazdasági földterületek igénybevétele;
- A berendezés teljesen zárt, fázisonként tokozott külső fém (alumínium) burkolata biztosítja, hogy a berendezés a légköri behatásoktól függetlenül működik, villámcsapással szemben is védett;
- A fémburkolat földelt, ami által érintési veszély nem lép fel, valamint a földelt fémköpeny eleve kizárja a hírközlő berendezések bármiféle zavarását;

- A karbantartási igény csekély;
- A kis helyigény, a kis karbantartási igény lehetővé teszi kezelő nélküli, városi, föld alatti állomások, ill. mobil állomások építését;
- Környezetvédelmi szempontból kedvező: zajszegény, esztétikus, biztonságos;
- Az elemek gyárilag előállíthatók, műhelymunkával komplett egységekké előszerelhetők, így a felállításhoz szükséges helyszíni építési, szerelési munka minimális;
- A modulrendszerű, építőköcka elvű szerkezeti kialakítás lehetővé teszi a legkülönbözőbb kapcsolások, ill. elrendezések megvalósítását, a már meglévő alállomások egyszerűbb és gyorsabb bővítését.

Hátránya, hogy drágább a hagyományos megoldásnál.

7.2.3. Kisfeszültségű kapcsoló- és vezérlőberendezések

A kisfeszültségű kapcsoló- és vezérlőberendezések a kisfeszültségű fogyasztók energiaellátásához szükségesek. A fogyasztók sokrétűsége, s ebből következően a felhasználási és az üzemviteli követelmények, valamint az elosztandó villamos energia nagyságának különbözősége méreteiben és felépítésében eltérő kapcsoló- és vezérlőberendezések kifejlesztését és alkalmazását tették szükségessé. A kialakult típusokat (megoldásokat) a berendezések külső kialakítása szerint következőképp csoportosíthatjuk:

- Nyitott berendezés;
- Mellső oldalon burkolt berendezés;
- Burkolt (tokozott) berendezés;
 - szekrényes (többszekrényes berendezés,
 - pult alakú berendezés,
 - dobozos (többdobozos) berendezés,
 - burkolt sínrendszer.

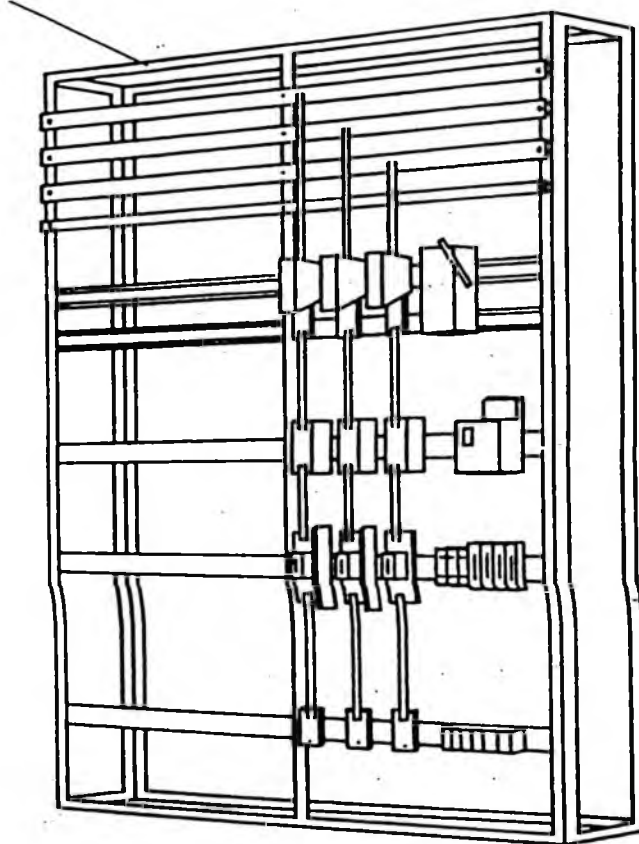
Kivitelükre általánosan jellemző, hogy többségükben tipizált, előregyártott elemekből, egységekből készül.

Szerzői megjegyzés: Az itt ismertetett felosztás a nemzetközi és egyben magyar szabvány alapján készült, de hosszú időnek kell eltelnie, hogy a magyar szaknyelvi szóhasználat is e terminológiát kövesse.

7.2.3.1. Nyitott ill. mellső oldalon burkolt kapcsoló és vezérlő berendezések

A nyitott ill. mellső oldalon burkolt kapcsoló és vezérlő berendezések elődje az egyszerű kapcsolótábla volt. A kisfeszültségű kapcsolótáblák feladata az volt, hogy a *villamos energia elosztásával összefüggő* kapcsolási műveletek elvégzését lehetővé tegyék. A mai berendezések olyan készülékeket tartó vázszerkezettel rendelkeznek, amelyek tagoltak (mezők, cellák), és amelyek magukban foglalják a feladatok ellátásához szükséges készülékeket, műszereket, vezetékeket. A tagoltság általában azonos magasságú, azonban a cellák eltérő szélességűek és esetleg eltérő mélységűek lehetnek. Készülhetnek beltéri vagy szabadtéri kivitelben.

Tartó vázszerkezet

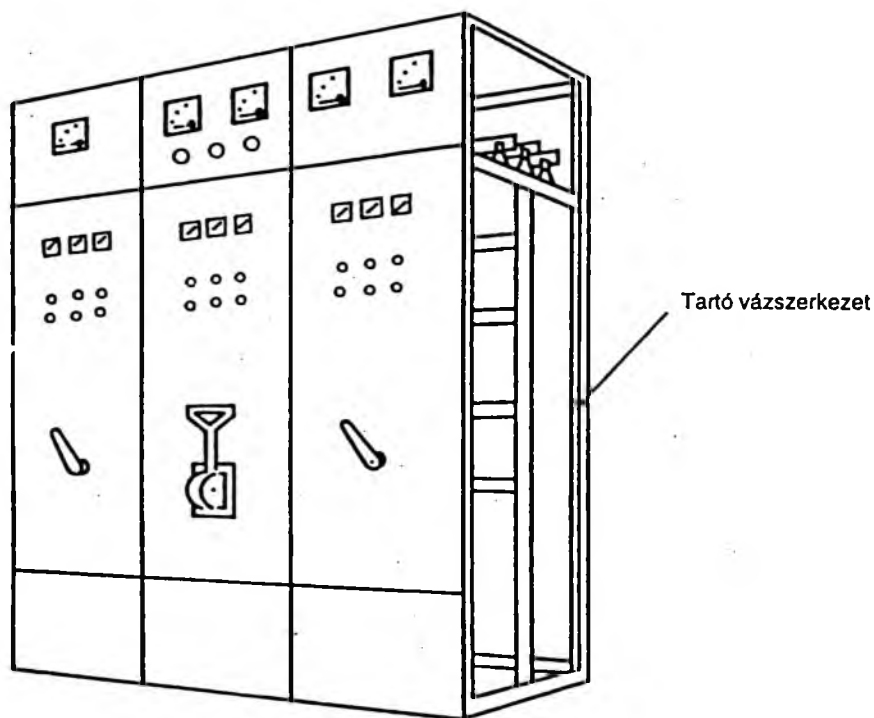


7.2.-14. ábra Nyitott kisfeszültségű kapcsoló berendezés

A nyitott kivitelre jellemző (7.2.-14. ábra), hogy a tartószerkezetre, vagy a vázszerkezetre erősített szerelőlapra szerelt készülékek feszültség alatt álló részei megérinthetők, ezért a véletlen érintés megakadályozására védelmet nyújtó dróthálót, vagy az átlátást nem akadályozó szerkezetet kell felszerelni.

A mellső oldalon burkolt kivitelnél (7.2.-15. ábra) a homloklafületen levő burkolat (amely legalább IP2X védettséget biztosít, megakadályozza a feszültség alatti részek előlről történő megérintését (Az aktív részek a többi irányból hozzáférhetők, így a szabadon maradt részeket természetesen ez esetben is — pl. védőhálóval — védeni kell.). Az egyes mezők, cellák ezeknél a típusoknál a vázhoz tartozó vasszerkezeten kívül más módon nincsenek egymástól elválasztva. Ezek a kiviteli formák csak elzárt villamos kezelőhelyiségben üzemeltethetők.

A fejlődés kisfeszültségen is a burkolt (tokozott) kivitelű kapcsoló-, (elosztó-), és vezérlőberendezések megjelenését hozta. A kapcsolóberendezés minden oldalán burkolattal van ellátva, amely teljes biztonságot nyújt véletlen érintés ellen. A burkolaton belül választólapok is alkalmazhatók, amelyek az egyes szekrényeket, avagy egy szekrényen belül az egyes részeket elválasztják a szomszédos, feszültség alatt álló részeketől. A burkolt kivitelű kapcsolóberendezések — elhelyezésüket tekintve — nem igényelnek külön, elzárható kezelőhelyiséget. A burkolt kivitelre több szabványos típusmegoldás született, amelyeket külön pontok mutatnak be.

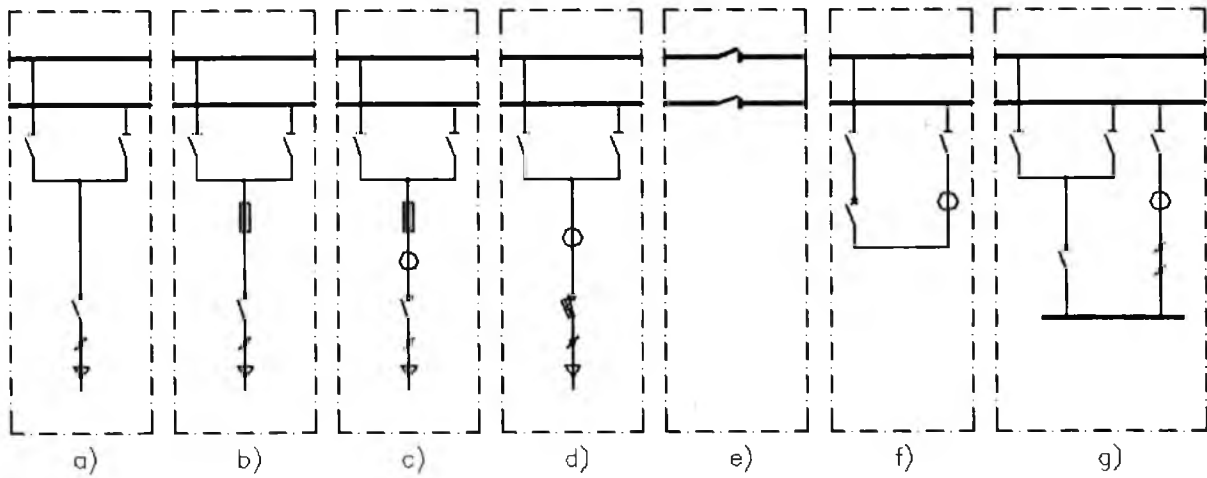


7.2.-15. ábra Mellső oldalon burkolt kisfeszültségű kapcsoló berendezés

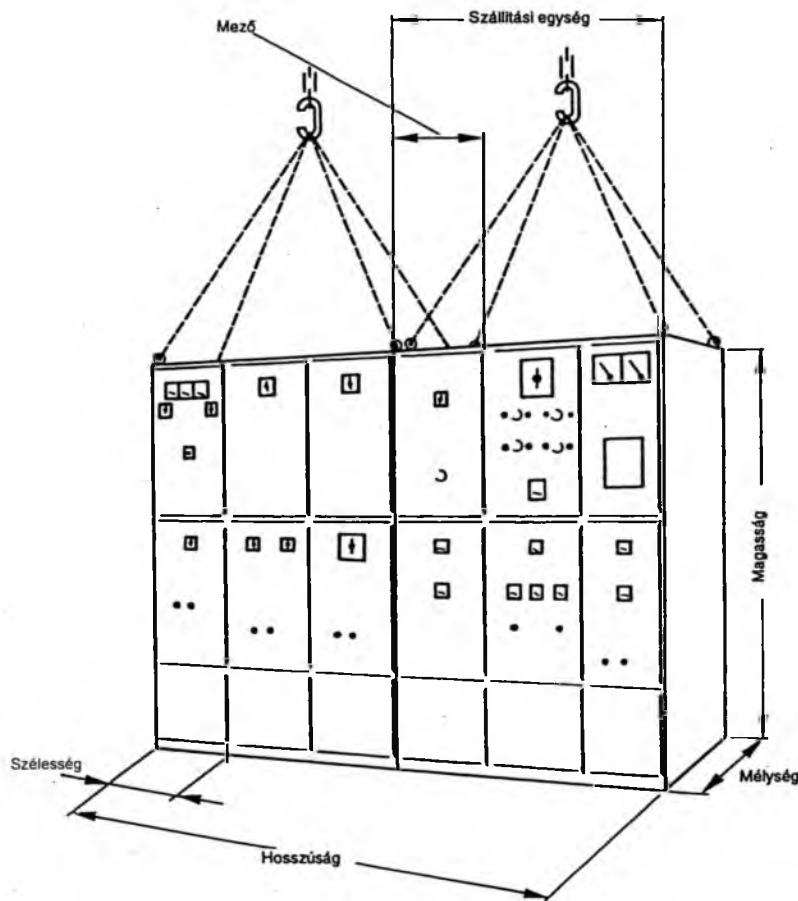
A kisfeszültségű kapcsolóberendezések egy-, vagy kétgyűjtősínes rendszerrel készülnek. Elrendezésük hasonló a középfeszültségű kapcsolóberendezésekéhez, azonban helyigényük lényegesen kisebb, ezért mindig egyszintesek. A gyűjtősínekre csatlakoznak a jellegzetes kisfeszültségű leágazások, nevezetesen a betáplálási, és a fogyasztói leágazások. A betáplálási leágazás jellemző kapcsolókészüléke a megszakító. Ha az adott helyen a betáplált zárlati áram a megszakító megszakítóképességénél nagyobb, akkor olvadóbiztosítót (ún. előtétbiztosítót) kell alkalmazni. Kisebb igények esetén a megszakítót helyettesítheti terheléskapcsoló, vagy mágneskapcsoló is. Ezek azonban zárlati lekapcsolásra nem alkalmasak, ezért a zárlatvédelemről külön kell gondoskodni.

A fogyasztói leágazások jellegzetes zárlatvédelmi készüléke az olvadóbiztosító, ill. a kismegszakító.

A 7.2.-16. ábra néhány jellegzetes kisfeszültségű leágazás kapcsolási képét mutatja.



7.2.-16. ábra. Jellegzetes kisfeszültségű leágazások kapcsolási képe
 a) megszakító leágazás; b) megszakító leágazás zárlatkorlátozó biztosítóval;
 c) terheléskapcsolós leágazás zárlatkorlátozó biztosítóval; d) kapcsolható biztosító leágazás;
 e) sínbontó szakaszoló; f) sínáthidaló megszakító; g) áramszolgáltatói betáplálás
 megszakítóval, bontható sínkötéssel



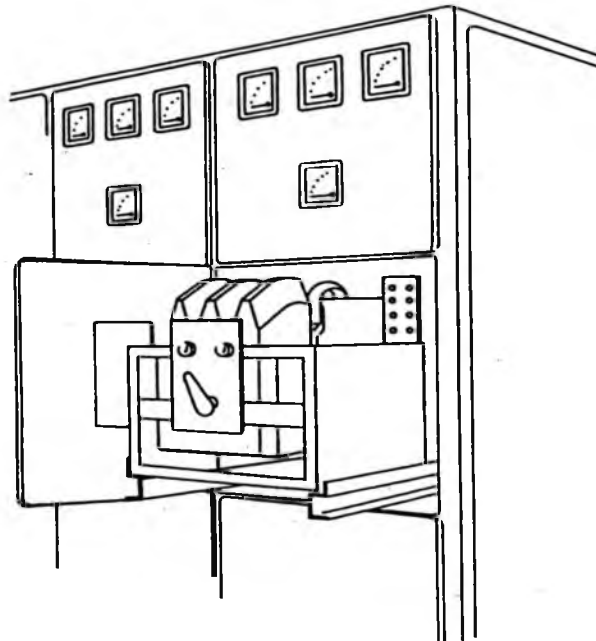
7.2.-17. ábra Többszekrényes, tokozott kisfeszültségű elosztó

7.2.3.2. Tokozott elosztószekrények

A szekrényes berendezés olyan, általában padlóra állított burkolt berendezés, amely több mezőt vagy rekeszt tartalmazhat. A többszekrényes berendezés több mechanikailag összekapcsolt szekrény kombinációja (7.2.-17. ábra).

A szekrényes berendezések előnyei: kedvező árfekvés a sorozatgyártás miatt; gyors szerelhetőség, a szekrényekbe furatrendszerrel ellátott előszerelt szerelőlapok következtében; por, víz, időjárási viszonyok, korróziós hatások ellen védett kivitel a rozsdamentes acél ill. az üvegszál-erősítésű polikarbonát anyagválasztás következtében; gyors telepítés a gyári szerelés és a készre szerelt szállíthatóság miatt; nagyobb megbízhatóság a gyári szerelés, ellenőrzés következtében.

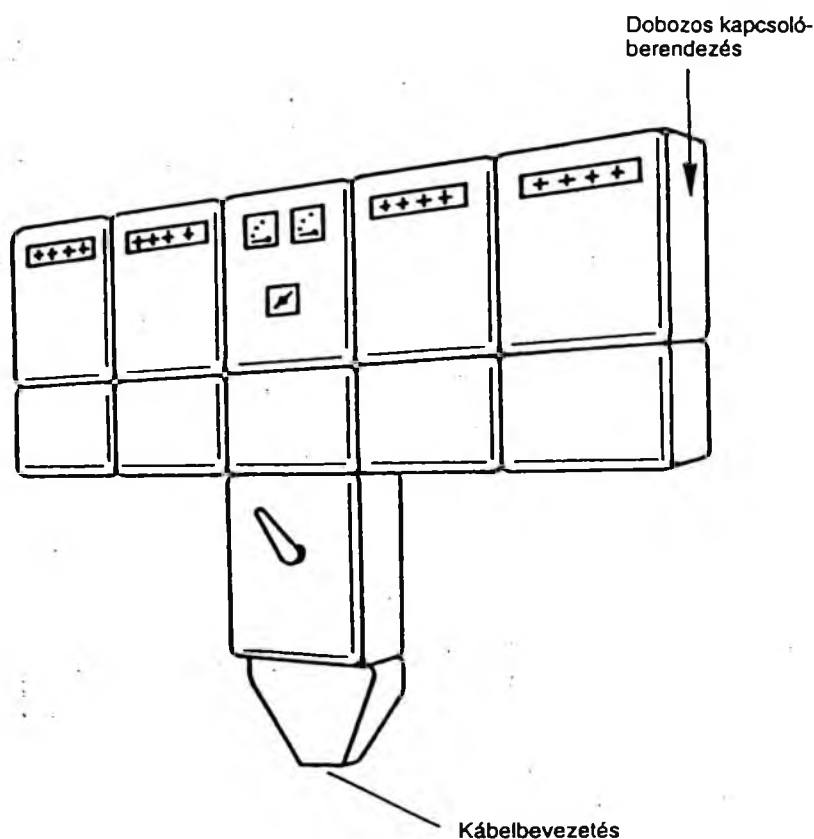
A főáramköri elemek (készülékek, egységek) beépítése lehet rögzített (fix) vagy dugaszolható kivitelű ún. fiókos (7.2.-18. ábra).



7.2.-18. ábra Többszekrényes, tokozott, fiókos kiefeszültségű elosztó

7.2.3.3. Többdobozos, tokozott kiefeszültségű elosztó

A dobozos elosztóberendezést, ill. a belőlük összeépíthető többdobozos elosztóberendezéseket (7.2.-19. ábra) az jellemzi, hogy nem a komplett leágazásokat, hanem az egyes készülékeket építik be külön-külön dobozba (tokba). A készülékek egyenkénti tokozása az esetleges hibákat kis területre korlátozza, ugyanakkor a tokozás révén a feszültség alatti részek érintés ellen védettek. A dobozok zártak, tömítettek, s a kialakítás révén az áramköri elemeknek a mechanikai behatások, a por, a víz, a pára ellen is védelmet nyújtanak. Ennek következtében a dobozokat, ill. az elosztóberendezéseket nem csak az ún. száraz belsőtéren, hanem poros, időszakosan nedves, ill. nedves helyen, valamint szabadtéren is el lehet helyezni. A dobozok építőkockaszerűen összerakhatók, így az elosztóberendezés bővíthető, átalakítható.

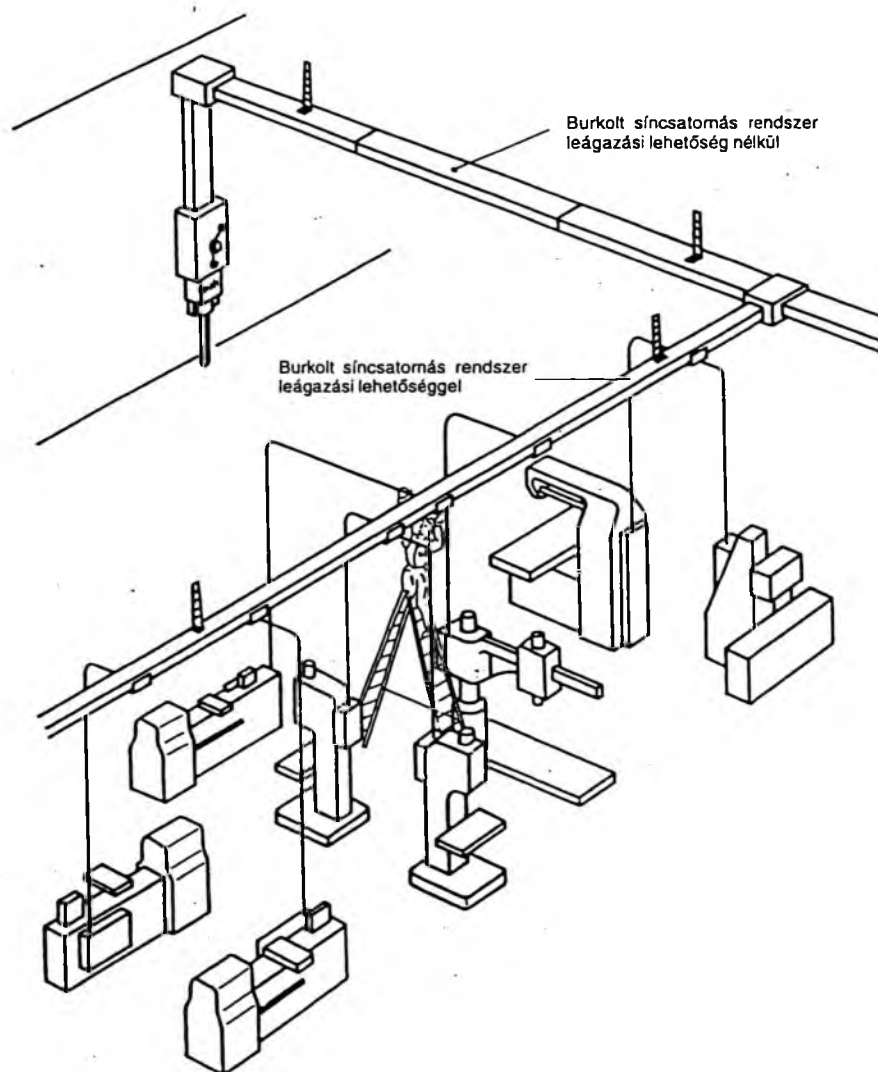


7.2.-19. ábra Többdobozos kisfeszültségű tokozott elosztóberendezés

A tokozott elosztók gyűjtősínrendszere az egyszeres: osztatlan vagy osztott megoldásban. A gyűjtősínek anyaga alumínium vagy vörösréz. A gyűjtősínekre a leágazások csatlakozószerelvényekkel, sínnel, vagy szigetelt vezetékkel csatlakoznak. A villamos készülékeket szerelőlapokra szerelik, és a dobozokba a már elkészített szerelőlapokat rögzítik be. A működtető- és a jelzőkészülékeket viszont a fedélen helyezik el, és hajlékony vezetékkel kötik be a szerelőlapra (az ún. sorozatkapcsokhoz).

7.2.3.4. Burkolt síncsatornás rendszer (tokozott síncsatorna)

Az ipari üzemekben a kisfeszültségű energiaelosztásra az utóbbi évekig a kábeles energiaelosztás volt a jellemző. Az olyan esetek azonban, amikor gyakori gépátcsoportosításra volt szükség, megkövetelték a költséges és a hosszú időt igénybe vevő átszerelés elkerülését, azaz új elosztási mód kialakítását. Ezt a feladatot lehet megoldani az ún. tokozott sínes elosztórendszerrel, amelyben a vezetékek (sínek) burkolattal vannak körülvéve és e tokozott sínek az épületek belsejében mennyezetre függesztve, falra szerelt konzolokra, vagy szabadon álló állványokra szerelve helyezhetők el (7.2.-20. ábra).



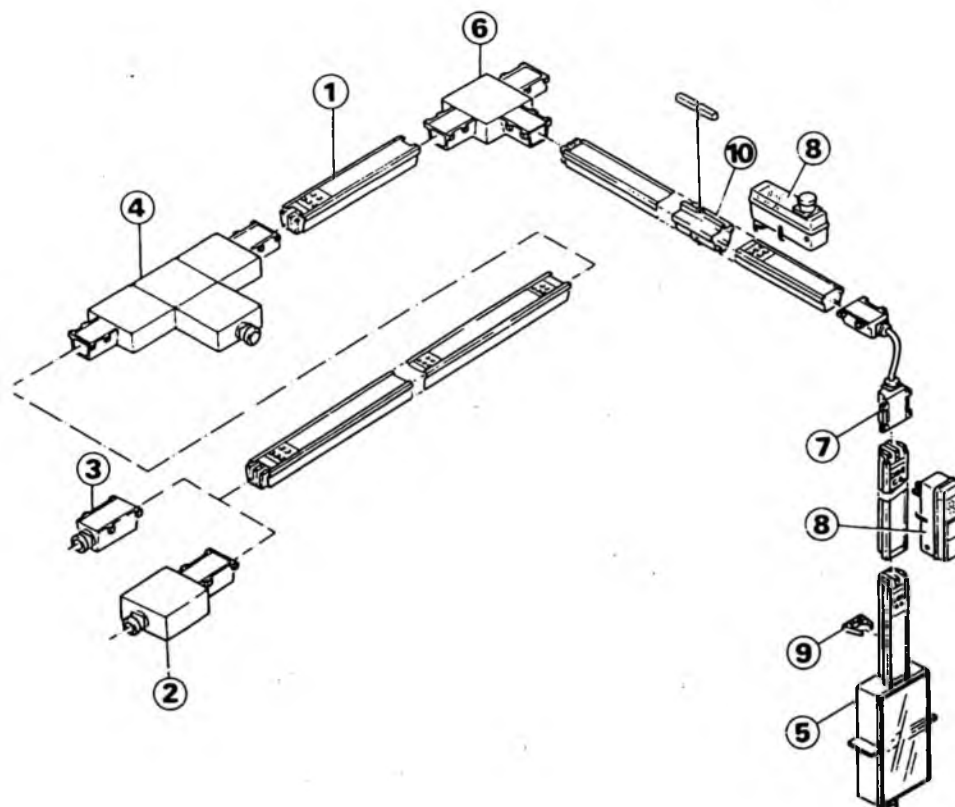
7.2.-20. ábra Burkolt síncsatornás rendszer

A burkolatot tekintve az elosztórendszer lehet fémtokozású, és szigetelt (műanyag) tokozású. Ha a burkolatot olyan módon alakítják ki, hogy az a merevítő váz feladatát is elláthatja, akkor nem szükséges külön teherhordó vázról gondoskodni. A tokozott elosztórendszer csupasz, vagy szigetelt sínekkel, kisebb áramerősségekre az e célra készített szigetelt vezetékkel készül. A burkolat az előírt érintésvédelmi követelményeknek is eleget tesz, így könnyen elérhető magasságban is szerelhető.

A tokozott sínes elosztórendszerek főbb egységei a következők:

- Az egyenes síncsatorna a gyűjtősínekből, a síneket tartó, burkolaton belüli távolságtartókból és a burkolatból tevődik össze. A felfüggesztési, ill. alátámasztási közökre vonatkozó távolságok az egyes típusokra külön megadott értékek. Készülhetnek leágazási helyek nélkül (nagy áramerősségek esetén) és leágazási helyekkel. Ez utóbbi esetben leágazási csatlakozószerelvények szükségesek, amelyek megfelelő dobozokban helyezkednek el;
- Az irányváltást, elágazásokat lehetővé tevő egységek a nyomvonalhoz való alkalmazkodást biztosítják (7.2.-21. ábra). Ezek:
 - az irányváltó idom, amelyik a síncsatorna derékszögű irányváltását teszi lehetővé;

- a rugalmas (flexibilis) összekötő, amelyik az egyenes sínről tetszőleges szögben ágazik le;
- A betáplálásra külön egységeket fejlesztettek ki, amelyekkel általában a síncsatorna végére csatlakoznak, de mód van közép betáplálásra is



7.2.-21. ábra Változtatható leágazású tokozott síncsatornás rendszer elemei
 1 Egyenes sítokozás; 2 Betáplálás nagy keresztmetszettel; 3 Betáplálás kis keresztmetszettel;
 4 Közép betáplálás; 5 Megtámasztó és betáplálási egység; 6 Irányváltó idom;
 7 Flexibilis idom; 8 Leágazó doboz; 9 Rögzítő kengyel; 10 Függesztő kengyel

7.3. Transzformátorállomások térbeli kialakításának egyes szerkezeti kérdései

A villamos energetika tantárgyban foglalkoztunk a transzformátorállomások villamos kapcsolási képével, míg a 7.2. pontban a kapcsolóberendezések térbeli kialakítási módjait tekintettük át. Ezen ismeretekhez csupán kiegészítő (villamos- és építészeti) részletek szükségesek ahhoz, hogy a transzformátorállomások térbeli kialakítását lényegi vonásaiban megismerjük.

7.3.1. Nagy/nagy, nagy/közép és közép/középfeszültségű transzformátorállomások

A *szabadtéri transzformátorállomások* külső képét elsősorban a tartószerkezetek jellemzik. Két fő csoportba sorolhatók: portálok és készülékalapok. A portálok a sodronyok szigetelőkön, ill. szigetelőláncon keresztül történő rögzítésére és tartására készülnek. A hazai

megoldások szerinti gyakori kiviteli módok: vasbeton valamint rácsos vasszerkezetű portálok. A szabadtéri készülékek ún. készülékalapokon helyezkednek el. Általában vasbeton oszlopok, ritkábban rácsos acélszerkezetek. Vasbeton alapok esetén a készülékek, szerelvények, földelővezetők rögzítésére a vasbetonba szögvasakat és vaslemez-lapkákat építenek be.

A készülékek működtetéséhez szükséges villamos- és egyéb szerkezeti elemek a szabadtéri hajtás- és kapcsolószekrényekben foglalnak helyet, amelyeket a készülékek közelében helyeznek el.

A transzformátorokat vasbeton alapokra helyezik, amelyekbe a transzformátorok mozgatásának biztosítására vasúti sínpart rögzítenek. Tűzvédelmi okokból a transzformátorok alatt elhelyezett ún. zúzottkőágyat készítenek, amelyet minden oldalról alacsony betonfal határol. A zúzottkőágy a transzformátorból kifolyó és esetleg meggyulladó olajat lehűti, és szétfolyását megakadályozza. További tűzvédelmi módot képez az ún. vagyonszédelmi (lángvédő) falak építése, ezeket az egymás mellé helyezett transzformátorok közé építik, hogy az esetleges olajtűz káros hatásának átterjedését meggátolják. Különleges esetekben a transzformátorokat ún. vízköd-oltóberendezéssel is ellátják.

A közlekedés és a szállítás céljából a szabadtéren jó minőségű utakat és helyenként vasúti pályát is kell készíteni.

A szabadtéri transzformátorállomások közvetlen villámcsapás veszélyének kitett létesítmények. Minthogy a villámcsapások súlyos üzemzavart és kárt okozhatnak, az állomásokat villámhárító-rendszerrel kell ellátni. Legelterjedtebb a villámhárító rudak alkalmazása. Ezek szilárd acélszerkezetek, amelyeket 35 kV és ennél kisebb feszültségű állomásokban általában különálló oszlopokra helyeznek, míg a 35 kV-nál nagyobb feszültségű állomásokon a portálokra is lehet szerelni. A szabadtéri transzformátorállomások előírt érintésvédelmének biztosítására a szabadtéren földelőhálót fektetnek, amellyel összekötik az üzemi- és a védőföldeléseket, valamint az egyéb, az állomás területén levő és üzemszerűen feszültség alatt nem álló fémrészeket (pl. villámhárítók, fémkerítés, csövezetékek). A hálót több helyen mélyföldelőhöz kapcsolják, amely a hálót a föld mélyebb, nedvesebb rétegeivel köti össze.

A középfeszültségű szabadtéri tokozott cellákat, ill. az ezekből összeállított berendezéseket betonlábakon nyugvó, U-profilú acélgerendákon helyezik el. Az acélgerendák a földelő gerincvezeték szerepét is betöltik. Tűzvédelmi szempontból, telepítéskor a transzformátor és a kapcsolóberendezés között a transzformátor olajmennyiségétől függő, előírt távolságot kell tartani. Ha e távolságok valamilyen okból nem tarthatók be, a kapcsolóberendezést a transzformátor felől fallal kell árnyékolni. Ha a középfeszültségű kapcsolóberendezés-rész belsőtéri (nyitott, vagy tokozott) kivitelű, akkor a kapcsolóberendezést az állomás területén belül létesített épületben, az ún. kapcsolóhelyiségben kell elhelyezni (ipartelepi transzformátorállomásnál a középfeszültségű fojtótekercekek is épületben helyezkednek el).

Az állomás szabadtéri terepének befedésére kétféle megoldás terjedt el: apró kavics (dolomit zúzalék) alkalmazása, ill. a gyepesítés.

Az állomás teljes területét (a szabadteret, ill. a szabadtéri és a belsőtéri részét együtt tekintve) a külső környezettől való elhatárolás céljából magas (3, ill. 4 m) sodronyhálókerítéssel kell körülvenni, amelynek a lábazata kb. 0,5 m magasságig tömör anyagból (pl. beton) készül.

A **belsőtéri nagy/középfeszültségű transzformátorállomások** a különböző feszültségű kapcsolóberendezéseit épületben helyezik el. A transzformátorokat vagy szabadtéren, vagy szintén a belsőtéren helyezik el. A transzformátorok épületen kívüli, szabadtéri elhelyezése esetén az elhelyezési részletekre ugyanazok érvényesek, mint amelyeket a szabadtéri állomások transzformátoraira megismertünk. A belsőtéri elhelyezés — tekintettel a viszonylag nagy transzformátorteljesítményekre és az evvel összefüggő

méretekre — csak különleges körülmények fennállása esetén indokolt (pl. nagyváros belső területe; erősen szennyezett légtér). Ilyen esetekben a transzformátort külön helyiségben, az ún. transzformátorkamrában helyezik el. Kialakítását elsődlegesen meghatározó szempontok: a transzformátor szállíthatósága; az ellenőrzéshez és karbantartáshoz szükséges elegendő nagy férőhely biztosítása; a veszteségmeleg elvezetése; a tűzbiztonság. Ez utóbbi követelményei megszabják az egy kamrában elhelyezhető transzformátorok, készülékek és szerelvényeik számát és fajtáját, valamint a transzformátor alatti kavicsréteg és olajgyűjtő kialakítását.

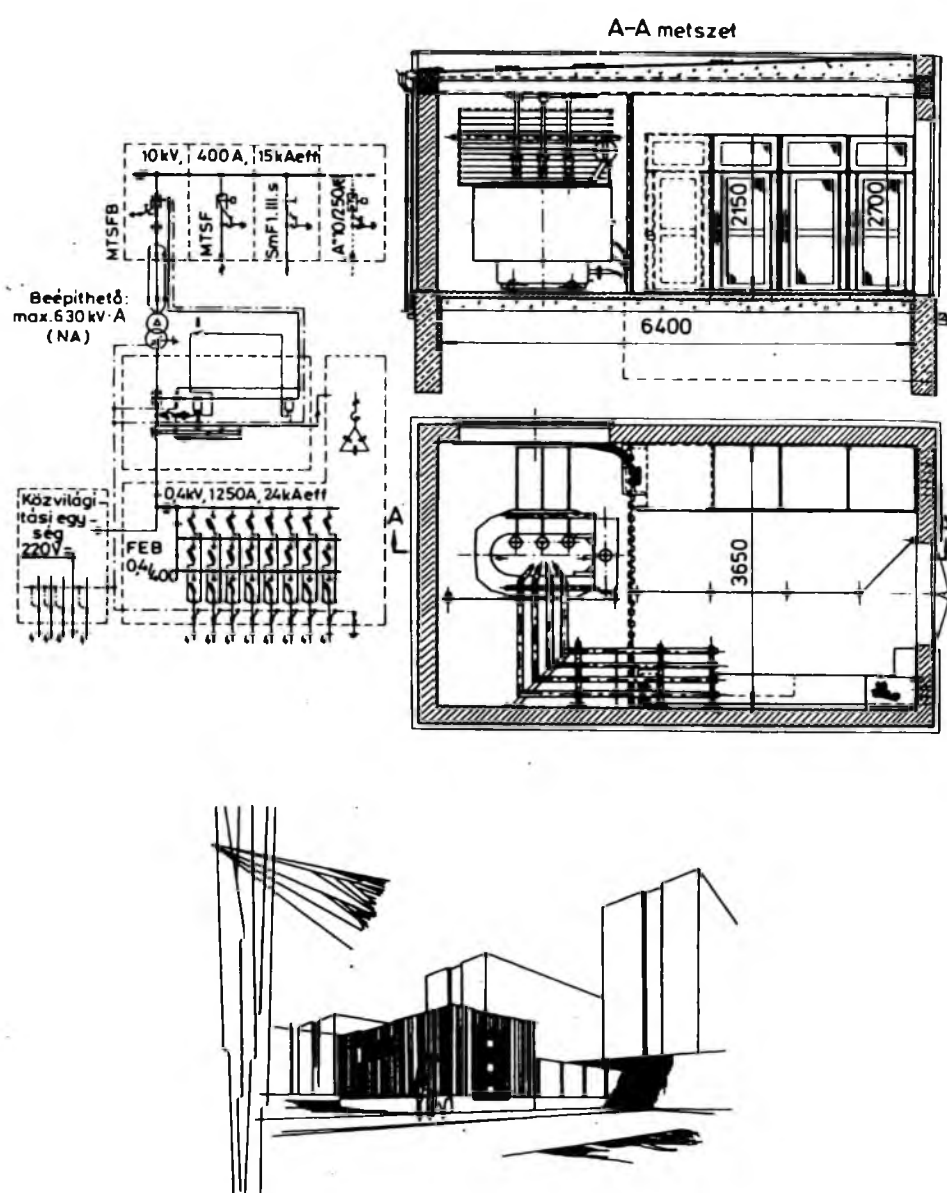
7.3.2. Közép/kisfeszültségű transzformátorállomások

A közép/kisfeszültségű transzformátorállomások a városok, lakótelepek közvilágításának és kommunális fogyasztóinak, valamint kisebb ipari, mezőgazdasági létesítmények villamosenergia-ellátására szolgálnak. Fő jellemzőjük, hogy a közép- és a kisfeszültségű kapcsolóberendezések, valamint a transzformátor(ok) egy összefüggő egységet képeznek. Elhelyezésük lehet zárttéri, ill. szabadtéri.

A **zárttéri transzformátorállomásokban** a hazai tipizálás két fő csoportot különböztet meg: az *építettházás* és az *előregyártott szabadonálló* közép/kisfeszültségű transzformátorállomást. Közös jellemzőjük a három fő szerkezeti rész úm.: transzformátor, közép- és kisfeszültségű elosztó.

Az építettházás transzformátorállomás két változata ismeretes: a *különálló épületbe helyezett* (ÉHTR), valamint a lakó-, vagy az egyéb rendeltetésű *épületben létesített* állomás. Ez utóbbi az építészeti adottságoktól függően az épület földszintjén, pincéjében, vagy alagsorban telepíthető. A transzformátor a kis- és közép- és kisfeszültségű kapcsolóberendezéssel közös légtérben is elhelyezhető, de előnyben részesítik az alkalmazásnál a könnyű, nem éghető anyagból (pl. alumínium) készült válaszfalal kivitel, miáltal a szellőzés révén bejutó szennyeződés csak a transzformátortérben jelentkezik.

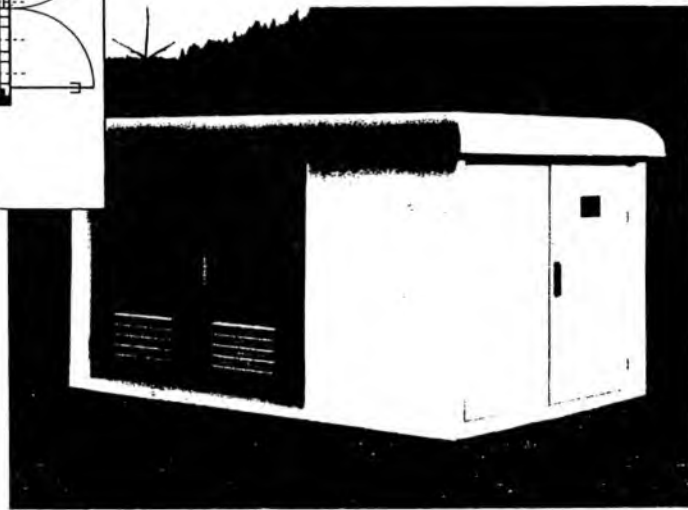
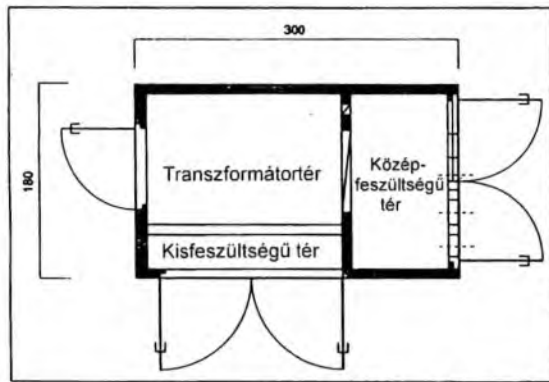
Az ÉHTR építettházás transzformátorállomás elrendezési és kapcsolási rajzát a 7.3.-1. ábra mutatja.



7.3.-1. ábra ÉHTR 10/630 típusú transzformátorállomás

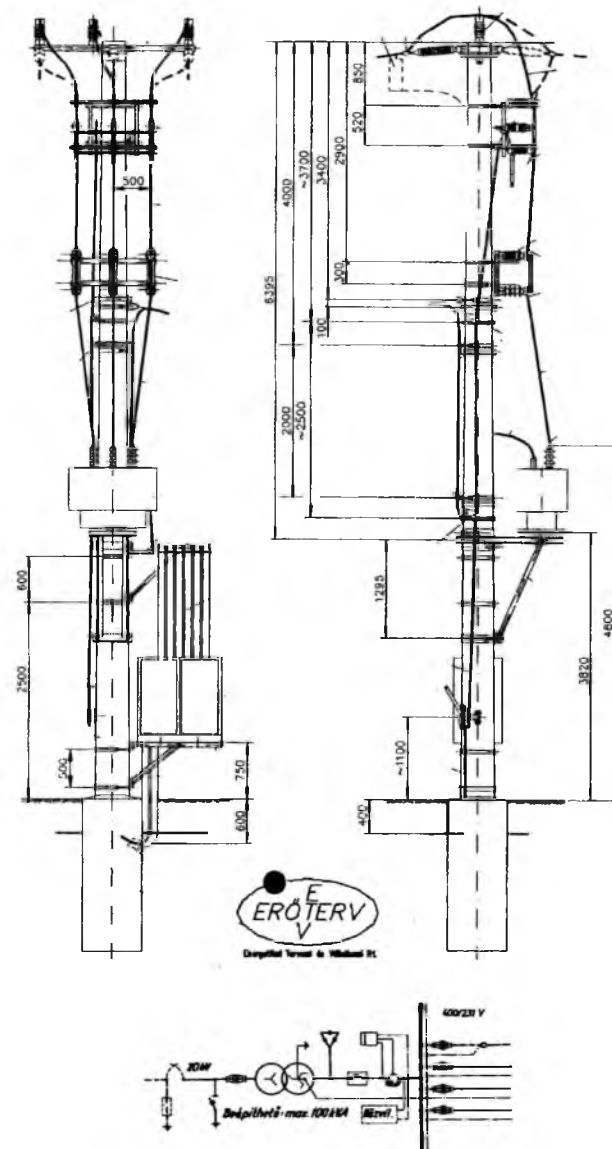
Az *előregyártott*, szabadonálló transzformátorállomás számos változatát alkalmazták hazánkban is. Legelterjedtebb típusai a *vaslemezházas* illetve a *betonházas* kivitel. Szerkezetileg a vaslemezházas két fő részből áll: az alapból, valamint a transzformátort, a készülékeket, szerelvényeket tartalmazó házból.

A komplett előregyártott *betonházas* kivitel nem igényel alapozást, és alkalmas egy max. 630 kVA-es teljesítményű transzformátor, egy SF₆ gázszigetelésű közép feszültségű berendezés és egy 0,4 kV-os elosztóberendezés befogadására (7.3.-2. ábra). A betonházas transzformátorállomás előnyei közül az időjárás-állóság, a karbantartás mentesség, és a vandálbiztosság emelendő ki.



7.3.-2. ábra Betonházas transzformátorállomás

A szabadtéri közép/kisfeszültségű transzformátorállomások elterjedt megoldásai az ún. *oszlop-transzformátorállomások*, amelyek szabadvezeték-hálózaton a kommunális fogyasztók, valamint ipari és mezőgazdasági üzemek villamosenergia-ellátására alkalmasak. Az oszlop lehet vasbeton oszlop, rácsos vasoszlop, vagy faoszlop. A transzformátor részére az oszlopra kezelőszinttel ellátott tartószerkezetet szereltek. Zárlatvédelemre nagyfeszültségű biztosító, míg feszültségmentesítésre az állomás előtti utolsó szabadvezetéki oszlopon oszlopkapcsoló szolgál. A kisfeszültségű részt fémházas szekrény foglalja magába, amelyet a földről kezelhető magasságban az oszlopra szerelnek (7.3.-3. ábra).



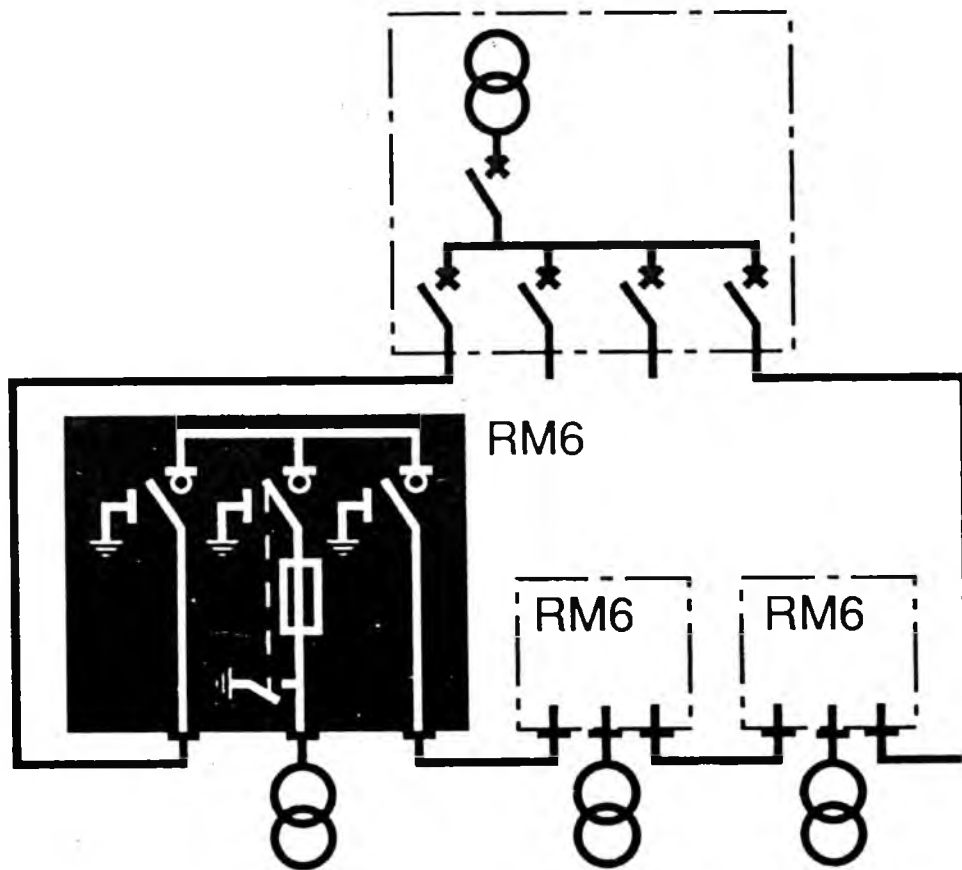
7.3.-3. ábra Oszlop-transzformátorállomás

Az olyan berendezésekben, ahol az épület a rendeletileg előírt tűzvesélyességi osztály követelményei szerint nem alakítható ki, valamint az olyan alkalmazási területeken, ahol teljes üzembiztonságra kell törekedni, ún. száraztranszformátorokat célszerű alkalmazni. Ez a típus ui. az olaj teljes hiánya és műgyantába ágyazott tekercsei következtében a tűzbiztonsági követelményeknek tökéletesen megfelel.

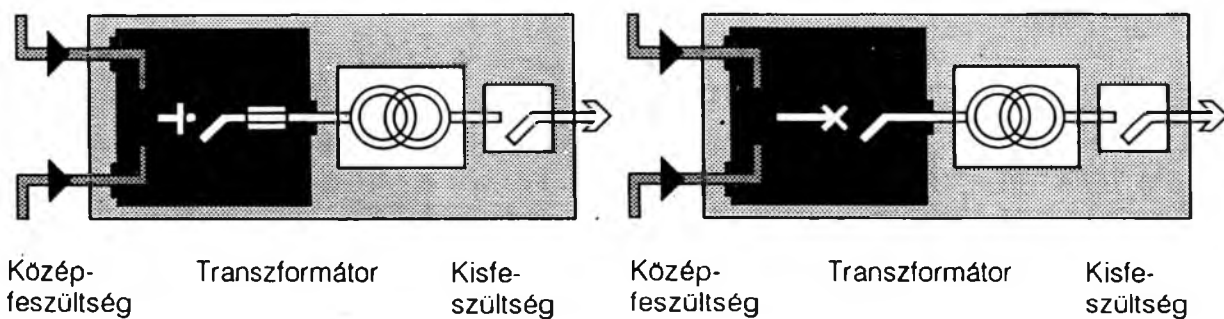
Az olaj hiánya miatt elhelyezési körülményei egyszerűbbek (pl. elmarad az olajgyűjtőakna). Alkalmazható minden belsőtéri berendezésben, erőművekben generátorgerjesztés táplálására, ipari létesítmények terhelési súlypontjában, lakóépületek minden szintjén, irodaházakban stb. A közép- és a kisméretű kapcsolóberendezéssel egy egységbe építve ún. előszerelt transzformátorállomás alakítható ki.

A korszerű városi kábelhálózati felfűzött transzformátorállomások (7.3.-4. ábra) középfeszültségű kapcsolóberendezései számára fejlesztették ki a kompakt körhálózati elosztókat (RMU, Ring Main Unit). A két kábelleágazást és egy transzformátor leágazást tartalmazó kisméretű kapcsolóberendezés SF₆-gázzal feltöltött, csökkentett méretű

fémtozozott berendezés, beépített működtető egységekkel (7.3.-5. ábra). A hálózati oldalon terheléskapcsolók, míg a transzformátor leágazásban biztosító terheléskapcsoló (7.3.-5a. ábra), vagy megszakító van beépítve (7.3.-5b. ábra).



7.3.-4. ábra Felfűzött kábelhálózati transzformátorállomások



Közép-
feszültség

Transzformátor

Kisfe-
szültség

Közép-
feszültség

Transzformátor

Kisfe-
szültség

7.3.-5. ábra Kompakt körhálózati kapcsolóberendezés (RMU)

a) Terheléskapcsoló biztosítóval b) Megszakítóval

7.4. Segédüzemi berendezések

A villamos kapcsolóberendezések, ill. erőművek üzemeltetéséhez ún. segédüzemi energiára van szükség. Egyes főberendezések működéséhez egy sor műszaki feltételt kell biztosítani, azaz ezen berendezés üzemének feltételeit más berendezések működése biztosítja. Vegyünk egy-egy alállomási, ill. erőművi példát. A legtöbb nagy transzformátor hűtésére ventilátorokat alkalmaznak, amely a veszteségmeleg elszállítását mesterséges hűtéssel biztosítja. Az ilyen nagy transzformátorok feszültségszabályozóinak mozgatását villamos motorral működő villamos hajtás végzi. Üzemi vagy zárlati áram kikapcsolását megszakító végzi. Működéséhez szintén energiát használ fel, ami lehet például egy rugófelhúzó motor.

Egy hőerőmű kazánjának üzemeltetéséhez először is tüzelőanyagra van szükség. A szén szállításával és kezelésével kapcsolatos berendezéseket villamos motor működteti. A korszerű szénportüzelésű kazán villamos hajtású szénpormalom alkalmazását teszi szükségessé. A kazánt a kazán-tápszivattyú látja el vízzel. A berendezések működéséhez a közvetlen műszaki feltételeken kívül egyéb üzemi feltételeket is biztosítani kell, ilyen például a megfelelő világítás, szükségvilágítás, az üzemállapotok jelzése stb.

A segédüzemi energiának, de legalább egy részének akkor is rendelkezésre kell állnia, amikor a létesítmény fő energiaútjai feszültségmentesek.

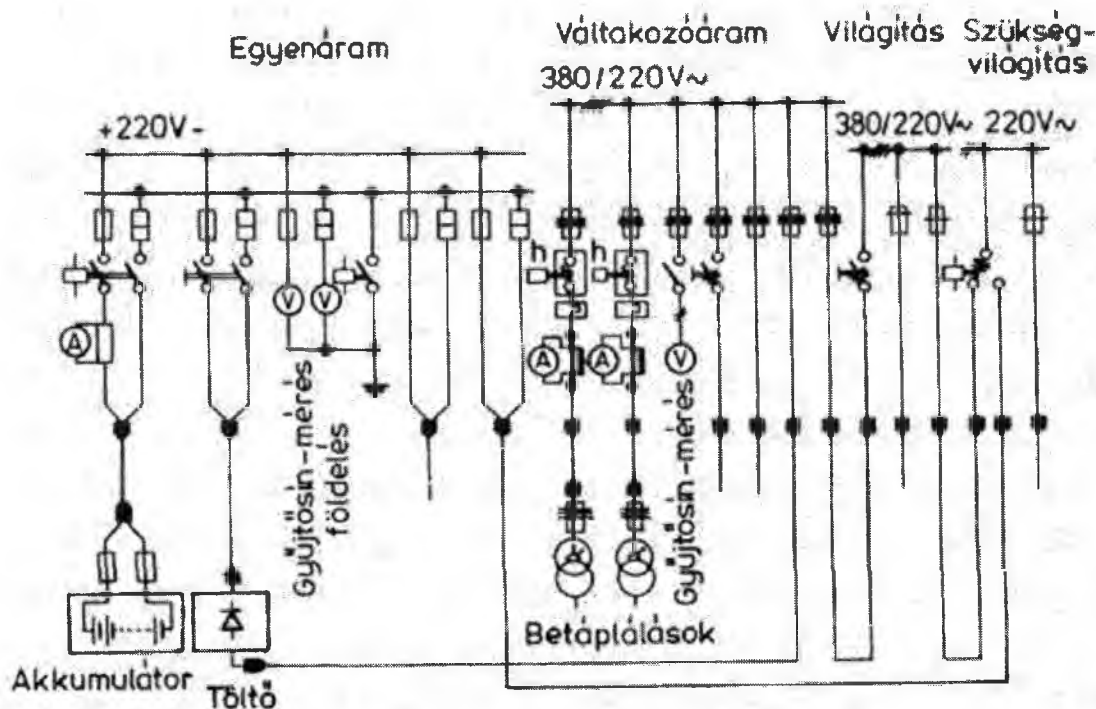
7.4.1. Erőművek és alállomások segédüzemi berendezései

A segédüzemi energiaellátás alapja a váltakozó áramú segédüzem. A kapcsolóberendezés váltakozó áramú energiaellátásának megszűnésekor is biztosítani kell az energiaellátást, ezt akkumulátor telep teszi lehetővé.

Egy transzformátorállomási segédüzem általános kapcsolási rajzát a 7.4.-1. ábra mutatja be.

Az egyenáramú segédüzemi energiaellátás feszültsége 220 V, jelzések céljára 24 V, ill. 48 V. A segédáramforrások általában akkumulátorok. Az akkumulátor kiválasztásához a szükséges kapacitást és a még megengedhető belső feszültségesést kell figyelembe venni. A várható fogyasztást úgy kell összegezni — a szükségvilágítást és a vészvilágítást is beleértve — hogy ezt az akkumulátor telep legalább két órán át kielégítse. A kellő biztonság érdekében a két órás üzemzavar végén a kisütöttség maximálisan 75% legyen. A belső feszültségesésre az lehet mértékadó, hogy a gyártó részéről megadott egyórás kisütőárammal terhelt akkumulátor belső feszültsége 10%, tehát cellánként 0,2 V. Ez az egyórás kisütőáram az a határérték, ameddig az akkumulátortelepet lökésszerűen még szabad terhelni, mert ennél nagyobb kisütőáram már a lemezek idő előtti pusztulását okozná. A feszültségesésre történő méretezés során az egyenáramú készülékek üzembiztos működése a legfőbb feltétel, ez az $U_n \dots 0,8U_n$ feszültségtartományban biztosított. Célszerű tehát a vezetékek és a telep belső feszültségesésére maximálisan 15%-ot felvenni, azaz a tápvezetéseken körülbelül a névleges feszültség 5%-a eshet.

Hagyományos töltési mód esetén, a töltés végén, amikor még folyik töltőáram, a cellafeszültség 2,7 V. Mivel a fogyasztók maximum +10%-os feszültséget viselnek el, töltés közben a fogyasztókat csak akkor szabad az akkumulátortelepen hagyni, ha cellakapcsolóval a fogyasztókat kevesebb cellaszámra kapcsoljuk. Mivel a cellakapcsoló veszélyes hibaforrás, biztonságosabb két telepet beépíteni, és az egyik telepről a fogyasztókat ellátni, míg a másik telep töltés alatt áll, vagy feltöltött állapotban készenlében van.



7.4.-1. ábra Alaphálózati transzformátorállomás egyen és váltakozó áramú segédüzemi berendezéseinek kapcsolási rajza

Egy teleppel is lehet cellakapcsoló nélküli üzemet vinni, ha a szokásos 8...10 órás töltési idő helyett 40...50 órás töltési időre készítjük a berendezést, mert így a cellafeszültség a töltés végén sem emelkedik 2,2 V fölé, ha a töltés előrehaladásával a töltőáram erősségét fokozatosan csökkentjük. A töltöttségi állapot a savsűrűség mérésével ellenőrizhető.

Egytelepes, cellakapcsoló nélküli üzemben a legjobb üzemi feltételeket és az akkumulátor hosszú élettartamát a feszültségtől függő önműködő szabályozóval irányított állandó töltés, ill. az ún. puffer üzem (mely esetben a töltő az átlagos fogyasztást állandóan pótolja) biztosítja.

Fontos szabály, hogy a segédüzemi akkumulátorteletet a névlegestől eltérő fogyasztók számára megcsapolni nem szabad, mert az ilyen esetben egyenlőtlenül terhelt cellákat a töltőberendezés nem tudná megfelelően feltölteni.

Az egyenáramú hálózat hazánkban általában földelt, míg külföldön a földetlen rendszerek az elterjedtebbek. A földelt rendszerben a negatív sarkot földelik és közvetlenül a működtető tekercsekhez vagy egyéb berendezésekhez csatlakoztatják. Azaz a földelt ágba biztosító, túláramkioldó, kapcsolóérintkező stb. nem kerülhet, így földzárlatból eredő téves működés lehetetlen, ami ennek a rendszernek nagy előnye.

Hátránya, hogy a pozitív ágon keletkező földzárlat hatástalanítja az illető ághoz kapcsolt egyenáramú berendezést.

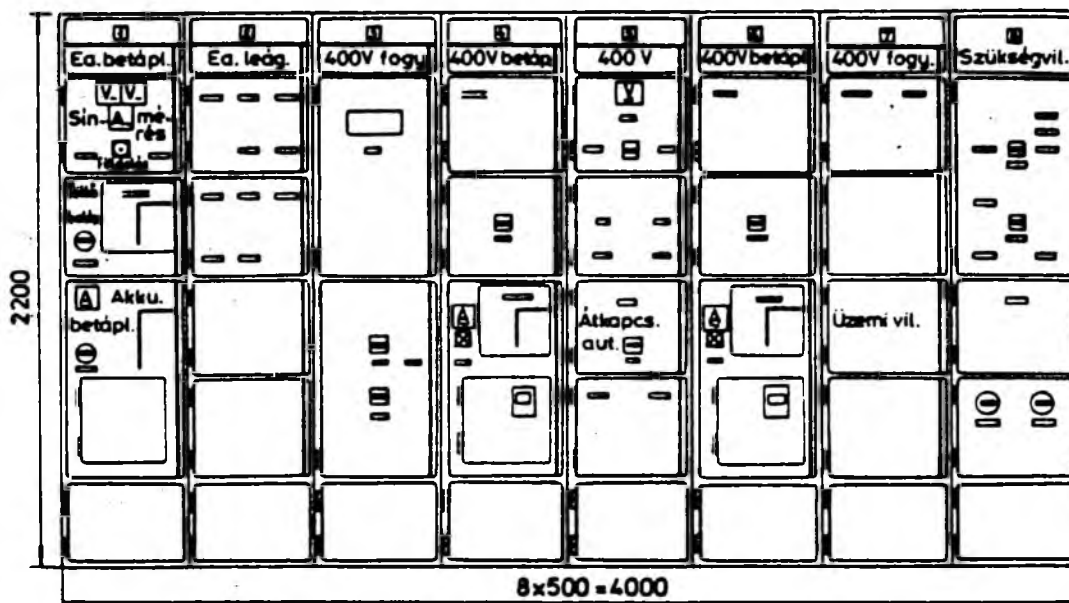
A földetlen rendszer az előbb említett hátránnyal nem rendelkezik, átmenetileg földzárlatos üzemet is fenn lehet tartani, de kerülendő, mert a kettős vagy a többszörös földzárlat már téves működést eredményezhet. Személyzet nélküli kapcsolóberendezésben a földetlen rendszer az előnyösebb.

A kapcsolóberendezésekben alkalmazott váltakozó áramú segédüzem 400 V-os. A berendezés kialakítása lényegében azonos bármely más célra használt ugyanilyen feszültségű berendezéssel. Különösen arra kell ügyelni, hogy a betáplálások lehetőleg egymástól függetlenül, legalább két forrásból történjenek. Így, ha az egyikben feszültségkimaradás keletkezik, a másik lehetőleg feszültség alatt legyen, hogy az átkapcsoló

automatika hatásos lehessen. Általában a segédüzemi transzformátorok az erőátviteli transzformátorok kisebb feszültségű oldalához csatlakoznak.

A váltakozó áramú segédüzem fő fogyasztói az akkumulátortöltő, a transzformátorok hűtőventillátorai, a szabadtéri kapcsolóberendezések kapocs- és hajtásszekrényeinek fűtése, az üzemi világítás. A szükség- és a biztonsági világítás mind egyen-, mind váltakozó áramról ellátható.

A közös segédüzemi elosztó kialakítására a 7.4.-2. ábra mutat példát. Az itt látható fiókos rendszerű nyolcmezős berendezés első két mezője az egyenáramú, következő öt mezője a váltakozó áramú segédüzem, az utolsó pedig az egyen- és a váltakozó feszültségre egyaránt átkapcsolható szükségvilágítás berendezése.



7.4.-2. ábra Egyen- és váltakozó áramú, fiókos rendszerű segédüzemi elosztóberendezés homlokképi rajza

7.4.2. Erőművek gépészeti segédüzemének villamos berendezései

Az erőmű segédüzemének jellegét elsősorban a primer energiahordozó határozza meg. A vízerőmű segédüzeme mind a segédüzemi energia mennyisége, mind az üzembiztonsággal szemben támasztott követelmények szempontjából lényegesen kisebb igényű, mint a hő- vagy a nukleáris erőmű. Részletesen a következőkben a hőerőművek segédüzemével foglalkozunk.

A vízerőmű gépészeti segédüzemének villamosenergia-ellátásáról röviden annyit említünk meg, hogy ott a segédüzemi motorok egyrészt a turbina és a generátor olajszivattyúit esetleg a különálló gerjesztőgépet hajtják, mint az üzem szempontjából döntő fontosságú berendezéseket. A segédüzem többi részének (zsilipmozgatás, evakuálás, daruszerkezetek, stb.) villamos energiával való folyamatos ellátása néhány percre szüneteltethető anélkül, hogy az üzemfolytonosság megszakadna.

7.4.2.1. A segédüzem energiaellátása

A segédüzem kialakítása során elsődleges az üzembiztonság, mely a következő főbb szempontok figyelembevételét jelenti:

a) az erőműből kiinduló hálózaton keletkező zárlatok és más üzemzavarok (pl. frekvenciazavar) a segédüzemi ellátást lehetőleg ne befolyásolja;

b) a segédüzemi berendezés valamelyik részlegében fellépő üzemzavar ne terjedjen tovább, tehát a villamos energia elosztása csoportokba (célszerűen gépegységenként) tagolt legyen;

c) azon létfontosságú berendezések, amelyeknek üzemzavara az erőmű részleges vagy teljes leállítását vonja maga után két független táplálással rendelkezzenek;

d) az egyes motorok indításakor keletkező feszültségcsökkenés ne befolyásolja a többi motor üzemét, ill. átmeneti feszültségletörés után, vagy önműködő átkapcsoláskor legalább a létfontosságú motorok üzemkésztsége, ill. üzeme biztosítva legyen;

e) a zárlati teljesítmény értékét korlátozni kell, hogy egyrészt tokozott berendezés alkalmazható legyen, másrészt a motorleágazások zárlati termikus igénybevétele miatt szükséges minimális kábelkeresztmetszetre túlzottan nagy érték ne adódjon;

f) az erőmű, vagy egyes részeinek indítása egyszerű legyen.

A főhálózat zavaraitól való függetlenítés mértéke szerint csoportosított táplálásmegoldásokat mutat a 7.4.-3. ábra.

A generátorfeszültségű gyűjtősínes, tehát kisebb ipari, vagy fűtő erőműben a 7.4.-3a. ábra rajza szerinti megoldás olcsón és egyszerűen alkalmazható. Az erőmű főhálózatának zavarai a segédüzemet erősen érintik. A zavarás a főgyűjtősín feszültségletörésének mértékétől és időtartamától, valamint a segédüzemi motorok jellegétől függ. Ez a táplálási rendszer annál kielégítőbb, minél megbízhatóbb és minél gyorsabb működésű a főhálózat védelmi berendezése. Az erőmű csak kívülről nyert energiával képes újra indulni, de a segédüzem egyszerű kapcsolási műveletek segítségével ilyen energiával ellátható.

Feltranszformált gyűjtősín feszültség, azaz nagy blokk-kapcsolású erőművek esetén a segédüzem közvetlenül a generátorkapcsokról nyer ellátást (7.4.-3b. ábra). Ez az ellátási mód nemcsak olcsóbb (transzformátor, kapcsolóberendezés kisebb költségei), de alkalmasabb is, mert a hálózat zavarai a generátorkapcsokig a közben levő transzformátor impedanciája miatt korlátozottabban hatnak ki. A jól méretezett generátorgerjesztéssel és feszültség-szabályozóval, valamint korszerű védelmek alkalmazásával elérhető, hogy külső zárlatok, sőt még gyűjtősínzárlat esetén is fenntartható a segédüzem ellátása. (Természetesen ezen utóbbi esetben a védelmeknek a generátor főmegszakítóját ki kell kapcsolnia.)

Az erőműblokk indulásához az induló gépegységhez tartozó segédüzemet külső úton, esetleg valamelyik szomszéd egység segédüzemi transzformátoráról kell ellátni. Célszerűen több gépegység számára a feltranszformált feszültségű gyűjtősínhez kapcsolódó tartalék-transzformátor is biztosíthatja az induláshoz szükséges energiát. Így nem szükséges a tartalékteljesítményt a gépegységek segédüzemi transzformátoraiba többszörösen beépíteni.

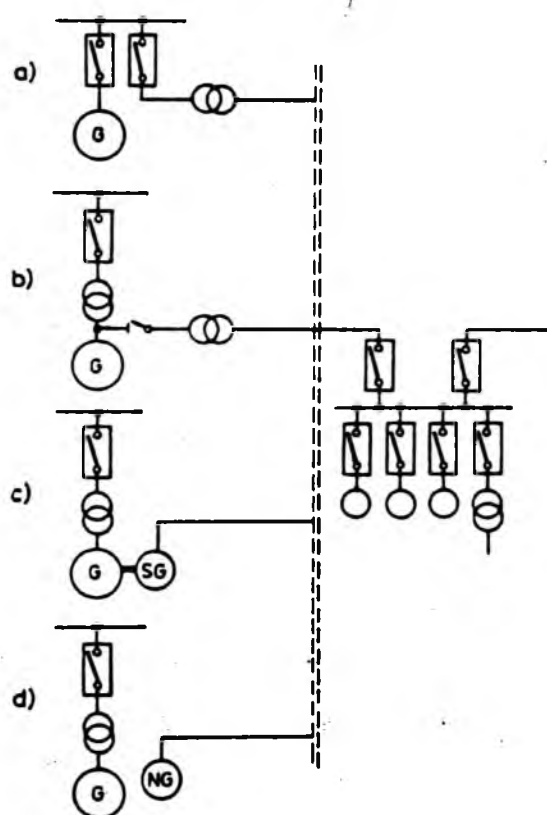
A segédüzemi energiaellátás biztonsága növelhető a főgenerátor tengelyére kapcsolt külön segédüzemi generátorral, más néven tengelygenerátorral (7.4.-3c. ábra). Ebben az esetben a segédüzemi hálózat villamosan független a főhálózattól, mentes a hálózat feszültségzavaraitól, de a közös tengelykapcsolat miatt annak frekvenciazavarait átveszi.

Hátránya, hogy a tengelygenerátor meghosszabbítja a fő gépegység tengelyét, és ez egyrészt növeli az épület költségét, másrészt a nagyobb tengelyhossz csökkenti a gépcsoport mechanikai biztonságát. A transzformátorüzemhez viszonyítva nagyobb a beruházási költsége és költségesebb a karbantartása.

Az indulásra ugyanazok mondhatók el, mint a generátorkapcsokra kötött segédüzemi transzformátorok esetén.

A hálózat feszültség- és frekvenciazavaraitól mentes segédüzemi energiaellátás független segédüzemi generátorral érhető el. Ekkor az erőmű teljes segédüzemi teljesítményigényét külön turbinával hajtott segédüzemi generátor szolgáltatja (7.4.-3d. ábra). E külön segédüzemi egység üzemzavara az erőmű teljes üzemének kiesését okozhatná, ezért a segédüzemnek mintegy fele a főgenerátorok kapcsolataihoz csatlakozó segédüzemi transzformátorokról is ellátható.

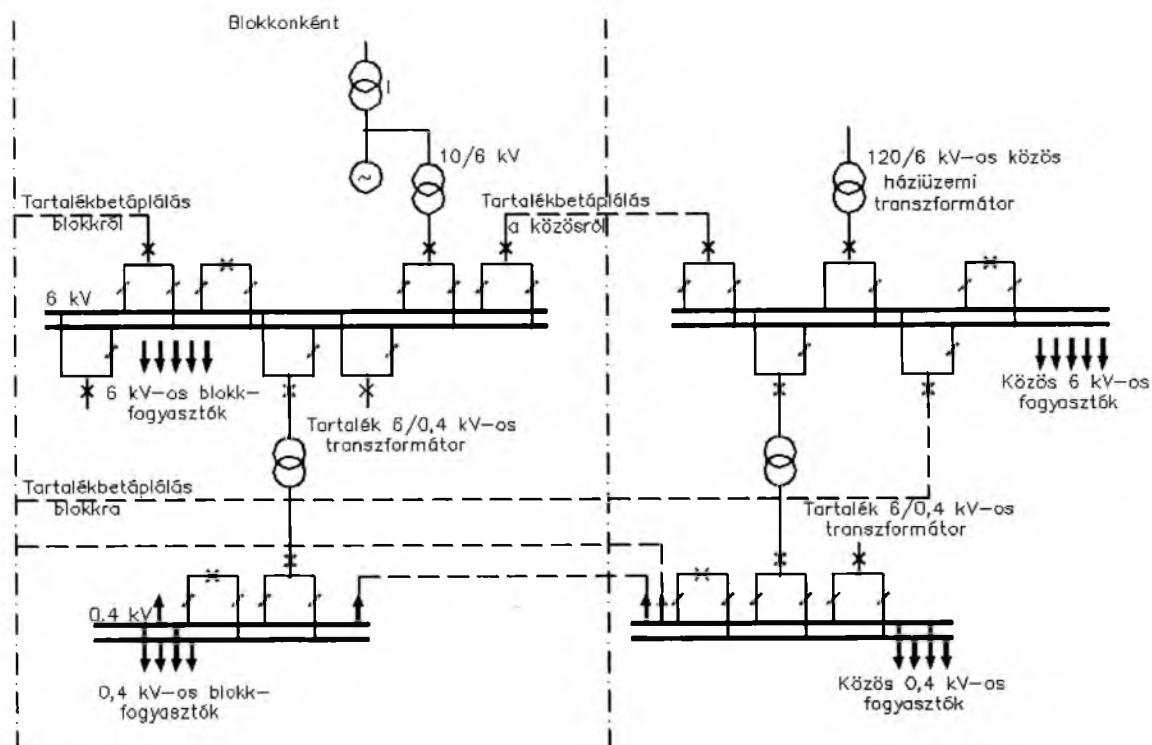
Beruházási költségek szempontjából a független segédüzemi generátor a legdrágább megoldás. A kisebb gépteljesítmény miatt az üzemi költségek is nagyobbak néhány százalékkal. Ez az oka, hogy az erőművek együttműködésének fejlődésével a független segédüzemi generátor használata háttérbe szorul.



7.4.-3. ábra A segédüzem táplálásának módozatai
(A leágazásokba építendő szakaszolókat nem rajzoltuk be!)

A segédüzem táplálási megoldásai után nézzük meg, milyen elvek alapján alakítható ki a segédüzemi hálózat.

A segédüzemi kapcsolóberendezések az üzembiztonság fokozása érdekében minél több részre tagolva készülnek. Az egyes részek külön-külön táplálással sugaras hálózatot alkotnak. A segédüzem energiaellátása közvetlenül a generátor kapcsairól, ill. az erőmű gyűjtősínjéről transzformátorokon keresztül történik (7.4.-4. ábra). Az előbb elmondottak szerint a főhálózat zavarai, a villamos kapcsolat révén kihatnak a segédüzemi ellátásra. A segédüzemi hálózat nagy erőmű esetében úgy van kialakítva, hogy a generátorkapcsokhoz csatlakozó segédüzemi transzformátorok a saját blokküzemükhöz tartozó fogyasztókat táplálják. A blokkelosztók (mind a 6 kV-os, mind a 0,4 kV-os feszültség szinten) két-két sínszakaszra lehetnek bontva, amelyeket egy-egy transzformátor lát el egy-egy megszakítón keresztül. A fogyasztók két sínszakaszra történő megfelelő szétosztása lehetővé teszi az egyik sín üzemzavara esetén a másik sín segédüzemi energiatáplálásával a blokk csökkentett terheléssel történő üzemét. A blokkelosztók tartalékbetáplálását egy-egy közös, azonos feszültség szintű betáplálás adja az erőmű gyűjtősínjére csatlakozó segédüzemi transzformátor segítségével.



7.4.-4. ábra. Nagyobb erőmű segédüzemi kapcsolása

Az üzemi és a tartalékbetáplálások között az átkapcsolást rendszerint automatika végzi.

Az előbb említett, az erőmű gyűjtősinjére csatlakozó transzformátor táplálja a közös üzemi elosztót, vagy más néven általános elosztót, amelyről az erőmű általános jellegű, nem blokkhoz kötött fogyasztóit szokás ellátni (világítás, vízkivételi mű, vízlágyítás stb.). Az elmondottak alapján a közös segédüzemi transzformátor teljesítőképességét úgy kell megválasztani, hogy az általános jellegű fogyasztók teljesítménye mellett egy blokk teljes fogyasztói igényének megfelelő teljesítményt is át tudja vinni.

A kisfeszítésű (0,4 kV-os) elosztásra az előbb elmondottak azzal a különbséggel érvényesek, hogy ezen elosztók a 6 kV-os feszültségszintről nyernek táplálást transzformátorokon keresztül sugaras kialakításban.

A 7.4.-4. ábrán bemutatott elvi vázlat olyan segédüzemi ellátást mutat, amelyre megfelelő teljesítőképesség beépítése mellett az is elmondható, hogy egy blokk segédüzeme bármely másik blokk segédüzemi energiaellátását is biztosítani tudja.

A segédüzem feszültsége 0,4 kV; és 3 vagy 6 kV, amely egyben a főelosztók feszültsége is. A 6 kV-os elosztás csak 100 MW gépteljesítmény felett gazdaságos, mert a 6 kV-os motorok 15...25%-kal drágábbak, mint a 3 kV-osak. Kisebb teljesítményű motorokhoz a 0,4 kV-os feszültség a legmegfelelőbb, mert a kisfeszítésű készülékek és motorvédők megbízható működésűek, az esetleges zárlati áram megszakítására pedig aránylag olcsó és nagy megszakítóképességű biztosító használható.

7.4.2.2. Segédüzemi fogyasztók

Hőerőművek segédüzemi energiafogyasztása a termelt energia százalékában rostélytüzelésnél 4...8%, míg szénportüzelésnél 6...12%. Az erőmű korszerűsítésével a fogyasztás abszolút értéke nő, de ez az erőmű össz-hatásfokának javulásában megtérül. A teljes segédüzemi energia mintegy 4/5 részét a kazánüzem igényli, 1/5 rész pedig a turbinaüzem és egyéb berendezésekhez szükséges.

A korszerű kisvízterű kazánoknál a tápvízszolgáltatás megszűnése a tüzelés azonnali leállítását teszi szükségessé. A turbinakondenzátor hűtővizének 1/2 perces kimaradása már a turbina leállításával jár. A segédüzem biztonságára tehát mind a tervezésnél, mind az üzemeltetésnél nagy gondot kell fordítani.

Így az erőmű üzemének biztonsága szempontjából a segédberendezések négy csoportba oszthatók:

1. létfontosságú segédberendezések, amelyeknek üzemzavara, vagy energiátáplálásának megszűnése azonnal, vagy rövid időn belül a főberendezés, vagy az erőmű teljes leállítását vonja maga után. Ilyenek: a tápszivattyú, a szénőrlő malom, esetleg a levegő és a füstgáz elszívó ventilátor, a turbina hűtővíz- és csapadékvíz-szivattyúja stb.;

2. korlátolt fontosságú segédberendezések, amelyeknek üzemzavara — bár a főberendezés azonnali leállítását nem okozza — az egész üzemet kedvezőtlenül befolyásolja. Ilyenek: az elgőzöltető és előmelegítő szivattyúk, a nyersvízszivattyúk, a salak- és a pernye-eltávolító berendezés, a transzformátorok hűtői, esetleg a kazánventillátorok stb.;

3. korlátoltan nélkülözhető segédberendezések, amelyek a tartaléktól és az üzemi állapottól függően nélkülözhetők. Ilyenek: a szénzállító berendezés, a vízkivételi mű, a légsűrítő stb.;

4. üzemtől független segédberendezések. Ilyenek: a gépházi daru, a javítóműhely stb.

A segédgépek hajtása segédturbinával vagy villamos motorral oldható meg. A segédturbina független a villamos üzem zavaraitól, a fordulatszáma könnyen szabályozható, de kis teljesítőképessége miatt hatásfoka kicsiny, indítása bonyolultabb, és így a segédturbina költségesebb, mint a villamos motor. Ez utóbbi hátrányok miatt a segédturbinát általában csak az igen nagy teljesítőképességű erőművekben (a főturbina hőkapcsolásába beillesztve) használják tápszivattyú hajtására.

A villamos motor hajtásának üzembiztonsága a villamos segédüzem energiaellátásától függ. A háromfázisú kalickás aszinkron motor a legüzembiztosabb. Ritkábban csúszógyűrűs aszinkron motorokat, egyenáramú motorokat (a fordulatszáma tág határok között 1:4 változtatható) régen váltakozó áramú kommutátoros motorokat is használtak.

A korszerű szénportüzelésű kazánok a tápvízellátásra nem olyan érzékenyek, mint a rostélyos tüzelésűek, amelyekben a gőzfejlődés addig tart, amíg a rostélyon ég a szén. Így szénportüzelés esetén a tartalék-tápvízellátás miatt nincs szükség a villamosmotor-hajtás mellett a segédturbinás hajtásra is.

A villamosmotor-hajtás megfelelő megválasztásához ismerni kell a segédüzemi gépek üzemi viselkedését, megengedett indítónyomatékát. Ismerni kell ezen kívül a gép felállítási helyének jellegzetességeit: környezeti hőmérséklet, szennyezettség (pernye, szénpor). A villamosmotor-hajtás szempontjából az egyes segédüzemi gépekre vonatkozó sajátságok röviden a következők:

A tápszivattyú a létfontosságú berendezések között az első helyen áll, ez a legnagyobb teljesítőképességű segédgép. Ha a tápvíz-betáplálás kimaradásával egyidejűleg a szénpor vagy olajtüzelésű kazánok tüzelése azonnal leállítható, és a ventilátor kikapcsolható, a kazánberendezés nem sérül meg. Rostély- vagy alátoló tüzelés esetén az égés még tovább fennmarad; ezért a további tápvízbetáplálást fent kell tartani.

A tápszivattyú fordulatszám-nyomaték jelleggörbéje kisebb fordulatszám esetén négyzetes, míg egy bizonyos fordulatszám felett — amikor a visszacsapó szelep engedi a vízszállítást — a szivattyú nyomaték-szüksége a fordulatszám 4...6 hatványával változik.

A motort úgy kell indítani, hogy az indítási áram 4...5 I_n -nél ne legyen nagyobb. A motor billenőnyomatéka a névleges nyomaték 1,7...1,9-szerese legyen, mivel a nyomatéki görbe viszonylag meredek. A szivattyú hajtására gyakran alkalmaznak közvetlen indítású rövidrezárt forgórészű aszinkron motort.

A kazánventillátor a létfontosságú berendezések közé tartozik, mivel a nagy

teljesítményű kazánok természetes huzattal nem üzemeltethetők. A ventilátornak sztatikus nyomómagasságot nem kell legyőznie, ezért terhelőnyomatéka a fordulatszámmal közel négyzetesen változik. Teljesítménye erősen függ a füstjáratok lerakódottságától.

A levegő és a füstgáz mennyisége szabályozható:

- a) a ventilátor fordulatszámának változtatásával;
- b) állandó fordulatszám mellett a gázútba beiktatott fojtással;
- c) a ventilátorlapátok állításával.

Fordulatszám-szabályozás esetén a teljesítményfelvétel lényegesen kisebb, mint fojtás alkalmazásakor. A ventilátor hajtására pólusátkapcsolásos motort, ritkábban folyamatos fordulatszám változtatásra alkalmas egyenáramú, vagy váltakozó áramú kommutátoros motort alkalmaznak.

A szénpormalom is az erőmű létfontosságú gépe, mivel kiesése a kazán leállítását okozza. Nyomaték-fordulatszám jelleggörbéje változik a malom típusa szerint és attól függ, hogy a malom milyen mértékben van szénrel megtöltve. Közelebbi adat hiányában állandó nyomatékkal lehet számolni. A szénpormalmokat az jellemzi, hogy lendítőnyomatékuk lényegesen nagyobb, mint a hajtómotoré, ezért az indítási idő jelentős. Ezért elő kell írni, hogy a szénpormalom hideg állapotból 0,5...1 órán belül egymás után legalább kétszer indítható legyen.

A szén időnként megszorulhat a malomban, ez teljesítménylökéseket okoz. A nagy lendítőnyomaték az akadályok legyőzését segíti, tehát az üzembiztonságot növeli.

A hűtővíz- és a csapadékvíz-szivattyú nyomatéki jelleggörbéje a fordulatszám négyzetével arányos. A hűtővíz-ellátás kimaradása esetén 30...40 s múlva a gőzturbinát is le kell állítani. Fordulatszám szabályozást itt általában nem alkalmaznak, a vízmennyiség lapátbeállításával szabályozható. A csapadékvízszivattyú szabályozásának nincs jelentősége. Miután fordulatszám-szabályozásra nincs szükség, egyszerű rövidrezárt forgórészű aszinkron motor a hajtás céljára megfelel.

Szállító- és egyéb berendezések. A szén szállításával és kezelésével kapcsolatos berendezések villamos motorjainak villamosenergia-ellátását rendszerint különálló és az általános elosztóberendezésből táplált elosztók adják. A szálló szénpor és a szabadtéri elhelyezés miatt e motorok szerkezete teljesen zárt. A hosszú szállítószalagoknak csak lassan (lágyan) szabad indulnia és gyorsulnia, hogy a gumihevederek el ne szakadjanak. Hasonló a helyzet függőpálya- és a drótkötélpálya esetén is.

A szén és a salak szállítóberendezésen kívül az erőmű általános segédüzemébe tartoznak a vízellátást szolgáló berendezések. Ezek között számottevő teljesítményt igényelnek a hűtővizet adó vízkivételi mű szivattyúi, amelyek rendszerint centrifugális rendszerűek, de függőleges tengelyű szárnylapátos szivattyút is használnak. Jelentős szerepük van a szénportüzelésű erőművekben a pernye- és salakszállító szivattyúknak vagy ventilátoroknak. Ezek részére is teljesen zárt vagy köpenyhűtésű típust kell választani.

8. A TRANSZFORMÁTOROK, VEZETÉKEK ÉS A KAPCSOLÓBERENDEZÉS KÉSZÜLÉKEINEK, MÉRŐVÁLTÓINAK, ZÁRLATKORLÁTOZÓ FOJTÓTEKERECSEINEK KIVÁLASZTÁSA

A transzformátorok, vezetékek és kapcsolóberendezés készülékei döntően befolyásolják a teljes berendezés létesítési költségeit, üzemi tulajdonságait, megbízhatóságát és gazdaságosságát is. Éppen ezért helyes kiválasztásukhoz, amely mértékadó műszaki-gazdasági szempontok egyidejű figyelembevételén kell, hogy alapuljon, fontos tervezési és egyben üzemviteli érdek is fűződik.

8.1. A transzformátorok kiválasztása

A transzformátorok kiválasztásánál a következő főbb szempontokat kell figyelembe venni:

- szigetelés anyaga;
- csatlakozás fázisszáma;
- tekercselések száma;
- névleges feszültségáttétel és szabályozhatóság;
- kapcsolási jel;
- névleges teljesítmény és kiválasztási szempontjai;
- védettség, veszélyeztetettség;
- környezeti viszonyok;
- hűtési mód.

Szigetelése szerint a transzformátor lehet olaj-, levegő-, valamint egyéb szigetelésű. Az erőátviteli transzformátorok legelterjedtebb főszigetelése az olaj, amely kiváló villamos- és hűtőtulajdonságokkal rendelkezik. Így az olajszigetelést, amely évtizedek óta jól bevált a gyakorlatban, csak különleges esetekben szükséges egyéb szigeteléssel felcserélni. Ilyen esetekben (pl. fokozott tűzveszélyesség) alkalmaznak száraztranszformátorokat (lég-, avagy műgyanta-szigetelés), klórozott szénhidrogén-szigetelésű (pl. Clophen), vagy SF₆-gázszigetelésű transzformátorokat.

A csatlakozás fázisszáma szerint a transzformátor lehet egy-, három- és többfázisú.

A tekercselések száma szerint megkülönböztetünk két- és kettőnél több tekercselésű transzformátorokat. Ha a transzformátornak legalább két tekercselése részben közös, a transzformátort takaréktanszformátornak (vagy auto-, ill. booster-transzformátornak) nevezzük.

A névleges feszültségáttétel az egyes tekercselések névleges üresjárási feszültségeinek hányadosa. Ha kettőnél több tekercselésű transzformátorról van szó, akkor a transzformátornak annyi névleges feszültségáttétele van, amennyi a tekercseléspár-kombinációk száma (pl. háromtekercselésű transzformátorhoz három névleges feszültségáttétel tartozik). A transzformátorok egyes tekercseinek névleges feszültségértékei a szabványban rögzített feszültségsorból választhatók ki (MSZ 1).

Az egyes tekercseléseket a névleges feszültségen kívül az ún. legnagyobb feszültség értéke is jellemzi. Ez az érték nem lehet kisebb annak a hálózatnak a legnagyobb feszültségénél, amelyhez a transzformátort kapcsolják.

A transzformátor — áttételének megváltoztathatósága szempontjából — készülhet megcsapolás nélküli tekercseléssel, (fix áttétellel), vagy megcsapolásos tekercseléssel (változtatható áttétel). Ebben az esetben a különböző megcsapolásokra való áttérés vagy feszültségmentes állapotban (fix megcsapolások, pl. $\pm 5\%$), vagy terhelés alatt (pl. $\pm 15\%$) történhet. A gyári katalógusok mind a névleges feszültségek, mind a legnagyobb feszültség, mind pedig az áttételváltoztatásnak az egyik névleges feszültségre vonatkozó százalékos értékeit megadják.

A transzformátorok kapcsolási módjának (kapcsolási jelének) helyes megválasztásánál figyelembe kell venni a terhelések aszimmetriáját, a transzformátorok párhuzamos üzemének vonatkozó követelményét (pl. a fázisforgatás szögének azonosságát), a kompenzálás igényét, valamint a gazdaságosságot. Egy transzformátor kapcsolási módját a fáziskivezetések cseréjével és/vagy a belső átkötések megváltoztatásával módosítani lehet. A szabványos fázisfordításokat és a hozzájuk tartozó kapcsolási jelet, fazorábrát és kapcsolási rajzot a kapocsjelölésekkel együtt hazai szabvány rögzíti.

A hazai transzformátorok névleges teljesítményei a típusjelölés-sorozat egyes tagjainak felelnek meg. A sorozat egyes teljesítményértékeit úgy állapították meg, hogy a sorozatban a teljesítménylépcső, a veszteséglépcső és a veszteségarány együtt és összhangban változik, ami által biztosítható az egyes típusok azonos, gazdaságos kihasználhatósága. A teljesítménylépcső értéke kb. 1,6, míg a hozzátartozó veszteséglépcső kb. 1,4. Ennek megfelelően a transzformátorok kVA-ben, vagy MVA-ben kifejezett névleges teljesítményeinek szabványos sorozata: 6,3; 10; 16; 25; 40; és ezek 10 egész kitevőjű hatványaival való szorzatai (a szabványos típusjelölések tehát: 40, 63, 100...1600 kVA, ill. 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 250... MVA).

A gyakorlatban a típusorozattól eltérő teljesítményértékek is találhatóak (pl. 80 MVA; 200 MVA). A transzformátor szükséges névleges teljesítményének kiválasztását több szempont, befolyásoló tényező együttes figyelembevételével kell elvégezni. Ezek a következők: a terhelés adottságai (állandó avagy változó terhelés; legnagyobb terhelés nagysága); a terhelés várható időbeli fejlődése; a transzformátor túlterhelhetősége; a gazdaságosság (a létesítési- és veszteségek költségei együttes minimuma); a tartalékolás igénye; a zárlati teljesítményviszonyok; a párhuzamos üzem lehetősége. (Pl. csúcsidőben mindkét transzformátor üzemelhet, egyikük esetleges kiesését a másik csúcsidei túlterhelése pótolja.)

Az előbbi követelmények közös figyelembevételét úgy is fogalmazhatjuk, hogy a transzformátor névleges teljesítményének helyes kiválasztását a műszaki-gazdasági szempontok együttes kielégítése alapján végezzük. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a műszakilag helyes megoldás választása mellett arra törekszünk, hogy lehetőleg gazdaságossági szempontból is a leghelyesebb (azaz a beruházási, üzemelési költségek együttes minimumát adó) megoldást válasszuk ki.

A transzformátorok kiválasztásának további szempontját a védettség követelménye adja. Ilyen szempontból azt kell vizsgálni, hogy az alkalmazási hely belsőtéri, vagy szabadtéri kivitelű transzformátort igényel-e. Veszélyeztetettség szerint vannak túlfeszültség által veszélyeztetett és nem veszélyeztetett üzemben (környezetben) alkalmazható transzformátorok.

A környezeti viszonyok vizsgálatakor figyelembe kell venni a környezeti hőmérsékletet, a légnedvességet, a tengerszint feletti magasságot, és a szennyeződés mértékét (pl. erősen szennyezett környezetben nagyobb névleges feszültségű szigetelők alkalmazandók).

A hűtés módjának megválasztásához mértékadó jellemzők — olajszigetelésű erőátviteli transzformátorokra — a következők:

- 10 MVA teljesítményig: természetes olaj- és levegőáramlás (jele: ONAN);

- 16 MVA teljesítményig: természetes olajáramlás és a mesterséges levegőhűtés (jele: ONAF);

- 16 MVA-nál nagyobb teljesítménynél: mesterséges olajáramlás és mesterséges levegőhűtés (jele: OFAF).

A fellépő fogyasztói terhelés fedezéséhez szükséges lehet az üzemelő transzformátorral párhuzamosan további transzformátort bekapcsolni. Ilyen esetekben a transzformátoroknak ki kell elégíteniük a párhuzamos üzemre vonatkozó feltételeket, nevezetesen:

- a kapcsolási jel azonossága (a kapcsolódó gyűjtősínekre vonatkozóan);
- a feszültségátétel azonossága;
- a rövidzárási feszültségek egyenlősége (fazorokra értendő).

A gyakorlatban kialakult szabály szerint nem célszerű olyan transzformátorokat párhuzamosan járatni, amelyeknek névleges teljesítményei 3:1-nél nagyobb arányban eltérnek.

8.2. A vezetékek villamos méretezése, kiválasztása

Az erősáramú vezetékeknek és kábeleknek egyidejűleg több követelményt kell kielégíteniük, így megfelelő méretezésre, kiválasztásra és szerelésre van szükség. A figyelembe veendő főbb szempontok a következők:

- üzemi melegedés;
- zárlati melegedés;
- feszültség, feszültségesés;
- üzemszerű mechanikai igénybevétel;
- zárlati mechanikai igénybevétel;
- üzembiztonság;
- érintésvédelem;
- gazdaságosság.

Az előbb felsorolt követelmények egy részére mindenesetben méretezni, ill. ellenőrizni kell, míg másik csoportja egyes vezetékfajtáknál automatikusan teljesül, vagy szintén méretezést, ill. ellenőrzést igényel. A feszültségesésre történő méretezést e tantárgyban már elsajátították. Az üzembiztonsággal kapcsolatos követelmények kielégítése az alkalmazási hely jellegének és tűzrendészeti besorolásának megfelelő vezetékfajta és szerelési mód alkalmazását jelenti. Az érintésvédelem témakörével a tantárgy negyedik félévében részletesen foglalkozunk. A gazdaságossági számítások alapjait az Energiagazdálkodás című tárgy keretében ismerik meg. Az ott tanultakat s a következőkben itt ismertetetteket együttesen alkalmazva kell a méretezést, ill. a kiválasztást elvégezni.

Az üzembiztonságon és a feszültség-igénybevételen kívül a többi követelmény többnyire a vezetékkeresztmetszet nagyságára hat ki. A vezető szükséges keresztmetszete tehát az, amelyik mindegyik követelmény keresztmetszetigényét kielégíti, azaz a méretezés során adódó legnagyobb keresztmetszet.

A normál üzemvitelre történő méretezéshez az üzemi terhelőáram ismerete szükséges.

8.2.1. A vezetékek és vezetékhalózatok terhelésének megállapítása

Új vezetékek és hálózatok tervezésekor nagy gondot kell fordítani a terhelések helyes megállapítására. A várható legnagyobb terhelés ui. nemcsak a fővezeték keresztmetszetét határozza meg, hanem kihat a hálózatképre, a transzformátor nagyságára a beépítendő kapcsolóberendezések névleges teljesítményére. Ezért van rendkívül nagy jelentősége az adott

fogyasztói terület, épület, ipari vagy egyéb létesítmény várható, a lehetőségekhez képest pontosan meghatározott villamosenergia-igényének.

Az előzetes villamosenergia-igény megállapításához elsősorban a részletes beruházási programból lehet kiindulni. Ebből meg lehet határozni a beépítendő alapterület nagyságát és a kívánt megvilágítási szint ismeretében az épület várható világítási energiaigényét. E beruházási programból tájékoztató adatokat nyerhetünk a hajtott gépek teljesítményigényére, üzemeltetésére és a termelési folyamat ütemezésére vonatkozóan. Ezek alapján a beépítésre kerülő villamos gépek, és készülékek névleges teljesítménye kiszámítható, a várható motorikus és termikus villamos energia így ismert.

Az adatokból a beépített teljesítmény határozható meg, ami nem más, mint a hálózatra kapcsolható fogyasztóberendezések névleges teljesítményének összege, amelyben természetesen a bővítésre tervezett fogyasztóberendezések teljesítményének is szerepelnie kell.

A beépített teljesítmény és a hálózatról valóban vételezett teljesítmény azonban nem azonos. Először is nem minden beépített készülék működik egyidejűleg, és nem minden fogyasztó (pl. motor) veszi fel üzem közben a teljes névleges teljesítményét.

Adott számú fogyasztó várható egyidejű terhelése névleges teljesítményük összegéből (beépített teljesítmény) és a tapasztalati úton megállapítható egyidejűségi tényező segítségével határozható meg:

$$P_e = e \sum_i P_i \text{ kW}, \quad (8.1)$$

ahol $[P_e] = \text{kW}$ az i számú fogyasztó várható egyidejű teljesítményigénye; $[P_i] = \text{kW}$ az i -edik fogyasztó teljesítményigénye; e az egyidejűségi tényező.

Az e tényező tájékoztató értékeit kommunális épületcsatlakozásokra a 8.2.-1. táblázat tartalmazza.

Ipari létesítményekre általánosan ajánlható egyidejűségi tényező adatok nem állnak rendelkezésre. A technológiai és az üzemeltetési terv áttanulmányozása után értékét a villamos tervezőnek kell megállapítani.

Kedvező támpontot nyújthat becsléséhez, hogy hasonló elkészült ipari objektum üzembehelyezése után a valóságos egyidejű terhelés értékét regisztráló műszerekkel mérni lehet.

Nagyobb kiterjedésű létesítmény esetében épületenként, gyáregységenként, vagy üzembrészekre kell a várható egyidejű terhelés értékét megállapítani. Az így kiszámított egyidejűségi értékek egymással történő összehangolása után lehet megadni a teljesítmény várható csatlakozási értékét.

Az egyidejűségi tényező meghatározása igen nagy körültekintést igényel, mert helytelen megválasztása, vagy szűk keresztmetszetet eredményez, aminek következtében a vezetékek túlterhelődnek, és további bővítésre sem nyílik lehetőség, vagy túlméretezett vezetőkeresztmetszet esetén anyagpazarlást, ill. beruházási többletköltséget okoz. Ezért ajánlatos nagyobb üzemek hálózati tervezésénél minden egyes üzembrész energiaszükségletét az ott alkalmazott munkafolyamatok és technológiai előírások figyelembevételével külön-külön meghatározni.

Kommunális fogyasztók egyidejűségi tényezői

A fogyasztócsoporthoz, amire az egyidejűség vonatkozik		egyidejűségi tényező	A fogyasztócsoporthoz, amire az egyidejűség vonatkozik	Egyidejűségi tényező
Lakóépület háztartási fogyasztói, ha a lakások száma	1	1,00	Iroda, óvoda, bölcsőde, kórház, rendelőintézet, szálloda, üdülő valamennyi fogyasztója	Legalább 0,66
	2	0,76		
	3	0,66		
	4	0,60		
	5	0,56		
	6	0,53	Üzlet, áruház, vendéglátó üzem, klub világítási fogyasztói	1,0
	7	0,50		
	8	0,48		
	9	0,47		
	10	0,45		
	15	0,41	Nagykonyha sütő-főző berendezései	Legalább 0,7
	20	0,38		
	25	0,36		
	30	0,35		
	40	0,33		
50	0,31	Nem háztartási villamos kályhák, hőszugárzók, hűtőszekrények	1,0	
60	0,30			
100	0,28			
150	0,27			

8.2.2. Méretezés mechanikai igénybevételre

A mechanikai igénybevételek a vezeték fajtájának megfelelően különbözőek. Kábeleknél és szigetelt vezetéseknél a szilárd elhelyezés következtében gyakorlatilag csak az elhelyezéskor, a vezeték építéskor lép fel mechanikai igénybevétel. A mechanikai szilárdság szempontjából alkalmazható legkisebb vezetékkeresztmetszetekről az MSZ 1600 Létesítési biztonsági szabályzat 1000 V-nál nem nagyobb feszültségű erősáramú villamos berendezések számára c. szabvány ill. az azt majd felváltó MSZ 2364 Épületek villamos berendezéseinek létesítése c. szabvány rendelkezik. A vezetékkeresztmetszet alkalmazási területtől és szerelési módtól függő minimális értékeit a szabvány szintén tartalmazza.

A szabadvezetékek állandóan változó nagyságú tetemes húzóigénybevételnek vannak kitéve. Méretezésük üzemszerű mechanikai igénybevételre minden esetben szükséges; amelyet a 3.1.2. szakasz alapján lehet elvégezni. A vezető legkisebb megengedett keresztmetszete és legnagyobb megengedett húzófeszültsége a 8.2.-2. táblázatában található normál biztonság esetére.

8.2.2.1. Gyűjtősínek és merev áramvezetők mechanikai méretezése

A gyűjtősínek méretezése, ill. a meglévő gyűjtősínek ellenőrzése összetett feladat. A sínek szükséges keresztmetszetét és a szabványos lehetőségeken belül alakját, valamint a sínek helyes távolságát az üzemi melegezési, zárlati melegezési, mechanikai szilárdsági,

feszültségesési és gazdaságossági számítások eredményeinek összevetése alapján lehet meghatározni. A sínek fő jellemzőinek egy-egy szempontból történő megváltoztatása más szempontból ellentétes irányú következményeket okoz.

8.2.-2. táblázat

A vezető anyaga	A vezető			
	Legkisebb megengedett keresztmetszete, mm ²		Legnagyobb megengedett hfeszültsége, N/mm ²	
	kisfeszültségen	nagyfeszültségen	kisfeszültségen	nagyfeszültségen
Alumíniumsodrony	16	25	70	70
Nemesített alumíniumsodrony	10	16	110	110
Acélalumínium-sodrony, ha az acél és alumínium keresztmetszetek viszonya:				
1:6	-	25 ^{1/}	-	90
1:7,7	-	95	-	85
1:1,7	-	95	-	140
Acélsodrony Ac. I.	16	-	160	-
Acélsodrony Ac. II.	16	16	300	300
Acélsodrony Ac. III.	16	16	400	400
Acélsodrony Ac. IV.	16	16	500	500

Például: a fázistávolság növelésével csökken a zárlati erőhatás, de nő a feszültségesés, sőt e változtatás gazdasági következményekkel is jár, változhat a kapcsolóberendezés mérete.

Mechanikai méretezés szempontjából a szabadtéri kapcsolóberendezések sodronyszerkezetű gyűjtősínjei kis oszlopközű (feszítőközű) szabadvezetéknek tekinthetők azzal a különbséggel, hogy a méretezés során a szigetelőláncok súlya is figyelembe veendő.

A belsőtéri, ill. a tokozott kapcsolóberendezések merev gyűjtősínjei a cellaosztásnak megfelelő távolságban támszigetelőkön vannak elhelyezve. A közeli alátámasztási pontok következtében a sínek saját súlyából származó mechanikai igénybevétel jelentéktelen. Ugyanakkor azonban a gyűjtősín három fázisának közelsége miatt a zárlati áramok dinamikus erőhatása igen jelentős lehet. Ezért a belsőtéri gyűjtősíneket minden esetben ellenőrizni kell zárlati mechanikai igénybevétel szempontjából. Különösen a 3...10 kV-os feszültségű gyűjtősínek kritikusak, ahol a zárlati áramok nagyok, a fázistávolság viszont kicsi.

8.2.-3. táblázat

Gyűjtősínek legkisebb megengedett fázistávolságai, mm

U (kV)	1	3	6	10	20	35	120	220	400
Belsőtéri*	15	60	75	90	160	290	900	-	-
Szadattéri	15	180	180	180	300	400	1100	2200	3200

* Léggöri túlfeszültség által nem veszélyeztetett.

Új gyűjtősín tervezésekor általában az üzemi és a zárlati melegedés alapján választják meg a sín keresztmetszetét, majd a fázistávolságot a megengedett legkisebb fázistávolságra (8.2-2. táblázat), vagy annál valamivel nagyobb értékre veszik fel, és ennek alapján kiszámítják a lehetséges legnagyobb zárlati áram okozta erőhatást, majd a sínprofil keresztmetszeti tényezőjének figyelembevételével meghatározzák a sín mechanikai feszültségét. Utolsó lépésként önrengésszámra kell ellenőrizni a gyűjtősínt. Nem kielégítő eredmény esetén a fázistávolságot, vagy a sínprofil, esetleg mindkettőt meg kell változtatni.

A zárlati áram erőhatásának számításakor a gyűjtősíneket párhuzamos végtelen hosszú áramvezetőknek tételezzük fel. Mint korábbi tanulmányaikból ismert, az áramot vivő két párhuzamos vezető közötti erőhatás az l hosszúságú szakaszon:

$$F = \mu_0 \cdot \frac{I_1 I_2}{2\pi \cdot d} \cdot l = 0,2 \cdot \frac{I_1 I_2}{d} \cdot l \cdot 10^{-6} \text{ N}, \quad (8.-2)$$

ahol $[I_1] = \text{A}$; $[I_2] = \text{A}$, a két vezető árama; $[d] = \text{m}$, a vezetők közötti távolság; $[l] = \text{m}$, a vezetők hossza.

Váltakozó áramú hálózatban az áram szinuszos lefolyásának megfelelően a zárlati erőhatás is periodikus. Mivel a számításakor csak a lehetséges legnagyobb erőhatást akarjuk meghatározni, a (8.-2) összefüggésbe a zárlati áram csúcsértékét kell behelyettesíteni. Az előbb elmondottak két fázis közötti rövidzárlat esetére igazak, mert akkor csak a két sínben folyik zárlati áram, és mindkét sínben a zárlati áram csúcsértéke ugyanabban az időpontban lép fel. Háromfázisú rendszer legnagyobb zárlati csúcsárama általában háromfázisú zárlatkor lép fel (kivételez az erőművek környezete). Ekkor azonban az áramok 120° -os fáziseltolódása miatt nincs olyan időpillanat, amikor mindhárom vagy akár csak két fázisban is egyidejűleg áramcsúcs lenne. A fellépő erőhatásokat befolyásolja még a három vezető térbeli helyzete is.

Egysíkú elrendezésnél a középső sínre és egyenlő oldalú háromszögben való elrendezésnél bármely sínre ható legnagyobb erő:

$$F \approx 0,87 \cdot 0,2 \cdot \frac{I_{zcs}^2}{d} \cdot l \cdot 10^{-6} \text{ N}. \quad (8.-3)$$

Egysíkú elrendezésnél a két szélső sínre ható legnagyobb erő pedig (8.-3)-nál kisebb:

$$F = 0,81 \cdot 0,2 \cdot \frac{I_{zcs}^2}{d} \cdot l \cdot 10^{-6} \text{ N}, \quad (8.-4)$$

ahol $[I_{zcs}] = \text{A}$, a zárlati csúcsáram.

A háromfázisú zárlatok számításakor tanultak alapján általában a háromfázisú zárlati áram effektív értékét számítjuk ki. A szinkrongépek zárlatszámításánál látottak alapján az aszimmetrikus lefolyású zárlatnál fellépő legnagyobb zárlati csúcsáram:

$$I_{zcs} = \kappa \sqrt{2} \cdot I_{zeff} \text{ A}, \quad (8.-5)$$

ahol κ a csúcstényező, amelyet legkedvezőtlenebb esetre a már ismert 1,8 értékkel szokás figyelembe venni.

A zárlati erőhatás a gyűjtősínt a mechanikából ismert egyenletesen megoszló terhelésként támadja. Az l hossz a gyűjtősín két szomszédos támszigetelője közötti távolság, ami gyakorlati okok miatt éppen a cellafalak távolságával egyenlő. Az erő a gyűjtősínek síkjában lép fel és a síneket hajlításra veszi igénybe.

Az l hosszúságú sínszakaszra ható F erő nyomatéka a gyűjtősínek a támszigetelőkön való felerősítési módjától függ. A gyűjtősínt a támszigetelőre erősítő bilincsek lazán fogják

(hődilatació), azonban a sín olyan rugalmas szálként viselkedik, hogy a sínt mindkét végén befogott rúdnak lehet tekinteni, amikor is a legnagyobb hajlítónyomaték:

$$M = \frac{Fl}{12} \text{ Nm.} \quad (8.-6)$$

Zárlatkor a gyűjtősínben a legnagyobb nyomaték helyén fellépő mechanikai feszültség:

$$\sigma = \frac{M}{K} = \frac{Fl}{12K} \text{ N/m}^2, \quad (8.-7)$$

ahol $[l] = \text{m}$, a megfogási pontok távolsága; $[K] = \text{m}^3$, a keresztmetszeti tényező.

A (8.-7) összefüggésben szereplő keresztmetszeti tényező számításához lapos sínek mindkét lehetséges elhelyezésében, ill. kör alakú gyűjtősín esetén a 8.2.-1. ábra nyújt segítséget.

Figyelmet érdemel, hogy a lapos sín normális, élére állított elhelyezése esetén (ami hűlési szempontból kedvezőbb, mint a fekvő helyzet esetében) a keresztmetszeti tényező kedvezőtlenül kicsi. Ezért, ha a hajlítói igénybevétel (σ) értéke túl nagyra adódna, és az erő (F) értéke a fázistávolság (d) reális megnövelésével nem csökkenthető a kívánt értékre, a síneket a három fázis síkjában fektetve kell szerelni.

Ha a gyűjtősíneket fázisonként több lapos sínből állítják össze, akkor az egy fázisban összefogott párhuzamos sínek között is tekintélyes járulékos erőhatások lépnek fel, hiszen a zárlati áram a két sín között megoszlik és a párhuzamos sínszalakat összeszorítja. Ezért nemcsak a támszigetelőkre való felerősítésnél, hanem a sínszakasz közepén is el kell helyezni a távolságtartó betéteket.

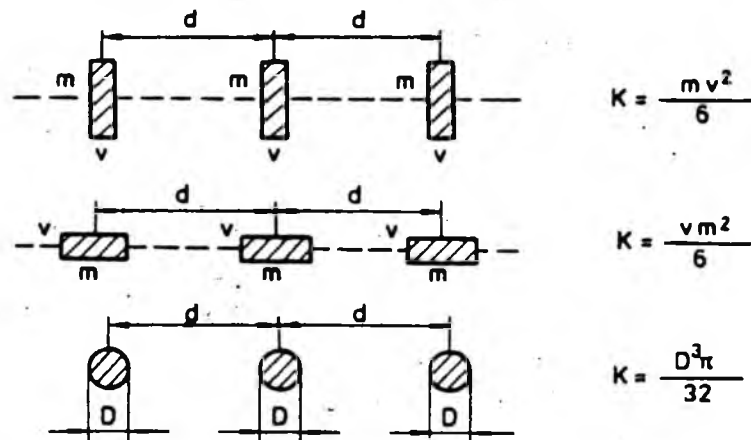
A gyűjtősín rugalmas volta, és a rá ható erők periodikus jellege következtében rezgések lépnek fel, amelyek kifejlődése esetén annál nagyobb alakváltozás, igénybevétel következik be, minél jobban megközelíti a rezgéseket keltő zárlati erő periódusa a gyűjtősín önrezgésszámát. Ha a sín önrezgésszáma a váltakozó áram 50 Hz frekvenciájához vagy annak kétszereséhez közel van, a sínköteg már üzemi áramnál is rezonanciába kerülhet, ami igénybevétel szempontjából kis érték, de veszélyes, mert fáradási törést okozhat.

Az önrezgésszám merev befogásúnak tekintett gyűjtősín esetén:

$$n \approx \frac{111}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{S}} \text{ 1/s,} \quad (8.-8)$$

ahol $[l] = \text{cm}$, a támaszköz; $[E] = \text{N/m}^2$, a rugalmassági tényező; az $[I] = \text{cm}^4$, a sínidom tehetetlenségi nyomatéka; $[S] = \text{N}$, a sín egységnyi hosszának (1 cm) a súlya.

A gyakorlat számára elegendő, ha az így kiszámított önrezgésszám nem esik 40...60, és 90...110 közé. Ha adott esetben az önrezgésszám nem megfelelő, úgy meg kell változtatni, ami a képlet útmutatása szerint a következő szabványos sínkeresztmetszetre való áttéréssel megvalósul, mert a tehetetlenségi nyomaték és a hosszegységre eső súly megváltozása különböző mértékű. Lapos sínek esetében a sín 90°-os elfordítása, azaz a tehetetlenségi nyomaték ugrásszerű megváltoztatása a legegyszerűbb.



8.2.-1. ábra Gyűjtősín elrendezések keresztmetszeti tényezői

8.2.2.2. Támszigetelők és átvezető szigetelők méretezése

A támszigetelők a gyűjtősínek és az arról leágazó merev sínvezetékek tartóelemei. Mechanikai igénybevételüket az általuk tartott sínre ható rövidzárlati erőhatás hajlítónyomatéka jelenti. Jelentős igénybevétel adódhat hosszabb sínszakaszok hőmérsékletváltozásából is.

A magyar szabvány a támszigetelőket mechanikai szilárdság szempontjából három osztályba sorolja. Az egyes osztályokat a törőerő (törőszilárdság) jellemzi. Értékei:

A osztályú szigetelőknél	$F_0 = 3750 \text{ N};$
B osztályú szigetelőknél	$F_0 = 7500 \text{ N};$
C osztályú szigetelőknél	$F_0 = 12500 \text{ N}.$

A törőerő értéke a támszigetelő sapka síkjában, a támszigetelőre merőlegesen ható legnagyobb megengedett erő (8.2.-2. ábra). Ekkora erő a szigetelőt akkor terhelheti, ha hatásvonala a porcelántest felső peremén halad át, tehát az F_0 erő m_0 karral szorozva adja a mértékadó hajlító nyomatékot.

A szigetelőket lehetőség szerint a mechanikából ismert egyenszilárdságú alakúra készítik. A kapcsolóberendezésekben a támszigetelők tetején — megfelelő tartószerelvény segítségével — helyezhető el a sínvezeték. A zárlati erőhatás a sín középvonalában hat és nyomatékának karja m . A hajlítónyomatékok talppontra vonatkozó azonossága érdekében m magasságban megengedett erő az F_0 törőerőértéknél kisebb:

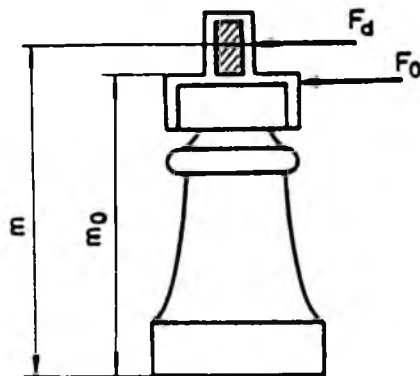
$$F_d = \frac{m_0}{m} \cdot F_0 \text{ N.} \quad (8.-9)$$

Miután a törőerő hatásvonalának áthelyeződésével a szigetelő elveszti egyenszilárdságú jellegét, a ténylegesen megengedhető legnagyobb hajlítóerő egy C csökkentő tényező figyelembevételével a következők szerint határozható meg:

$$F_m = CF_d = C \frac{m_0}{m} \cdot F_0 \text{ N.} \quad (8.-10)$$

A C csökkentő tényező értékei:

- $0,6 < m_0/m \leq 0,8$ esetén: 0,5;
- $0,8 < m_0/m \leq 0,9$ esetén: 0,6;
- $0,9 < m_0/m \leq 1$ esetén: 0,7.



8.2.-2. ábra Támszigetelőre ható erő

A támszigetelő A, B, C törőerő osztályai függetlenek a szigetelő névleges feszültségétől; a három szilárdsági típus a névleges feszültség minden szabványos értéken belül az adott dinamikus igényeknek megfelelően választható.

Az átvezető szigetelők a síneknek térelhatároló elem (fal) történő egyenes vonalú átvezetésére szolgálnak. Felerősítésük az átvezető méretének megfelelően áttört fal egyik oldalsíkjára történik.

Az átvezető szigetelőket mechanikailag szintén a sínre ható zárlati erő hajlítónyomatéka veszi igénybe. A támszigetelőkkel azonos A, B, C törőszilárdsági értékekkel készülnek.

Az átvezető szigetelők kétféle típusban készülnek, úgymint:

- zárttéri átvezető szigetelő,
- kültéri átvezető szigetelő.

Az utóbbi a vezetősínnek belső térből külső térbe való egyenes kivezetésére szolgál. Ennek megfelelően egyik oldali szigetelőjük a belsőtéri, a másik oldali szigetelőjük a külsőtéri szigetelőszabvány szerinti kivitelű. Szerelőlapjuk a külsőtéri oldalon van.

Az átvezető szigetelők törőszilárdsági és feszültség szerinti választékán kívül további választéki paraméter az átmenő sín mérete.

8.2.3. Vezetékek hőigénybevétele

A vezetékek túlmelegedése szigetelőanyaggal burkolt vezetékek esetén a szigetelőanyag és ezzel magának a vezetőnek a pusztulásához vezethet, tűzkárt, az emberi életben és vagyonban pótolhatatlan veszteségeket okozhat. Csupas vezetékeknel a szigetelőanyag megrongálódásával nem kell számolni, ezért jobban terhelhetőek. Az áramterhelhetőséget ez esetben a terhelés során fellépő veszteségek, másrészt a vezetőanyag kilágyulási veszélye korlátozza.

A meg nem engedett melegedést, a káros túlmelegedést nemcsak nagy áramerősség okozhatja, felléphet akkor is, ha rendes üzemi terhelés mellett a környezet hőmérséklete túl magasra szökik.

A vezetékek túlmelegedését a hűlési viszonyok erősen befolyásolják. A csővezetékekben elhelyezett vezetékek például rosszabbul hűlnek, mint a szabadba fektetettek.

A hőelvezetés mértéke függ a kábel szigetelésének milyenségétől is, különösen ha arra gondolunk, hogy a kábelszigetelés hővezető-képessége lényegesen kisebb, mint a földé, amelybe fektetve van. Ebből következik, hogy kisebb szigetelővastagságú kábelek

áramterhelhetősége nagyobb, mint a vastagabb szigetelőréteggel rendelkezőké a jobb hővezetőképességük miatt.

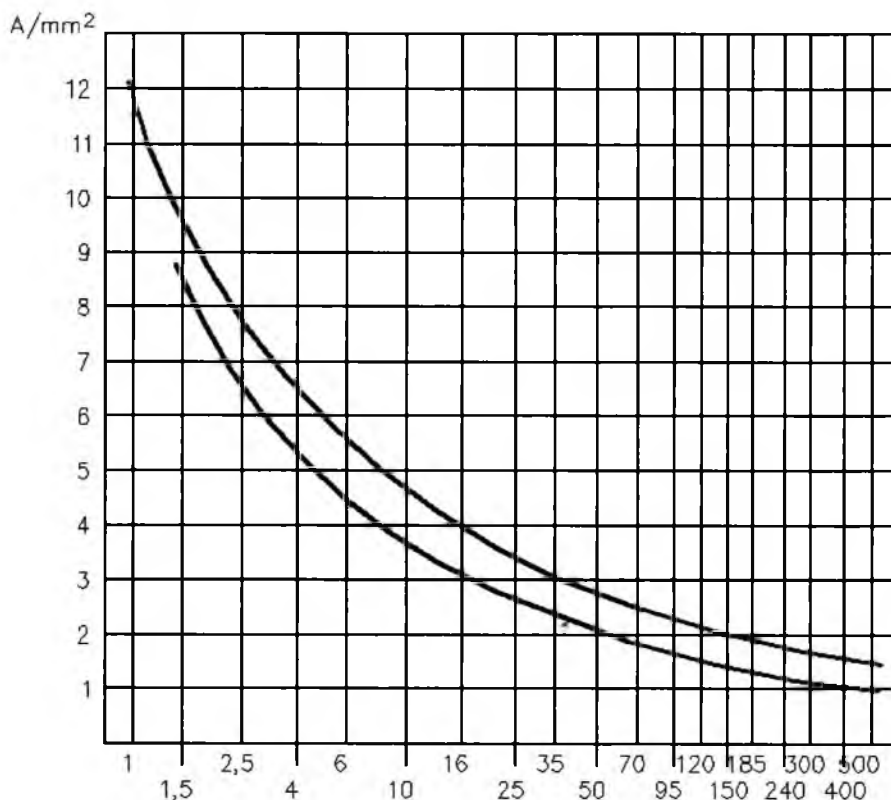
Az energiaátviteli feladatokat ellátó vezetékek kihasználhatóságára a fajlagos terhelhetőség, vagyis az áramsűrűség a jellemző. Vizsgáljuk meg, hogyan alakul a megengedhető áramsűrűség a keresztmetszet függvényében.

A hűlési viszonyok szempontjából a vezető felületének nagysága a mértékadó, hiszen a hőáramlás ezen a felületen indul meg. Egy adott hosszúságú vezetékszakaszt figyelembe véve egy kör keresztmetszetű vezető felszíne (F) a sugár lineáris függvénye. A vezető keresztmetszete (A) viszont a sugártól négyzetesen függ. A felület (hűtőfelület) a keresztmetszet függvényében kifejezve tehát:

$$F = f(\sqrt{A}). \quad (8.11)$$

Ami azt a közismert tényt fogalmazza meg, hogy kis keresztmetszetű vezetékek viszonylag jobban hűlnek, mint a nagy keresztmetszetűek, mert a keresztmetszetükhöz viszonyítva nagyobb hűtőfelülettel rendelkeznek. Ebből az is következik, hogy kis vezeték keresztmetszeteknél nagyobb fajlagos terhelést lehet megengedni, mint a nagyobb keresztmetszetűeknél.

Egyerű, vakolat alá védőcsőbe szerelt szigetelt vezeték keresztmetszettől függő megengedett áramsűrűségét a 8.2.-3. ábra mutatja.



8.2.-3. ábra Egyerű, vakolat alá védőcsőbe helyezett szigetelt vezeték megengedett áramsűrűsége: felső görbe réz; alsó görbe alumínium

Miután a vezető megengedett áramsűrűsége függ a keresztmetszettől, a szabvány közvetlenül az adott keresztmetszethez tartozó megengedhető terhelőáramot adja meg, táblázatos formában. Ez az alapterhelés az üzemi melegedésre történő méretezés kiinduló értéke, amely rögzített környezeti feltételekre és tartós, azaz időben állandó nagyságú terhelőáram esetére vonatkozik.

Mint az elmondottakból kitűnik, a terhelhetőség függ:

- a vezeték szerkezeti anyagától;
- a vezeték fajtájától;
- az elhelyezés módjától;
- a környezet hőfokától.

Ezért a vezetők alapterhelését vezetőfajtánként adják meg.

A rögzített környezeti adottságoktól eltérő esetekben a megengedhető állandó terhelőáram az alapterhelés értékéből módosító tényezők segítségével állapítható meg. Értéküket táblázatok, diagramok vagy megfelelő összefüggések alapján határozhatjuk meg.

Az alapterhelés értéke állandó terhelés esetére megengedhető terhelőáram. Ilyenkor a vezeték elegendő ideig, a vezeték melegezési időállandójának háromszorosát meghaladó időtartamig van terhelve állandó áramerősséggel, így a vezető hőmérséklete eléri az állandósult hőmérsékletet.

Más terhelési mód esetében az ún. mértékadó terhelőáram értékét előzetesen meg kell határozni.

Ha a terhelés időben váltakozó, akkor a mértékadó terhelőáram ugyan számítható, de az eljárás bonyolult és hosszadalmas. Természetesen kiszámításához a vezeték időállandójának és a terhelőáram időbeni változásának pontos ismerete szükséges. A gyakorlat szempontjából ez esetben megengedhető a számítás mellőzése, ha a biztonság irányában tévedve a legnagyobb nem lökésszerű terhelőáram értékét tekintjük mértékadónak.

Szigetelt és kábelszerű vezetékek olyan szakaszos terhelésekor, amikor ki- és bekapcsolt állapotból vagy üresjárásból és a teljes terhelésből álló ciklusok követik egymást, és egy ciklus időtartama 10 percnél nem hosszabb, valamint a bekapcsolt állapot, ill. a teljes terhelés a ciklusidő 40%-át nem haladja meg, a mértékadó terhelőáram az áramok négyzetes középértékéből adódó áramerősség:

$$I_t = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot (I_0^2 t_0 + I_c^2 t_c)} \text{ A,} \quad (8.-12)$$

ahol $[I_t] = \text{A}$, a melegezés szempontjából mértékadó terhelőáram; $[T] = \text{s}$, a ciklusidő; $[I_0] = \text{A}$, az üresjárási áram; $[t_0] = \text{s}$ az üresjárási időtartam; $[I_c] = \text{A}$, a teljes terhelés árama; $[t_c] = \text{s}$, a teljes terhelés időtartama.

Ha a szakaszos terhelés az előbb említett feltételeket nem elégíti ki, akkor ez esetben számításal kell ellenőrizni, hogy a vezeték nem melegszik-e a megengedettnél (gumiszigetelés esetén 60°C-nál, műanyag-szigetelés esetén 70°C-nál) jobban.

Többmotoros hajtás indítási terhelése esetén az indító eredő áramerősség értékének szintén a négyzetes középérték vehető.

8.2.3.1. Szigetelt vezetékek megengedett áramterhelése

Szigetelt vezetékeknel a maximális terhelhetőséget a vezeték hőmérséklet szabja meg, amely nem lehet akkora, hogy veszélyeztesse a szigetelőburkolat épségét. Az MSZ 14550 Szigetelt vezetékek megengedett terhelése c. szabvány előírásai alapján a vezetőér megengedett maximális hőmérséklete gumiszigetelés G esetén 60°C; műanyag M szigetelés esetén 70°C.

A szabvány a vezeték felhasználási célja szempontjából kétféle vezetékot különböztet meg:

- főáramkörü vezetékot, amely a villamos energiát a fogyasztóhoz vezet;
- segédáramkörü vezetékot, amely mérő, működtető, reteszelő feladatokat ellátó villamos energiát vezet.

A szigetelt vezetékek az érszámtól, vezeték szerkezettől, szerelési módtól és rendeltetéstől függően a 8.2.-3. táblázat szerinti A, B vagy C terhelési csoportba oszthatók.

Az 1 kV-nál nem nagyobb névleges feszültségű szigetelt vezetékek alapterhelését (I_a) az A, B, ill. a C terhelési csoportokra a vezető anyagától függően a 8.2.-4. táblázat adja meg. A táblázat adatai 25°C környezeti hőmérséklet, legfeljebb három terhelt ér, és 10 mm-nél nagyobb védőcső, vezetékcsatorna, vagy vezetékköteg távolság esetére mérvadóak.

Ha a felsorolt feltételek nem teljesülnek, akkor az alapterhelés értékét módosítani kell.

Az alapterhelés értékét módosító tényezők:

k_1 ; ha a környezeti hőmérséklet 10...55°C, akkor az alapterhelés értékét a k_1 tényezővel meg kell szorozni (8.2.-5. táblázat).

8.2.-3. táblázat

Szigetelt vezetékek terheléscsoporttáblázata

Szerelés mód	Főáramkörü vezeték			Segédáramkörü vezeték	
	egyerü	2...5 erü	ötnél több erü	egyerü	többerü
Vakolat alatt védőcsőben	A	-	-	B	-
Falon kívüli védőcsőben, ill. csatornában	A*	-	-	B	-
Vakolatba helyezve, ill. falra ragasztva	B	B	A	B	B
Köteget	A**	B	A	B	B
Terített	B	B	A	C	B
Szabadon szerelt	C	B	A	C	B

* 5-nél nem több terhelt vezető esetén B.

** 9-nél nem több terhelt vezető esetén B.

Szigetelt vezetékek alapterhelés-értékei

Vezető keresztmetszet, mm ²	I _a , A					
	A csoport		B csoport		C csoport	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
0,5	7	-	10	-	13	-
0,75	10	-	13	-	16	-
1,0	12	-	16	-	20	-
1,5	16	13	20	17	25	22
2,5	20	16	27	21	34	27
4	27	21	36	29	45	35
6	35	27	47	37	57	45
10	48	36	65	51	78	61
16	63	51	87	68	104	82
25	83	69	115	90	137	107
35	110	86	143	112	168	132
50	140	110	178	140	210	165
70	175	140	220	173	260	205
95	215	175	265	210	310	245
120	255	205	310	245	365	285
150	295	235	355	280	415	330
185	340	270	405	320	475	375
240	400	300	480	380	560	440
300	470	375	555	435	645	510
400	570	450	690	540	770	605
500	660	530	820	640	880	690

8.2.-5. táblázat

A k₁ módosító tényező értékei

Környezeti hőmérséklet, °C	k ₁	
	M vezeték esetén	G vezeték esetén
10	1,18	1,15
15	1,12	1,10
20	1,06	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	-
>55	csak hőálló vezeték alkalmazható	

/M műanyag szigetelésű; G gumiszigetelésű vezeték/

k_2 ; háromnál több terhelt vezeték(ér) esetére a k_2 tényező értékeit a 8.2.-6. táblázat találjuk:

8.2.-6. táblázat

A k_2 módosító tényező értékei

Vezetékek vagy vezetékerek száma	1...3	4	5	6	9	12	15	20	25	30	35	40	45
k	1	0,92	0,84	0,75	0,61	0,58	0,55	0,51	0,46	0,42	0,40	0,38	0,36

k_3 ; ha egymás mellett (<10 mm) védőcsövek, vezetékcsatornák, vezetékkötegek vagy közös köpenyű vezetékek futnak, az alapterhelés értékét a 8.2.-7. táblázat található k_3 értékével kell megszorozni;

k_4 ; nagyfeszültségű szigetelt vezetékek megengedett terhelését is megkapjuk, ha a 8.2.-4. táblázatban található alapterhelés adatot a névleges feszültségtől függő k_4 módosító tényezővel megszorozzuk (8.2.-8. táblázat).

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy adott keresztmetszetű szigetelt vezeték megengedett áramterhelését az

$$I_m = k_1 k_2 k_3 k_4 I_a \text{ A,} \quad (8.-13)$$

összefüggés alapján határozhatjuk meg.

8.2.-7. táblázat

A k_3 módosító tényező értékei

Védőcsövek, vezetékcsatornák, többerű vezetékek és vezetékkötegek száma		2	3	5	10	15	20	25	30
k_3	többerű vezeték, köteg, védőcső, szabad szerelés esetén	1	0,85	0,73	0,63	0,58	0,55	0,52	0,49
	többerű vezeték védőcsőben, ill. vezetékcsatornában történő szerelés esetén	1	0,75	0,65	0,54	0,48	0,45	0,43	0,42

8.2.-8. táblázat

A k_4 módosító tényező értékei

A vezeték névleges feszültsége, kV	1	3	6	10
k_4	1,00	0,95	0,90	0,80

Végül pár szót kell szólnunk a vezetékek túlmelegedés elleni védelméről. E kérdéskörrel részletesen a tantárgy következő félévében foglalkozunk, itt csak a legfontosabb követelményt emeljük ki.

A vezeték védelmére szolgáló készülék (olvadóbiztosító, megszakító) névleges áramerősségét, ill. beállítási értékét úgy kell megválasztani, hogy az a vezetékre az adott körülmények között megengedett áramerhelés értékét ne haladja meg. Azaz a megengedett terhelés értékét alulról közelítse meg. (Esetleg érje el.)

8.2.3.2. Erősáramú kábelek megengedett áramerhelése

Erősáramú kábelek terhelhetőségét is az határozza meg, hogy a terhelőáram hatására fellépő melegedés következtében, a szigetelés nem sérül meg. A kifogástalan szigetelőburkolat az erősáramú kábeleknél rendkívül fontos, különösen a nagy névleges feszültségű kábeleknél, ahol a szigetelőanyag épségben tartása céljából a vezeték hőmérsékletet alacsonyabb szinten kell tartani.

A kábelek 70 cm-es fektetési mélységi és $70^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ fajlagos talajhőellenállás esetére vonatkozó alapterhelés értékeit szabványok táblázatai tartalmazzák.

Az alapterhelés 20°C környezeti hőmérséklet mellett egyedülállóan földbe fektetett kábelre vonatkozik. Környezeti hőmérsékletként a talajfelszín hőmérsékletét kell figyelembe venni, mivel a talaj hőmérséklete csak nagyobb mélységekben állandósul, a szokásos kábelfektetési mélységekben még jól követi a felszíni ingadozásokat.

Levegőben vezetett kábel esetén ugyancsak 20°C a környezeti hőmérséklet, de ez esetben a rosszabb hűlési viszonyok miatt az alapterhelés értékét módosító tényezővel csökkenteni kell. (Az újabb kutatási eredmények alapján egyes műanyag-szigetelésű kábelek az elmondottaktól eltérően viselkednek.)

Több együttfutó kábel, ill. kábelcsoport (egyszerű kábelekből összeállított három kábel) földbe fektetése esetén szintén csökkenteni kell az alapterhelés értékét, mivel az együttfutó érszám növekedése megnehezíti a kábel hőleadását. adja.

Ha az alapterhelésre vonatkozó követelmények közül egyidejűleg több nem teljesül, akkor az ezekre az esetekre vonatkozó módosító tényezők mindegyikét figyelembe véve kell a mértékadó áramerhelés értékét meghatározni.

8.2.3.3. Szabadvezetékek megengedett áramerhelése

A szabadvezeték legnagyobb áramerhelésének, azaz adott feszültség és teljesítménytényező mellett rajtuk átvihető legnagyobb teljesítménynek több körülmény szab határt:

- gazdaságosság;
- feszültségesés;
- vezető hőfok.

Rövid vezetékszakaszok és sodronygyűjtősínek legnagyobb megengedhető áramerhelését azonban a vezető sodrony megengedhető hőmérséklete szabja meg.

Állandó terhelésnél az üzemi viszonyoknak megfelelő legkedvezőtlenebb esetben sem lépheti túl a vezető azt a hőmérsékletet, amely anyagának szilárdságát csökkenti. A megengedhető hőmérséklethatár alumínium, nemesített alumínium és acélalumínium vezeték esetében 80°C .

A szabadvezetékek alapterhelés-adatai (8.2.-9. táblázat) $+40^{\circ}\text{C}$ környezeti hőmérséklet és $0,5\text{ m/s}$ szélesebbég — mint legkedvezőtlenebbnek tekinthető körülmény — esetére vonatkoznak. Ezen állandó terhelés esetén a vezető éppen a tartósan megengedhető hőmérséklethatárig melegszik fel.

A megengedhető tartós áramterhelés értékét más szélesség és környezeti hőmérséklet, mint legkedvezőtlenebb körülmény esetében a (8.-14) közelítő összefüggés szolgáltatja:

$$I_m = I_a \left(\frac{v}{5} + 0,9 \right) \cdot \sqrt{2 - \frac{t}{40}} \text{ A,} \quad (8.-14)$$

ahol $[I_m] = \text{A}$, az adott körülmények (v ; t) és adott vezetőkeresztmetszet mellett megengedhető terhelőáram;

$[I_a] = \text{A}$, az adott keresztmetszetű vezető alapterhelése;

$[t] = ^\circ\text{C}$, a környezeti hőmérséklet;

$[v] = \text{m/s}$, a szélesség.

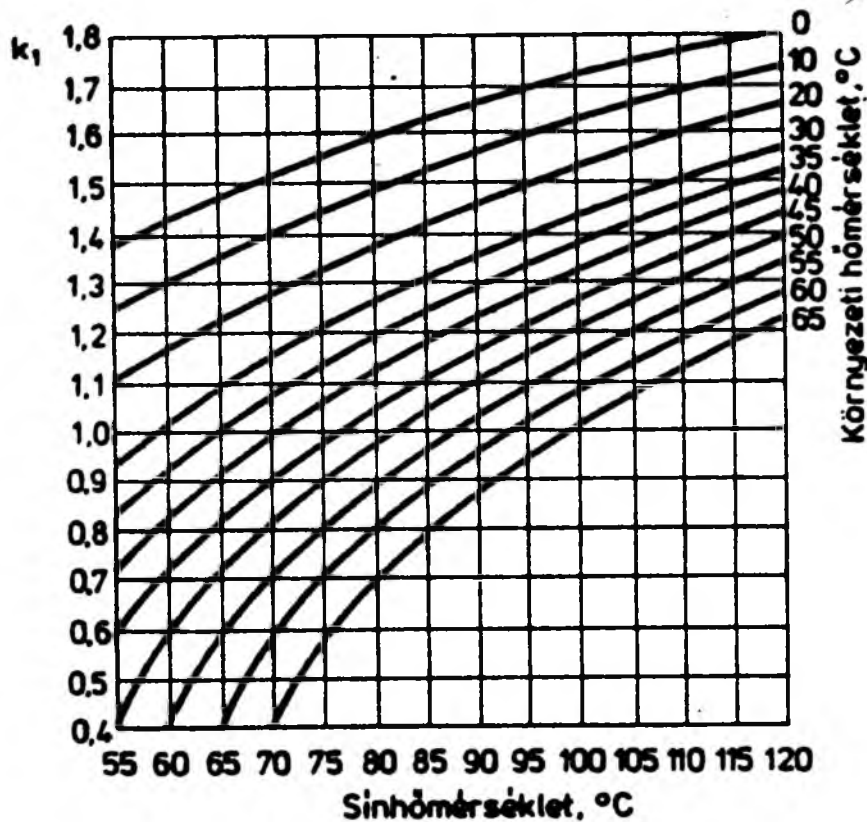
8.2.-9. táblázat

Szabadvezeték alapterhelése, I_a (A)

A vezető névleges keresztmetszete, mm^2	Alumínium	Nemesített alumínium	Acélalumínium	Acélaludur
	a sodrony megengedett legnagyobb állandó árama, A-ben			
6	-	-	-	-
10	60	60	-	-
16	85	80	-	-
25	110	105	-	-
35	145	130	-	-
50	180	165	-	-
50/8	-	-	175	-
70	225	195	-	-
70/12	-	-	215	-
95	275	245	-	-
95/15	-	-	270	-
110/20	-	-	310	-
120	330	290	-	-
120/20	-	-	325	315
120/120	-	-	-	340
150	395	340	-	-
150/25	-	-	370	360
185	440	385	-	-
185/60	-	-	440	-
240	525	450	-	-
250/40	-	-	540	500
263/110	-	-	-	560
300	610	540	-	-
350/50	-	-	650	-
375	740	650	-	-
400/55	-	-	740	-
500/65	-	-	820	-

8.2.3.4. Sínek és csupasz vezetékek megengedett áramterhelése

A gyűjtősínek és csupasz leágazó sínek üzemi melegedésre történő méretezésekor is az alapterhelés adatából kell kiindulni. A szabvány adatai 35°C környezeti hőmérsékletre és 65°C vezetőlámpára vonatkoznak, azzal a feltételezéssel, hogy a sínek hossza vízszintes elrendezésben legfeljebb 2 m, függőleges elrendezésben legfeljebb 3 m. A megfelelő tompa színű festékekkel festett sínek terhelhetősége 25...30%-kal nagyobb a csupasz felületűekéhez képest. A gyűjtősínek hő leadó képessége konvekcióval és sugárzással biztosított és a festék sugárzási tényezője 0,9.



8.2.-4. ábra k_1 tényező értékei a tényleges környezeti hőmérséklet figyelembevételéhez

A gyakorlati feladatok során természetesen az alapterhelésre megadott feltételek többnyire nem teljesülnek. A megengedett áramterhelés értéke eltérő körülmények esetén megfelelő módosító tényezők figyelembevételével állapítható meg.

1. Ha a környezeti hőmérséklet eltér 35°C-tól, vagy a sín hőmérséklete 65°C-tól eltérő, akkor az alapterhelés értékét a 8.2.-4. ábra k_1 tényezővel meg kell szorozni.

A sín megengedhető hőmérsékletét általában a hozzá csatlakozó készülékek megengedhető hőmérséklete szabja meg. Biztonsági okokból maximum 90°C engedhető meg, de a gazdaságossági szempontokat is figyelembe véve 65...70°C a szokásos érték.

2. Ha a hűtőfelület nagyságát, ill. a helyzetét megváltoztatjuk, a környezetnek áramlások hőcserével leadott hőmennyisége megváltozik, és a sugárzás értéke is módosul.

A lapjával vízszintesen elhelyezett (fekvő) sín terhelhetőségét csökkentő k_2 tényező értékét csak 2 m-nél nagyobb sínhossz esetén kell figyelembe venni (8.2.-10. táblázat).

Megjegyzendő, hogy a fekvő gyűjtősín a zárlati áram dinamikus hatásával szemben tanúsított nagyobb mechanikai szilárdsága miatt előszeretettel alkalmazott elrendezés.

3 m-nél hosszabb függőleges sínvezetés esetén szintén módosulnak a konvekciós hőcsere feltételei a vízszintes sínvezetéshez képest, a függőleges szakasz felső része kevésbé hűl. Ilyen esetben a megengedett áramterhelés értéke az alapterhelés 85%-a.

3. Színalumínium helyett ötvözött, vagy nemesített alumínium sínanyag alkalmazása esetén az alapterhelés értékét 10%-kal csökkenteni kell.

8.2.-10. táblázat

Fekvő elrendezésű, 2 m-nél hosszabb lapos sínek terhelhetőségét csökkentő k_2 tényező értékei

Sínszám, db	Sínszélesség, mm	k_2 tényező	
		festett	csupasz
		sín esetén	
1	50...200	0,90	0,85
2	50...200	0,85	0,80
3	50...80	0,85	0,80
	100...120	0,80	0,75
4	160	0,75	0,70
	200	0,70	0,65

A sínvastagság és a közbenső légréteg 5...10 mm.

8.2.3.5. Ellenőrzés zárlati melegedésre

A villamos hálózat berendezéseit, vezetőiket megfelelő zárlatvédelemmel látják el. A zárlat fellépésétől megszüntetéséig, azaz a védelem működési ideje alatt a zárlati áram a hálózat soros elemeit — így a vezetőket és kábeleket is — melegedés szempontjából is igénybe veszi.

A zárlati áram az üzemi áram 10...20-szorosa körül van, így az áram négyzetével arányos Joule-veszteség az üzemi áramhoz viszonyítva 100...400-szoros. Ha ilyen áramértékre kiszámolnánk az elméleti állandósult hőmérsékletet, messze az anyag olvadáspontja feletti értéket kapnánk. Ezért a védelmeknek igen rövid idő alatt működniük kell. E rövid ideig tartó igénybevétel alatt a vezetőben keletkező veszteség gyakorlatilag teljes egészében annak hőmérsékletét emeli, a környezet felé történő hőleadás elhanyagolható.

Szigetelt vezeték és kábelek esetén a szigetelésre rövid ideig megengedhető hőmérséklet, szabadvezetékek, sínek, ill. csupasz vezeték esetében pedig a mechanikai és szilárdságtani szempontból megengedhető hőmérséklet határt szab a zárlati áram szempontjából megengedhető igénybevételnek. A t_z legnagyobb megengedett zárlati hőmérséklet értékeit a tárgyalt vezetékfajtákra a 8.2.-11. táblázat tartalmazza.

Az $[A] = \text{m}^2$ keresztmetszetű, $[l] = \text{m}$ hosszú, $[r] = \Omega\text{m}$ fajlagos ellenállású vezetőkön $[t] = (\text{s})$ ideig áthaladó $[I_z] = A$ zárlati áram által létrehozott hőmennyiség:

$$Q = I_z^2 t \cdot \frac{rl}{A} \text{ J.} \quad (8.-15)$$

Az a hőmennyiség viszont, amely a vezetőt a rövid idejű zárlati terhelés során üzemi hőmérsékletéről ($t_{ü}$) a megengedett zárlati hőmérsékletre (t_z) emeli

$$Q = c \cdot m \cdot (t_z - t_{ü}) \text{ J,} \quad (8-16)$$

ahol $[c] = \text{J}/(\text{kg}^\circ\text{K})$ a vezető fajhője; $[m] = \text{kg}$ a vezető tömege; $[t_z - t_{ü}] = \text{K}$ a megengedett zárlati túlmelegedés, amely $^\circ\text{C}$ -ban is számítható.

Ahhoz, hogy a vezető hőmérséklete t_z fölé ne emelkedjen, szükséges, hogy a vezetőben keletkező hőmennyiség ne legyen nagyobb, mint az általa maximálisan felvehető. Miután a vezetőben keletkező hőmennyiség a vezető keresztmetszetével fordítottan arányos (8.-15), adott zárlati áram és zárlati lekapcsolási idő esetén meghatározható a vezeték minimálisan szükséges keresztmetszete. Ekkor:

$$I_z^2 \cdot t \cdot r \cdot \frac{l}{A} = c \cdot \rho \cdot A \cdot l (t_z - t_{ü}) \quad (8-17)$$

ahol $[\rho] = \text{kg}/\text{m}^3$ a vezető anyagának sűrűsége.

A (8.-17)-ből a vezető zárlati melegedés szempontjából szükséges keresztmetszete:

$$A_{\min} = I_z \sqrt{t} \cdot \sqrt{\frac{r}{c \cdot \rho \cdot (t_z - t_{ü})}} \text{ m}^2. \quad (8-18)$$

Az összefüggést a gyakorlat számára könnyen kezelhető formában írva:

$$A_{\min} = B I_z \sqrt{t} \text{ mm}^2 \quad (8-19)$$

ahol $[I_z] = \text{kA}$ a zárlati áram effektív értéke; $[t] = \text{s}$ a zárlati áramátfolyás ideje, (a védelem működési ideje); B a vezetékre jellemző állandó, értékét a leggyakrabban alkalmazott vezetékekre a 8.2.-11. táblázat tartalmazza.

A zárlati melegedésre történő ellenőrzés elhagyható, ha a vezetékek védelmét biztosító, vagy pillanatműködésű (késleltetés nélküli) zárlatvédelem látja el.

8.2.-11. táblázat

Vezetékfajta		Üzemi hőfok, $^\circ\text{C}$	Zárlati hőfok, $^\circ\text{C}$	B	
Szigetelt vezetékek	gumiszigetelésű	60	160		
	műanyag-szigetelésű	70	160		
Papírszigetelésű kábelek	1 kV-os	Cu	70	170	8,4
	"-	Al	"-	"-	12,8
	3...6 kV-os	Cu	60	150	8,7
	"-	Al	"-	"-	13,2
	10-35 kV-os	Cu	50	130	9,1
	"-	Al	"-	"-	13,7
Műanyag-szigetelésű kábelek	PVC	1 kV-ig			13,2
	"-	6 kV-ig			13,7
	PE	10 kV-ig			14
99,5% Al sín, ill. merev vezető		60	150	13,5	
Ötvözött alumínium sín, ill. merev vezető		60	150	14,5	
Alumínium vezeték		80	130	17	
Ötvözött alumínium vezeték		80	155	15,5	
acélalumínium vezeték		80	130	17	

8.2.4. A kábelek kiválasztása

A kábelek kiválasztása a következő szempontok szerint történhet:

Névleges feszültség

A kábelek névleges feszültsége alatt (U) a vezetők közötti feszültséget értjük. A kábel névleges feszültségéhez képest 1,15-szörös üzemfeszültségre vehető igénybe.

Háromfázisú rendszerben az övszigetelésű kábel szigetelését a vonali feszültség (U) határozza meg.

Érköpenyes vagy Höchstädter-kábelek szigetelését a vezető és a fémköpeny közötti (U_0) feszültség jellemzi.

A vezető anyaga

Főáramkörben alumíniumvezetős kábeleket alkalmazunk. A vezető általában ne legyen sodronyszerkezetű, hanem tömör, lágú anyagból készüljön.

A segédáramkör részére rézvezetős kábelek alkalmazása célszerű.

A vezetők száma

A hálózat kialakítása a vezetők szükséges számát meghatározza.

Egyerű kábelek alkalmazása abban az esetben indokolt, amikor az átvindó teljesítmény nagysága miatt igen sok nagy keresztmetszetű párhuzamos kábelt kell alkalmazni, amelyek szerelése és vezetése a nagy keresztmetszetből adódó nagy hajlítási sugarak miatt igen nehézkes.

Szigetelés

Az itatottpapír-szigetelést az 1980-as évek óta nem alkalmaznak, de még évekig üzemelnek hálózatainkon. Előnye a megbízható üzembiztos kivitel, kis veszteségi tényező.

A PVC-szigetelés megfelelő anyag, és gondos gyártás mellett megbízható üzemű, könnyen fektethető, a kábelfej kialakítása és toldása egyszerű. Hátránya, hogy veszteségi tényezője a feszültség növekedésével nagymértékben emelkedik. Általában 6 kV üzemfeszültségig használják.

A polietilén-szigetelés villamos tulajdonságai kedvezőek, nagy belső ellenállás, kicsi vízfelvétel és veszteségi tényező.

A térhálósított polietilénnek továbbá még a hőállósága is igen kedvező.

A kábelek külső védelme

Kábelcsatornába vagy a kábelalagútba fektetett kábelek mechanikai sérülésének veszélye csekély, így ezeken a helyeken elegendő a külső burkolat alatt elhelyezett vékony, kétréteges acélszalag tekercselés.

Miután a juta burkolatú kábelek épületbe való becsatlakozásánál a tűzveszélyes külső burkolatot el kell távolítani, és a nem tűzveszélyes korrózióvédelmet festéssel kell biztosítani, ilyen helyekre nem tűzveszélyes PVC külső burkolatú kábelt használunk.

A kábelek hajlítási sugara

A különböző kábeltípusoknál a fektetés közbeni legkisebb hajlítási sugár figyelembe veendő értékei:

papírszigetelésű, sajtolt alumínium köpenyű kábel	20d,
papírszigetelésű ólomköpenyű kábel	15d,
műanyag-szigetelésű, műanyagköpenyű kábel	7,5d,

ahol d a kábel átmérője.

8.2.5. Szigetelt vezetékek kiválasztása

Névleges feszültség

A szigetelt vezeték névleges feszültsége, amelyre a vezeték üzemi tulajdonságai vonatkoznak. Az üzemi feszültség (a berendezés két vezetője között fennálló feszültség) tartósan a névleges feszültségnél maximum 15%-kal lehet nagyobb.

Üzemi körülmények

A kiválasztást egyértelműen befolyásolják az üzemi körülmények és az alkalmazott szerelési mód (3.9. Vezetékek és védőcsövek c. pont), valamint a helyiség jellege (tűz- és robbanásveszélyessége) és a berendezés jellege

Vezetékek színjelölései

Szigetelt vezetékhálózatokban a fázisvezetők színe fekete. A nullavezető színe világoskék, a nullázó vagy más (üzemszerűen áramot nem vezető) - védővezető színe zöld/sárga.

8.3. A kapcsolóberendezés készülékeinek, mérőváltóinak zárlatkorlátozó fojtótekerceinek kiválasztása

A fejezet első részében azokat a villamos jellemzőket tárgyaljuk összefoglalóan, amelyek a teljes kapcsolóberendezésre általános szempontként vonatkoznak. Ezután foglalkozunk az egyes készülékek kiválasztásának sajátos szempontjaival.

8.3.1. A kapcsolóberendezésre jellemző villamos fogalmak és adatok

A kapcsolóberendezésnek, ill. készülékeinek — kiválasztásuk szempontjából — a következő általános és alapvető műszaki jellemzőik vannak: a feszültség, a hálózati frekvencia, az áram és a zárlatbiztonság. Ezen jellemzők névleges értékei azok az értékek, amelyekre a berendezést, ill. készülékeit méretezik, kipróbálják. A kiválasztásnál kielégítendő az a követelmény, hogy a tényleges igénybevétel értékei számszerűleg kisebbek legyenek, a termék névleges adatainál.

A névleges feszültség a hálózat névleges feszültségéhez igazodó, vele egyenlő vagy nagyobb és a szabványokban rögzített olyan érték, amely megszabja a villamos szilárdság feltételeit a hozzárendelt próbafeszültségek útján.

A próbafeszültségeket a túlfeszültség-védelmi intézkedések figyelembevételével úgy állapították meg, hogy a berendezés, ill. a készülékei az üzemi igénybevétel alatt ne menjenek tönkre.

A váltakozó áramú hálózati frekvencia névleges értéke a hazai szabványosítás és alkalmazás szerint 50 Hz, amelytől a megengedett eltérés berendezések esetében $\pm 0,05$ Hz.

A névleges áramerősség az az érték, amelyet a berendezés, ill. készülékei, vezetői az előírt környezeti hőmérsékleten korlátlan ideig vezetni képesek. A névleges áram kiválasztását a következő szempontok, ill. körülmények befolyásolják:

- a rendszeresen és tartósan előforduló üzemi áramerősség nem haladhatja meg a berendezés névleges áramát;
- a megengedhető, tehát még nem káros túlterhelés mértéke és időtartama;
- a beépítési hely termikus és dinamikus zárlati viszonyai;

- a tartalékolás szempontja; ez azt jelenti, hogy lehetőleg minél kevesebb típus legyen a berendezésben.

A berendezést tehát úgy kell méretezni, hogy az üzemi és a zárlati áramok az üzemben előforduló legkedvezőtlenebb esetben se okozhassák az alkatelemek tönkremenetelét, egyidejűleg figyelembe véve az egységesség (tartaléktartás) szempontját is.

Egy berendezés, készülék zárlatbiztosságán azt a termikus és dinamikus határáram-értéket értjük, amelyek rajta átengedhetők anélkül, hogy az károsodna, meghibásodna.

A **termikus szilárdság alapja** az a követelmény, hogy a termikus igénybevétel hatására a berendezés, készülék egyik részének melegezése sem lépheti túl a szabványban rögzített határhőmérsékletet. A termikus zárlati áramot — másodperc áramot — (I_t) a zárlati áram és annak fennállásának ideje — védelmi működési idő — együttesen határozzák meg:

$$I_z \sqrt{t_{véd}} = I_t \cdot \quad (8.-12)$$

Definíció szerint I_t olyan időben állandó áram, amelyik 1 s alatt ugyanannyi hőt fejleszt, mint I_z a zárlat fennállása alatt. Ilyen értelemben $t_{véd}$ a zárlatvédelem teljes működési ideje.

A termikus határáram (I_{term}) a zárlati áram effektív értékének azon legnagyobb értéke, amellyel a készülék a termikus időhatárnak megfelelő időtartamon át károsodásmentesen igénybe vehető anélkül, hogy melegezése túllépné a megengedett mértéket. A termikus időhatár (t_{term}) pedig az a legnagyobb zárlati időtartam, ameddig a készülék a termikus határáramot meghibásodás nélkül vezetni képes. A gyártó cégek által megadott határáram, ill. időhatár kisebb áramerősségre az $I^2 t = \text{állandó}$ összefüggés alapján számítható át. A megadottnál nagyobb áramot ui. nem szabad megengedni rövidebb időre sem, hiszen a készülék kritikus helyein a túlmelegedés jobban nő és túllépheti a megengedett mértéket.

Az előzők alapján a termikus szilárdságra történő méretezés, ill. ellenőrzés (kiválasztás) alapösszefüggései:

$$I_z \sqrt{t_{véd}} \leq I_{term} \sqrt{t_{term}} \cdot \quad (8.-13)$$

A **dinamikus szilárdságra történő méretezés**, ill. ellenőrzés a zárlati csúcsáramra történik.

Mint ismeretes, ennek számítása a következő:

$$I_{zcs} = k \sqrt{2} I_z \quad (8.-14)$$

ahol k értéke a zárlati áramkör R/X viszonyától függ, és diagramból vehető ki (Villamosenergia-ellátás I. jegyzet 4.1.-2. ábra). Mint ismeretes, értékét legkedvezőtlenebb esetre 1,8 értékkel szokás figyelembe venni.

A dinamikus határáram (I_{din}) az a legnagyobb csúcsáram, amellyel a készülék egy alkalommal mechanikai meghibásodás nélkül igénybe vehető. A dinamikus szilárdságra történő méretezés, ill. ellenőrzés alapösszefüggése az előzők alapján:

$$I_{zcs} \leq I_{din} \cdot \quad (8.-15)$$

8.3.2. Nagyszilárdságú készülékek kiválasztása

A kiválasztási szempontok tárgyalásához alapul vesszük az előző fejezetben foglaltakat, valamint ismertnek tételezzük fel a vonatkozó készülékek méretezését, szerkezetét, működését.

A kiválasztás összefoglaló szempontjait a következő készülékekre tárgyaljuk: megszakító, szakaszoló, kapcsoló, biztosító, áramváltó, feszültségváltó, fojtótekercs.

8.3.2.1. Megszakítók

A kiválasztást a következő szempontok szerint kell végrehajtani:

- a beépítési hely jellege;
- a névleges feszültség;
- a zárlati viszonyokkal kapcsolatos műszaki paraméterek;
- a névleges áram;
- a megszakító rendszere;
- a hajtás módja;
- mechanikai és villamos élettartam.

A beépítési hely jellege szerint az lehet belsőtéri vagy szabadtéri. A rendelkezésre álló megszakító választékot elsődlegesen ez a szempont, azaz az elhelyezés ténye korlátozza.

A névleges feszültség értékére az új készülékszabványok és az ezek alapján készült gyári katalógusok a beépítési helyen a hálózat legnagyobb névleges üzemi feszültségértékét (pl. 12 kV; 24 kV) adják. A megszakító ily módon definiált, ill. megadott névleges feszültsége határozza meg a villamos szilárdságot és a próbafeszültséget, valamint ezen értékhez rendelik hozzá a megszakító ún. megszakítási áramát is.

A zárlati viszonyokkal kapcsolatos műszaki paraméterek egy része a zárlatbiztossággal kapcsolatos. Ide tartoznak: a névleges termikus határáram a névleges termikus időhatár a névleges dinamikus határáram. A paraméterek másik részét a zárlati megszakító képesség és bekapcsoló képesség fogalmai és adatai képezik a következők szerint:

- a megszakító névleges zárlati megszakító képességét a független megszakítási árammal lehet megadni

A megszakító kiválasztásakor az eddig tárgyalt jellemzőkön kívül figyelembe kell venni a zárlati áramkör ún. visszaszökő feszültségének jellemzőit (amplitúdó, önrezgésszám, ill. meredekség) is. Ezeket azonban a korszerű megszakítók szerkesztésénél eleve figyelembe veszik, azaz a gyárilag garantált megszakítási teljesítőképesség a visszaszökő feszültségre tekintettel van. Ha azonban a beépítési helyen a visszaszökő feszültség jellemzői a szokásostól eltérőek, úgy a megszakító megszakítási teljesítményét le kell értékelni vagy - ha mód van rá - a visszaszökő feszültség önrezgésszámát el kell hangolni.

A műszaki paraméterekhez tartozik a megszakító bekapcsoló képessége; ez az a legnagyobb áramcsúcs, amit a készülék az érintkezők sérülése nélkül be tud kapcsolni.

A megszakító névleges árama nagyobb legyen, mint a megszakítón átfolyó legnagyobb üzemi áram bármely 15 perces időszakra számított négyzetes középértéke.

A megszakító rendszerének kiválasztásakor figyelembe kell venni a beépítési helyre vonatkozó üzemi és zárlati kapcsolások várható gyakoriságát, a ki- és a bekapcsolás önidejét, a kapcsolási ciklusokat és a karbantartási igényt is. Középfeszültségen a legelterjedtebb normálüzemre a kisolajterű, míg nagy kapcsolási gyakoriság esetén a mágneses ívoltású, a vákuum, valamint az SF₆-gáztöltésű megszakítókat alkalmazzák. Nagy- és igen nagy feszültségen az olajszegény és a légnomámos megszakítók terjedtek el, de egyre inkább alkalmazzák az SF₆-gáztöltésű megszakítókat is.

A megszakítók hajtása többféle lehet, úgymint: egyenáramú mágneses; egyenáramú motoros; váltakozó áramú mágneses vagy motoros; rugóerőtárolós; légnomámos; olajpneumatikus. A kialakult gyakorlat szerint a középfeszültségű megszakítók mindhárom fázisához közös hajtóművet alkalmaznak: a megszakító pólusai között merev mechanikai

kapcsolat van. A közvetlenül földelt csillagpontú nagy-, ill. igen nagy feszültségű hálózatokon az egyfázisú földrövidzárlatok lekapcsolhatóságának biztosítására az alkalmazott megszakítók mindhárom fázisegységének külön hajtóműve van, amelyek villamos vezérléssel külön-külön, de együttesen is működtethetők.

A mechanikus élettartamot az árammentes állapotban, karbantartás nélkül végezhető kapcsolások számával jellemzik. Ennek alapján — középfeszültségű megszakítóknál — megkülönböztetünk normál, középnehéz, ill. nehézüzemi megszakítókat.

A villamos élettartam nem más, mint az áramterhelés alatt levő készülék érintkezőcsere nélkül végezhető be-ki kapcsolásainak száma.

8.3.2.2. Szakaszolók

A szakaszolók kiválasztási szempontjai a következők:

- a beépítési hely jellege;
- a sarkok száma;
- a névleges feszültség;
- a névleges áram;
- a zárlatbiztosság;
- a működtetés módja.

A beépítési hely jellege szerint a szakaszoló lehet belsőtéri, vagy szabadtéri, míg a sarkok száma szerint lehet egyszarkú és háromszarkú.

A szakaszoló névleges feszültsége nem lehet kisebb a teljes kapcsolóberendezés névleges feszültségénél. A névleges feszültséget a szakaszoló támszigetelői határozzák meg. A szigetelők belsőtérben lehetnek műgyanta-, vagy porcelán támszigetelők, szabadtéren pedig porcelán támszigetelők. Szabadtéren, szennyezett légkör esetén különleges, nagy kúszóúttal rendelkező szigetelők alkalmazandók. 170 kV felett — a sugárzás csökkentésére és az átívelési feszültség növelésére — a támszigetelőket árnyékoló gyűrűvel látják el.

A szakaszoló névleges áramértéke a szakaszolón átfolyó legnagyobb üzemi áram értékével azonos nagyságú, avagy annál nagyobb legyen. A szakaszolónál bizonyos túlterhelés megengedhető, ennek mértékét azonban előzetes méréssel kell megállapítani.

Zárlatbiztosságra kényes készülékek a szakaszolók. A kiválasztáskor ellenőrizni kell, hogy a katalógus adataiban szereplő névleges termikus zárlati áram és a névleges zárlati csúcsáram ne legyen kisebb a beépítési helyre kiszámított hálózati értékeknél.

A működtetés legelterjedtebb módja a kézi rúdhajtás. Ezt a hajtási módot mind belső-, mind szabadtéri szakaszolóknál alkalmazzák. Belsőtéri szakaszolók ezenkívül lehetnek még légnyomásos, szabadtéri szakaszolók pedig motoros hajtásúak. A háromszarkú szakaszolóknál a három fázis mechanikai kényszerkapcsolatban van, működtetésük tehát egyszerre lehetséges. A szakaszolóhoz földelőkapcsolót (rég elnevezéssel földelőkést) is felszerelhetnek (pl. vonali szakaszoló esetén), amelynek a hajtása lehet kézi vagy motoros.

8.3.2.3. Kapcsolók

Azokat a kapcsolókészülékeket, amelyek hálózati elemek, vagy hálózatrészek terhelési, vagy üresjárású áramának ki-, be-, vagy átkapcsolásával járó műveletek elvégzésére alkalmasak, gyűjtőnéven kapcsolóknak nevezzük. Ott alkalmazhatók, ahol zárlati megszakítást nem kell végrehajtani.

A következőkben a legelterjedtebb középfeszültségű hazai belsőtéri és szabadtéri kapcsolók jellemzőivel, mint kiválasztási szempontokkal foglalkozunk.

A szakaszolókapcsoló belsőtéri kivitelben készül 12, ill. 24 kV névleges feszültségre. Alkalmazásával megszakító és szakaszoló beépítése szükségtelenné válik, hiszen egy meghatározott teljesítménytényezőnél ($\cos\varphi = 0,7$), ill. e fölött a névleges áram be- és kikapcsolására, de ugyanakkor a transzformátor üresjárási áramának ($\cos\varphi = 0,15$) és kis kapacitív áramnak ($\cos\varphi = 0,15$) a lekapcsolására is alkalmas. Ívoltáshoz oltókamrát szerelnek a megszakító rész állóérintkezőjére. Zárlatvédelem igénye esetén biztosítóval építhető össze. A kiválasztási szempontok a következők:

- névleges feszültség és frekvencia;
- névleges áram;
- megszakítóképesség;
 - névleges lekapcsolási áramra;
 - kis induktív lekapcsolási áramra;
 - kapacitív lekapcsolási áramra;
 - távvezeték lekapcsolási áramra;
 - körbontási-, ill. hurokáramra (körvezeték, párhuzamos vezeték kikapcsolásakor);
- zárlatbiztosság;
- zárlati bekapcsolóképesség;
- a biztosítóbetét (ha van) névleges árama
- az ívoltás rendszere;
- a hajtás módja;
- mechanikai élettartam.

Az ívoltás rendszerét tekintve kétféle megoldás terjedt el: a gázoltású és az önfűvós, amelyek közül a hazai szakaszolókapcsolónál a gázoltású rendszert alkalmazzák.

A hajtószerkezet mindig rugóerőtárolós, vagy billenőrugós, ún. független kézi vagy gépi (pl. légnymósos) hajtás. Erre azért van szükség, mert a megszakítóképesség és a zárlati bekapcsolóképesség csak meghatározott és rendszerint nagy kapcsolási sebességgel érhető el.

A biztosítóval (lásd a 8.3.2.5.-ben) egybeépített változatnál az is megoldható, hogy egy biztosító kioldvása esetén a szakaszolókapcsoló — kioldótengelye révén — kikapcsoljon, s így háromsarkúan leválassza a készüléket.

A mechanikai élettartam a megengedhető maximális kapcsolási számot jelenti. Ezen adat mellett a gyártó cég megadja — diagramban — az oltócsere nélkül a készülékkel végezhető kapcsolások számát, a névleges lekapcsolási áram függvényében.

Középfeszültségű szabadtéri kapcsoló az oszlopra szerelt ún. oszlopkapcsoló. Fő alkalmazási területei (részben a kiválasztási szempontokra is utalnak) a következők:

- kis teljesítményű leágazások terheléseinek megszakítása;
- terheletlen transzformátorok lekapcsolása;
- távvezeték áramának megszakítása;
- kondenzátortelepek töltőáramának megszakítása.

A kiválasztási szempontok:

- névleges feszültség;
- névleges áram;
- megszakítóképesség:
 - terhelési áramra ($\cos\varphi = 0,7$);
 - transzformátor üresjárási áramára ($\cos\varphi = 0,15$);
 - távvezeték és kondenzátor töltőáramára ($\cos\varphi = 0,15$);
- zárlatbiztosság;
- a hajtás módja;
- mechanikai élettartam.

Az oszlopkapcsoló érintkezői húzott vörösrézrúdból készülnek. Az idomacélból készített alapkeretre 2 db, a működtető tengelyre pedig 1 db porcelán támszigetelő van szerelve. Az álló- és a mozgóérintkezőn elpattanó ívhúzó-rendszer helyezkedik el, amely megvédi a főérintkezőket a beégéstől. A készülék hajtása lehet: huzalos és merev rudazathajtás. A gyári katalógusokban szereplő megszakítóképesség áramadatait a gyártómű a mechanikai élettartamon belül garantálja.

A szakaszkapcsoló földelőkapcsolóval (földelőkéssel) is ellátható.

Nagyfeszültségű kapcsolóberendezések speciális rendeltetésű kapcsolói a földelőkapcsolók, a leválasztó kapcsolók és a zárlatképző kapcsolók.

A földelőkapcsoló két sarka között csak fázis-föld feszültség-igénybevétel jön létre. Villamos berendezések feszültségmentesített vezetőkeinek földelésére szolgálnak. Üzemszerű állapotban üzemi áramot nem vezetnek, azonban zárlatok esetén a zárlati áram meghatározott ideig tartó vezetésére alkalmasak. A hajtás módja lehet: kézi kapcsolású, vagy rugós hajtású.

A leválasztó kapcsoló olyan gyors működésű, erőtarolós hajtású kapcsoló, amely feszültségmentes állapotban hibás hálózatrészek — pl. vezeték, transzformátor — leválasztására alkalmas. A hazai gyakorlatban zárlatképző kapcsolóval együtt a 120 kV-os egyszerűsített kapcsolású, valamint a 120/10 kV-os városi transzformátorállomások 120 kV-os oldalán alkalmazták.

A zárlatképző kapcsoló olyan gyors működésű földelőkapcsoló, amely valamilyen hálózati elem (pl. transzformátor) hibája esetén a védelem működésére fémes zárlatot létesít, és az ily módon kialakult zárlati áram a legközelebbi megszakítók kikapcsolását indítja. A bekapcsolásnak nagy sebességgel kell történnie, amelyet rugó végez és amelyet kikapcsoláskor kell felhúzni. A zárlatképző kapcsolót névleges feszültsége, bekapcsoló képessége és zárlatbiztoságának adatai határozzák meg.

8.3.2.4. Kontaktorok és nehézüzemi mágneskapcsolók

A nagyfeszültségű kontaktorok különleges készülékek, amelyek a nagyfeszültségű (1 kV feletti) és nagy teljesítményű indukciós motorok elterjedésével fejlődtek ki. Minthogy szerkezetüknél fogva igen nagy az élettartamuk (10^5 nagyságrendű kapcsolás), a gyakran indított nagyfeszültségű motorokhoz, kemencékben elterjedten alkalmazzák (ilyen esetekre a normálüzemi megszakító, vagy a szakaszolókapcsoló nem felel meg). További jellemzőjük, hogy az üzemi áramok gyakori ki- és bekapcsolására alkalmasak és legfeljebb a névleges áram 5-6-szorosáig terjedő túlterhelési áramokat tudnak — korlátozott élettartam mellett — megszakítani. Ebből következik, hogy a zárlatvédelemre biztosított, legfeljebb megszakítót kell beépíteni.

A kiválasztás alapjául szolgáló műszaki adatok:

- névleges feszültség;
- névleges áram;
- megszakítóképesség;
- ívoltás módja;
- működtetés módja;
- élettartam (kapcsolási szám).

A névleges feszültség értéke a gyakorlatban 3-12 kV-ig terjed, a névleges áram általában 30-200 A. A kontaktorok nagyobbik része mágneses fűvású és légmegszakítású. A működtetés módja lehet mágneses és légnyomásos. A hazai gyakorlatban elterjedt NDK gyártmányú kontaktor mágneses hajtású, névleges árama 200 A, élettartama 10^5 kapcsolás, megszakítóképessége pedig (3; 6; ill. 7,2 kV-on) 10 kA.

A nehézüzemi mágneskapcsolókat ott célszerű alkalmazni, ahol viszonylag igen nagy mechanikai élettartam kívánatos. Ezen kapcsolók egy részét megszakítók módosításával alakították ki. Kiválasztási szempontjaik lényegében a megszakítóknál megismertekkel megegyeznek.

8.3.2.5. Biztosítók

A nagyfeszültségű biztosítók elsősorban zárlatvédelemre szolgálnak, megbízható túlterhelés-védelem olvadóbiztosítókkal nem alakítható ki. Zárlatvédelem céljára gyors működésük révén előálló áramkorlátozó tulajdonságuk folytán jól megfelelnek.

A kiválasztási szempontok a következők:

- névleges feszültség;
- névleges áram;
- névleges zárlati megszakítóképesség:
 - a független megszakítási áram;
- a betét szerkezete;
- a biztosító aljzata.

8.3.3. Áramváltók

Az áramváltó az a transzformátor, amely a különböző mérőeszközök és védelmi berendezések áramtekercseit táplálja. Ezek az eszközök és berendezések az áramváltó kisebb feszültségű és kisebb áramerősségű oldalán helyezkednek el, mint pl. ampermérők, teljesítmény-és fogyasztásmérők, ill. áramrelék, energiá irányrelék, impedanciarelek. Minthogy a mérés és a védelmi érzékelés, ill. működtetés a kisebb feszültségű oldalon történik, előnyös következmény, hogy kis méretű és helyigényű készülékek gyárthatók és alkalmazhatók (gazdaságossági szempont), valamint a kezelőszemélyzetet távol lehet tartani a nagyfeszültségtől (életvédelmi szempont).

Az előzők tehát a következőképpen foglalhatók össze: az áramváltó a mérés és a védelem szempontjából a kapcsolóberendezés egyik igen fontos, soros eleme. Rendeltetése egyrészt a primer áram átalakítása vele arányos olyan kis értékre, amelyre mérő- és védelmi eszközök készíthetők, másrészt szigetelési és életvédelmi szempontból a nagyfeszültség leválasztása.

Az üzemi áramot érzékelő mérés és a hálózati elemek, ill. hálózatrészek hibáját érzékelő védelmi rendszer igényei az áramváltó egyes jellemzői iránt más-más követelményeket támasztanak, így a kapcsolóberendezésekben túlnyomórészt ún. kétmagos (kétvasmagos) áramváltókat alkalmaznak. Az egyik vasmag szekunder tekercse a mérőeszközök áramtekercseit táplálja (műszer-, vagy mérőmag), míg a másik mag szekunder tekercse a védelmi eszközök, ill. berendezések áramtekercseit látja el (relémag). A két mag jellemzői: a vasanyagok mágneses görbéje egymástól eltérő; a névleges primer áram azonos; a két szekunder áramkör független egymástól, de szekunder névleges áramaik azonos nagyságúak.

Az áramváltó megsérülése az esetek túlnyomó részében gyújtósín-zárlatot jelent, amely több leágazás, esetleg az egész állomás kiesését vonja maga után, helytelen megválasztása továbbá a mérés és a védelem pontos működését befolyásolja, így kiválasztásuk nagy körültekintést igényel.

A kiválasztáskor a következő jellemzőket kell figyelembe venni:

- névleges primer feszültség;
- névleges frekvencia;
- névleges primer áram;

- névleges szekunder áram;
- névleges teljesítmény;
- pontossági osztály;
- biztonsági határáram és -határtényező;
- pontossági határáram és -határtényező;
- zárlatbiztosság;
- névleges állandósult melegedési határáram;
- egyéb követelmények:
 - a beépítési hely jellege;
 - a primer tekercselés módja;
 - a szigetelés anyaga;
 - a szekunder áramkörök száma;
 - áttételek száma;
 - beépítési mód;
 - felhasználási klímaterület.

A névleges primer feszültség az az érték, amely a szigetelés villamos szilárdságára vonatkozó ipari frekvenciájú vizsgálati előírásokat meghatározza. Rendszerint megegyezik a primer áramkör névleges feszültségével. A névleges primer feszültség helyett esetleg a legnagyobb (szigetelési) feszültség is megadható.

A névleges frekvencia az áramváltó adattábláján feltüntetett érték, amelynél az áramváltónak az előírt pontossági követelményeket ki kell elégítenie. Értéke — mint más készülékeknél láttuk — Magyarországon és általában Európában 50 Hz.

A névleges primer áram az az érték, amelynek a névleges szekunder árammal való osztása a névleges áttételt adja. A névleges primer áramot — a hálózati áramerősség figyelembevételével — az áramváltószabványban rögzített sorozatból, ill. a sorozat tagjainak 10 egész számú pozitív, vagy negatív hatványával szorzott értékéből célszerű választani. A szabvány szerint a következő alap-áramértékek előnyben részesítendők: 10; 15; 20; 30; 50; 75 A.

A névleges primer áram meghatározásakor számításba kell venni, hogy az áramváltók a névleges áram 1,2-szeresével is tartósan üzemeltethetők káros túlmelegedés nélkül.

A névleges szekunder áram értéke szabványosan 5 A, azonban különleges esetekben a névleges szekunder áram 10 A vagy 1 A is lehet. Ez utóbbi értéket alkalmazzák pl. olyan szabadtéri berendezésekben, ahol a szekunder áramot nagy távolságra kell vezetni.

A névleges teljesítmény a szekunder körnek az a VA-ben megadott teljesítménye, amellyel az áramváltót terhelni lehet. A szabványos névleges értékek sorozatából előnyben részesítendők az 5; 15; 30 és 60 VA értékek. Egynél több maggal rendelkező áramváltó esetén minden mag teljesítményét meg kell adni.

A szekunder kör a névleges teljesítmény helyett az ún. névleges teher értékével is jellemezhető. Ez nem más, mint a szekunder kapcsolókra kötött, Ω -ban kifejezett impedancia, amelyhez előírt teljesítménytényező (pl. $\cos\varphi = 0,8$) tartozik. Számítása a következő:

$$Z_n = \frac{S_n}{I_{2n}^2} \Omega, \quad (8.-20)$$

ahol $[P_n] = VA$ a névleges teljesítmény; $[I_{2n}] = A$ a névleges szekunder áram.

A névleges teljesítményt, ill. a névleges teher értékét mindenkor a hozzátartozó pontossági osztállyal együtt kell megadni.

A pontossági osztály az áramváltó egy, vagy több szekunder magjának az a jellemző száma, amely meghatározza, hogy az áramváltónak milyen pontossági követelményeket kell

kielégítenie egy meghatározott áramtartományban. Azt fejezi tehát ki, hogy a megadott feltételek mellett üzemeltetett áramváltó hibája milyen előírt határok között marad.

Az áramváltó pontossága a névleges áramok tartományában (0,1-1,2 I_{1n}) két adattal jellemezhető: az áramhibával és a szöghibával.

Az áramhiba — előjelhelyesen — a következő összefüggéssel számítható:

$$h = \frac{k_n I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100 \% \quad (8-21)$$

ahol k_n az áramváltó névleges áttétele; I_2 a tényleges szekunder áram (effektív érték); I_1 a tényleges primer áram (effektív érték).

A szöghiba az a szög, amelyet az áramváltó primer és szekunder áramfázorja egymással bezár. Értéke pozitív, ha a szekunder áramfázor a primerhez képest siet. Az áram- és a szöghibát a szabvány a különböző pontossági osztályokhoz \pm értékekkel adja meg.

Az áramváltó mérőmagjaitól a 0,1-1,2 I_{1n} tartományban követelünk meg nagy pontosságot, míg a túláramtartományban (zárlati áramok) nagy legyen a hibaérték (a műszerek megvédése, biztonsága érdekében).

A szabványos pontossági osztályok: 0,1 M; 0,2 M; 0,5 M; 1 M; 3 M; 5 M. Az M melletti számértékek a 100, ill. 120%-os névleges primer áramhoz tartozó, megengedett áramhiba abszolút értékét jelentik, névleges teher esetén.

A védelmi célra szolgáló áramváltóknál a névleges áramok tartományában fellépő hibaértékek nem döntő jelentőségűek (a szabvány erre is megadja az áram- és szöghibák értékét), viszont a túláramok tartományára vonatkozó pontossági követelmények szigorúak (kis hiba igénye). A védelmi célú áramváltó hibáját az ún. összetett hiba jellemzi, amelynek számítása a következő:

$$H = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (k_n i_2 - i_1)^2 dt} \% \quad (8-22)$$

ahol T egy periódus időtartama; i_1 , ill. i_2 a primer, ill. a szekunder áram pillanatnyi értéke.

A pontossági osztályok: 2,5 P; 5 P; 10 P. A számérték azt jelenti, hogy a névlegesnél nem nagyobb teherrel, valamint a névleges pontossági határáramnál nem több a százalékos összetett hiba, mint a pontossági osztály számértéke.

Az áramváltó lineáris leképzésének mértékére jellemzők: mérőmagnál a biztonsági határáram és határtényező, relémagnál a pontossági határáram és határtényező. A mérőmagnál ui. az a követelmény, mint láttuk, hogy az üzemi áramok tartományában legyen pontos, a túláramok tartományában pedig telítődjék. Ennek megfelelően a biztonsági határáram (I_b) a primer áram azon legkisebb effektív értéke, amelynél a névleges teherrel terhelt áramváltó áramhibája 10%. Az I_b és az I_{1n} viszonya adja a biztonsági határtényezőt (n_b), amelynek értékei szabványosan: 5; 10.

A relémagnál az a követelmény, hogy az áramváltó a túláramokat képezze le pontosan. Így a pontossági határáram (I_p) a primer áram azon legnagyobb effektív értéke, amelynél az áramváltó a névleges teherrel megterhelve még megfelel az összetett hibákra vonatkozó pontossági követelményeknek.

Az I_p és az I_{1n} viszonya a pontossági határtényező (n_p), amelynek szabványos értékei: 5; 10; 15; 20; 30.

A zárlatbiztonságra a termikus határáram és időhatár és a dinamikus határáram mértékadó.

A névleges termikus határáram (I_t) a primer váltakozó áram azon legnagyobb értéke, amellyel az áramváltó — rövidrezárt szekunder kapcsolattal — a termikus időhatárnak

megfelelő időtartamon át meghibásodás nélkül igénybevehető anélkül, hogy melegedése túllépné az erre megengedett értéket.

A névleges dinamikus határáram (I_d) a primer áram azon legnagyobb csúcserőértéke, amellyel az áramváltó — rövidrezárt szekunder kapcsokkal — egy alkalommal mechanikai meghibásodás nélkül igénybe vehető.

Az áramváltószabvány az I_t és az I_{1n} viszonyának értékeire sorozatértékeket ad meg, amelyek közül az ajánlottak: 60; 100; 200; 400; 1000. A termikus időhatár szabványos értéke 1 s. Az I_d névleges értékét a szabvány $2,5 I_t$ értékben határozza meg.

A névleges állandósult melegedési határáram az áramváltó jellemző értéke, amellyel a primer oldal — melegedés szempontjából — igénybe vehető, miközben a szekunder oldal a névleges teherrel van megterhelve. Értéke általában $1,2 I_{1n}$.

Az áramváltó kiválasztásához szükséges hálózati-áramköri számítások között fontos helyet foglal el a szekunder áramkörök tényleges terhelésének, s ezen belül az összekötő vezeték (kábelerek) impedanciájának, végül is szükséges keresztmetszetének a meghatározása.

Az összehasonlító értékeket — az áramváltó katalógusadataiból kivehetően — a névleges teljesítmény, ill. a névleges szekunder áram ismeretében a névleges teher értéke adja:

$I_{2n}=5$ A-es áramváltónál és készülékeknél:

$$Z_n = \frac{S_n}{25} \Omega, \quad (8.-23)$$

míg $I_{2n}=1$ A-es áramváltónál és készüléknél:

$$Z_n = S_n \Omega. \quad (8.-24)$$

A kiválasztásnál betartandó követelmény, hogy $Z \leq Z_n$ legyen, ahol Z a tényleges szekunderköri impedancia. Értéke — mind a mérő-, mind a relékörben — két részből tevődik össze: egyrészt a körben levő készülékek impedanciájából, másrészt az áramváltó és a készülékek közötti vezeték impedanciájából:

$$Z = Z_k + Z_v. \quad (8.-25)$$

A gyakorlati számításokban a vezetékre jutó VA-teljesítményt (S_v) veszik alapul és ezzel számítják a vezetékimpedanciát:

$$Z_v = \frac{S_v}{I_{2n}^2} = \frac{S_n - S_k}{I_{2n}^2} \Omega, \quad (8.-26)$$

ahol $[S_k] = VA$ a körben levő készülékek okozta összteher (adatai készülékkatalógusokból vehetők ki).

Az összekötő vezeték szükséges, ill. szabványos keresztmetszetének számításához a következőket kell figyelembe venni:

- a szekunder kör teljesítménytényezője $\cos\beta = 0,8$, így

$$Z_v = \frac{R_v}{0,8} \Omega; \quad (8.-27)$$

- a keresztmetszetszámításhoz alkalmazott mértékadó vezeték hossz (l_m), valamint az áramváltó és a kör készülékeinek távolsága (l_t) közötti kapcsolat:

- védelmi áramköröknél, továbbá egy- és kétfázisú műszertehernél:

$$l_m = 2l_t, \text{ m}; \quad (8.-28)$$

- szimmetrikus háromfázisú műszertehernél:

$$l_m = l_r. \quad (8.-29)$$

A szükséges keresztmetszet számítása az $R = \rho \frac{l}{A}$ alapösszefüggés és az előzőek alapján:

$$A = 1,25 I_{2n}^2 \rho \frac{l_m}{S_v}. \quad (8.-30)$$

A számított keresztmetszethez a hozzá legközelebb álló nagyobb szabványos keresztmetszetet kell választani. Szekunder vezetékek céljaira általában 1,5; 2,5; 4 vagy 6 mm² keresztmetszetű vörösréz-vezeték alkalmaznak.

A kiválasztáskor figyelembe veendő egyéb körülmények a következők:

- a beépítési hely jellege szerint lehet az áramváltó belsőtéri, vagy szabadtéri;
- a primer tekercselés módja szerint lehet egyvezetős (rúd-, vagy sínáramváltó) és többvezetős (hurkos) áramváltó;
- a szigetelés anyaga lehet olaj, porcelán, műgyanta, vagy egyéb szigetelés;
- a szekunder áramkörök számát tekintve az áramváltó lehet egy-, vagy többmagos, azaz egy-, vagy több szekunder áramkörös;
- ha az áramváltónak egynél több primer tekercse van, akkor átkapcsolható kivitelű, több áttételű áramváltóról van szó. A primer tekercsek csavaros kötésekkel párhuzamosan vagy sorosan köthetők. A szabvány a soros kötésben írja elő a névleges primer áramsorozat számértékeinek, mint alapértéknek a kötelező használatát;
- beépítési mód szerint az áramváltó támszigetelő, vagy átvezető típusú;
- a felhasználási klímaterületek lehetnek: hideg, mérsékelt, nedves trópusi, száraz trópusi és magaslati.

8.3.4. Feszültségváltók

A feszültségváltó olyan transzformátor, amely a primer áramkör feszültségét adott pontossággal átalakítja kisebb feszültségre, szekunder készülékek (pl. mérőműszerek, relék) feszültségtekercseinek táplálása céljából. Rendeltetése — értelemszerűen — az áramváltóéval azonos.

A mérési célú feszültségváltókat mérő feszültségváltóknak, a védelmi célúakat védelmi feszültségváltóknak, míg a földzárlatjelző és földzárlatvédelmi célokat szolgálókat földzárlati feszültségváltóknak nevezzük.

A feszültségváltó kiválasztásához szükséges jellemzők a következők:

- névleges primer feszültség;
- névleges szekunder feszültség;
- névleges áttétel;
- névleges teljesítmény és terhelés;
- pontossági osztály;
- névleges határteljesítmény és feszültségtényező;
- egyéb követelmények.

A névleges primer feszültség a feszültségváltó adattábláján feltüntetett érték, amelynek a névleges szekunder feszültséggel való osztása adja a névleges áttételt, és amelyre a feszültségváltó pontossága vonatkozik. Ezen értékre készül a feszültségváltó szigetelése.

A névleges primer feszültséget a szabványos feszültségsorozatból kell választani. A fázis és a föld közé kapcsolandó feszültségváltó névleges feszültsége a szabványos sorozatfeszültség $\sqrt{3}$ -ad része.

A névleges szekunder feszültség szabványos értékei egységesen a következők:

100 V: kétsarkúlag szigetelt primer kivezetésű egyfázisú, valamint a kivezetett primer csillagpont nélküli háromfázisú feszültségváltónál;

100/ $\sqrt{3}$ V: egysarkúlag szigetelt primer kivezetésű egyfázisú, valamint a kivezetett primer csillagpontú háromfázisú feszültségváltónál;

100/3 V: egyfázisú földzárlati feszültségváltónál.

Megjegyzendő, hogy külön igény esetén a névleges szekunder feszültség 200 V; 200/ $\sqrt{3}$ V; ill. 200/3 V is lehet.

A névleges áttétel a szabványos névleges feszültségekkel

- vonali feszültség transzformálása esetén:

$$k_n = \frac{U_{pm}}{100}, \text{ pl. } 35/0,1 \text{ kV}; \quad (8.-31)$$

- fázisfeszültség transzformálása esetén:

$$k_n = \frac{U_{pm} / \sqrt{3}}{100 / \sqrt{3}}, \text{ pl. } 120/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3} \text{ kV}. \quad (8.-32)$$

A névleges teljesítmény (S_n) a szekunder áramkör(ök) VA-ben megadott teljesítménye, amellyel a feszültségváltót terhelni lehet. Nagysága a névleges periódusra és a névleges szekunder feszültségre vonatkozik és mindig a hozzátartozó pontossági osztállyal együtt kell megadni. Értékeit a szabványos sorozatból kell kiválasztani.

A háromfázisú feszültségváltó névleges teljesítményét fázisonként kell értelmezni. A szekunder kör a névleges teljesítmény helyett a szekunder kapcsokra kötött terheléssel is jellemezhető, amely — eltérően az áramváltótól — admittancia és a következőképpen számítható:

$$Y_{in} = \frac{S_n}{U_{2n}^2} \text{ S}. \quad (8.-33)$$

Értékéhez adott nagyságú teljesítménytényező tartozik.

A pontossági osztály azt jelöli meg, hogy a meghatározott feltételek mellett üzemeltetett feszültségváltó áttétel és szöghibája milyen értékhatárok között marad.

A pontossági osztály:

- mérő feszültségváltókra: 0,1 M; 0,2 M; 0,5 M; 1 M; 3 M;

- védelmi célú feszültségváltókra: 1 P; 3 P; 6 P.

A névleges határteljesítmény az a látszólagos teljesítmény, amellyel a feszültségváltó szekunder oldala a névleges primer feszültséggel való táplálás esetén, állandóan igénybe vehető anélkül, hogy melegezése túllépné a megengedett értéket. Ezen terhelés mellett a feszültségváltó pontosságára nincsenek előírások.

A névleges határfeszültség annak a primer feszültségnek az effektív értéke, amellyel a névlegesen terhelt feszültségváltó meghatározott ideig igénybe vehető anélkül, hogy melegezése túllépné a megengedett értékeket.

A névleges feszültségtényező a névleges határfeszültség és a névleges primer feszültség hányadosa. Értékét szabványos sorozatból kell kiválasztani.

Az egyéb követelmények a következők:

- a környezeti viszonyok, amelyek alapján a feszültségváltó lehet belsőtéri vagy szabadtéri;
- veszélyeztettség szempontjából ismerni kell, hogy a beépítési hely túlfeszültségek szempontjából veszélyeztetett, vagy nem veszélyeztetett jellegű;
- csatlakozások fázisszáma és a primer kivezetések szigetelése szerint lehet:
 - egyfázisú feszültségváltó: kétsarkúlag, vagy egysarkúlag szigetelt primer kivezetéssel;
 - háromfázisú feszültségváltó: kivezetett primer csillagpont nélkül, ill. kivezetett csillagponttal (melyet földelni kell).
 A háromfázisú feszültségváltó lehet három-, vagy ötoszlopos.
- a szigetelés anyaga lehet: porcelán, olaj, műgyanta, SF₆-gáz;
- zárlatbiztosság: a feszültségváltónak 120%-os primer feszültségnél a szekunder kapcsoknak I s-ig történő rövidrezárását egy alkalommal ki kell bírnia anélkül, hogy pontossága megváltozna és szigetelése meghibásodna;
- a klímaterület figyelembevétele (mind az áramváltónál);
- a szekunder áramkörök száma szerint lehet egy-, ill. többáramkörös a feszültségváltó.

8.3.5. Zárlatkorlátozó fojtótekercek

A zárlatkorlátozó fojtótekercek szerepével, alkalmazásával az 5. fejezet foglalkozott.

A fojtótekerccs kiválasztásához a következő jellemzők szükségesek:

- névleges feszültség;
- névleges áram;
- százalékos feszültségesés, ill. reaktancia;
- zárlatbiztosság.

A névleges feszültségre, ill. a legnagyobb üzemi feszültségre az előző készülékek kiválasztásánál tárgyaltak a fojtótekerccsre is érvényesek. Szabványos értékeik 1-30 kV között helyezkednek el. Ezen értékek a fázisegységeket hordozó támszigetelők szigetelési feszültségét is meghatározzák.

A névleges áram (I_n) úgy választandó meg, hogy értéke nagyobb legyen a fojtótekerccsen átfolyó üzemi áramnál (ezáltal ui. nem korlátozza a vele sorba kapcsolt készülékek esetleges túlterhelhetőségének kihasználhatóságát).

A fojtótekerccs szükséges reaktanciája — a zárlatszámítások eredményéből adódóan — korlátozás előtti és utáni zárlati teljesítmény értékekből számítható:

$$X_f = \frac{U_n^2}{S_{zu}} - \frac{U_n^2}{S_{ze}} \quad \Omega/\text{fázis}, \quad (8.-34)$$

ahol $[U_n] = \text{kV}$ a névleges vonali feszültség; $[S_{ze}] = \text{MVA}$ a fojtótekerccs előtti zárlati teljesítmény; $[S_{zu}] = \text{MVA}$ a fojtótekerccs utáni zárlati teljesítmény.

A fázisonkénti szükséges reaktancia ismeretében a fázisonkénti feszültségesés (e_f) számítása:

$$e_f = I_n X_f \quad \text{V}, \quad (8.-35)$$

ahol $[I_n] = \text{A}$ a fojtótekerccs névleges árama.

Az e_f , (ε_f) valamint az I_n és az U_n ismeretében a gyártmánykatalógusból kiválasztandó az alkalmazandó fojtótekerccs-típus, amelynek a további névleges jellemzőit a katalógusok szintén tartalmazzák.

E jellemzők számítási összefüggései:

$$Q_n = I_n^2 X \text{ var} \quad (8.-36)$$

a névleges egyfázisú meddőteljesítmény (a fojtótekerics saját teljesítménye);

$$S_n = \sqrt{3} I_n U_n \text{ VA} \quad (8.-37)$$

a fojtótekerics háromfázisú névleges átmenő teljesítménye.

A fojtótekerics névleges százalékos reaktanciája ezekkel a névleges jellemzőkkel is kifejezhető:

$$\varepsilon = 100 \cdot \frac{3Q_n}{S_n} \% \quad (8.-38)$$

ill. a fojtótekerics névleges reaktanciája:

$$X = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \Omega/\text{fázis}. \quad (8.-39)$$

A kiválasztott fojtótekericset zárlatbiztonságra ellenőrizni kell. A katalógusok megadják az egyes típusokra megengedett zárlati áram, névleges termikus határáram, valamint a névleges termikus időhatár értékeit is.