



ÓBUDAI EGYETEM



---

KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI KAR

Dr. Novothny Ferenc (PhD)

## Villamosenergia-ellátás I.

Példatár

Változatlan utánnymás

ÓE KVK 2053  
Budapest, 2010.

Lektor:  
Szekér Károly

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 2053  
Munkaszám: 20/2009

# TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK.....	3
ELŐSZÓ.....	4
1. VILLAMOS HÁLÓZATI IMPEDANCIÁK.....	5
2. SZIMMETRIKUS ZÁRLAT SZÁMÍTÁSA.....	11
2.2. A szinkrongép hirtelen háromfázisú kapocszárata .....	11
2.3. Hálózati 3F zárlat számítása a hálózati elemek saját zárlati teljesítményével.....	16
3. ASZIMMETRIKUS HIBÁK SZÁMÍTÁSA.....	24
3.1. Egyfázisú földzárlat közelítő számítása és kompenzálása.....	24
3.3. A hálózati elemek különböző sorrendű impedanciái.....	33
3.3.3.1. Szabadvezeték zérus sorrendű impedanciái.....	33
3.4. A hálózati elemek különböző sorrendű impedanciái.....	37
3.4.1. A hálózat pozitív, negatív és zérus sorrendű helyettesítő vázlatai.....	37
3.5. Sönthibák számítása.....	43
3.5.1. Egyfázisú földrövidzárlat (FN) számítása.....	43
3.5.2. Kétfázisú földrövidzárlat (2FN) számítása.....	52
3.5.3. Kétfázisú zárlat (2F) számítása.....	62
3.6. Soros hibák számítása.....	71
3.6.1. Egyfázisú szakadás (1f) számítása .....	71
3.7. Szimultán hibák számítása.....	81
3.7.1. Kettős földzárlat számítása a szimmetrikus összetevők módszerével.....	81
Egyidejűleg fellépő egyfázisú szakadás (1f) és földrövidzárlat (1FN) számítása	90
5. HÁLÓZATOK VILLAMOS MÉRTEZÉSE.....	96
5.1.1. Két végéről azonos feszültséggel táplált vezeték méretezése feszültségesésre	96
5.1.2. Két végéről azonos feszültséggel táplált vezeték méretezése teljesítményvesztésre.....	101
5.1.3. Két végéről különböző feszültséggel táplált vezeték méretezése feszültségesésre.....	106
6. TÁVVEZETÉK LÉTESÍTÉS.....	114
6.1. Szabadvezeték szilárdsági számítások.....	114
6.1.2. A vezetőre ható erők.....	114
6.1.3. Szabadvezeték belógása.....	118
6.1.4. A vezetők állapotváltozása.....	123
6.2. Feszített vezetők mozgása.....	131
6.2.1. Függőszigetelők kilengése a tartószerkezethez.....	131
6.2.2. A vezetők összelengése.....	134
6.2.3. A vezetők felcsapódása.....	138
8. A TRANSZFORMÁTOROK, VEZETÉKEK ÉS A KAPCSOLÓBERENDEZÉS KÉSZÜLÉKEINEK, MÉRŐVÁLTÓINAK, ZÁRLATKORLÁTOZÓ FOJTÓTEKERCEINEK KIVÁLASZTÁSA.....	140
8.3. A kapcsolóberendezés készülékeinek, mérőváltóinak zárlat-korlátozó fojtótekerceinek kiválasztása.....	140
8.3.2. Nagyfeszültségű készülékek kiválasztása.....	140
8.3.2.1. Megszakítók.....	140
8.3.2.2. Szakaszolók.....	147
8.3.3. Áramváltók.....	152
8.3.4. Feszültségváltók.....	159
8.3.5. Zárlatkorlátozó fojtótekercs.....	162
FÜGGELÉK.....	169

## ELŐSZÓ

Ez a példatár a villamos energetika szakirányban tovább tanuló villamosmérnök hallgatók számára készült. Szorosan illeszkedik a Villamosenergia-ellátás I. jegyzet tananyagához. A példaanyag nem teljes, a legfontosabb számítást, méretezést ill. kiválasztást tárgyaló fejezetekhez készült. A példatár fejezetcímei és pontbeosztása a jegyzet fejezetcímeit és pontbeosztását hűen követik.

Mint azt a tantárgy alapozó tantárgyának a Villamos energetika I. tantárgynak a példatárában megfigyelhettük, az adott témához először **kidolgozott példák** mutatják be a helyes megoldás módját, majd a kidolgozott példákat **feladatok** követik. Ezek önálló megoldása segíti tanulót a zárthelyi dolgozatok, illetve az évközi feladatok sikeres megírásában. Az önellenőrzésre a feladatokat követő „**eredmények**” megadása nyújt lehetőséget.

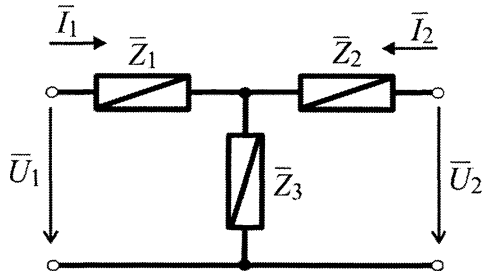
Mindenkinek sikeres feladatmegoldást kívánok, és arra kérem, hogy észrevételeivel, javaslataival bátran forduljon a szerzőhöz, mert közös célunk egy minél jobb segédanyag előállítása a jövő villamosmérnökök számára.

Ehelyütt szeretnék köszönetet mondani, Dános Norbert, Füredi Dániel, Varga Szabolcs, Szendy Dániel volt hallgatóimnak, akik a példatár készítésében segítségemre voltak. Külön köszönet illeti Székér Károly lektor Urat, aki a lektori feladatokat messze meghaladó odaadással, lelkiismeretességgel nemcsak a feladatok kiválasztását kísérte figyelemmel, hanem gondoskodott a feladatok helyes megoldásának számszerű ellenőrzéséről is.

# 1. VILLAMOS HÁLÓZATI IMPEDANCIÁK

## Kidolgozott példa:

Az alábbi ábrán látható „T”-kapcsolás esetén számítsuk ki a rövidzárási és üresjárási mérésponti, valamint az átviteli impedanciák értékeit!



Adatok:

$$\bar{Z}_1 = (10 + j6) \Omega$$

$$\bar{Z}_2 = (4 + j3) \Omega$$

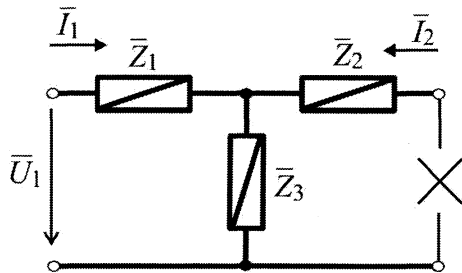
$$\bar{Z}_3 = (12 + j5) \Omega$$

Passzív lineáris hálózatok esetén a következő feltételek teljesülnek:

$$\bar{Z}_{12}^u = \bar{Z}_{21}^u \quad \text{és} \quad \bar{Z}_{21}^r = \bar{Z}_{12}^r.$$

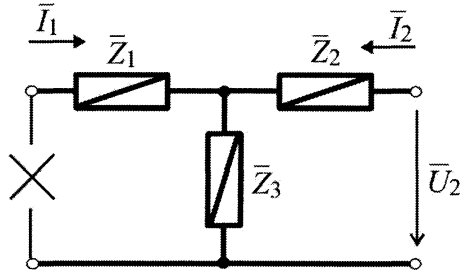
## Megoldás:

Az üresjárási mérésponti impedanciák:



$$\bar{Z}_{11}^u = \left. \frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_1} \right|_{\bar{I}_2=0} \quad \text{alapján:}$$

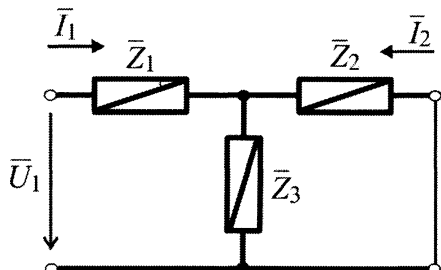
$$\bar{Z}_{11}^u = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_3 = 10 + j6 + 12 + j5 = (22 + j11) \Omega$$



$$\bar{Z}_{22}^u = \left. \frac{\bar{U}_2}{\bar{I}_2} \right|_{\bar{I}_1=0} \quad \text{alapján:}$$

$$\bar{Z}_{22}^u = \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3 = 4 + j3 + 12 + j5 = (16 + j8) \Omega$$

A rövidzárási mérésponti impedanciák:

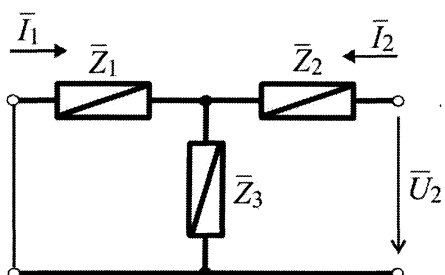


$$\bar{Z}_{11}^r = \left. \frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_1} \right|_{\bar{U}_2=0} \quad \text{alapján:}$$

$$\bar{Z}_{11}^r = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 \otimes \bar{Z}_3$$

$$\bar{Z}_{11}^r = 10 + j6 + ((4 + j3) \otimes (12 + j5))$$

$$\bar{Z}_{11}^r = (13,05 + j7,97) \Omega$$



$$\bar{Z}_{22}^r = \left. \frac{\bar{U}_2}{\bar{I}_2} \right|_{\bar{U}_1=0} \quad \text{alapján:}$$

$$\bar{Z}_{22}^r = \bar{Z}_2 + \bar{Z}_1 \otimes \bar{Z}_3$$

$$\bar{Z}_{22}^r = 4 + j3 + ((10 + j6) \otimes (12 + j5))$$

$$\bar{Z}_{22}^r = 9,5 + j5,8 \Omega$$

A rövidzárási átviteli impedanciák:

$$\bar{Z}_{21}^r = \frac{\bar{U}_1}{-\bar{I}_2} \Big|_{U_2=0} \quad \text{illetve} \quad \bar{Z}_{12}^r = \frac{\bar{U}_2}{-\bar{I}_1} \Big|_{U_1=0} \quad \text{alapján:}$$

$$\bar{Z}_{21}^r = \frac{\bar{U}_1}{-\left(-\frac{\bar{U}_1}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 \otimes \bar{Z}_3}\right) \cdot \bar{Z}_3} = \frac{\left(\bar{Z}_1 + \frac{\bar{Z}_2 \cdot \bar{Z}_3}{\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3}\right) \cdot (\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3)}{\bar{Z}_3} = \frac{\bar{Z}_1 \bar{Z}_2 + \bar{Z}_1 \bar{Z}_3 + \bar{Z}_2 \bar{Z}_3}{\bar{Z}_3}$$

$$\bar{Z}_{21}^r = \frac{(10 + j6) \cdot (4 + j3) + (10 + j6) \cdot (12 + j5) + (4 + j3) \cdot (12 + j5)}{12 + j5} = (17,15 + j12,18) \Omega$$

illetve:

$$\bar{Z}_{12}^r = \frac{\bar{U}_2}{-\left(-\frac{\bar{U}_2}{\bar{Z}_2 + \bar{Z}_1 \otimes \bar{Z}_3}\right) \cdot \bar{Z}_3} = \frac{\left(\bar{Z}_2 + \frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_3}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_3}\right) \cdot (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_3)}{\bar{Z}_3} = \frac{\bar{Z}_1 \bar{Z}_2 + \bar{Z}_1 \bar{Z}_3 + \bar{Z}_2 \bar{Z}_3}{\bar{Z}_3}$$

A korábban említett feltételek teljesülése következtében:  $\bar{Z}_{21}^r = \bar{Z}_{12}^r$ .

Az üresjárású átviteli impedanciák:

$$\bar{Z}_{12}^u = \frac{\bar{U}_2}{\bar{I}_1} \Big|_{I_2=0} \quad \text{alapján} \quad \bar{Z}_{12}^u = \frac{\bar{I}_1 \cdot \bar{Z}_3}{\bar{I}_1} = \bar{Z}_3 \quad \bar{Z}_{12}^u = Z_3 = (12 + j5) \Omega$$

$$\bar{Z}_{21}^u = \frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_2} \Big|_{I_1=0} \quad \text{alapján} \quad \bar{Z}_{21}^u = \frac{\bar{I}_2 \cdot \bar{Z}_3}{\bar{I}_2} = \bar{Z}_3 \quad \bar{Z}_{21}^u = Z_3 = (12 + j5) \Omega$$

A jellemzők csoportosítva:

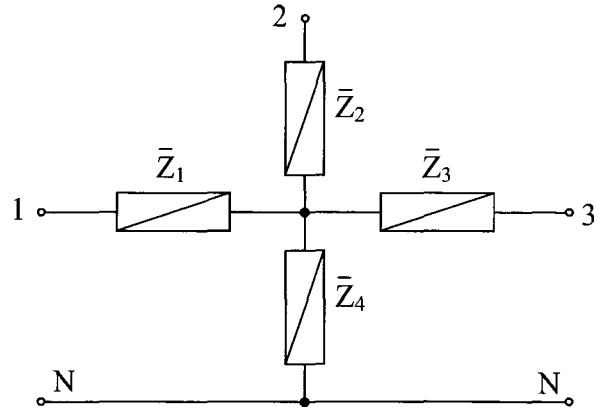
Üresjárású mérési ponti impedanciák:	$\bar{Z}_{11}^u = \frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_1} \Big _{I_2=0}$	$\bar{Z}_{22}^u = \frac{\bar{U}_2}{\bar{I}_2} \Big _{I_1=0}$
Rövidzárási mérési ponti impedanciák:	$\bar{Z}_{11}^r = \frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_1} \Big _{U_2=0}$	$\bar{Z}_{22}^r = \frac{\bar{U}_2}{\bar{I}_2} \Big _{U_1=0}$
Üresjárású átviteli impedanciák:	$\bar{Z}_{12}^u = \frac{\bar{U}_2}{\bar{I}_1} \Big _{I_2=0}$	$\bar{Z}_{21}^u = \frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_2} \Big _{I_1=0}$
Rövidzárási átviteli impedanciák:	$\bar{Z}_{21}^r = \frac{\bar{U}_1}{-\bar{I}_2} \Big _{U_2=0}$	$\bar{Z}_{12}^r = \frac{\bar{U}_2}{-\bar{I}_1} \Big _{U_1=0}$

Összetett áramkörök esetén is a fentiekhez hasonló módon határozhatók meg az egyes impedanciák, de az elvégzendő számítások – az elemek számának, és így a hálózat bonyolultságának növekedésével – egyre bonyolultabbá válhatnak.

Kidolgozott példa:

Számítsuk ki az ábrán látható kapcsolás  $\bar{Z}_{11}^u$  üresjárási és  $\bar{Z}_{33}^r$  rövidzárási mérési ponti, valamint a  $\bar{Z}_{32}^u$  üresjárási és  $\bar{Z}_{13}^r$  rövidzárási átviteli impedanciáit, ha

$$\begin{aligned} \bar{Z}_1 &= 2 + j6 \ \Omega; & \bar{Z}_2 &= 2 + j2 \ \Omega; \\ \bar{Z}_3 &= 3 + j6 \ \Omega; & \bar{Z}_4 &= 100 \ \Omega. \end{aligned}$$



A  $\bar{Z}_{11}^u$  üresjárási mérési ponti impedancia a N és 1 jelű kapcsok között mérhető eredő impedancia, ha a 2 és 3 jelű kapcsok üresjárási állapotban vannak:

$$\bar{Z}_{11}^u = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_4 = 102 + j6 \ \Omega.$$

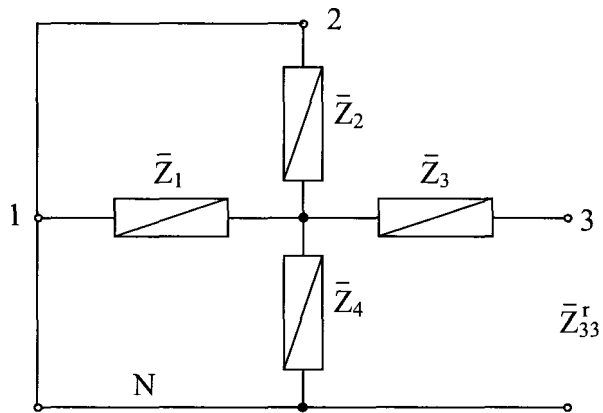
A  $\bar{Z}_{33}^r$  rövidzárási mérési ponti impedancia a N és 3 jelű kapcsok között mérhető eredő impedancia, ha az 1 és 2 jelű kapcsok rövidzárási állapotban vannak (közvetlenül össze vannak kötve a N jelű ponttal):

$$\bar{Z}_{33}^r = \bar{Z}_3 + \bar{Z}_1 \otimes \bar{Z}_2 \otimes \bar{Z}_4$$

A megadott értékek behelyettesítésével:

$$\bar{Z}_{33}^r = (3 + j6) + (2 + j6) \otimes (2 + j2) \otimes 100$$

amiből  $\bar{Z}_{33}^r = 4,21 + j7,56 \ \Omega.$

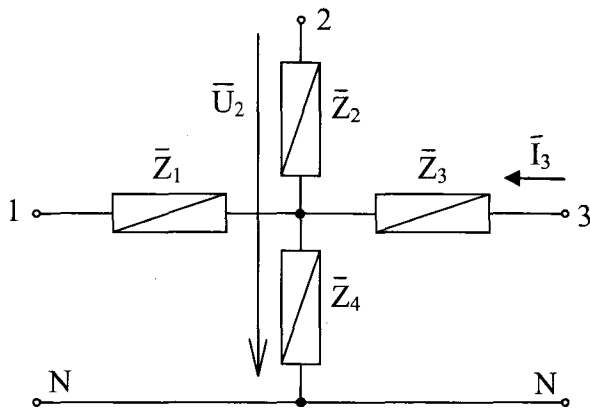


A  $\bar{Z}_{32}^u$  üresjárási átviteli impedancia értelmezése, illetve meghatározása az ábra alapján a következő:

A 3 jelű ponton befolyó (feltételezett)  $I_3$  áram hatására a 2 és N pontok között fellépő feszültséget kell felírnunk az  $I_3$  áram és a kapcsolás elemeinek segítségével (a  $Z_2$  impedancián nem folyik áram!):

$$\bar{U}_2 = \bar{I}_3 \cdot \bar{Z}_4$$

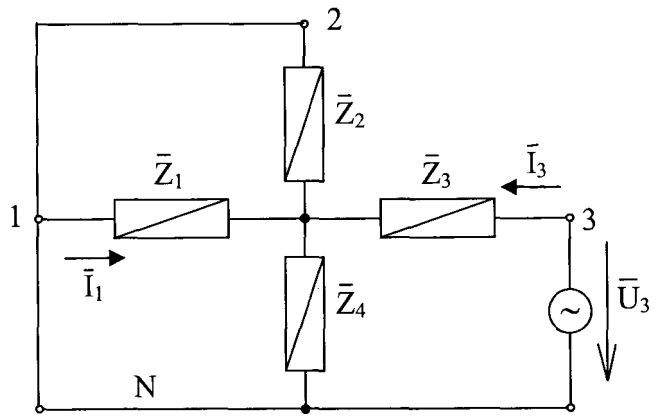
$$\text{Tehát } \bar{Z}_{32}^u = \frac{\bar{U}_2}{\bar{I}_3} = \frac{\bar{I}_3 \cdot \bar{Z}_4}{\bar{I}_3} = \bar{Z}_4 = 100 \ \Omega.$$



A  $\bar{Z}_{13}^r$  rövidzárási átviteli impedancia a definíció alapján:  $\bar{Z}_{13}^r = -\frac{\bar{U}_3}{\bar{I}_1}.$

Az  $I_1$  áramot az  $I_3$  áramból áramosztással kapjuk meg (Az  $U_3$  feszültség rákapcsolásának hatására kialakuló és a  $Z_1$  impedancián átfolyó áram tényleges iránya az  $I_1$  áram bejelölt irányával ellentétes lesz, ezért megjelenik egy negatív előjel a nevezőben!):

$$\bar{Z}_{13}^r = -\frac{\bar{U}_3}{\frac{\bar{U}_3}{\bar{Z}_{33}^r} \cdot \frac{\bar{Z}_2 \otimes \bar{Z}_4}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 \otimes \bar{Z}_4}}$$



A kifejezés rendezése után a  $\bar{Z}_{13}^r = \bar{Z}_{33}^r \cdot \left(1 + \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_2 \otimes \bar{Z}_4}\right)$  általános (paraméteres) alakot kapjuk.

A megadott értékek behelyettesítésével:

$$\bar{Z}_{13}^r = (4,21 + j7,56) \cdot \left(1 + \frac{(2 + j6)}{(2 + j2) \otimes 100}\right) = 4,7 + j27,3 \Omega.$$

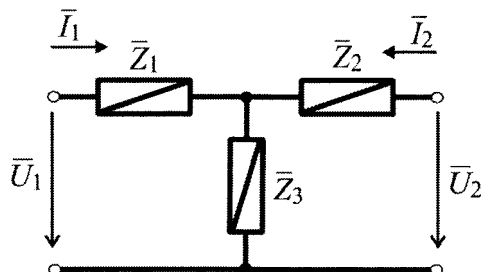
**Feladatok:**

1. Számítsa ki az üresjárású mérési és átviteli impedanciák, illetve a rövidzársú mérési és átviteli impedanciák értékeit, ha a „T” kapcsolás impedanciái ellenállások:

$$\bar{Z}_1 = 6 \Omega, \quad \bar{Z}_2 = 18 \Omega, \quad \bar{Z}_3 = 2 \Omega !$$

2. Az adott „T” kapcsolás esetén határozza meg a következő paramétereket:

$$\bar{Z}'_{22}, \quad \bar{Z}''_{11}, \quad \bar{Z}''_{21}, \quad \bar{Z}'_{12} !$$



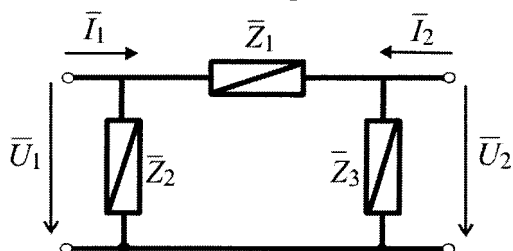
Adatok:

$$\bar{Z}_1 = (30 + j63) \Omega$$

$$\bar{Z}_2 = (40 - j25) \Omega$$

$$\bar{Z}_3 = (120 + j75) \Omega$$

3. A „π” kapcsolású hálózatban mennyi az üresjárású mérési és átviteli impedanciák, valamint rövidzársú mérési és átviteli impedanciák értéke, ha az elemek ellenállások?



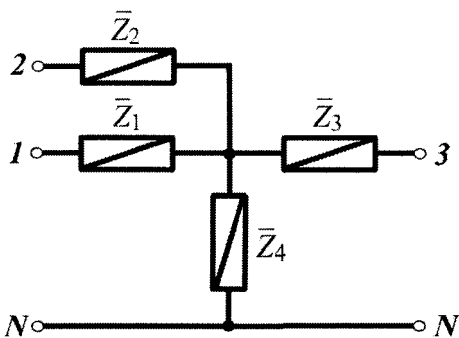
Adatok:

$$\bar{Z}_1 = 12 \Omega$$

$$\bar{Z}_2 = 45 \Omega$$

$$\bar{Z}_3 = 23 \Omega$$

4. Az alábbi elrendezés esetén számítsa ki a  $\bar{Z}''_{11}$ ;  $\bar{Z}'_{33}$ ;  $\bar{Z}''_{32}$ ;  $\bar{Z}'_{13}$  paraméterek értékeit!



Adatok:

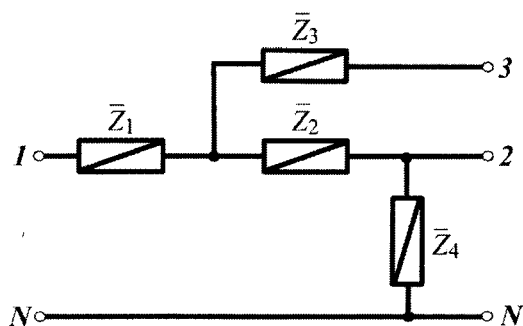
$$\bar{Z}_1 = (12 + j6) \Omega$$

$$\bar{Z}_2 = (7 + j5) \Omega$$

$$\bar{Z}_3 = 10 \Omega$$

$$\bar{Z}_4 = (2 + j2) \Omega$$

5. Adja meg a  $\bar{Z}''_{11}$ ,  $\bar{Z}''_{13}$ ,  $\bar{Z}'_{22}$ ,  $\bar{Z}'_{23}$  impedanciák értékét az alábbi kapcsolás esetén!



Adatok:

$$\bar{Z}_1 = j6 \Omega$$

$$\bar{Z}_2 = 15 \Omega$$

$$\bar{Z}_3 = j10 \Omega$$

$$\bar{Z}_4 = 10 \Omega$$

6. Egy "T" kapcsolás impedanciái:  $\bar{Z}_1 = 30 + j40\Omega$ ;  $\bar{Z}_2 = 30 + j40\Omega$ ;  $\bar{Z}_3 = 1000 - j400\Omega$   
Számítsa ki a kapcsolás rövidzárási és üresjárású mérési ponti impedanciáit! Ábra a 2. példában.

7. Mennyi a rövidzárási és üresjárású mérési ponti impedanciáinak értéke annak a "T" kapcsolásnak, aminek impedanciái:  $\bar{Z}_1 = 30\Omega$ ;  $\bar{Z}_2 = 40\Omega$ ;  $\bar{Z}_3 = 1500\Omega$ ? Ábra a 2. példában.

8.  $\bar{Z}_1 = 9\Omega$ ;  $\bar{Z}_2 = 13\Omega$ ;  $\bar{Z}_3 = 20\Omega$  Egy "PI" kapcsolás impedanciái. Mennyi a rövidzárási és üresjárású mérési ponti impedanciák értéke? Ábra a 3. példában.

9. Számítsa ki egy "PI" kapcsolás rövidzárási és üresjárású mérési ponti impedanciáit, ha  $\bar{Z}_1 = 5 + j2\Omega$ ;  $\bar{Z}_2 = 80 + j50\Omega$ ;  $\bar{Z}_3 = 100 - j30\Omega$ ! Ábra a 3. példában

10. Mekkora egy "T" kapcsolás ( $\bar{Z}_1 = 2\Omega$ ;  $\bar{Z}_2 = 6\Omega$ ;  $\bar{Z}_3 = 100\Omega$ ) rövidzárási és üresjárású mérési ponti impedanciái? Ábra a 2. példában.

### Eredmények:

<p><b>1. feladat:</b>  <math>\bar{Z}_{11}^{\ddot{u}} = 8\Omega</math>; <math>\bar{Z}_{22}^{\ddot{u}} = 20\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{11}^r = 7,8\Omega</math>; <math>\bar{Z}_{22}^r = 19,5\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{21}^{\ddot{u}} = \bar{Z}_{12}^{\ddot{u}} = 2\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{21}^r = \bar{Z}_{12}^r = 78\Omega</math></p>	<p><b>2. feladat:</b>  <math>\bar{Z}_{11}^{\ddot{u}} = 150 + j138\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{22}^r = 68,52 + j14,15\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{21}^{\ddot{u}} = 120 + j75\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{12}^r = 93,25 + j38,2\Omega</math></p>	<p><b>3. feladat:</b>  <math>\bar{Z}_{11}^{\ddot{u}} = 19,68\Omega</math>; <math>\bar{Z}_{22}^{\ddot{u}} = 16,38\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{11}^r = 9,47\Omega</math>; <math>\bar{Z}_{22}^r = 7,88\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{21}^{\ddot{u}} = \bar{Z}_{12}^{\ddot{u}} = 12,93\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{21}^r = \bar{Z}_{12}^r = 12\Omega</math></p>	
<p><b>4. feladat:</b>  <math>\bar{Z}_{11}^{\ddot{u}} = 14 + j8\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{33}^r = 11,4 + j1,2\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{32}^{\ddot{u}} = 2 + j2\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{13}^r = 82,4 - j11,4\Omega</math></p>	<p><b>5. feladat:</b>  <math>\bar{Z}_{11}^{\ddot{u}} = 25 + j6\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{13}^{\ddot{u}} = 25\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{22}^r = 6,08 + j0,58\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{23}^r = 40 + j10\Omega</math></p>	<p><b>6. feladat:</b>  <math>\bar{Z}_{11}^r = 61,3 + j78,13\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{22}^r = 61,3 + j78,13\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{11}^{\ddot{u}} = 1030 - j360\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{22}^r = 1030 - j360\Omega</math></p>	
<p><b>7. feladat:</b>  <math>\bar{Z}_{11}^r = 68,96\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{22}^r = 69,41\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{11}^{\ddot{u}} = 1530\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{22}^{\ddot{u}} = 1540\Omega</math></p>	<p><b>8. feladat:</b>  <math>\bar{Z}_{11}^r = 5,32\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{22}^r = 6,2\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{11}^{\ddot{u}} = 8,98\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{22}^{\ddot{u}} = 10,48\Omega</math></p>	<p><b>9. feladat:</b>  <math>\bar{Z}_{11}^r = 4,71 + j1,94\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{22}^r = 4,86 + j1,77\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{11}^{\ddot{u}} = 54,14 + j9,83\Omega</math>  <math>\bar{Z}_{22}^{\ddot{u}} = 55,3 + j7,75\Omega</math></p>	
<p><b>10. feladat:</b>  <math>\bar{Z}_{11}^r = 7,66\Omega</math>      <math>\bar{Z}_{22}^r = 7,96\Omega</math>      <math>\bar{Z}_{11}^{\ddot{u}} = 102\Omega</math>      <math>\bar{Z}_{22}^{\ddot{u}} = 106\Omega</math></p>			

## 2. SZIMMETRIKUS ZÁRLAT SZÁMÍTÁSA

### 2.2. A szinkrongép hirtelen háromfázisú kapocszárata

#### Kidolgozott példa:

Egy generátor adatai a következők:  $U_n = 10,5 \text{ kV}$   $S_n = 75 \text{ MVA}$   
 $X_d = 1,823 \Omega$   $T_e = 0,17 \text{ s}$   $\varepsilon_d^{\prime} = 19,9\%$   $T_d^{\prime} = 0,71 \text{ s}$   $\varepsilon_d^{\prime\prime} = 14\%$   $T_d^{\prime\prime} = 0,029 \text{ s}$

#### Kérdések és megoldások:

1. Mekkora a tranziens és a szubtranziens reaktancia értéke?

$$X_d^{\prime} = \frac{\varepsilon_d^{\prime} U_n^2}{100 S_n} = \frac{19,9 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 75} = 0,2925 \Omega$$

$$X_d^{\prime\prime} = \frac{\varepsilon_d^{\prime\prime} U_n^2}{100 S_n} = \frac{14 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 75} = 0,206 \Omega$$

2. A generátor hirtelen 3F kapocszárata esetén mekkora az állandósult, a tranziens, és a szubtranziens zárlati áram effektív értéke?

$$I_{Zá} = \frac{U_n}{\sqrt{3} X_d} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,823} = 3,325 \text{ kA}$$

$$I_{Zv}^{\prime} = \frac{U_n}{\sqrt{3} X_d^{\prime}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,2925} = 20,73 \text{ kA}$$

$$I_{Zv}^{\prime\prime} = \frac{U_n}{\sqrt{3} X_d^{\prime\prime}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,206} = 29,43 \text{ kA}$$

3. Mekkora az áram három, szinuszosan váltakozó áramú összetevőjének együtthatója? (Az idő-állandókat figyelembe véve felrajzolható a három váltakozó áramú összetevő burkológörbéje!)

$$\Delta i^{\prime\prime} = \sqrt{2} \frac{U_n}{\sqrt{3}} \left( \frac{1}{X_d^{\prime\prime}} - \frac{1}{X_d^{\prime}} \right) = \sqrt{2} \frac{10,5}{\sqrt{3}} \left( \frac{1}{0,206} - \frac{1}{0,2925} \right) = 12,3 \text{ kA}$$

$$\Delta i^{\prime} = \sqrt{2} \frac{U_n}{\sqrt{3}} \left( \frac{1}{X_d^{\prime}} - \frac{1}{X_d} \right) = \sqrt{2} \frac{10,5}{\sqrt{3}} \left( \frac{1}{0,2925} - \frac{1}{1,823} \right) = 24,6 \text{ kA}$$

$$i_{Zá} = \sqrt{2} \frac{U_n}{\sqrt{3}} \frac{1}{X_d} = \sqrt{2} \frac{10,5}{\sqrt{3}} \frac{1}{1,823} = 4,7 \text{ kA}$$

4. Mekkora (Azaz a névleges áram csúcstértékének hányszorosa?) a generátor hirtelen 3F kapcsolárlata esetén ez egyenáramú összetevő pillanatértéke a  $t_1=0$  s,  $t_2=0,17$  s,  $t_3=0,3$  s,  $t_4=1$  s időpontokban? A zárlat aszimmetrikus lefolyású, a következő feltételekkel:

$$\psi - \varphi = -\pi/2; \quad u_{(0)} = 0.$$

$$i_{ze} = -\sqrt{2} I_n \frac{100}{\varepsilon_d^{(j)}} e^{-\frac{t}{T_c}} \sin(\psi - \varphi), \text{ ahol } I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n} = \frac{75}{\sqrt{3} * 10,5} = 4,124 \text{ kA.}$$

$$t_1=0 \rightarrow i_{ze}(0) = \sqrt{2} I_n \frac{100}{\varepsilon_d^{(j)}} = \sqrt{2} * 4,124 \frac{100}{14} = 41,66 \text{ kA} \quad \frac{i_{ze}(0)}{I_n} = \frac{100}{\varepsilon_d^{(j)}} = \frac{100}{14} = 7,14$$

$$t_2=0,17 \text{ s} \quad i_{ze}(t_2) = \sqrt{2} I_n \frac{100}{\varepsilon_d^{(j)}} e^{-\frac{t_2}{T_c}} = \sqrt{2} * 4,124 \frac{100}{14} e^{-\frac{0,17}{0,17}} = 15,32 \text{ kA} \text{ azaz:}$$

$$t_2=0,17 \text{ s} \quad \frac{i_{ze}(0,17)}{I_n} = \frac{100}{\varepsilon_d^{(j)}} e^{-1} = \frac{100}{14} * 0,3679 = 2,63$$

$$t_3=0,3 \text{ s} \quad i_{ze}(0,3) = \sqrt{2} * 4,124 \frac{100}{14} e^{-\frac{0,3}{0,17}} = 7,13 \text{ kA} \quad \frac{i_{ze}(0,3)}{I_n} = \frac{100}{14} e^{-1,765} = 1,22$$

$$t_4=1 \text{ s} \quad i_{ze}(1) = \sqrt{2} * 4,124 \frac{100}{14} e^{-\frac{1}{0,17}} = 0,116 \text{ kA} \quad \frac{i_{ze}(1)}{I_n} = \frac{100}{14} e^{-5,88} = 0,02$$

5. Írja fel a generátor szimmetrikus lefolyású ( $\varphi = \pi/2; \psi = \pi/2; U_{(0)} = U_{\max}$ ) 3F zárlatkor a zárlati áram pillanatértékének az időbeli változását, azaz az áram időfüggvényét!

$$i_z = \sqrt{2} \frac{U_n}{\sqrt{3}} \left[ \left( \frac{1}{X_d^{(j)}} - \frac{1}{X_d^{(l)}} \right) e^{-\frac{t}{T_d^{(j)}}} + \left( \frac{1}{X_d^{(l)}} - \frac{1}{X_d} \right) e^{-\frac{t}{T_d^{(l)}}} + \frac{1}{X_d} \right] \sin(\omega t + \psi - \varphi)$$

$$i_z = \sqrt{2} \frac{10,5}{\sqrt{3}} \left[ \left( \frac{1}{0,206} - \frac{1}{0,2925} \right) e^{-\frac{t}{0,029}} + \left( \frac{1}{0,2925} - \frac{1}{1,823} \right) e^{-\frac{t}{0,71}} + \frac{1}{1,823} \right] \sin(314t + \pi/2 - \pi/2) =$$

$$i_z = (12,3e^{-34,48t} + 23,83e^{-1,4t} + 4,7) \sin 314t$$

### Feladatok:

#### 1. Egy TVV 221 /Paks/ generátor adatai:

$$U_n = 15,75 \text{ kV} \quad S_n = 259 \text{ MVA} \quad X_d = 1,894 \ \Omega \quad T_e = 0,33 \text{ s}$$

$$X_d^{(j)} = 0,222 \ \Omega \quad T_d^{(j)} = 1,085 \text{ s} \quad X_d^{(l)} = 0,146 \ \Omega \quad T_d^{(l)} = 0,031 \text{ s}$$

### Kérdések:

1.1. Mekkora a szinkron generátor százalékos reaktanciáinak értékei?

1.2. Hirtelen 3F kapcsolálatkor a tranziens illetve a szubtranziens áram értéke hányszorosa az állandósult zárlati áram effektív értékének?

1.3. Hirtelen 3F kapcsolálat esetén a tranziens illetve a szubtranziens áram értéke a névleges áram hányszorosa? És mekkora a névleges áram?

1.4. Mekkora az egyenáramú összetevő pillanatértéke a  $t_1=0$  s;  $t_2=1$  s;  $t_3=3$ s; három különböző időpontban, ha a szinkrongép 3F kapcsolálatkor a zárlat aszimmetrikus

lefolyású, a következő feltételekkel:  $\psi - \varphi = -\pi/2$ ;  $u_{(0)} = 0$ .

1.5. Mekkora az állandósult zárlati áram értéke?

### **2. Adott egy Ganz gyártmányú turbógenerátor a következő adatokkal:**

$$U_n = 10,5 \text{ kV} \quad S_n = 102 \text{ MVA} \quad \varepsilon_d = 248,87\% \quad T_e = 0,23 \text{ s}$$

$$\varepsilon_d^{\prime} = 25,9\% \quad T_d^{\prime} = 1,01 \text{ s} \quad \varepsilon_d^{\prime\prime} = 19,89\% \quad T_d^{\prime\prime} = 0,026 \text{ s}$$

### Kérdések:

2.1. Mekkora a szinkron, a tranziens és a szubtranziens reaktancia értéke?

2.2. Mekkora a generátor hirtelen 3F kapcsolálatkor a szubtranziens, a tranziens és az állandósult zárlati áram kezdő értéke? /A zárlat a gép névleges feszültségén üresjárásban következik be./

2.3. Mekkora a váltakozó áramú összetevők értékei a  $t = 0$  időpontban? (Az időállandókat figyelembe véve rajzolja le a három váltakozó áramú összetevő időfüggvényének burkológörbéjét!)

2.4. Hogyan írható fel a generátor időben aszimmetrikus lefolyású 3F zárlatakor a zárlati áram váltakozó áramú összetevőjének az időfüggvénye? ( $\psi = 45^\circ$ ;  $\varphi = \pi/2$ )

2.5. Mekkora a generátor hirtelen 3F kapcsolálat esetén ( $\psi = 45^\circ$ ;  $\varphi = \pi/2$ ) az egyenáramú összetevő időfüggvénye, és annak pillanatértékei az adott ( $t_1=0$  s;  $t_2=0,5$  s) időpontokban?

### **3. Egy ONv 2700x4500/16 típusú hidrogenerátor adatai:**

$$U_n = 11 \text{ kV} \quad S_n = 5 \text{ M} \quad X_d = 23,9 \ \Omega \quad T_e = 0,073 \text{ s}$$

$$X_d^{\prime} = 6,17 \ \Omega \quad T_d^{\prime} = 0,75 \text{ s} \quad X_d^{\prime\prime} = 3,75 \ \Omega \quad T_d^{\prime\prime} = 0,035 \text{ s}$$

### **Kérdések:**

- 3.1. Mekkora a szinkrongép reaktanciáinak százalékos értékei?
- 3.2. Hogyan néz ki a generátor szimmetrikus lefolyású 3F zárlatakor a zárlati áram pillanatértékének az időfüggvénye?
- 3.3. Hirtelen 3F kapocszárlatkor hányszorosa a tranziens illetve a szubtranziens áram kezdő értéke az állandósult zárlati áram értékének?
- 3.4. Hogyan írható fel a generátor hirtelen 3F kapocszárlatakor fellépő lehető legnagyobb egyenáramú összetevő időfüggvénye?
- 3.5. Mekkora a generátor hirtelen 3F kapocszárlatakor fellépő lehető legnagyobb egyenáramú összetevő pillanatértéke az adott 4 időpontban?

$$t_1=0 \text{ s}; \quad t_2=0,1 \text{ s}; \quad t_3=0,5 \text{ s}; \quad t_4=1,5 \text{ s};$$

### **4. Adott egy ORG 968x4100/2 típusú turbógenerátor a következő adatokkal,**

$$\begin{array}{llll} U_n = 10,5 \text{ kV} & S_n = 102 \text{ MVA} & \varepsilon_d = 130\% & T_e = 0,32 \text{ s} \\ \varepsilon_d^{\prime} = 18\% & T_d^{\prime} = 0,84 \text{ s} & \varepsilon_d^{\prime\prime} = 12\% & T_d^{\prime\prime} = 0,02 \text{ s} \end{array}$$

### **Kérdések:**

- 4.1. Mekkora a szinkron, a tranziens és a szubtranziens reaktancia értéke?
- 4.2. A generátor üresjárásból bekövetkező, szimmetrikus lefolyású 3F kapocszárlata esetén mekkora az állandósult, a tranziens, és a szubtranziens zárlati áram kezdő értéke?
- 4.3. Hirtelen 3F kapocszárlatkor a szinkron generátor tranziens, illetve szubtranziens árama a névleges áram értékének hányszorosa?
- 4.4. Hogyan néz ki a generátor szimmetrikus lefolyású 3F zárlatakor a zárlati áram pillanatértékének az időfüggvénye?
- 4.5. Mekkora a generátor 3F zárlati áramának lehető legnagyobb értéke, és ez hányszorosa a szubtranziens áramnak?

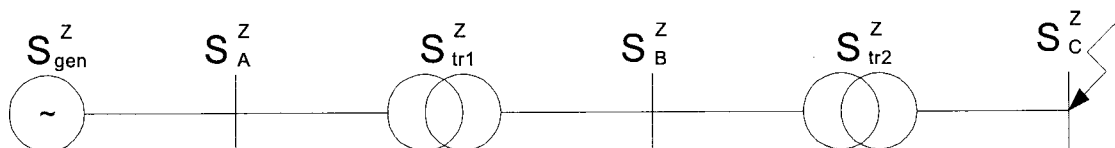
**Eredmények:**

<b>1. feladat:</b>	1.1.	$\varepsilon_d = 197,75\%$	$\varepsilon_d^{\prime} = 23,18\%$	$\varepsilon_d^{\prime\prime} = 15,24\%$
	1.2.	$I_{Zv}^{\prime} = 8,53I_{Za}$	$I_{Zv}^{\prime\prime} = 12,976I_{Za}$	
	1.3.	$I_{Zv}^{\prime} = 4,314I_n$	$I_{Zv}^{\prime\prime} = 6,56I_n$	$I_n = 9,56 \text{ kA}$
	1.4.	$i_{Ze}(0) = 88,1 \text{ kA}$	$i_{Ze}(0,17) = 4,38 \text{ kA}$	$i_{Ze}(3) = 9,84 \text{ A}$
	1.5.	$i_{Za} = 4,8 \text{ kA}$		
<b>2. feladat:</b>	2.1.	$X_d = 2,69 \Omega$	$X_d^{\prime} = 0,28 \Omega$	$X_d^{\prime\prime} = 0,215 \Omega$
	2.2.	$I_{Zv}^{\prime\prime} = 28,196 \text{ kA}$	$I_{Zv}^{\prime} = 21,65 \text{ kA}$	$I_{Za} = 2,25 \text{ kA}$
	2.3.	$\Delta i_m^{\prime\prime} = 9,25 \text{ kA}$	$\Delta i_m^{\prime} = 27,4 \text{ kA}$	$i_{Za} = 3,19 \text{ kA}$
	2.4.	$i_{Zv}(t) = (9,25e^{-38,46t} + 27,4e^{-0,99t} + 3,19)\sin(314t - 0,785) \text{ kA}$		
	2.5.	$i_{Ze}(t) = -9,25e^{-4,35t} \sin(-0,785) \text{ kA} \dots i_{Ze}(0) = 6,54 \text{ kA} \quad i_{Ze} = 0,74 \text{ kA}$		
<b>3. feladat:</b>	3.1.	$\varepsilon_d = 98,76\%$	$\varepsilon_d^{\prime} = 25,49\%$	$\varepsilon_d^{\prime\prime} = 15,49\%$
	3.2.	$i_z(t) = (0,93e^{-28,57t} + 1,08e^{-1,33t} + 0,375)\sin(314t) \text{ kA}$		
	3.3.	$I_{Zv}^{\prime} = 3,87I_{Za}$	$I_{Zv}^{\prime\prime} = 6,375I_{Za}$	
	3.4.	$i_{Ze}(t) = -2,39e^{-13,7t} \text{ kA}$		
	3.5.	$I_{Ze}(0) = -1,69 \text{ kA}$	$I_{Ze}(0,1) = -0,43 \text{ kA}$	
	$I_{Ze}(0,5) = -2,6 \text{ A}$	$I_{Ze}(1,5) = -2,9 * 10^{-6} \text{ A}$		
<b>4. feladat:</b>	4.1.	$X_d = 2,293 \Omega$	$X_d^{\prime} = 0,3175 \Omega$	$X_d^{\prime\prime} = 0,2117 \Omega$
	4.2.	$I_{Za} = 2,64 \text{ kA}$	$I_{Zv}^{\prime} = 19,1 \text{ kA}$	$I_{Zv}^{\prime\prime} = 28,64 \text{ kA}$
	4.3.	$I_n = 3,44 \text{ kA}$	$I_{Zv}^{\prime\prime} = 8,33I_n$	$I_{Zv}^{\prime} = 5,55I_n$
	4.4.	$i_z(t) = (13,51e^{-50t} + 23,24e^{-11,9t} + 3,74)\sin(314t) \text{ kA}$		
	4.5.	$i_z(0,01) = 71,78 \text{ kA}$	$i_{mZv}^{\prime\prime} = 40,5 \text{ kA}$	$i_z(0,01) = 1,77i_{mZv}^{\prime\prime}$

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

### 1. Kidolgozott példa:

Számítsa ki az alábbi hálózat „C” gyűjtősínén fellépő 3F zárlatának zárlati áramát és a hibahelyi zárlati teljesítményt!



Adatok:	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
G:	10	60	9
T <sub>1</sub> :	11/120	40	10,6
T <sub>2</sub> :	120/36,75	36	8,35

### Megoldás:

Az egyes hálózati elemek saját zárlati teljesítménye:

$$S_g^z = \frac{100}{\varepsilon_g} \cdot S_g = \frac{100}{9} \cdot 60 = 666,66 \text{ MVA}$$

$$S_{T1}^z = \frac{100}{\varepsilon_{T1}} \cdot S_{T1} = \frac{100}{10,6} \cdot 40 = 377,36 \text{ MVA}$$

$$S_{T2}^z = \frac{100}{\varepsilon_{T2}} \cdot S_{T2} = \frac{100}{8,35} \cdot 36 = 431,14 \text{ MVA}$$

A saját zárlati teljesítmény a zárlat helyén:

$$\frac{1}{S_c^z} = \frac{1}{S_g^z} + \frac{1}{S_{t1}^z} + \frac{1}{S_{t2}^z}$$

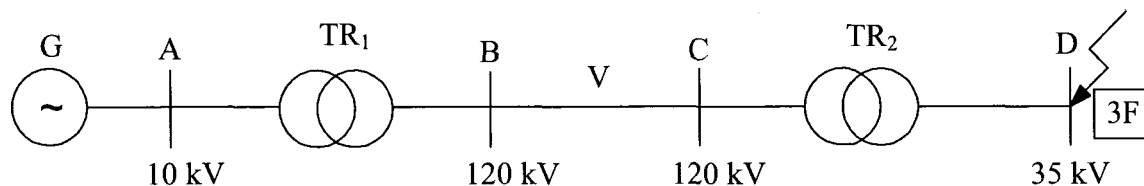
$$\frac{1}{S_c^z} = \frac{1}{666,66} + \frac{1}{377,358} + \frac{1}{431,137} \Rightarrow S_c^z = 154,57 \text{ MVA}$$

A zárlati áram a hibahelyen:

$$I_z = \frac{S_c^z}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{154,572}{\sqrt{3} \cdot 35} = 2,55 \text{ kA}$$

## 2. Kidolgozott példa:

Számítsa ki az alábbi hálózat 3F zárlata esetén a hibahely zárlati áramát és zárlati teljesítményét!



Adatok:

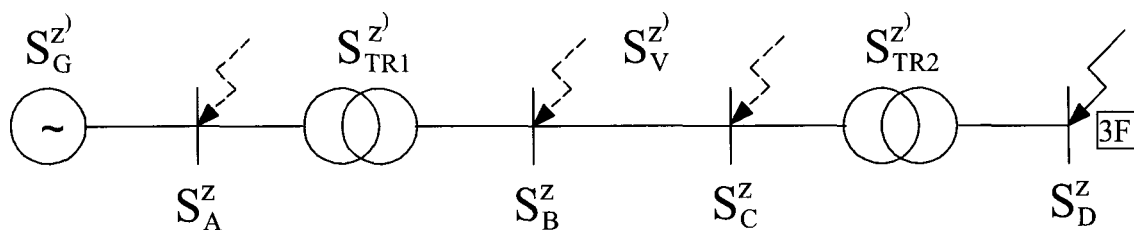
	G	TR <sub>1</sub>	TR <sub>2</sub>
U <sub>n</sub> [kV]	10	120/11	120/36,75
S <sub>n</sub> [MVA]	35	40	36
ε [%]	9	10,6	8,35

A szabadvezetékek adatai: l<sub>V</sub> = 50 km, x<sub>V</sub> = 0,4 Ω/km.

Az egyes hálózati elemek saját zárlati teljesítménye:

$$S_G^{z'} = \frac{100}{\varepsilon_G} \cdot S_G = \frac{100}{9} \cdot 35 = 388,9 \text{ MVA} \quad S_V^{z'} = \frac{U_n^2}{X_V} = \frac{120^2}{50 \cdot 0,4} = 720 \text{ MVA}$$

$$S_{TR1}^{z'} = \frac{100}{\varepsilon_{TR1}} \cdot S_{TR1} = \frac{100}{10,6} \cdot 40 = 377,4 \text{ MVA} \quad S_{TR2}^{z'} = \frac{100}{\varepsilon_{TR2}} \cdot S_{TR2} = \frac{100}{8,35} \cdot 36 = 431,1 \text{ MVA}$$



Az „A” gyűjtősín zárlati teljesítménye megegyezik a generátor saját zárlati teljesítményével:

$$S_A^z = S_G^{z'} = 388,9 \text{ MVA}$$

Az „B” gyűjtősín zárlati teljesítménye:

$$S_B^z = \frac{S_A^z \cdot S_{TR1}^{z'}}{S_A^z + S_{TR1}^{z'}} = \frac{388,9 \cdot 377,4}{388,9 + 377,4} = 191,5 \text{ MVA}$$

Az „C” gyűjtősín zárlati teljesítménye:

$$S_C^z = \frac{S_B^z \cdot S_V^{z'}}{S_B^z + S_V^{z'}} = \frac{191,5 \cdot 720}{191,5 + 720} = 151,3 \text{ MVA}$$

Az „D” gyűjtősín zárlati teljesítménye:

$$S_D^z = \frac{S_C^z \cdot S_{TR2}^{z'}}{S_C^z + S_{TR2}^{z'}} = \frac{151,3 \cdot 431,1}{151,3 + 431,1} = 112 \text{ MVA}.$$

Azaz az egyes gyűjtősínek zárlati teljesítményét a hálózati elemek saját zárlati teljesítményéből úgy számíthatjuk, mintha az admittanciák soros, vagy párhuzamos erdőjét számolnánk:

$$\frac{1}{S_D^z} = \frac{1}{S_G^z} + \frac{1}{S_{TR1}^z} + \frac{1}{S_V^z} + \frac{1}{S_{TR2}^z}$$

Tehát a hálózat saját zárlati teljesítménye a zárlat helyén:

$$\frac{1}{S_D^z} = \frac{1}{388,9} + \frac{1}{377,4} + \frac{1}{720} + \frac{1}{431,1} = 8,93 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{MVA}} \quad \text{amiből} \quad S_D^z = 112 \text{ MVA}.$$

A zárlati áram: 
$$I_z = \frac{S_D^z}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{112}{\sqrt{3} \cdot 35} = 1,85 \text{ kA}.$$
 Így a „D” gyűjtősín zárlati

árama: 
$$I_z = \frac{S_D^z}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{112}{\sqrt{3} \cdot 35} = 1,85 \text{ kA}.$$

A módszer alkalmas zárlatkorlátozó fojtótekercesz reaktanciájának meghatározására is.

### 3. Kidolgozott példa:

Számítsa ki a megadott hálózat esetén a zárlatkorlátozó fojtótekercesz reaktanciájának szükséges értékét, ha az M jelű megszakító zárlati megszakítóképessége 15 kA!

Adatok:

	G	TR	M.H.
$U_n[\text{kV}]$	10,5	35/10	35
$S_n[\text{MVA}]$	40	60	1500
$\varepsilon[\%]$	17	12	

Az egyes hálózati elemek saját zárlati teljesítménye:

$$S_G^z = \frac{100}{\varepsilon_G} \cdot S_G = \frac{100}{17} \cdot 40 = 235,3 \text{ MVA}$$

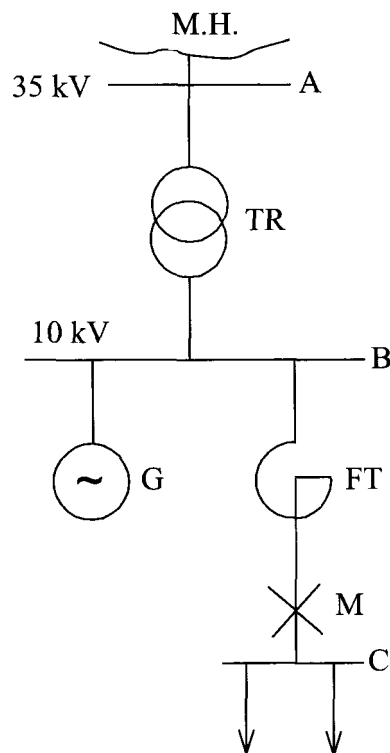
$$S_{TR}^z = \frac{100}{\varepsilon_{TR}} \cdot S_{TR} = \frac{100}{126} \cdot 60 = 500 \text{ MVA}$$

Az „A” jelű gyűjtősín zárlati teljesítménye a mögöttes hálózat zárlati teljesítménye:

$$S_A^z = S_{MH}^z = 1500 \text{ MVA}$$

Az „B” jelű gyűjtősín zárlati teljesítménye a két párhuzamosan kapcsolódó ág zárlati teljesítményeinek összege:

$$S_B^z = S_G^z + \frac{S_A^z \cdot S_{TR}^z}{S_A^z + S_{TR}^z} = 235,3 + \frac{1500 \cdot 500}{1500 + 500} = 235,3 + 375 = 610,3 \text{ MVA}$$

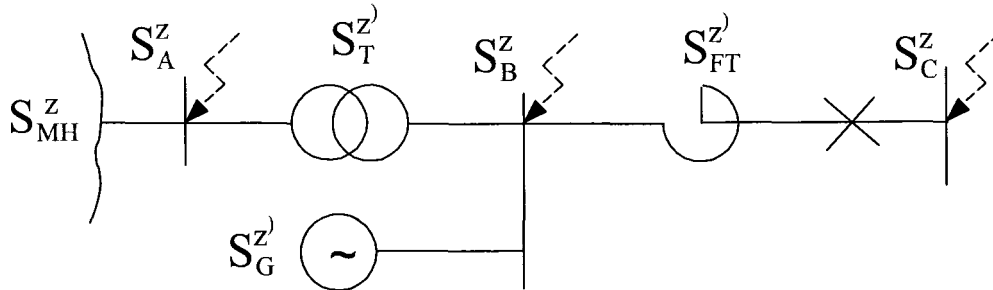


A „C” jelű gyűjtősín zárlati teljesítménye felírható a fentiek alapján az

$$\frac{1}{S_C^z} = \frac{1}{S_B^z} + \frac{1}{S_{FT}^{z'}}$$

összefüggéssel, illetve a megengedett maximális zárlati teljesítmény közvetlenül kiszámolható a megadott zárlati áram értékéből:

$$S_C^z = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 15 = 260 \text{ MVA.}$$



A zárlatkorlátozó fojtótekercs saját zárlati teljesítménye:

$$S_{FT}^{z'} = \frac{U^2}{X_{FT}}, \text{ amelyből } X_{FT} = \frac{U^2}{S_{FT}^{z'}}$$

A fenti (előző) összefüggésből:  $\frac{1}{S_{FT}^{z'}} = \frac{1}{S_C^z} - \frac{1}{S_B^z}$ , illetve az  $U^2$ -tel történő bővítés után a reaktancia

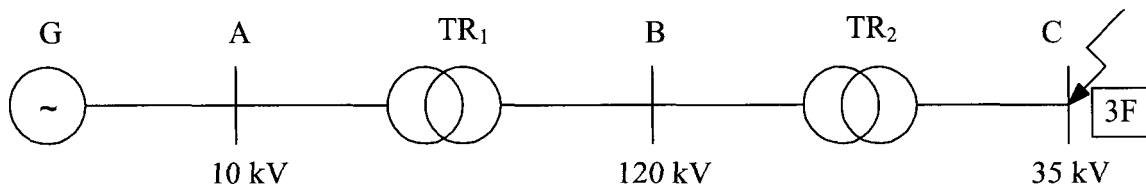
értékét kifejezve:

$$X_{FT} = \frac{U^2}{S_C^z} - \frac{U^2}{S_B^z}$$

$$\text{A behelyettesítés után: } X_{FT} = \frac{10^2}{260} - \frac{10^2}{610,3} = 0,385 - 0,164 = 0,221 \text{ } \Omega.$$

### Feladatok:

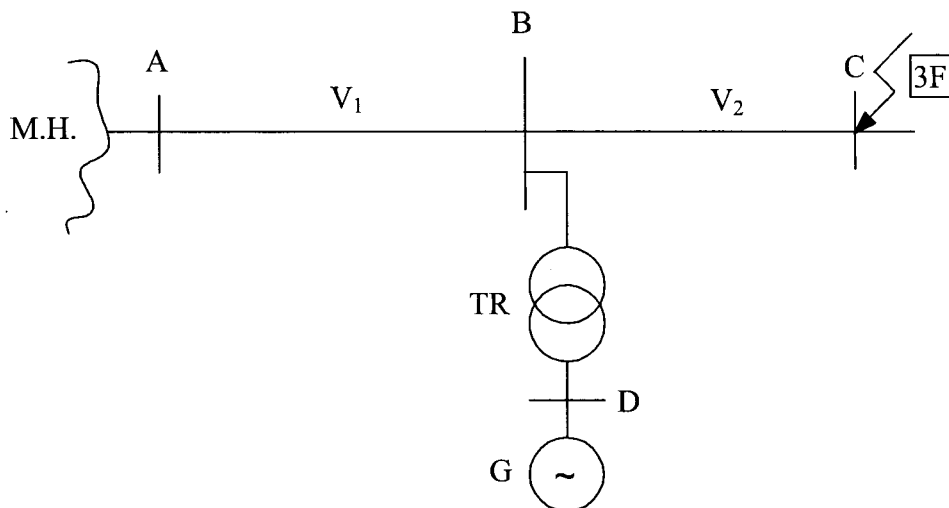
1. Számítsa ki az alábbi hálózat hibahelyi zárlati áramát és zárlati teljesítményét, ha a 3F zárlat a „C” jelű gyűjtősínen lépett fel!



Adatok:

	G	TR <sub>1</sub>	TR <sub>2</sub>
U <sub>n</sub> [kV]	10	120/11	120/36,75
S <sub>n</sub> [MVA]	35	40	36
ε [%]	18	10,6	8,35

2. Számítsa ki az alábbi hálózat hibahelyi zárlati áramát és zárlati teljesítményét, ha a 3F zárlat a „C” jelű gyűjtősínen lépett fel!

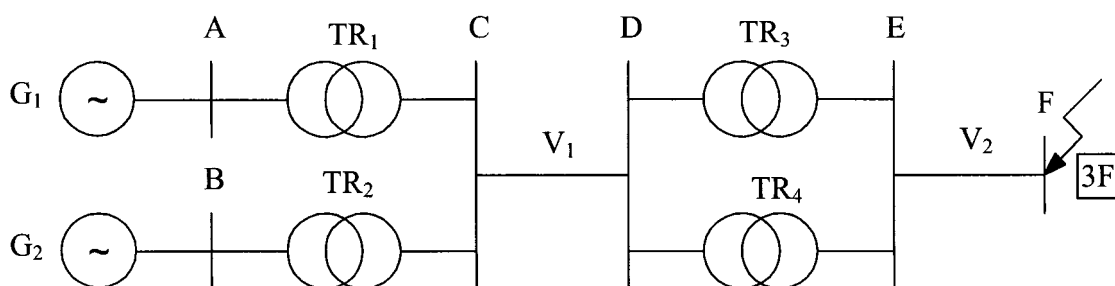


Adatok:

	G	TR	M.H.
$U_n$ [kV]	10,5	132/11	120
$S_n$ [MVA]	50	50	2000
$\varepsilon$ [%]	20	10	

A szabadvezetékek adatai:  $l_{V1} = 50$  km,  $l_{V2} = 20$  km;  $x_V = 0,4 \Omega/\text{km}$ .

3. Határozza meg az ábrán látható hálózat hibahelyi zárlati áramát és zárlati teljesítményét, ha az „F” jelű gyűjtősínen 3F zárlat lépett fel!

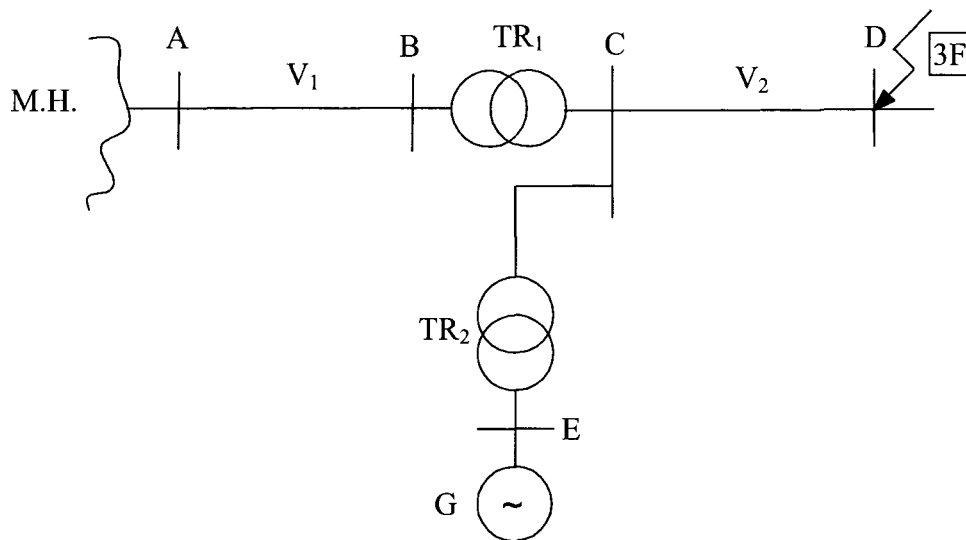


Adatok:

	$G_1$	$G_2$	$TR_1$	$TR_2$	$TR_3$	$TR_4$
$U_n$ [kV]	10,5	10,5	132/10,5	132/10,5	120/36,75	120/36,75
$S_n$ [MVA]	24	50	20	63	12,5	12,5
$\varepsilon$ [%]	18	15	12	9.6	7	7

A szabadvezetékek adatai:  $l_{V1} = 120$  km,  $l_{V2} = 35$  km;  $x_V = 0,4 \Omega/\text{km}$ .

4. Határozza meg az alábbi hálózat hibahelyi zárlati áramát és teljesítményét az S-módszerrel, ha a 3F zárlat a „D” jelű gyűjtősínen lépett fel!

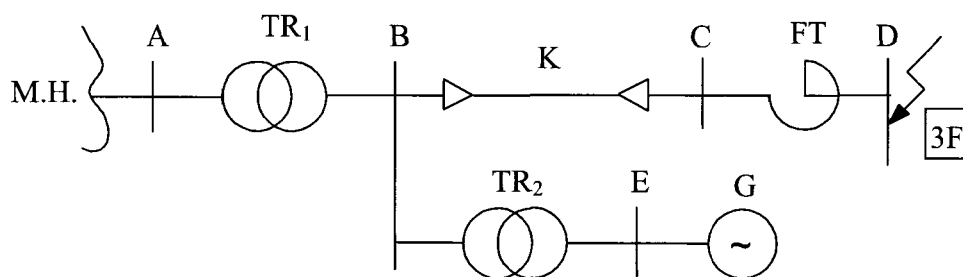


Adatok:

	G	TR <sub>1</sub>	TR <sub>2</sub>	M.H.
U <sub>n</sub> [kV]	10,5	400/120	132/11	400
S <sub>n</sub> [MVA]	40	80	40	2500
ε [%]	16	8	12,5	

A szabadvezetékek adatai:  $l_{V1} = 100$  km,  $l_{V2} = 20$  km;  $x_V = 0,4$  Ω/km.

5. Határozza meg az FT jelű zárlatkorlátozó fojtótekerecs reaktanciájának értékét, ha a „D” jelű gyűjtősínen fellépő 3F zárlat esetén a gyűjtősín zárlati árama 3,75 kA!

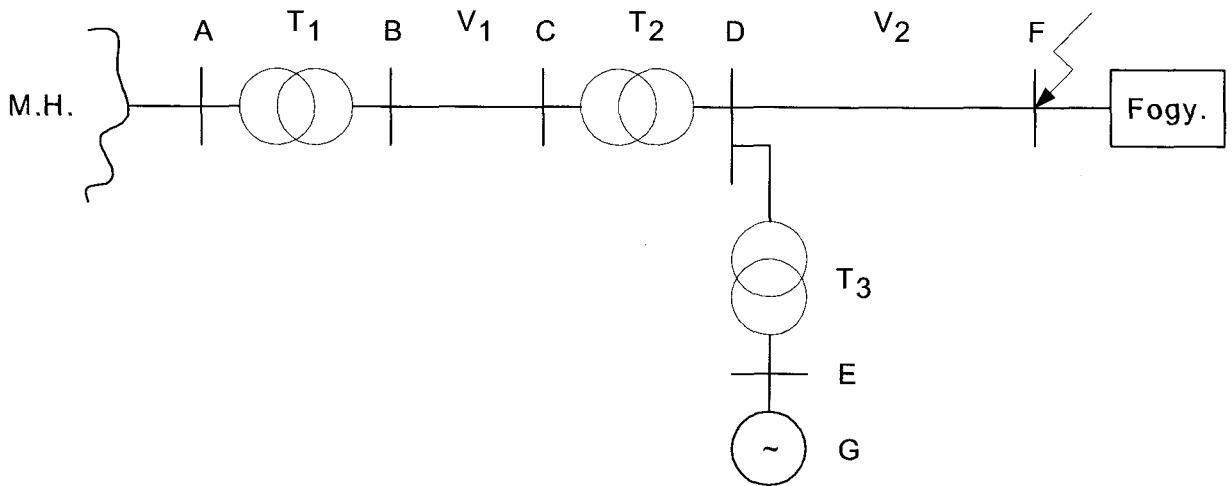


Adatok:

	G	TR <sub>1</sub>	TR <sub>2</sub>	M.H.
U <sub>n</sub> [kV]	6	120/11	11/6,3	120
S <sub>n</sub> [MVA]	15	40	20	4000
ε [%]	18	10	12	

A kábel jellemzői:  $l_K = 4$  km,  $x_K = 0,2$  Ω/km.

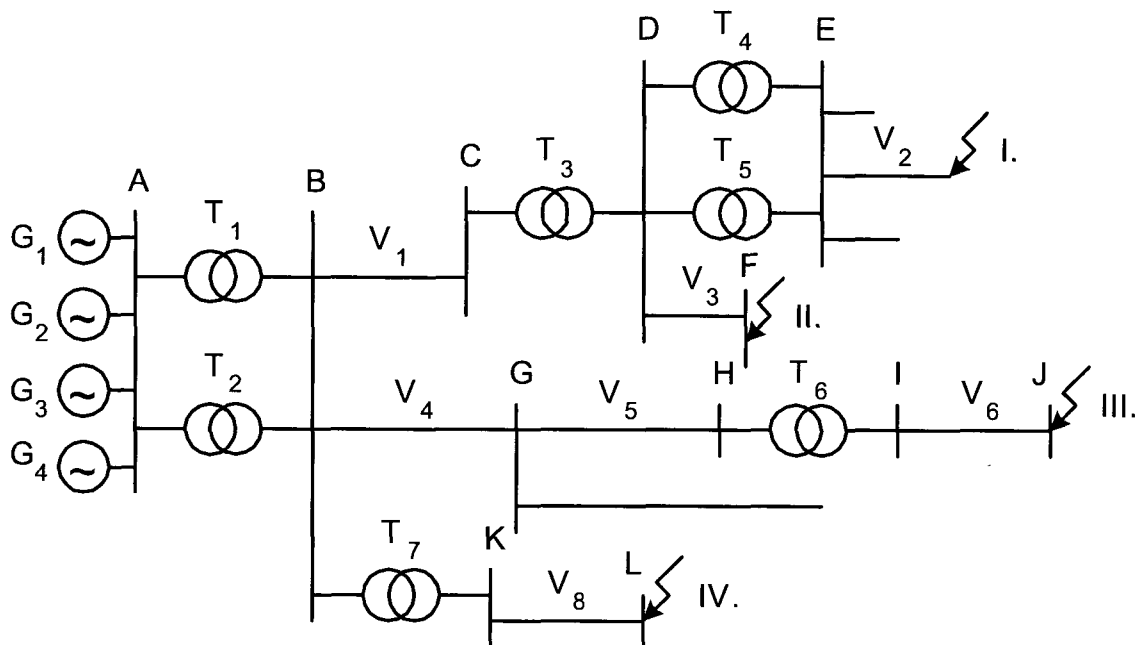
6. Számítsa ki az alábbi hálózat hibahelyi zárlati áramát és teljesítményét 3F-zárlat esetén!



Adatok:	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH:	220	2000	-
T <sub>1</sub> :	220/126	50	11,3
T <sub>2</sub> :	120/22	24	8,1
T <sub>3</sub> :	20/10,5	2,5	5
G:	10	3	12

$l_{V1}=60$  km     $l_{V2}=20$  km     $x_v=0,4$   $\Omega$ /km

7. Az alábbi hálózaton, a jelölt helyeken létrejövő háromfázisú zárlatok esetére számítsa ki a hibahelyi zárlati áramokat és zárlati teljesítményeket!



Adatok:	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
G <sub>1</sub>	10	50	9,6
G <sub>2</sub>	10	50	9,6
G <sub>3</sub>	10	50	9,6
G <sub>4</sub>	10	50	9,6
T <sub>1</sub>	10,5/132	20	8
T <sub>2</sub>	10,5/132	20	8
T <sub>3</sub>	120/22	25	10,2
T <sub>4</sub>	21/0,4	0,4	8,5
T <sub>5</sub>	21/0,4	0,4	8,5
T <sub>6</sub>	120/36,75	12,5	7
T <sub>7</sub>	120/6,3	25	8,4

$$l_{V1}=120 \text{ km} \quad l_{V2}=500 \text{ m} \quad l_{V3}=2 \text{ km} \quad l_{V4}=80 \text{ km} \quad l_{V5}=150 \text{ km}$$

$$l_{V6}=20 \text{ km} \quad l_{V7}=50 \text{ km} \quad l_{V8}=200 \text{ m} \quad x_V=0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$$

### Eredmények:

<b>1. feladat:</b>	$S_C = 100,8 \text{ MVA}$	$I_z^{3F} = 1,66 \text{ kA}$
<b>2. feladat:</b>	$S_C = 502 \text{ MVA}$	$I_z^{3F} = 2,42 \text{ kA}$
<b>3. feladat:</b>	$S_F = 34,1 \text{ MVA}$	$I_z^{3F} = 0,562 \text{ kA}$
<b>4. feladat:</b>	$S_D = 527,6 \text{ MVA}$	$I_z^{3F} = 2,54 \text{ kA}$
<b>5. feladat:</b>	$I_z^{3F} = 3,75 \text{ kA}$	$X_{FT} = 0,5 \text{ ohm}$
<b>6. feladat:</b>	$I_z^{3F} = 1,07 \text{ kA}$	$S_z = 37,17 \text{ MVA}$

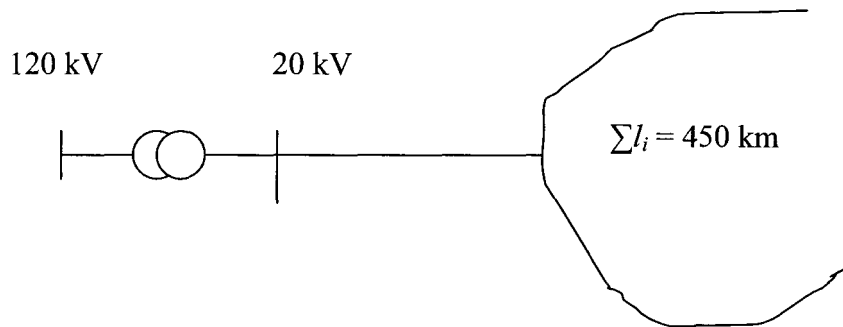
<b>7. feladat:</b>			
I. helyen:	II. helyen:	III. helyen:	IV. helyen:
$I_z^{3F} = 1,06 \text{ kA}$	$I_z^{3F} = 2,43 \text{ kA}$	$I_z^{3F} = 0,79 \text{ kA}$	$I_z^{3F} = 11,66 \text{ kA}$
$S_z = 0,73 \text{ MVA}$	$S_z = 84,08 \text{ MVA}$	$S_z = 47,62 \text{ MVA}$	$S_z = 127,3 \text{ MVA}$

### 3. ASZIMMETRIKUS HIBÁK SZÁMÍTÁSA

#### 3.1. Egyfázisú földzárlat közelítő számítása és kompenzálása

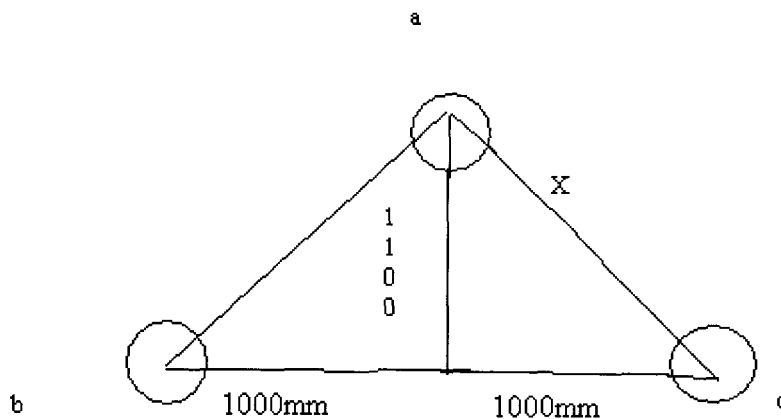
##### 1. Kidolgozott példa:

Egy 120/20kV-os transzformátor lát el egy középvezettségű szabadvezetékes elosztóhálózatot.



A szabadvezeték adatai: a vezeték anyaga: nemesített alumínium sodrony (AASC),  
A sodrony keresztmetszete:  $95 \text{ mm}^2$ ,  
külső átmérője:  $12,5 \text{ mm}$ .

A fejszerkezet az ábra szerinti egyenlő szárú háromszög elrendezésű, az alapél hossza  $2 \text{ m}$ , a magasság  $1,1 \text{ m}$ .



##### Kérdések:

1. Mekkora reaktancia szükséges a tökéletes kompenzáláshoz?
2. Mekkora a kompenzálás nélküli földzárlati áram?
3. Mekkora a Petersen tekercs szokásos árama?
4. Mekkora a Petersen tekercs gyakorlatban alkalmazott reaktancia értéke?
5. Mekkora a Petersen tekercs induktivitása, és meddő teljesítménye?
6. 10% túlkompenzáláskor mekkora a maradékáram meddő komponense?

### Megoldás:

Először a szabadvezeték hosszegységre eső kapacitív reaktanciáját kell kiszámítani.

$$x_C = 0,132 \lg \frac{GMD}{r} \text{ M}\Omega\text{km},$$

ahol a geometriai mértékű távolság:

$$GMD = \sqrt[3]{D_{ab} D_{ac} D_{bc}}.$$

A fázistávolságok rendre:

$$D_{bc} = 2000 \text{ mm} \quad D_{ab} = D_{ac} = \sqrt{1100^2 + 1000^2} = 1480 \text{ mm},$$

Így

$$GMD = \sqrt[3]{1480 * 1480 * 2000} = 1636 \text{ mm}.$$

Miután  $r = d/2 = 12,5/2 = 6,25 \text{ mm}$ , így az egy kilométerre jutó kapacitív reaktancia:

$$x_C = 0,132 \lg \frac{1636}{6,25} = 0,319 \text{ M}\Omega\text{km},$$

és a teljes elosztóhálózat kapacitív reaktanciája:

$$X_C = \frac{x_C}{l} = \frac{0,319}{450} = 711 \text{ }\Omega$$

### 1. kérdésre a válasz.

A tökéletes kompenzációhoz szükséges induktív reaktancia:

$$X_L = \frac{X_C}{3} = \frac{711}{3} = 237 \text{ }\Omega$$

### 2. kérdésre a válasz.

Az „b” ábra mutatja a földzárlatos állapotot és fazorábráját, amely alapján a földzárlati áram az ép hálózat („a” ábra) kapacitív töltőáramának háromszorosa:

$$I_C = 3I_{CR} = 3 \frac{U_R}{X_C} = 3 \frac{20000}{\sqrt{3} * 711} = 3 * 16,24 = 48,72 \text{ A}$$

### 3. kérdésre a válasz.

A gyakorlatban 10%-kal túlkompenzálunk, azaz a Petersen tekercs árama:

$$I_{LP} = 1,1I_C = 1,1 * 48,72 = 53,6 \text{ A}$$

### 4. kérdésre a válasz.

Ha 10%-kal nagyobb áramot akarunk, akkor a Petersen tekercs szükséges reaktanciája:

$$X_P = \frac{U}{\sqrt{3}I_{LP}} = \frac{20000}{\sqrt{3} * 53,6} = 215,45 \text{ }\Omega$$

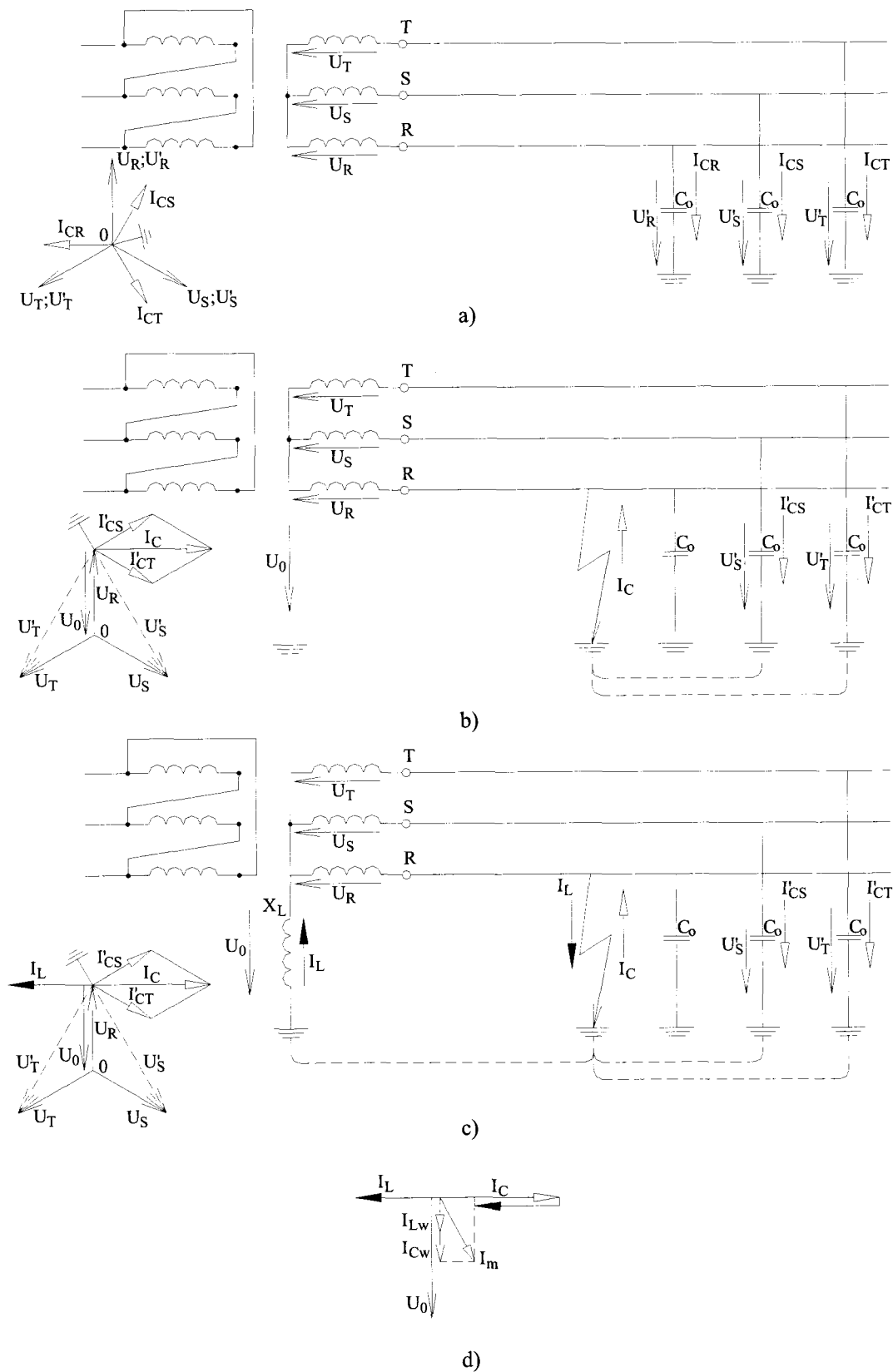
### 5. kérdésre a válasz. A tekercs induktivitása, illetve meddő teljesítménye:

$$L_P = \frac{X_P}{\omega} = \frac{215,45}{314} = 0,68 \text{ H}, \quad Q_P = I_{LP}^2 X_P = 53,6^2 * 215,45 = 618 * 10^3 \text{ var} = 618 \text{ kvar}$$

### 6. kérdésre a válasz.

A „d” ábra alulkompenzálást mutat, de most a maradékáram induktív:

$$I_m = I_C - I_{LP} = 48,72 - 53,6 = -4,88 \text{ A}$$

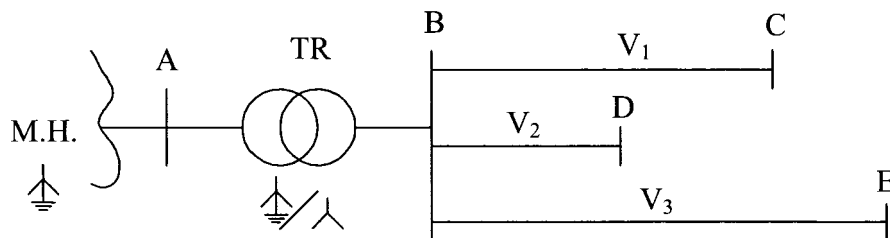


Egyfázisú földzárlat és kompenzálása

a) hibamentes üzemállapot; b) földzárlat; c) kompenzálás; d) kompenzálás maradékárama

## 2. Kidolgozott példa:

Mekkora az alábbi elrendezés esetén a szigetelt csillagpontú hálózat földzárlati árama? Határozzuk meg a szükséges ívöltő tekercs (Petersen tekercs) jellemzőit! Válasszuk ki a megfelelő tekercset a megadott tekercsek jellemzői alapján!



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	$\infty$	-
TR	120/20	40	10,8

A szabadvezetékek jellemzői:

$$l_{V1} = 110 \text{ km}, \quad l_{V2} = 40 \text{ km}, \quad l_{V3} = 80 \text{ km}, \quad x_V = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$$

a fázisonkénti fajlagos földkapacitás:  $C_0 = 5 \text{ nF/km}$ .

A szigetelt csillagpontú (kompenzálatlan) hálózat üresjárású kapacitív töltőáramának számításához a reaktanciák értékét kell meghatározni. A soros, induktív reaktanciák:

$$X_0^{TR} = \frac{\varepsilon \cdot U_g^2}{100 \cdot S_n} = \frac{10,8 \cdot 20^2}{100 \cdot 40} = 1,08 \text{ } \Omega$$

$$X_0^{V1} = 3 \cdot X_1^{V1} = 3 \cdot x_V \cdot l_{V1} = 3 \cdot 0,4 \cdot 110 = 132 \text{ } \Omega$$

$$X_0^{V2} = 3 \cdot X_1^{V2} = 3 \cdot x_V \cdot l_{V2} = 3 \cdot 0,4 \cdot 40 = 48 \text{ } \Omega$$

$$X_0^{V3} = 3 \cdot X_1^{V3} = 3 \cdot x_V \cdot l_{V3} = 3 \cdot 0,4 \cdot 80 = 96 \text{ } \Omega$$

A vezetékek zérus sorrendű kapacitív reaktanciája:

$$X_{C0}^{V1} = \frac{1}{\omega \cdot C_0 \cdot l_{V1}} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 110} = 5787,5 \text{ } \Omega$$

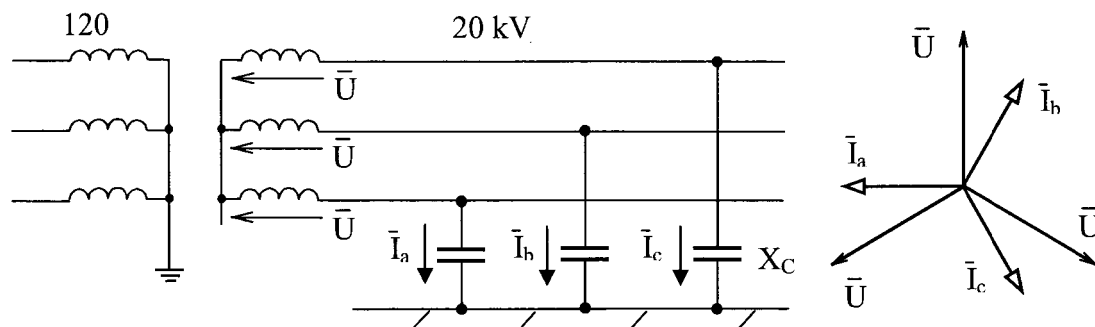
$$X_{C0}^{V2} = \frac{1}{\omega \cdot C_0 \cdot l_{V2}} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 60} = 10610 \text{ } \Omega$$

$$X_{C0}^{V3} = \frac{1}{\omega \cdot C_0 \cdot l_{V3}} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 80} = 7957,7 \text{ } \Omega$$

Ha szabadvezetékekre a  $\pi$ -tagos helyettesítő képet alkalmazzuk, akkor az eredő reaktancia értéke:

$$X_e^{V1} = \frac{-j2 \cdot X_{C0}^{V1} \cdot (jX_0^{V1} - j2 \cdot X_{C0}^{V1})}{-j2 \cdot X_{C0}^{V1} + jX_0^{V1} - j2 \cdot X_{C0}^{V1}} = \frac{-j11575 \cdot (-j11443)}{-j23018} = -j5754 \text{ } \Omega$$

lenne. Ez az  $X_{C0}^{VI}$  fentebb meghatározott értékétől még 1 %-kal sem tér el, ezért a közelítő számítások során mind az ellenállások, mind a transzformátor illetve a szabadvezetékek induktív reaktanciája elhanyagolhatók. Így a hálózat üresjárású kapacitív töltőárama az alábbi egyszerű elrendezés alapján számolható:



A hálózat egy fázisának eredő kapacitív reaktanciája:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot (C_0 \cdot l_{V1} + C_0 \cdot l_{V2} + C_0 \cdot l_{V3})} = \frac{1}{\omega \cdot C_0 \cdot \sum_i l_{Vi}} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 250} = 2546 \, \Omega$$

Az 'a' fázis üresjárású kapacitív töltőárama: 
$$\bar{I}_{ac} = \frac{\bar{U}_a}{-jX_C} = \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (-j2546)} = j4,53 \, \text{A}$$

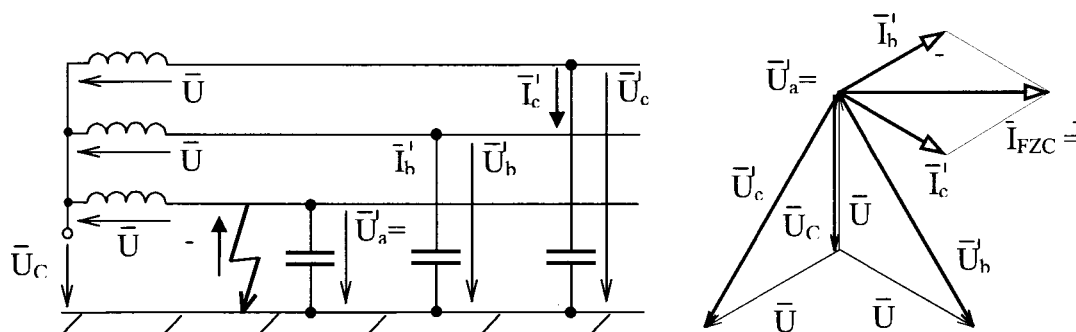
Mivel a rendszer szimmetrikus, ezek az áramok is szimmetrikus rendszert alkotnak (l. a fenti fázorábrát!).

Ha az 'a' fázisban földzárlet lép fel, akkor a szigetelt csillagpont potenciálja a földhöz képest  $\bar{U}_{CS} = -\bar{U}_a$ , így az ép fázisok kapacitásain a vonali feszültséggel megegyező ( $U_b', U_c'$ ) feszültség hoz létre áramot:

$$I_b' = \frac{U_b'}{X_C} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_b}{X_C} = \sqrt{3} \cdot I_b = \sqrt{3} \cdot 4,53 = 7,85 \, \text{A}$$

A hibahelyi zárlati áram a két áram fázishelyes összege (l. a fázorábrát!):

$$I_{FZ} = 2 \cdot I_b' \cdot \cos 30^\circ = 2 \cdot \sqrt{3} \cdot I_b \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 3 \cdot I_b = 3 \cdot 4,53 = 13,6 \, \text{A}.$$



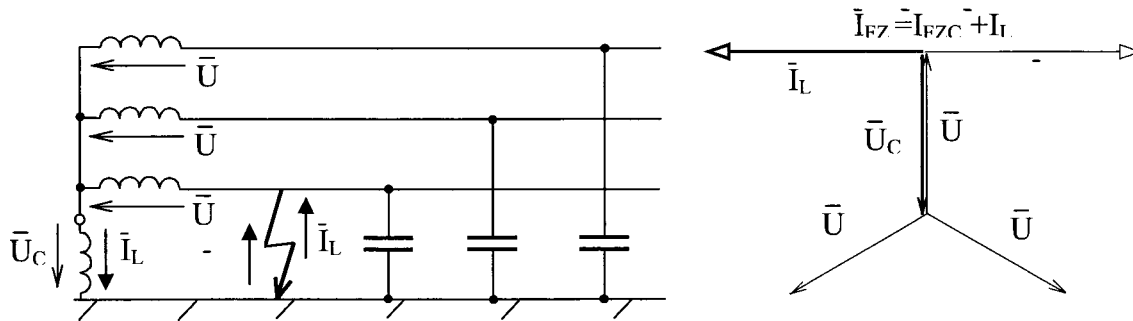
A tökéletes kompenzációhoz a transzformátor csillagpontja és a föld közé olyan reaktanciájú tekercset kell iktatni, hogy az  $\bar{I}_{FZ} + \bar{I}_L = 0$  feltétel teljesüljön. Mivel a tekercsen az  $U_{CS}$  feszültség hoz létre áramot, a két áram ellenfázisban lesz (l. a fázorábrát!). Tehát

$$I_{FZ} = I_L = 13,6 \, \text{A}.$$

Az ívöltő tekercs szükséges reaktanciája:  $X_{FT} = \frac{U_{CS}}{I_L} = \frac{U_b}{3 \cdot I_b} = \frac{X_C}{3} = \frac{2546}{3} = 848,7 \ \Omega.$

A vasmagos ívöltő tekercs induktivitása:  $L_{FT} = \frac{X_{FT}}{\omega} = \frac{848,7}{314} = 2,7 \ \text{H}.$

Az ívöltő tekercs teljesítménye:  $Q_{FT} = I_L^2 \cdot X_{FT} = 13,6^2 \cdot 848,7 \ \text{var} = 157 \ \text{kvar}$



A kiválasztásnál azt kell biztosítani, hogy a két áram (a földzárlati áram és a tekercs árama) eredője (az ún. maradékáram) 5 A-nál kisebb legyen, továbbá kapacitív jellegű maradjon. A kiválasztott tekercs névleges teljesítménye nem lehet kisebb a szükséges teljesítménynél.

A kereskedelmi forgalomban kapható – TRENCH AUSTRIA által előállított – ívöltő tekercsek jellemzőit táblázatban foglaltuk össze. A típusjelben szereplő számok jelentése: „névleges feszültség/névleges áram/névleges teljesítmény”.

Típusjel	EKD 20/20/250	EKD 20/65/800	EKD 20/134/1600
Névleges teljesítmény	254 kvar	826 kvar	1702 kvar
Névleges feszültség	22/ $\sqrt{3}$ kV	22/ $\sqrt{3}$ kV	22/ $\sqrt{3}$ kV
Legnagyobb feszültség	24 kV	24 kV	24 kV
Névleges áram	20 A	65 A	134 A
Szabályozási tartomány	10 – 20 A	6 – 65 A	13 – 134 A
Névleges frekvencia	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Feszültségmérő tekercs	100 V; 3 A	100 V; 3 A	100 V; 3 A
Áramváltó	20/5 A	75/5 A	150/5 A

A fentiek figyelembe vételével az EKD 20/20/250 típusjelű tekercset kell választani, és a legkisebb áramot (legnagyobb reaktanciát) kell beállítani. A maradékáram értéke ebben az esetben 3,6 A lesz, ami megfelelő.

### Feladatok:

1. Egy 20 kV-os elosztóhálózat fázis-föld kapacitás áramának mérésekor 6 A-t mértünk. Mekkora a fázis-föld kapacitás reaktanciája? Teljes kompenzációhoz mekkora kell, hogy legyen a kompenzáló tekercs reaktanciája, illetve induktivitása?

2. Egy kiterjedt 20 kV-os szabadvezeték hálózat fázis-föld kapacitását  $4,55 \mu\text{F}$ -nak mértük. Mekkora a fázis-föld kapacitás reaktanciája? Mekkora legyen a Petersen tekercs reaktanciája a tökéletes kompenzációhoz? Mekkora lesz a tekercs árama kompenzációkor?

3. Az 1. kidolgozott példa ábrájának megfelelően egy 20 kV-os táppontból látunk el egy szabadvezeték hálózatot, amelynek adatai a következők:

A vezeték anyaga: nemesített alumínium sodrony (AASC),  
A sodrony keresztmetszete:  $70 \text{ mm}^2$ ,  
külső átmérője:  $10,5 \text{ mm}$ .

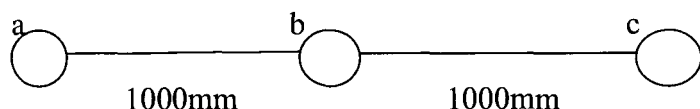
A fejszerkezet az 1. kidolgozott példa ábrája szerinti egyenlő szárú háromszög elrendezésű, az alapél hossza  $2 \cdot 850 \text{ mm}$ , a magasság  $1150 \text{ mm}$ .

A szabadvezeték hálózat összes hossza  $200 \text{ km}$ .

Mekkora a hálózat fázis-föld kapacitásának reaktanciája? Mekkora a kompenzáció nélküli földzárlati áram? 10% túlkompenzációkor mekkora a Petersen tekercs reaktancia értéke?

4. Az 1. kidolgozott példa ábrájának megfelelően egy 20 kV-os táppontból látunk el egy szabadvezeték hálózatot, amelynek adatai a következők:

A vezeték anyaga: nemesített alumínium sodrony (AASC),  
A sodrony keresztmetszete:  $120 \text{ mm}^2$ ,  
külső átmérője:  $14 \text{ mm}$ .



A fejszerkezet az ábra szerinti egysíkú a  $2 \cdot 1000 \text{ mm}$ , illetve  $2000 \text{ mm}$  fázistávolságokkal.

A szabadvezeték hálózat összes hossza  $300 \text{ km}$ .

Mekkora a hálózat fázis-föld kapacitásának reaktanciája? Mekkora a kompenzáció nélküli földzárlati áram? 10% túlkompenzációkor mekkora a Petersen tekercs reaktancia értéke? Mekkora a Petersen tekercs induktivitása?

5. Az 1. kidolgozott példa ábrájának megfelelően egy 20 kV-os táppontból látunk el egy szabadvezeték hálózatot, amelynek adatai a következők:

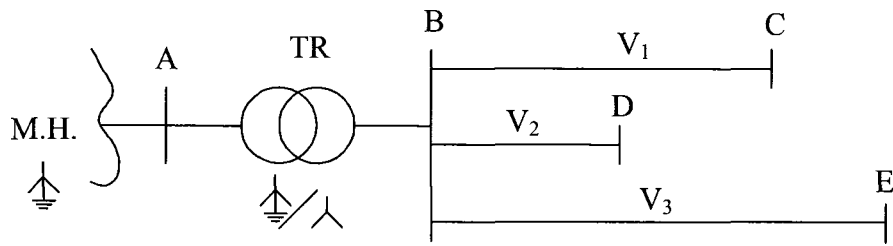
A vezeték anyaga: nemesített alumínium sodrony (AASC),  
A sodrony keresztmetszete:  $50 \text{ mm}^2$ ,  
külső átmérője:  $9 \text{ mm}$ .

A fejszerkezet a kidolgozott példa ábrája szerinti egyenlő szárú háromszög elrendezésű, az alapél hossza  $2 \cdot 600 \text{ mm}$ , a magasság  $1300 \text{ mm}$ .

A szabadvezeték hálózat összes hossza  $250 \text{ km}$ .

Mekkora a hálózat fázis-föld kapacitásának reaktanciája? Mekkora a kompenzáció nélküli földzárlati áram? 10% túlkompenzációkor mekkora a Petersen tekercs reaktancia értéke? Mekkora a kompenzáló tekercs árama?

6. Mekkora az alábbi elrendezés esetén a szigetelt csillagpontú hálózat földzárlati árama? Határozza meg az ívoltó tekercs kompenzáláshoz szükséges jellemzőit! Válassza ki a megfelelő tekercset a megadott tekercsjellemzők alapján!



Adatok:

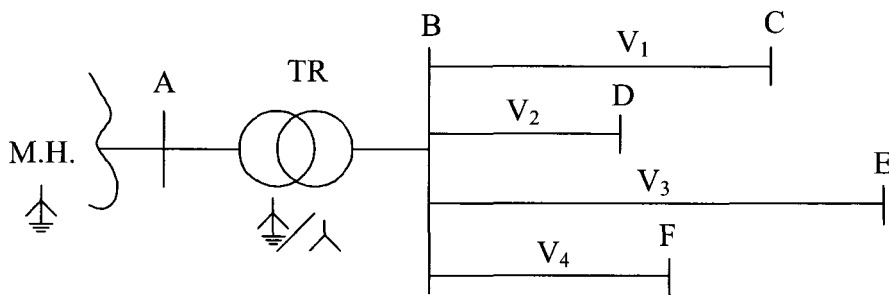
	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	$\infty$	-
TR	132/22	60	12,4

A szabadvezetékek jellemzői:

$l_{V1} = 120$  km,  $l_{V2} = 80$  km  
 $l_{V3} = 140$  km,

a fázisonkénti fajlagos földkapacitás:  $C_0 = 5$  nF/km.

7. Mekkora az alábbi elrendezés esetén a szigetelt csillagpontú hálózat földzárlati árama? Határozza meg az ívoltó tekercs kompenzáláshoz szükséges jellemzőit! Válassza ki a megfelelő tekercset a megadott tekercsek jellemzői alapján!



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	$\infty$	-
TR	120/20	100	9,2

A szabadvezetékek jellemzői:

$l_{V1} = 120$  km,  $l_{V2} = 80$  km  
 $l_{V3} = 140$  km,  $l_{V4} = 100$  km

a fázisonkénti fajlagos földkapacitás:  $C_0 = 5$  nF/km.

**Eredmények:**

1. feladat $X_C = 1925 \Omega$ $X_L = 641,5 \Omega$ $L = 2,04 \text{ H}$	2. feladat $X_C = 700 \Omega$ $X_L = 233,33 \Omega$ $I_L = 49,5 \text{ A}$	3. feladat $X_C = 1625 \Omega$ $I_C = 21,3 \text{ A}$ $X_P = 492,4 \Omega$
4. feladat $X_C = 990 \Omega$ $I_C = 34,98 \text{ A}$ $X_P = 492,4 \Omega$ $L_P = 1,57 \text{ H}$	5. feladat $X_C = 1304 \Omega$ $I_C = 34,98 \text{ A}$ $X_P = 395,1 \Omega$ $I_{LP} = 29,2 \text{ A}$	6. feladat $X_C = 1872 \Omega$ $I_{FZ} = 18,5 \text{ A}$ $X_{FT} = 624 \Omega$ $Q_{FT} = 213,6 \text{ kvar}$ Típusjele: EKD 20/20/250
7. Feladat $X_C = 1447 \Omega$ $I_{FZ} = 23,9 \text{ A}$ $X_{FT} = 482 \Omega$ $Q_{FT} = 276,5 \text{ kvar}$ Típusjele: EKD 20/65/800		

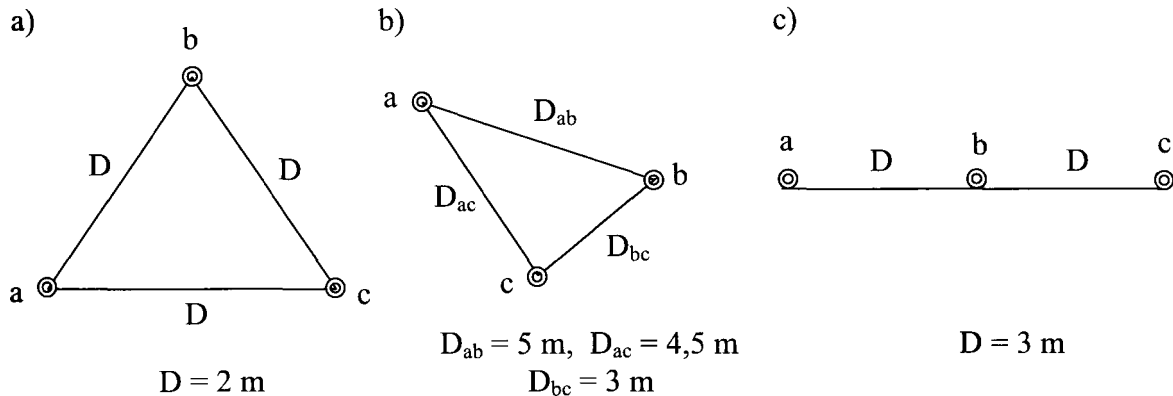
### 3.3. A hálózati elemek különböző sorrendű impedanciái

#### 3.3.3.1. Szabadvezeték (pozitív, negatív) zérus sorrendű impedanciái

A szabadvezetékek pozitív és negatív sorrendű reaktanciája megegyezik ( $x_1 = x_2$ ), míg a zérus sorrendű ( $x_0$ ) lényegesen nagyobb ezeknél. A számítások során tehát a pozitív és a zérus sorrendű reaktanciákat elegendő meghatározni.

#### Kidolgozott példa:

Határozzuk meg az  $r = 1$  cm sugarú *tömör* vezetők~~ből~~ álló rendszer *negatív* sorrendű és zérus sorrendű induktív reaktanciáját az alábbi elrendezésekben!



**Megjegyzés:** Sodrott vezeték~~ek~~ (sodronyok) esetén a számítások során használt GMR értéket  $a$  adott sodronyokra meghatározzák, amelyek táblázatokban megtalálhatók. Mi itt a *tömör* vezetők~~re~~ alkalmazható képlettel számoltunk, mint jó közelítéssel!

#### Megoldás:

A fázisonkénti negatív sorrendű reaktancia az egyes esetekben az

$$x_2 = 0,145 \cdot \lg \frac{GMD}{GMR} \quad \text{— a pozitív szerinti — összefüggés alapján:}$$

a)  $GMR = r \cdot e^{-\frac{1}{4}} = 1 \cdot e^{-\frac{1}{4}} = 0,7788$  cm illetve  $GMD = D = 2$  m.

$$x_2 = 0,145 \cdot \lg \frac{GMD}{GMR} = 0,145 \cdot \lg \frac{200}{0,7788} = 0,349 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

b)  $GMD = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{ac} \cdot D_{bc}} = \sqrt[3]{3 \cdot 5 \cdot 4,5} = 4,07$  m.

$$x_2 = 0,145 \cdot \lg \frac{GMD}{GMR} = 0,145 \cdot \lg \frac{407}{0,7788} = 0,394 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

c)  $GMD = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = \sqrt[3]{3 \cdot 3 \cdot 6} = 3,78$  m

$$x_2 = 0,145 \cdot \lg \frac{GMD}{GMR} = 0,145 \cdot \lg \frac{378}{0,7788} = 0,389 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

Szabványos réz-, aludur és acélalumínium huzalok és sodronyok jellemzői:

Névleges keresztmetszet mm <sup>2</sup>	réz, aludur, alumínium*	acélbél*	Külső átmérő, mm	GMR, mm
6	1x2,8	-	2,8	1,09
10	1x3,55	-	3,55	1,38
10	7x1,35	-	4,1	1,49
16	1x4,5	-	4,5	1,75
16	7x1,7	-	5,1	1,85
25	7x2,1	-	6,3	2,29
35	7x2,5	-	7,5	2,72
50	7x3,0	-	9,0	3,27
70	19x2,1	-	10,5	3,98
70/10	28x1,75	4x1,8	11,6	4,80
80/15	28x1,9	4x2,1	12,7	5,27
95	19x2,5	-	12,5	4,74
95/15	26x2,15	4x2,2	14,0	5,76
110/20	26x2,35	7x1,9	15,1	6,22
120	19x2,8	-	14,0	5,30
120/20	26x2,45	7x2,0	15,8	6,50
150	37x2,25	-	15,8	6,06
150/25	26x2,75	7x2,2	17,6	7,22
185	37x2,5	-	17,5	6,72
185/60	36x2,55	12x2,55	20,8	8,85
200/35	26x3,1	7x2,5	19,9	8,15
240	37x2,85	-	20,0	7,68
250/40	26x3,5	7x2,8	22,4	9,18
300	61x2,5	-	22,5	8,70
300/50	26x3,8	7x3,0	24,2	9,92
400	61x2,85	-	23,8	9,18

\* Az első szám a huzalok száma, a második a huzalok átmérője mm-ben.

A fázisonkénti reaktancia értékét – ciklikus fázis-cserét feltételezve – az

$$x_0 = 0,435 \cdot \lg \frac{D_f}{GMR_{cs}}$$

összefüggés alapján számolhatjuk, ahol:

$D_f$ : a fázisvezető és a földvisszavezetést biztosító (fiktív) vezető távolsága;

$GMR_{cs}$ : a három fázisvezetőből képzett csoport redukált sugara.

A fázisvezető és a földvisszavezetést helyettesítő fiktív vezető távolsága

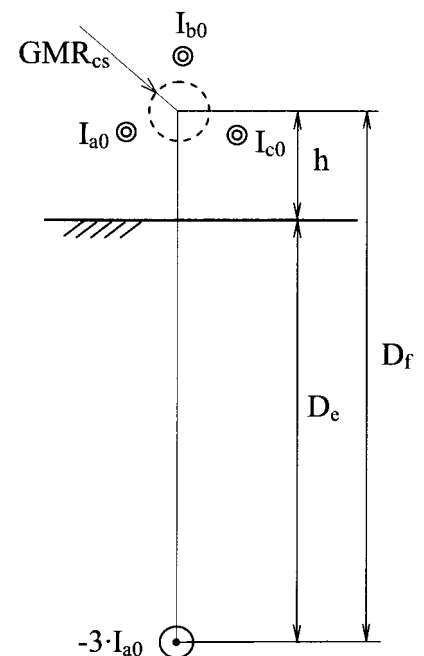
$D_f = h + D_e$ , amelyben  $D_e$  értéke a

$$D_e = 6,59 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{f}} \cdot 10^4 \text{ [cm]}$$

összefüggés alapján számolható, ahol

$\rho$ : a föld fajlagos ellenállása [ $\Omega\text{m}$ ];

$f$ : a hálózati frekvencia [Hz]



A leggyakrabban előforduló  $\rho = 100 \Omega\text{m}$  értéknél:

$$D_e = 6,59 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{f}} \cdot 10^4 = 6,59 \cdot \sqrt{\frac{100}{50}} \cdot 10^4 = 6,59 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^4 = 9,3 \cdot 10^4 \text{ cm} = 932 \text{ m}.$$

Ehhez a távolsághoz képest a szabadvezetéknek a földtől mért távolsága (h) elhanyagolható, mivel lényegesen kisebb (néhányszor 10 m), tehát  $D_f \approx D_e$  közelítéssel számolhatunk.

A három fázisvezetéből képzett csoport redukált sugara:

$$GMR_{cs} = \sqrt[3]{GMR_a \cdot GMR_b \cdot GMR_c \cdot D_{ab}^2 \cdot D_{ac}^2 \cdot D_{bc}^2} = \sqrt[3]{GMR \cdot D^2}.$$

A korábban elvégzett számítások alapján:

$$GMR = r \cdot e^{\frac{1}{4}} = 1 \cdot e^{\frac{1}{4}} = 0,7788 \text{ cm} \quad \text{illetve} \quad D = 2 \text{ m}.$$

Így a redukált sugár az a) esetben:

$$GMR_{cs} = \sqrt[3]{GMR \cdot D^2} = \sqrt[3]{7,788 \cdot 10^{-3} \cdot 2^2} = 0,1 \cdot \sqrt[3]{7,778 \cdot 4} = 0,315 \text{ m}$$

A zérus sorrendű reaktancia:

$$x_0 = 0,435 \cdot \lg \frac{D_e}{GMR_{cs}} = 0,435 \cdot \lg \frac{932}{0,315} = 0,435 \cdot 3,47 = 1,51 \frac{\Omega}{\text{km}}.$$

A redukált sugár a b) esetben:

$$GMR_{cs} = \sqrt[3]{GMR} \cdot \sqrt[9]{D_{ab}^2 \cdot D_{ac}^2 \cdot D_{bc}^2} = \sqrt[3]{7,788 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt[9]{5^2 \cdot 4,5^2 \cdot 3^2} = 0,198 \cdot 2,55 = 0,505 \text{ m}$$

A zérus sorrendű reaktancia:

$$x_0 = 0,435 \cdot \lg \frac{D_e}{GMR_{cs}} = 0,435 \cdot \lg \frac{932}{0,505} = 0,435 \cdot 3,265 = 1,42 \frac{\Omega}{\text{km}}.$$

A redukált sugár a c) esetben:

$$GMR_{cs} = \sqrt[3]{GMR} \cdot \sqrt[9]{D_{ab}^2 \cdot D_{ac}^2 \cdot D_{bc}^2} = \sqrt[3]{7,788 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt[9]{3^2 \cdot 6^2 \cdot 3^2} = 0,198 \cdot 2,43 = 0,48 \text{ m}$$

A zérus sorrendű reaktancia:

$$x_0 = 0,435 \cdot \lg \frac{D_e}{GMR_{cs}} = 0,435 \cdot \lg \frac{932}{0,48} = 0,435 \cdot 3,288 = 1,43 \frac{\Omega}{\text{km}}.$$

A kapott eredményeket összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a zérus sorrendű impedancia értéke legalább háromszorosa a negatív, illetve a vele egyenlő pozitív sorrendű impedanciának.

Feladatok:

1. Számítsa ki a BAJA-S típusú 120 kV-os tartóoszlopon elhelyezett 250/40 mm<sup>2</sup>-es ACAL szabadvezeték negatív sorrendű és zérus sorrendű soros reaktanciáját! (A GMR értéke a táblázatban megtalálható.)

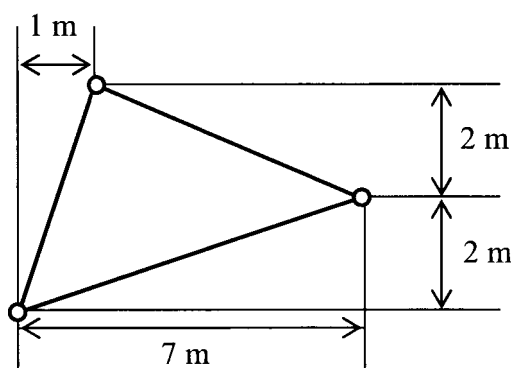
Az oszlop fejszerkezetéből adódóan a vezeték háromszög elrendezésű, a fázistávolságok:

$$D_{ab} = 9070 \text{ mm}$$

$$D_{bc} = 7500 \text{ mm}$$

$$D_{ac} = 5100 \text{ mm}$$

2. Adja meg BOGLÁR típusú 120 kV-os tartóoszlopon elhelyezett 150/25 mm<sup>2</sup>-es vezeték negatív és zérus sorrendű induktív reaktanciáját! (A GMR értéke a közölt táblázatban megtalálható.) Az oszlop fejszerkezetének méretei:



3. Számítsa ki a szabadvezeték negatív és zérus sorrendű induktív reaktanciáját, ha a fázistávolságok:

$$D_{ab} = 10700 \text{ mm}$$

$$D_{bc} = 6600 \text{ mm}$$

$$D_{ac} = 12570 \text{ mm}$$

A szabadvezeték A = 300 mm<sup>2</sup> keresztmetszetű ACAL vezeték alkotja.

**Eredmények:**

<b>1. feladat:</b> $x_2 = 0,418 \text{ } \Omega/\text{km}$ $x_0 = 1,34 \text{ } \Omega/\text{km}$	<b>2. feladat:</b> $x_2 = 0,421 \text{ } \Omega/\text{km}$ $x_0 = 1,38 \text{ } \Omega/\text{km}$	<b>3. feladat:</b> $x_2 = 0,441 \text{ } \Omega/\text{km}$ $x_0 = 1,305 \text{ } \Omega/\text{km}$
--	--	---

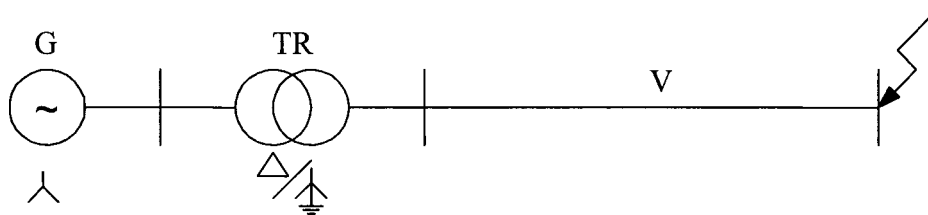
### 3.4. A hálózati elemek különböző sorrendű impedanciái

#### 3.4.1. A hálózat pozitív, negatív és zérus sorrendű helyettesítő vázlatjai

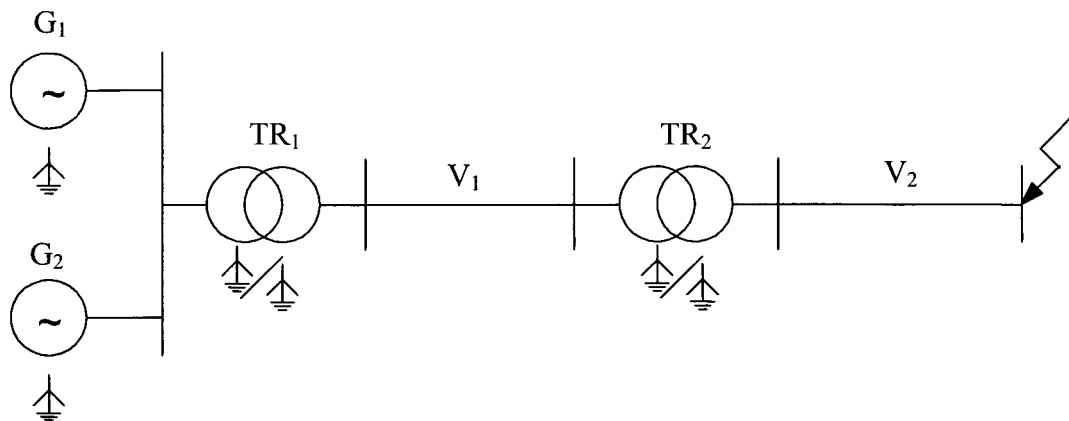
##### Feladatok:

Rajzolja meg az alábbi hálózatok sorrendi helyettesítő vázlatait!

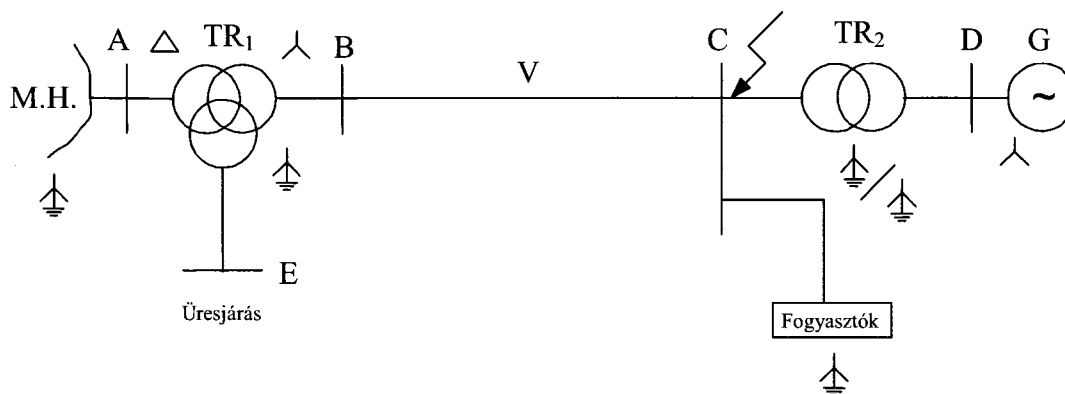
##### 1. feladat:



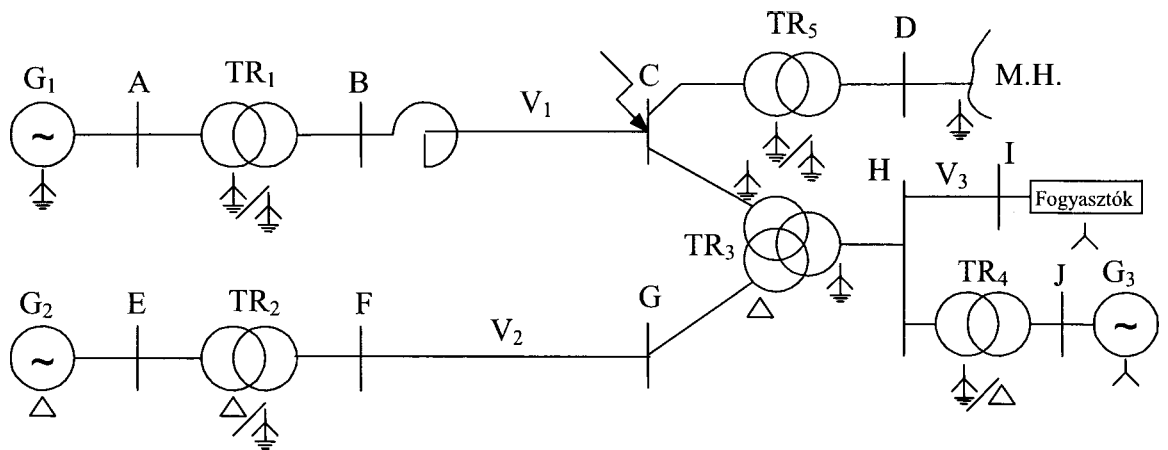
##### 2. feladat:



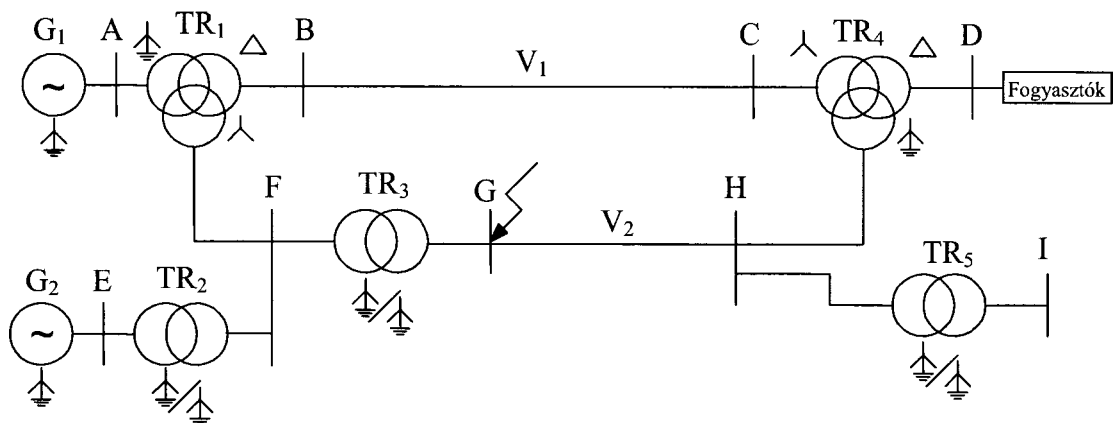
##### 3. feladat:



4. feladat:

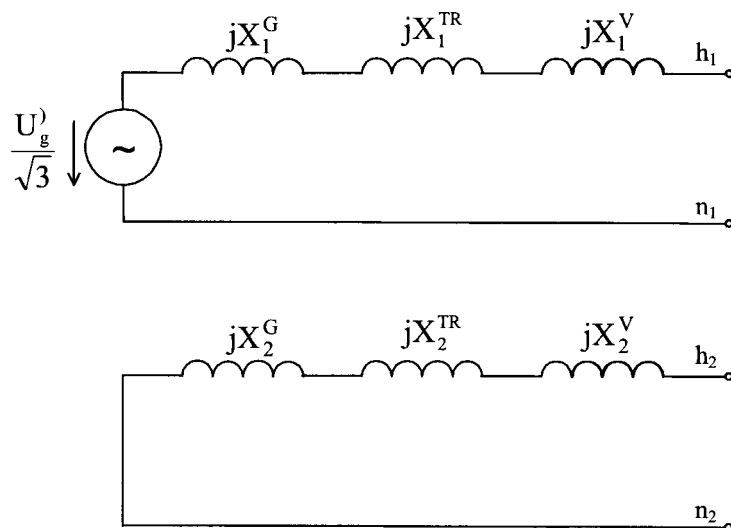


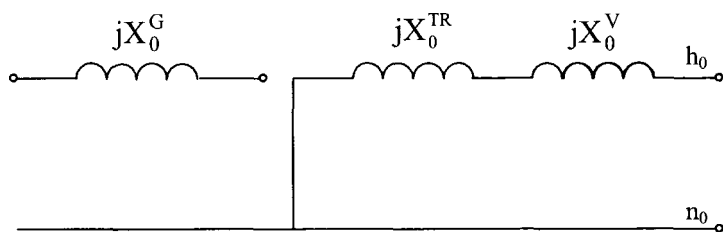
5. feladat:



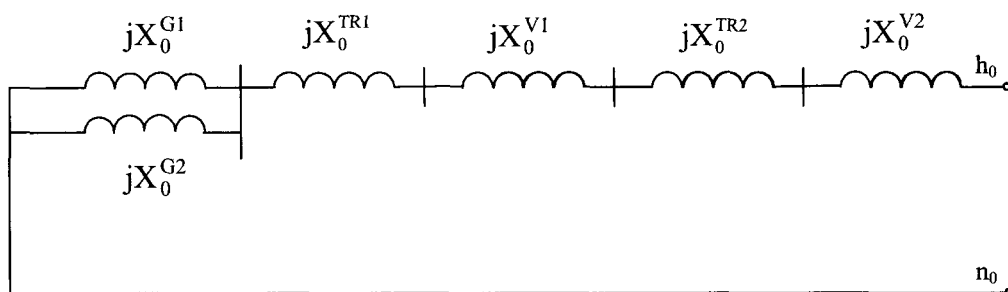
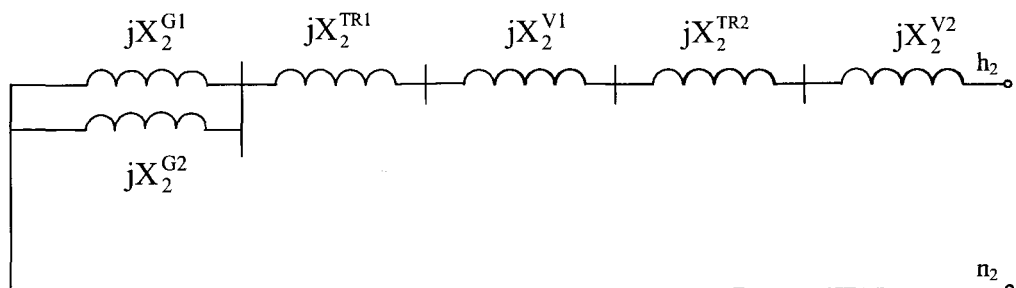
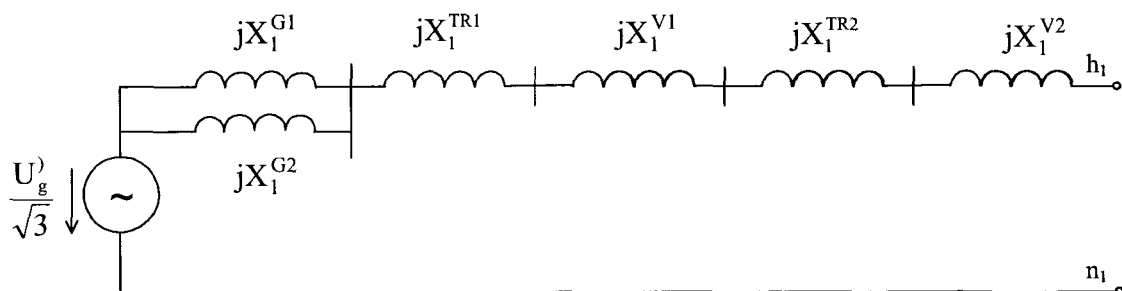
A helyettesítő vázlatok:

1. feladat:

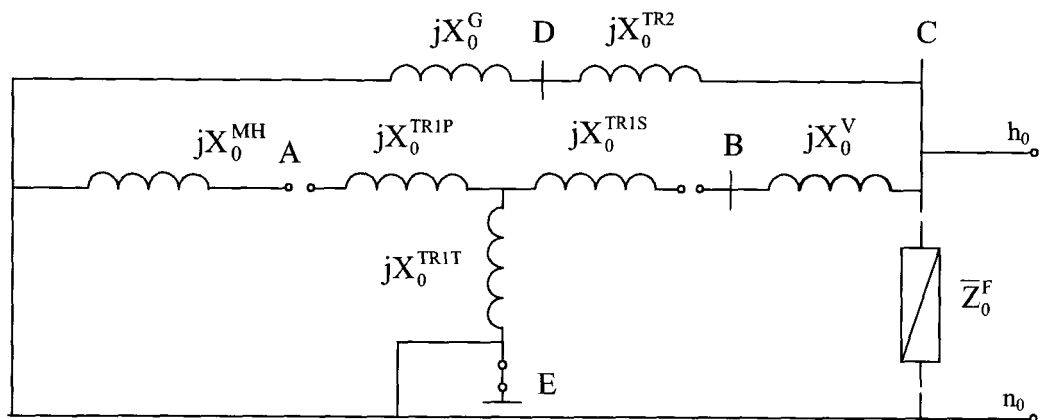
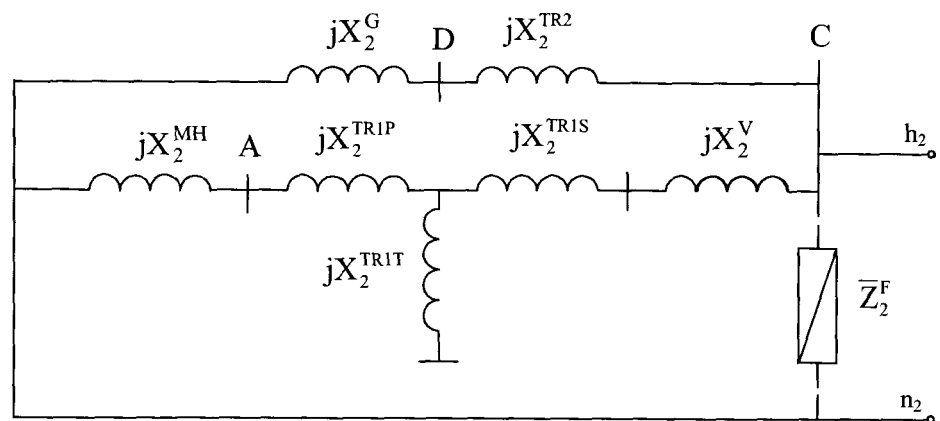
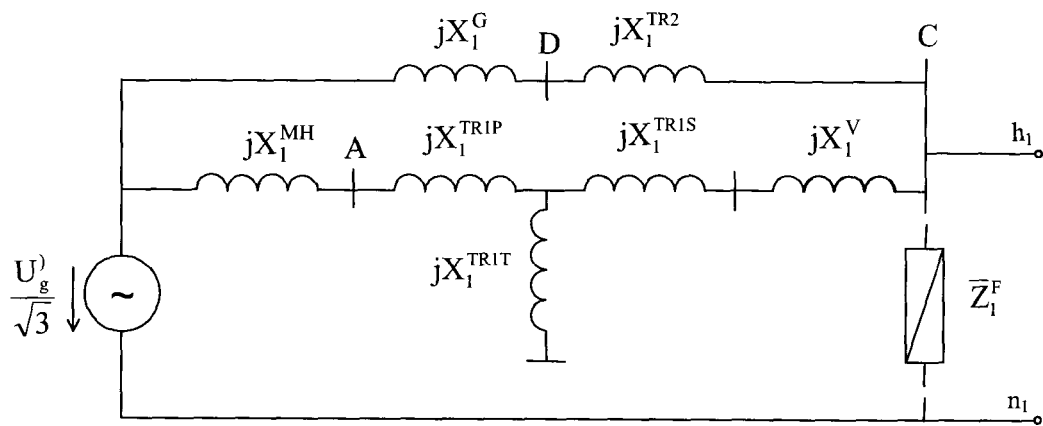




2. feladat:



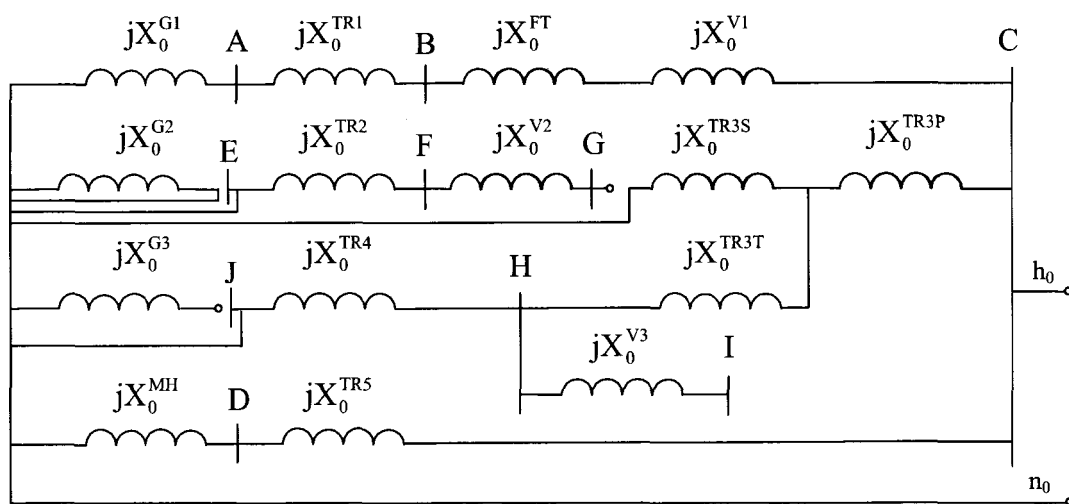
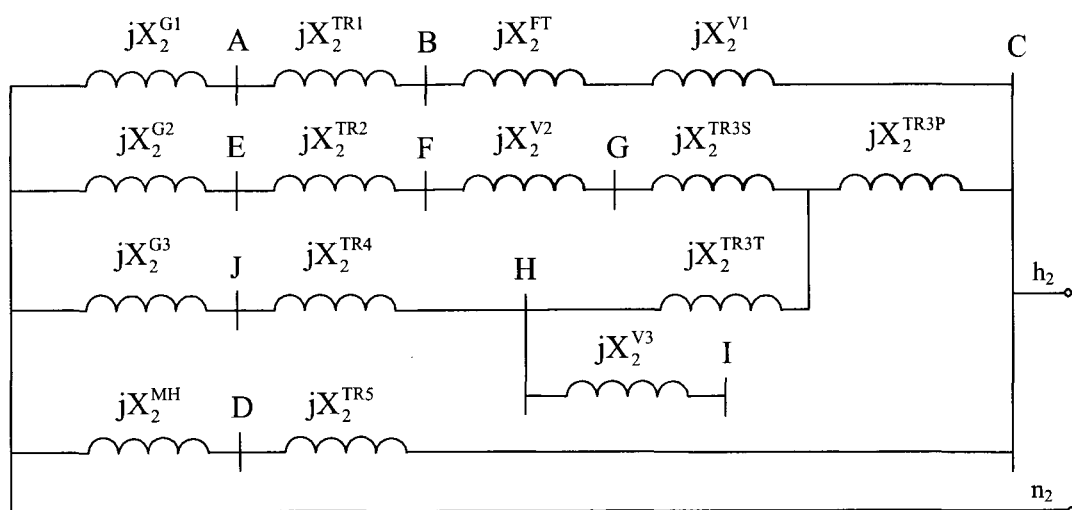
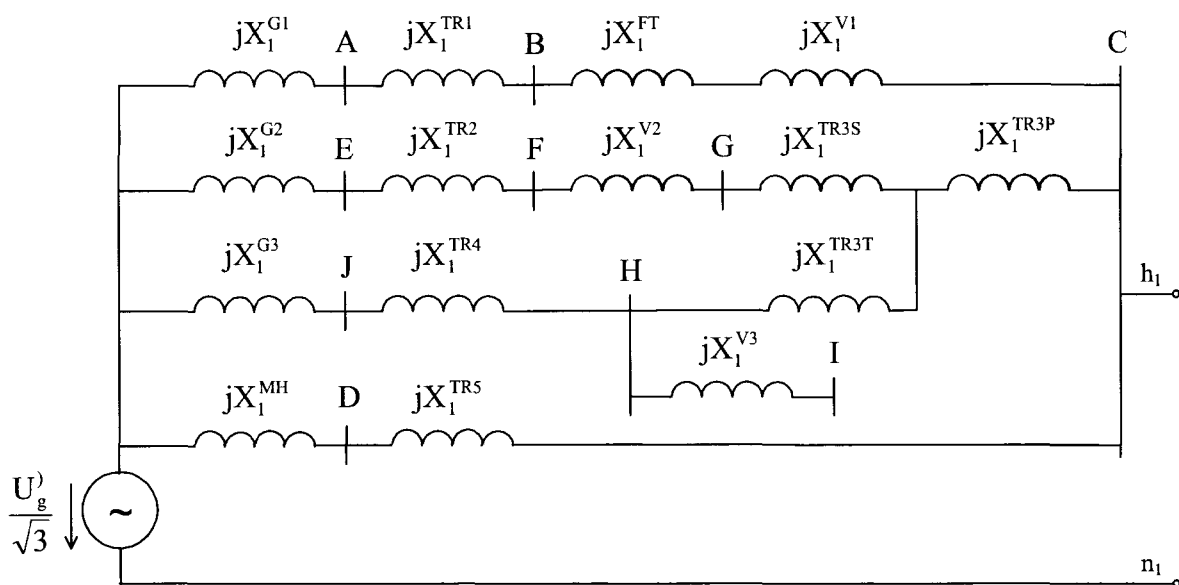
3. feladat:



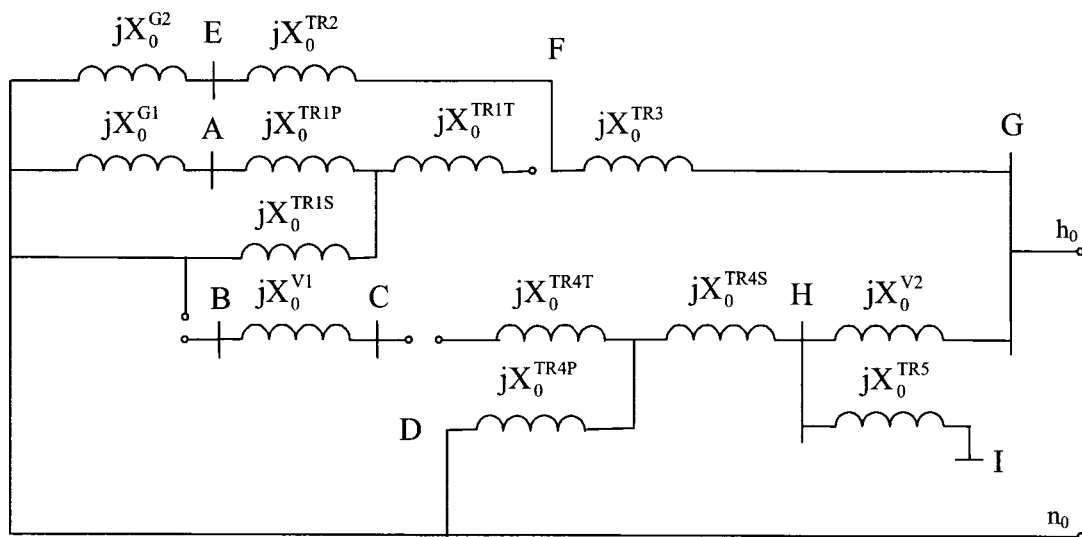
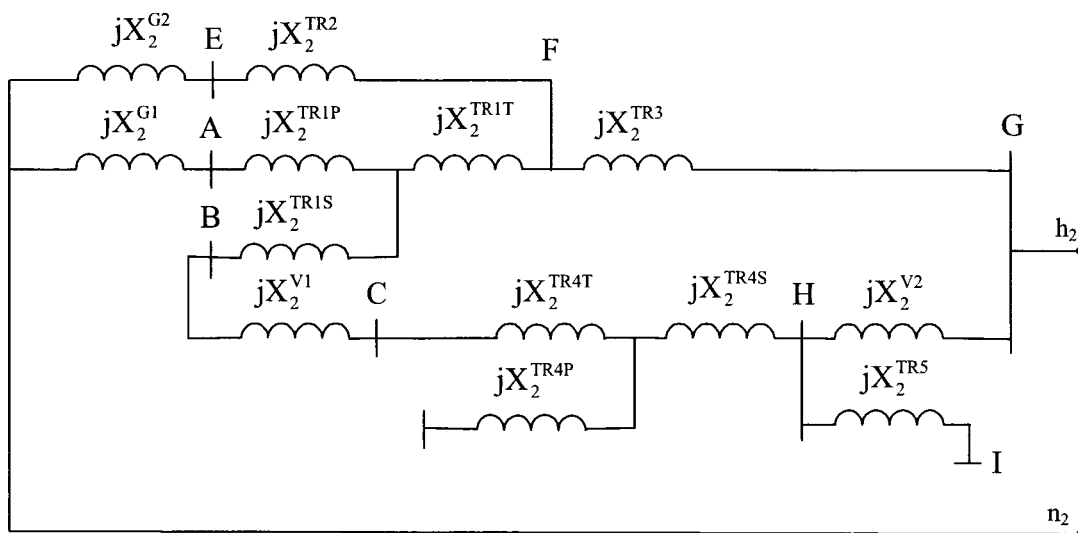
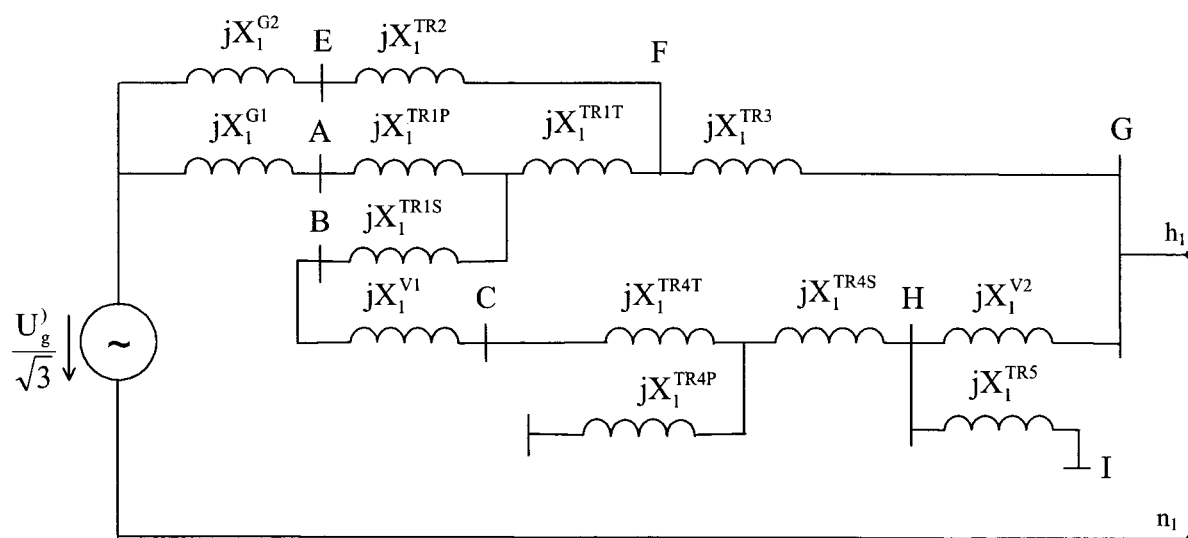
Megjegyzés:

A fogyasztó impedanciáját tájékoztatásképpen rajzoltuk be. Záratszámításkor – mint nagy impedanciájú párhuzamos ágat – a fogyasztót elhagyjuk.

4. feladat:



5. feladat:

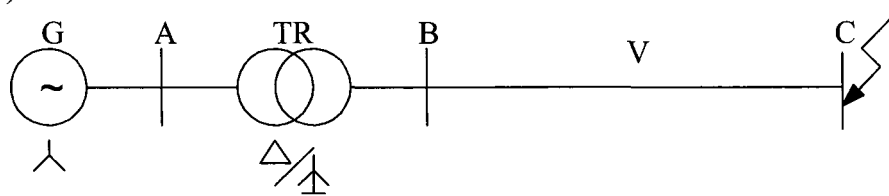


### 3.5. Sönthibák számítása

#### 3.5.1. Egyfázisú földrövidzárlat (FN) számítása

##### Kidolgozott példa:

Mekkora az alábbi hálózatban a hibahelyen folyó zárlati áram, ha a „C” jelű gyűjtősínen az „a” fázisban egyfázisú földrövidzárlat lép fel? Adja meg a három háromfázisú gyűjtősín (A, B, C) fázisfeszültségeinek értékét a zárlat esetére! Határozza meg a generátor fázisáramainak értékét! A transzformátor fázisforgató hatását vegye figyelembe (kapcsolási jele Yd11)!



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\epsilon_d^{(1)}$ [%]	$\epsilon_d^{(2)}$ [%]	$\epsilon_d$ [%]	$\epsilon$ [%]
G	10,5	50	15,4	9,6	212	-
TR	132/10,5	20	-	-	-	8

A szabadvezeték adatai:  $l_V = 60 \text{ km}$   $x_V = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$

Megoldás:

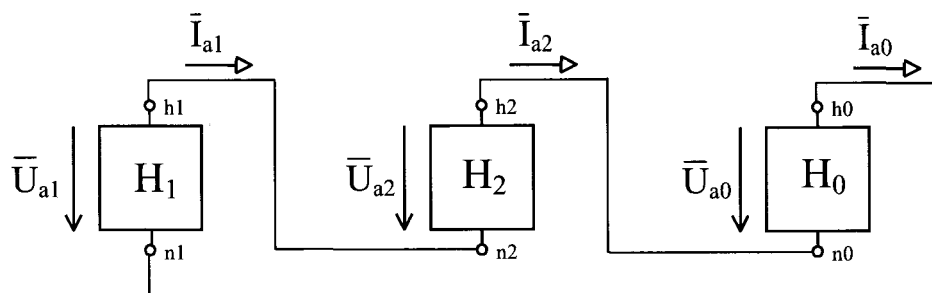
A hibahelyre érvényes feltételek:  $\bar{U}_a = 0$  illetve  $\bar{I}_b = 0$  és  $\bar{I}_c = 0$ .

Az első feltétel alapján felírható, hogy  $\bar{U}_{a0} + \bar{U}_{a1} + \bar{U}_{a2} = 0$ ,  
tehát a három sorrendi hálózat feszültségeinek összege nulla.

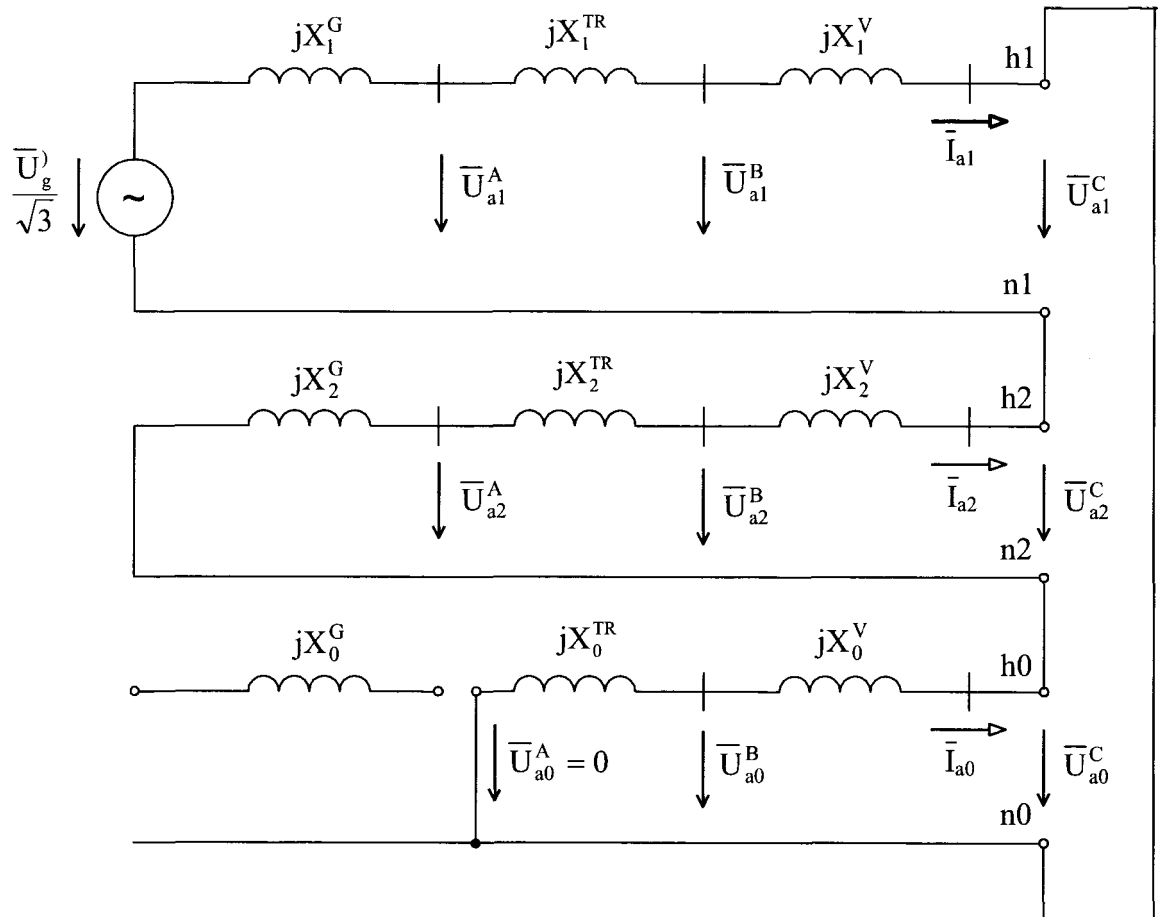
Az áramokra érvényes feltételek alapján  $\bar{I}_{a0} = \bar{I}_{a1} = \bar{I}_{a2} = \frac{\bar{I}_a}{3}$ ,

tehát a három sorrendi hálózat árama azonos.

Így a sorrendi hálózatokat a hibahelyen *sorba* kell kapcsolni:



A helyettesítő kapcsolási vázlat:



A generátor feszültsége a hibahelyi feszültségszintre redukálva:

$$U_g^) = U_{nG} \cdot \frac{U_{TRszek}}{U_{TRprim}} = 10,5 \cdot \frac{132}{10,5} = 132 \text{ kV}$$

A pozitív sorrendű hálózat reaktanciái a hibahely feszültségszintjére redukálva:

$$X_1^G = \frac{\varepsilon_d^)}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nG}} = \frac{15,4}{100} \cdot \frac{132^2}{50} = 53,7 \Omega \quad X_1^{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nTR}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{132^2}{20} = 69,7 \Omega$$

$$X_1^V = x_V \cdot l_V = 0,4 \cdot 60 = 24 \Omega$$

A negatív sorrendű hálózat reaktanciái a hibahely feszültségszintjére redukálva:

$$X_2^G = \frac{\varepsilon_d^)}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nG}} = \frac{9,6}{100} \cdot \frac{132^2}{50} = 33,5 \Omega \quad X_2^{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nTR}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{132^2}{20} = 69,7 \Omega$$

$$X_2^V = X_1^V = x_V \cdot l_V = 0,4 \cdot 60 = 24 \Omega$$

A zérus sorrendű hálózat reaktanciái a hibahely feszültségszintjére redukálva:

$$X_0^V = 3 \cdot X_1^V = 3 \cdot 24 = 72 \Omega \quad X_0^{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nTR}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{132^2}{20} = 69,7 \Omega$$

A sorrendi hálózatok eredő reaktanciái:

$$X_{e1} = X_1^G + X_1^{TR} + X_1^V = 53,7 + 69,7 + 24 = 147,4 \Omega$$

$$X_{e2} = X_2^G + X_2^{TR} + X_2^V = 33,5 + 69,7 + 24 = 127,2 \Omega$$

$$X_{e0} = X_0^{TR} + X_0^V = 69,7 + 72 = 141,7 \Omega$$

Az eredő reaktancia:  $X_e = X_{e1} + X_{e2} + X_{e0} = 416,3 \Omega$

A zárlati áram sorrendi összetevői:

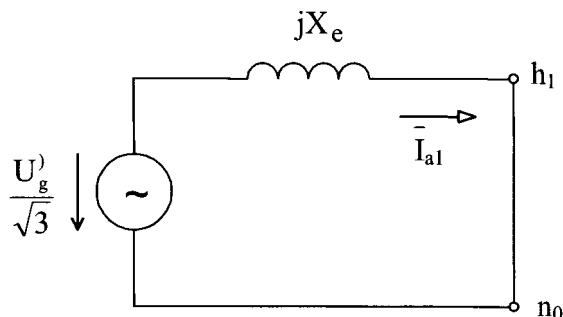
$$\bar{I}_{a1} = \frac{U_g^j}{\sqrt{3} \cdot jX_e} = \frac{132}{\sqrt{3} \cdot j416,3} = -j0,183 \text{ kA}$$

Tehát a különböző sorrendű összetevők:

$$\bar{I}_{a2} = \bar{I}_{a0} = \bar{I}_{a1} = -j0,183 \text{ kA}$$

Az „a” fázis zárlati árama a hibahelyen:

$$\bar{I}_a = -j0,549 \text{ kA}$$



A gyűjtősínek feszültségének meghatározása:

A sorrendi feszültségek (szimmetrikus összetevők) számítása a „C” gyűjtősínen:

$$\bar{U}_{a1}^C = \frac{U_g^j}{\sqrt{3}} - (\bar{I}_{a1} \cdot jX_{e1}) = \frac{132}{\sqrt{3}} - (-j0,183 \cdot j147,4) = 49,2 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^C = -(\bar{I}_{a2} \cdot jX_{e2}) = -(-j0,183 \cdot j127,2) = -23,3 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a0}^C = -(\bar{I}_{a0} \cdot jX_{e0}) = -(-j0,183 \cdot j141,7) = -25,9 \text{ kV}$$

Az aszimmetrikus feszültségrendszer fázisfeszültségeinek meghatározására alkalmas általános egyenlet:

$$\begin{pmatrix} \bar{U}_a \\ \bar{U}_b \\ \bar{U}_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \bar{U}_{a0} \\ \bar{U}_{a1} \\ \bar{U}_{a2} \end{pmatrix} \quad \text{ahol } \bar{a} = \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = (-0,5 + j0,866) \text{ és}$$

$$\bar{a}^2 = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = (-0,5 - j0,866)$$

Ez alapján a fázisfeszültségek:

$$\bar{U}_a^C = \bar{U}_{a0}^C + \bar{U}_{a1}^C + \bar{U}_{a2}^C = -25,9 + 49,2 - 23,3 = 0$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_b^C &= \bar{U}_{a0}^C + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^C + \bar{a} \bar{U}_{a2}^C = -25,9 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 49,2 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-23,3) = \\ &= -25,9 - 24,6 - j42,6 + 11,6 - j20,2 = (-38,9 - j62,8) \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_c^C &= \bar{U}_{a0}^C + \bar{a} \bar{U}_{a1}^C + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^C = -25,9 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 49,2 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-23,3) = \\ &= -25,9 - 24,6 + j42,6 + 11,6 + j20,2 = (-38,9 + j62,8) \text{ kV} \end{aligned}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

$$|\bar{U}_a^C| = 0 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_b^C| = 73,9 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_c^C| = 73,9 \text{ kV}$$

Az „a” fázis feszültségének szimmetrikus összetevői :

$$\bar{U}_{a1}^B = \frac{U_g}{\sqrt{3}} - \bar{I}_{a1} \cdot j(X_1^g + X_1^{TR}) = \frac{132}{\sqrt{3}} - (-j0,183) \cdot j(53,5 + 69,7) = 53,62 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^B = -\bar{I}_{a2} \cdot j(X_2^g + X_2^{TR}) = -(-j0,183) \cdot j(33,5 + 69,7) = -18,89 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a0}^B = -\bar{I}_{a0} \cdot jX_0^{TR} = -(-j0,183) \cdot j69,7 = -12,78 \text{ kV}$$

Ez alapján a fázisfeszültségek a „B” gyűjtősínen:

$$\bar{U}_a^B = \bar{U}_{a0}^B + \bar{U}_{a1}^B + \bar{U}_{a2}^B = -12,78 + 53,62 - 18,89 = 21,95 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_b^B &= \bar{U}_{a0}^B + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^B + \bar{a} \bar{U}_{a2}^B = -12,78 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 53,62 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-18,89) = \\ &= (-30,1 - j62,8) \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_c^B &= \bar{U}_{a0}^B + \bar{a} \bar{U}_{a1}^B + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^B = -12,78 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 53,62 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-18,89) = \\ &= (-30,1 + j62,8) \text{ kV} \end{aligned}$$

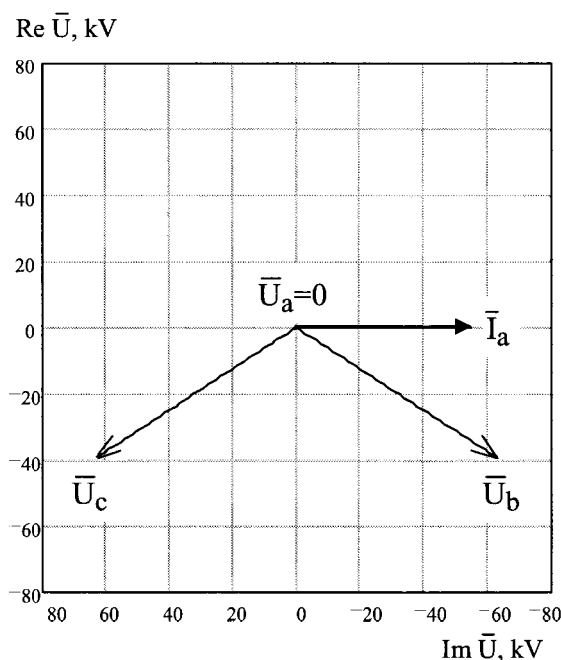
A fázisfeszültségek nagysága a „B” gyűjtősínen:

$$|\bar{U}_a^B| = 21,95 \text{ kV}$$

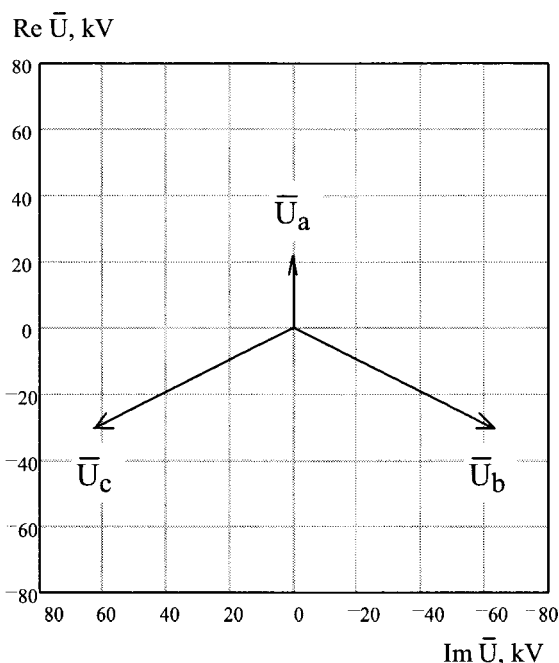
$$|\bar{U}_b^B| = 69,65 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_c^B| = 69,65 \text{ kV}$$

A fázorbrák:



„C” jelű gyűjtősín



„B” jelű gyűjtősín

A sorrendi feszültségek (szimmetrikus összetevők) számítása az „A” gyűjtősínen:

A szimmetrikus összetevők a helyettesítő kapcsolás alapján a hibahelyi feszültség szinten:

$$\bar{U}_{a1}^A = \frac{U_g}{\sqrt{3}} - \bar{I}_{a1} \cdot jX_{g1} = \frac{132}{\sqrt{3}} - (-j0,183 \cdot j53,67) = 66,4 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^A = -\bar{I}_{a2} \cdot jX_{g2} = -(-j0,183 \cdot j33,45) = -6,13 \text{ kV} \quad \bar{U}_{a0}^A = 0$$

A transzformátor kapcsolási jele Yd11, tehát a fázisforgatás mértéke  $30^\circ$ . Így a transzformátor áttételének és fázisforgató hatásának figyelembe vételével a szimmetrikus összetevők értéke:

$$\bar{U}_{a1}^A = \frac{10,5}{132} \cdot \bar{U}_{a1}^A \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} = (4,57 + j2,64) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^A = \frac{10,5}{132} \cdot \bar{U}_{a2}^A \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}} = (-0,42 + j0,24) \text{ kV} \quad \bar{U}_{a0}^A = 0$$

Ez alapján a fázisfeszültségek:

$$\bar{U}_a^A = \bar{U}_{a0}^A + \bar{U}_{a1}^A + \bar{U}_{a2}^A = 0 + 4,57 + j2,64 - 0,42 + j0,24 = (4,15 + j2,88) \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_b^A &= \bar{U}_{a0}^A + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^A + \bar{a} \bar{U}_{a2}^A = 0 + (-0,5 - j0,866) \cdot (4,57 + j2,64) + \\ &\quad + (-0,5 + j0,866) \cdot (-0,42 + j0,24) = -j5,77 \text{ kV} \end{aligned}$$

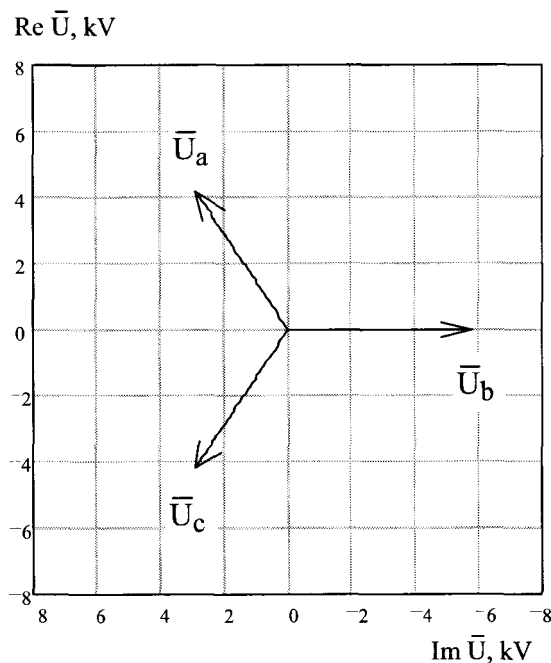
$$\begin{aligned} \bar{U}_c^A &= \bar{U}_{a0}^A + \bar{a} \bar{U}_{a1}^A + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^A = 0 + (-0,5 + j0,866) \cdot (4,57 + j2,64) + \\ &\quad + (-0,5 - j0,866) \cdot (-0,42 + j0,24) = (-4,15 + j2,88) \text{ kV} \end{aligned}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

$$|\bar{U}_a^A| = 5,05 \text{ kV} \quad |\bar{U}_b^A| = 5,77 \text{ kV} \quad |\bar{U}_c^A| = 5,05 \text{ kV}$$

$$\text{(A generátor fázisfeszültségének névleges értéke: } U_{gn} = \frac{10,5}{\sqrt{3}} = 6,06 \text{ kV!)}$$

A fázorábra:



A generátor „a” fázisának szimmetrikus áramösszetevői a hibahelyi áram „a” fázisának áramösszetevőiből közvetlenül számíthatók a transzformátor áttételének és fázisforgató hatásának figyelembe vételével:

$$\bar{I}_{a1}^G = \frac{U_1}{U_2} \cdot \bar{I}_{a1} \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} = \frac{132}{10,5} \cdot (-j0,183) \cdot (0,866 + j0,5) = (1,15 - j1,99) \text{ kA}$$

$$\bar{I}_{a2}^G = \frac{U_1}{U_2} \cdot \bar{I}_{a2} \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}} = \frac{132}{10,5} \cdot (-j0,183) \cdot (0,866 - j0,5) = (-1,15 - j1,99) \text{ kA}$$

$$\bar{I}_{a0}^G = 0 \quad (\text{a szigetelt csillagpont miatt zérus sorrendű áram nem folyhat!})$$

Ez alapján a tényleges fázisáramok a generátornál:

$$\bar{I}_a^G = \bar{I}_{a0}^G + \bar{I}_{a1}^G + \bar{I}_{a2}^G = 0 + 1,15 - j1,99 - 1,15 - j1,99 = (-3,98) \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_b^G &= \bar{I}_{a0}^G + a^2 \bar{I}_{a1}^G + a \bar{I}_{a2}^G = 0 + (-0,5 - j0,866) \cdot (1,15 - j1,99) + \\ &\quad + (-0,5 + j0,866) \cdot (-1,15 - j1,99) = 0 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_c^G &= \bar{I}_{a0}^G + a \bar{I}_{a1}^G + a^2 \bar{I}_{a2}^G = 0 + (-0,5 + j0,866) \cdot (1,15 - j1,99) + \\ &\quad + (-0,5 - j0,866) \cdot (-1,15 - j1,99) = (+j3,98) \text{ kA} \end{aligned}$$

A fázisáramok nagysága a generátornál:

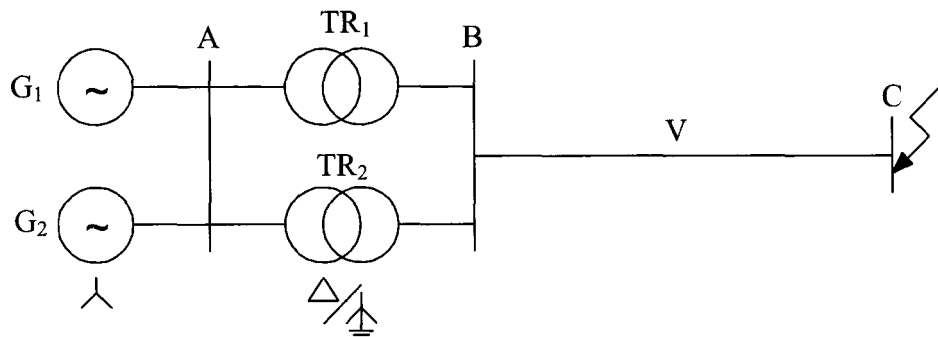
$$|\bar{I}_a^G| = 3,98 \text{ kA}$$

$$|\bar{I}_b^G| = 0 \text{ kA}$$

$$|\bar{I}_c^G| = 3,98 \text{ kA}$$

### Feladatok:

1. Mekkora az alábbi hálózatban a hibahelyi zárlati áram, ha a vezeték végén a „C” jelű gyűjtősínen az „a” fázisban egyfázisú földrövidzárlat lép fel? Adja meg a zárlat hatására mennyire törik le a hibahelyen a három fázisfeszültség értéke! Határozza meg az „A” és „B” jelű gyűjtősínek fázisfeszültségét a zárlat alatt! A transzformátor fázisforgató hatását vegye figyelembe! A transzformátorok kapcsolási jele Yd11.

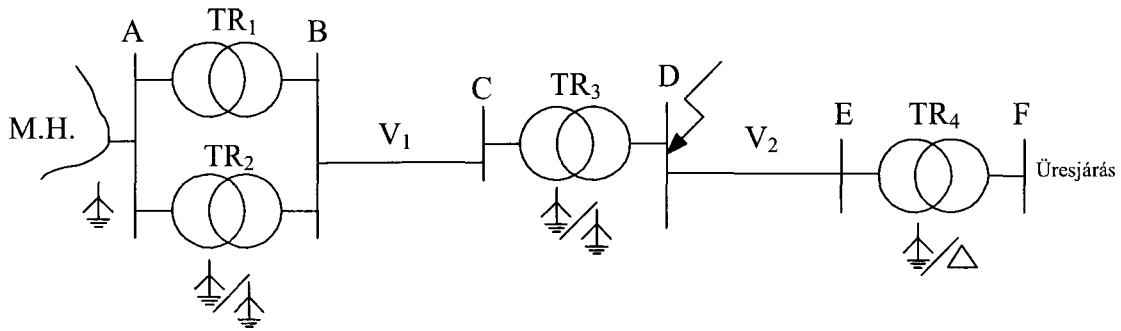


Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d^{(1)}$ [%]	$\varepsilon_d^{(2)}$ [%]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon$ [%]
G1, G2	10,5	100	16	10,2	203	-
TR <sub>1</sub> , TR <sub>2</sub>	120/10,5	24	-	-	-	8

A szabadvezeték jellemzői:  $l_V = 110 \text{ km}$   $x_V = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$ .

2. Határozza meg az ábrán látható hálózat „D” gyűjtősínjén fellépő 1FN zárlatának áramát, és a zárlat hatására a „D” sín „c”, és „b” fázisának feszültségletörését!

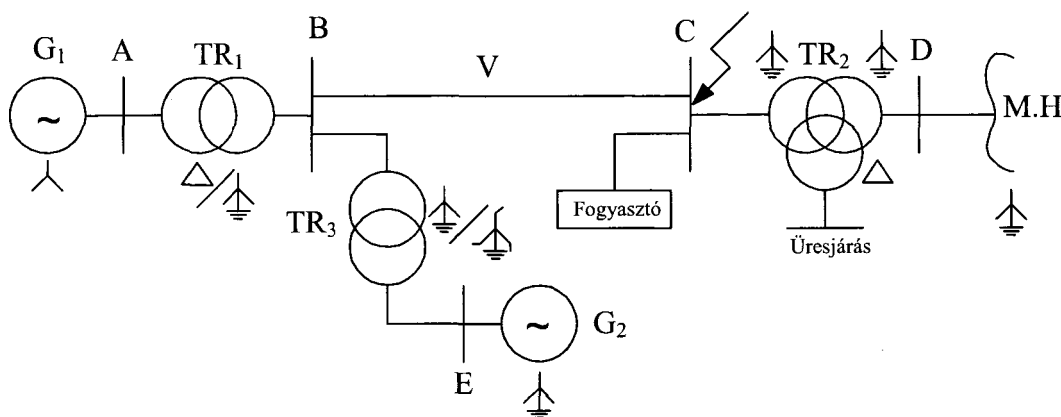


Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	400	$\infty$	-
TR <sub>1</sub> , TR <sub>2</sub>	400/231	500	12,1
TR <sub>3</sub>	220/126	160	9,71
TR <sub>4</sub>	120/36,75	40	10,35

A szabadvezetékek jellemzői:  $l_{V1} = 110$  km,  $l_{V2} = 40$  km,  $x_V = 0,4 \cdot \Omega/\text{km}$ .

3. Mekkora a hibahelyi zárlati áram, ha egyfázisú földrövidzárlat lép fel a jelölt helyen az „a” fázisban? Adja meg zárlat fellépésekor a „C” sín három fázisfeszültségének értékét!

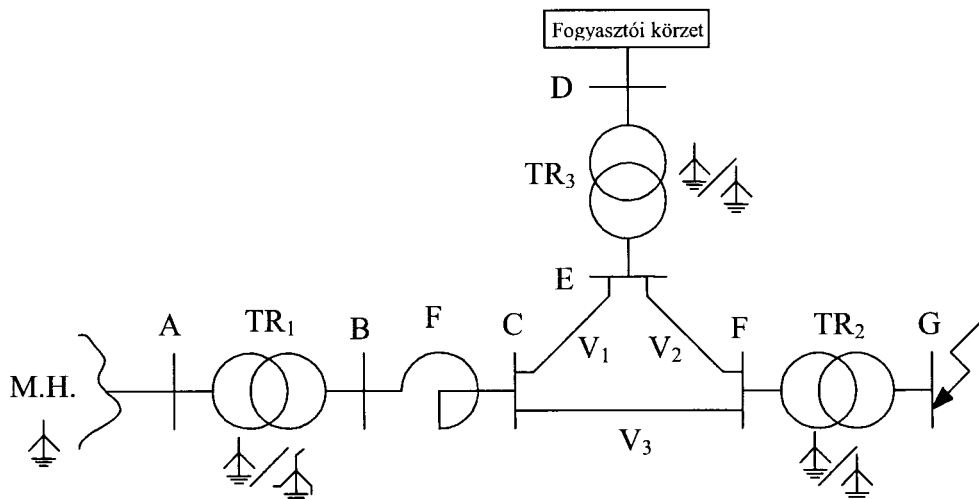


Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d^{(1)}$ [%]	$\varepsilon_d^{(2)}$ [%]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	2000	-	-	-	-
G <sub>1</sub>	22	18,2	29,2	22,8	182	-
G <sub>2</sub>	22	25,9	24	17	207	-
TR <sub>1</sub>	35/22	12,5	-	-	-	7,4
TR <sub>2</sub>	120/36,75/22	30/20/16	-	-	-	7/8,3/7,62
TR <sub>3</sub>	35/22	10	-	-	-	7,47

A szabadvezeték adatai:  $l_V = 20$  km  $x_V = 0,4 \cdot \Omega/\text{km}$

4. Az ábrán látható hálózatban a jelölt helyen az „a” fázisban fellépő FN zárlat esetére adja meg a hibahelyi zárlati áram, valamint zárlatkor a „G” illetve „C” gyűjtősíneken kialakuló aszimmetrikus feszültségrendszer fázisfeszültségeinek értékét! A transzformátor fázisforgató hatását vegye figyelembe! A TR<sub>2</sub> transzformátor kapcsolási jele Yy5.



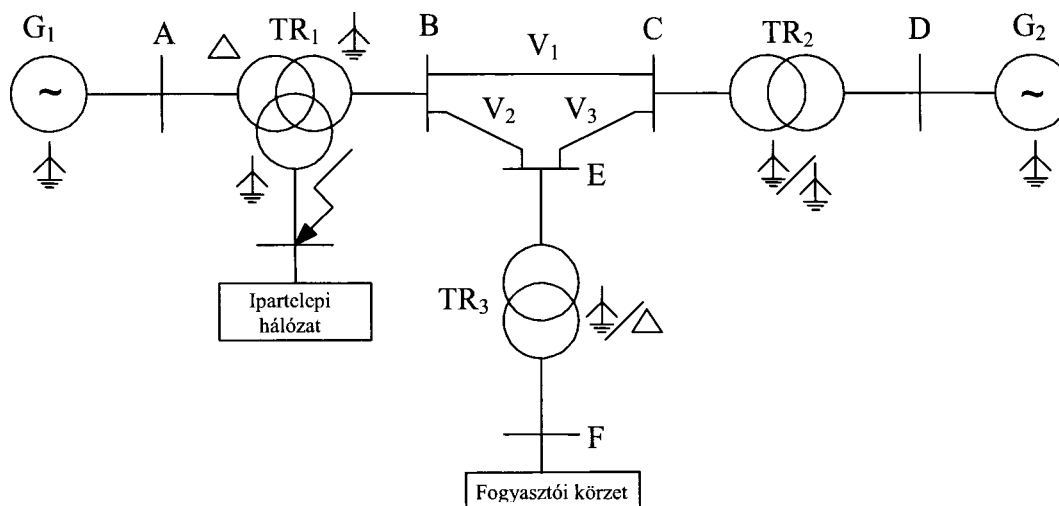
Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	2000	-
TR <sub>1</sub>	120/11	40	9,8
TR <sub>2</sub>	20/11	35	8,7
TR <sub>3</sub>	10,5/0,4	20	9,4

A fojtótekeres reaktanciája:  $X_F = 0,8 \Omega$ .

A szabadvezetékek jellemzői:  $l_{V1} = 2 \text{ km}$ ,  $l_{V2} = 3 \text{ km}$ ,  $l_{V3} = 4 \text{ km}$ ,  $x_V = 0,4 \Omega/\text{km}$ .

5. Az alábbi hálózatban az ipartelepi fogyasztó 30 kV-os gyűjtősínjén az „a” fázisban FN zárlat lép fel. Adja meg a zárlatkor a hibahelyen fellépő feszültségeket mindhárom fázisban, valamint határozza meg a zárlati áram nagyságát!



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon_d^{(0)}$ [%]	$\varepsilon$ [%]
$G_1$	10,5	125	14,3	8,7	-
$G_2$	18	176,5	14,7	8,9	-
$TR_1$	120/30/10,5	36/18/24	-	-	7,67/11,7/8,6
$TR_2$	120/22	24	-	-	8,6
$TR_3$	120/11	40	-	-	10,6

A szabadvezetékek jellemzői:  $l_{V1} = 30$  km  $l_{V2} = 40$  km  
 $l_{V3} = 50$  km  $x_V = 0,4 \Omega/\text{km}$

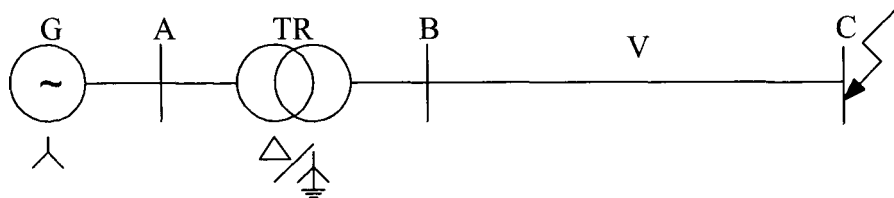
Eredmények:

<p><b>1. feladat:</b> <math>\bar{I}_a^C = -j0,67</math> kA <math>I_b^C = 0</math> kA <math>I_c^C = 0</math> kA  <math>\bar{U}_a^C = 0</math> kV <math>\bar{U}_b^C = (-52,2 - j59,2)</math> kV <math>\bar{U}_c^C = (-52,2 + j59,2)</math> kV  <math>\bar{U}_a^B = 49</math> kV <math>\bar{U}_b^B = (-32,5 - j59,2)</math> kV <math>\bar{U}_c^B = (-32,5 + j59,2)</math> kV  <math>\bar{U}_a^A = (4,93 + j2,99)</math> kV <math>\bar{U}_b^A = -j5,98</math> kV <math>\bar{U}_c^A = (-4,93 + j2,99)</math> kV</p>
<p><b>2. feladat:</b> <math>\bar{I}_a^D = -j2,51</math> kA <math>I_b^D = 0</math> kA <math>I_c^D = 0</math> kA  <math>\bar{U}_a^D = 0</math> kV <math>\bar{U}_b^D = (-41,4 - j60)</math> kV <math>\bar{U}_c^D = (-41,4 + j60)</math> kV</p>
<p><b>3. feladat:</b> <math>\bar{I}_a^C = -j5,53</math> kA <math>I_b^C = 0</math> kA <math>I_c^C = 0</math> kA  A „C” jelű gyűjtősín három fázisának feszültsége:  <math>\bar{U}_a^C = 0</math> kV <math>\bar{U}_b^C = (-8,84 - j17,37)</math> kV <math>\bar{U}_c^C = (-8,84 + j17,37)</math> kV</p>
<p><b>4. feladat:</b> <math>\bar{I}_a = -j1,47</math> kA <math>I_b = 0</math> kA <math>I_c = 0</math> kA  A „G” jelű gyűjtősín fázisfeszültségei:  <math>\bar{U}_a = 0</math> kV <math>\bar{U}_b = (-8,65 - j10)</math> kV <math>\bar{U}_c = (-8,65 + j10)</math> kV  A „C” jelű gyűjtősín három fázisának feszültsége:  <math>\bar{U}_a = (-5,55 - j3,18)</math> kV <math>\bar{U}_b = (-0,97 + j6,35)</math> kV  <math>\bar{U}_c = (3,61 - j3,18)</math> kV</p>
<p><b>5. feladat:</b> <math>\bar{I}_a = -j4,53</math> kA <math>I_b = 0</math> kA <math>I_c = 0</math> kA  A gyűjtősín három fázisának feszültsége:  <math>\bar{U}_a = 0</math> kV <math>\bar{U}_b = (-7,75 - j14,73)</math> kV <math>\bar{U}_c = (-7,75 + j14,73)</math> kV</p>

### 3.5.2. Kétfázisú földrövidzárlat (2FN) számítása

#### Kidolgozott példa:

Mekkora az alábbi hálózatban folyó hibahelyi zárlati áram, ha a „C” jelű gyűjtősínen a „b” és „c” fázisban egyidejűleg földrövidzárlat lép fel? Adja meg a három gyűjtősín feszültségének (aszimmetrikus feszültségrendszer) értékét erre az esetre! Határozza meg zárlatkor a generátor áramának értékét! (A transzformátor kapcsolási jele: Yd11.)



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d^{(1)}$ [%]	$\varepsilon_d^{(2)}$ [%]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon$ [%]
G	10,5	50	15,4	9,6	212	-
TR	132/10,5	20	-	-	-	8

A szabadvezeték adatai:  $l_v = 60$  km  $x_v = 0,4 \Omega/\text{km}$

Megoldás:

A hibahelyre érvényes feltételek:  $\bar{I}_a = 0$  illetve  $\bar{U}_b = 0$  és  $\bar{U}_c = 0$ .

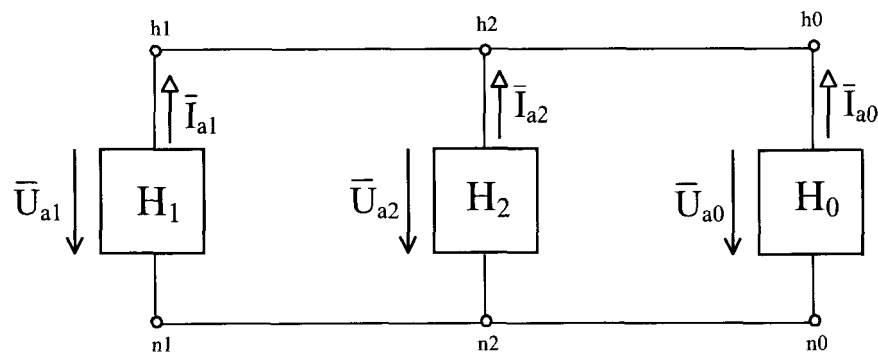
Az első feltétel alapján felírható, hogy  $\bar{I}_{a0} + \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2} = 0$ ,

tehát a három sorrendi hálózat áramai egy csomópontban találkoznak (összegük nulla).

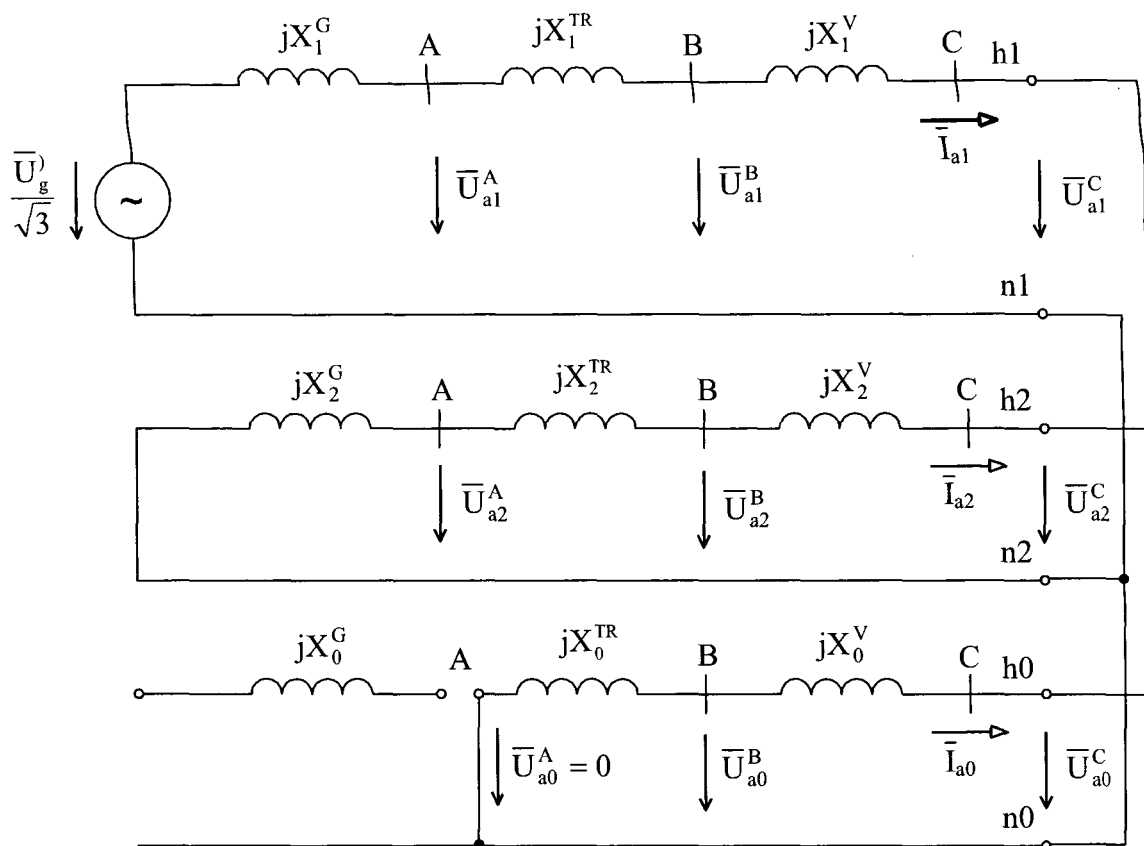
A feszültségekre érvényes feltételek alapján  $\bar{U}_{a0} = \bar{U}_{a1} = \bar{U}_{a2} = \frac{\bar{U}_a}{3}$ ,

tehát a három sorrendi hálózat feszültsége azonos.

Így a sorrendi hálózatokat a hibahelyen *párhuzamosan* kell kapcsolni:



A helyettesítő kapcsolási vázlat:



A generátor feszültsége a hibahelyi feszültségszintre redukálva:

$$U_g^) = U_{nG} \cdot \frac{U_{TRszek}}{U_{TRprim}} = 10,5 \cdot \frac{132}{10,5} = 132 \text{ kV}$$

A pozitív sorrendű hálózat reaktanciái a számítási feszültségszinten:

$$X_1^G = \frac{\varepsilon_d^)}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nG}} = \frac{15,4}{100} \cdot \frac{132^2}{50} = 53,7 \Omega \quad X_1^{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nTR}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{132^2}{20} = 69,7 \Omega$$

$$X_1^V = x_V \cdot l_V = 0,4 \cdot 60 = 24 \Omega$$

A negatív sorrendű hálózat reaktanciái a számítási feszültségszinten:

$$X_2^G = \frac{\varepsilon_d^)}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nG}} = \frac{9,6}{100} \cdot \frac{132^2}{50} = 33,5 \Omega \quad X_2^{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nTR}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{132^2}{20} = 69,7 \Omega$$

$$X_2^V = X_1^V = x_V \cdot l_V = 0,4 \cdot 60 = 24 \Omega$$

A zérus sorrendű hálózat reaktanciái a számítási feszültségszinten:

$$X_0^V = 3 \cdot X_1^V = 3 \cdot 24 = 72 \Omega \quad X_0^{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nTR}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{132^2}{20} = 69,7 \Omega$$

A sorrendi hálózatok eredő reaktanciái:

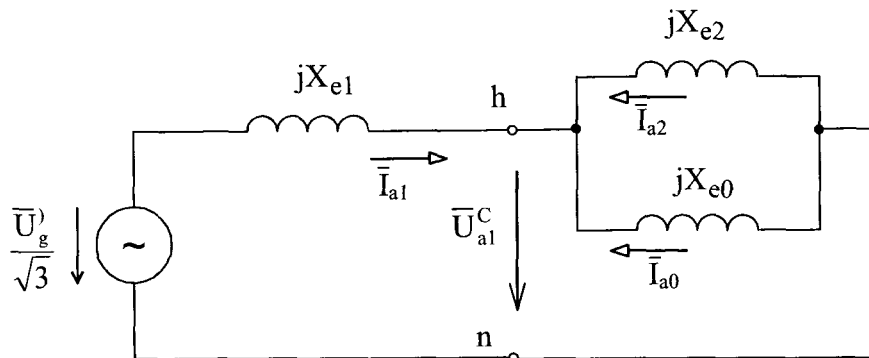
$$X_{e1} = X_1^G + X_1^{TR} + X_1^V = 53,7 + 69,7 + 24 = 147,4 \Omega$$

$$X_{e2} = X_2^G + X_2^{TR} + X_2^V = 33,5 + 69,7 + 24 = 127,2 \Omega$$

$$X_{e0} = X_0^{TR} + X_0^V = 69,7 + 72 = 141,7 \Omega$$

Az eredő reaktancia a helyettesítő hálózatok eredő reaktanciái alapján:

$$X_e = X_{e1} + X_{e2} \otimes X_{e0} = 147,4 + 127,2 \otimes 141,7 = 147,4 + \frac{127,2 \cdot 141,7}{127,2 + 141,7} = 214,4 \Omega$$



A zárlati áram „a” fázisának különböző sorrendű összetevői:

A hibahelyi zárlati áram pozitív sorrendű összetevője:

$$\bar{I}_{a1} = \frac{U_g}{\sqrt{3} \cdot jX_e} = \frac{132}{\sqrt{3} \cdot j214,4} = -j0,355 \text{ kA}$$

A hibahelyi zárlati áram negatív sorrendű összetevője:

$$\bar{I}_{a2} = -\bar{I}_{a1} \cdot \frac{jX_{e0}}{jX_{e2} + jX_{e0}} = j0,355 \cdot \frac{j141,7}{j127,2 + j141,7} = j0,187 \text{ kA}$$

A zárlati áram zérus sorrendű összetevője a csomóponti törvény alapján:

$$\bar{I}_{a0} = -\bar{I}_{a1} - \bar{I}_{a2} = -(-j0,355) - j0,187 = j0,168 \text{ kA}$$

A hibahelyi zárlati áram:

$$\bar{I}_a = \bar{I}_{a0} + \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2} = 0 \text{ kA}$$

$$\bar{I}_b = \bar{I}_{a0} + a^2 \bar{I}_{a1} + a \bar{I}_{a2} = j0,168 + (-0,5 - j0,866) \cdot (-j0,355) + (-0,5 + j0,866) \cdot j0,187 = (-0,47 + j0,25) \text{ kA}$$

$$\bar{I}_c = \bar{I}_{a0} + a \bar{I}_{a1} + a^2 \bar{I}_{a2} = j0,168 + (-0,5 + j0,866) \cdot (-j0,355) + (0,5 - j0,866) \cdot j0,187 = (0,47 + j0,25) \text{ kA}$$

A zárlati áramok nagysága:  $|\bar{I}_a| = 0 \text{ kA}$   $|\bar{I}_b| = 0,532 \text{ kA}$   $|\bar{I}_c| = 0,532 \text{ kA}$

A gyűjtősínnek feszültségének meghatározása:

Az „a” fázis sorrendi feszültségeinek (szimmetrikus összetevők) számítása a „C” gyűjtősínen:

$$\bar{U}_{a1}^C = \frac{U_g}{\sqrt{3}} - (\bar{I}_{a1} \cdot jX_{e1}) = \frac{132}{\sqrt{3}} - (-j0,355 \cdot j147,4) = 23,8 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^C = -(\bar{I}_{a2} \cdot X_{e2}) = -(j0,187 \cdot j127,2) = 23,8 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a0}^C = -(\bar{I}_{a0} \cdot jX_{e0}) = -(j0,168 \cdot j141,7) = 23,8 \text{ kV}$$

Ezek az eredmények nyilvánvalóak!

A számoltak alapján a fázisfeszültségek:

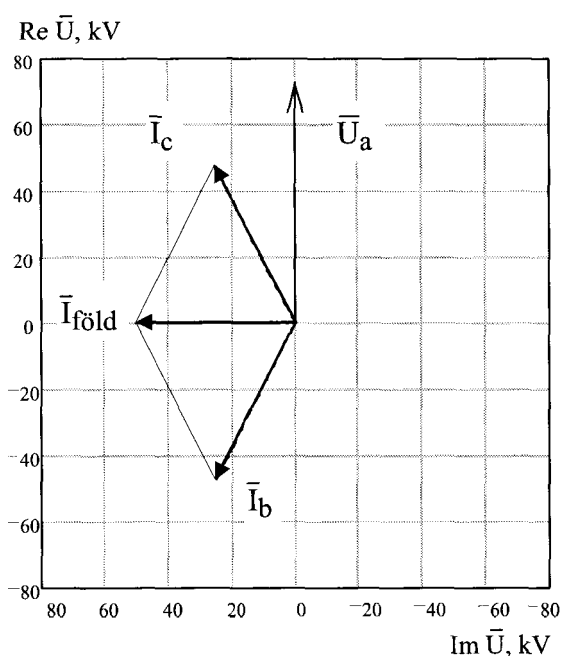
$$\bar{U}_a^C = \bar{U}_{a0}^C + \bar{U}_{a1}^C + \bar{U}_{a2}^C = 23,8 + 23,8 + 23,8 = 71,4 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_b^C = \bar{U}_{a0}^C + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^C + \bar{a} \bar{U}_{a2}^C = 23,8 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 23,8 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 23,8 = 0$$

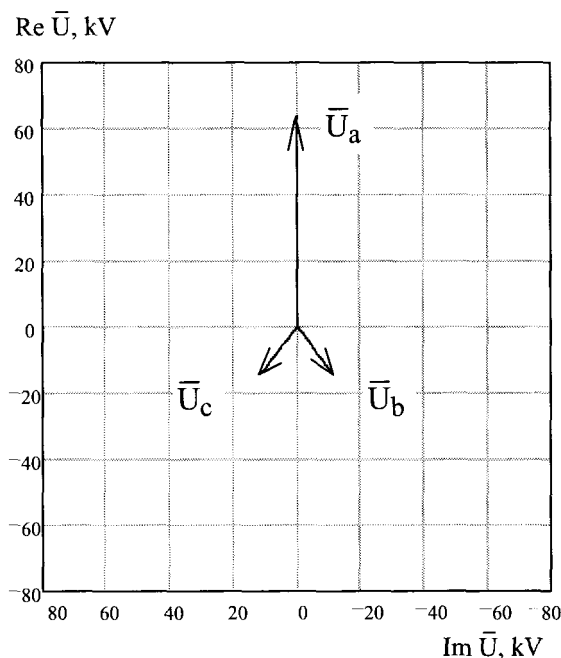
$$\bar{U}_c^C = \bar{U}_{a0}^C + \bar{a} \bar{U}_{a1}^C + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^C = 23,8 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 23,8 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 23,8 = 0$$

A fázisfeszültségek nagysága:  $|\bar{U}_a^C| = 71,4 \text{ kV}$   $|\bar{U}_b^C| = 0 \text{ kV}$   $|\bar{U}_c^C| = 0 \text{ kV}$

A fázorábrák:



„C” jelű gyűjtősín



„B” jelű gyűjtősín

A sorrendi feszültségek (szimmetrikus összetevők) számítása a „B” gyűjtősínen:

$$\bar{U}_{a1}^B = \frac{U^g}{\sqrt{3}} - \bar{I}_{a1} \cdot j(X_1^g + X_1^{TR}) = \frac{132}{\sqrt{3}} - (-j0,355) \cdot j(53,5 + 69,7) = 32,5 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^B = -\bar{I}_{a2} \cdot j(X_2^g + X_2^{TR}) = -(j0,187) \cdot j(33,5 + 69,7) = 19,3 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a0}^B = -\bar{I}_{a0} \cdot jX_0^{TR} = -(j0,168) \cdot j69,7 = 11,7 \text{ kV}$$

Ez alapján a fázisfeszültségek:

$$\bar{U}_a^B = \bar{U}_{a0}^B + \bar{U}_{a1}^B + \bar{U}_{a2}^B = 11,7 + 32,5 + 19,3 = 63,5 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_b^B = \bar{U}_{a0}^B + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^B + \bar{a} \bar{U}_{a2}^B = 11,7 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 32,5 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 19,3 = (-14,2 - j11,4) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_c^B = \bar{U}_{a0}^B + \bar{a} \bar{U}_{a1}^B + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^B = 11,7 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 32,5 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 19,3 = (4,2 + j11,4) \text{ kV}$$

A fázisfeszültségek nagysága:  $|\bar{U}_a^B| = 63,5 \text{ kV}$   $|\bar{U}_b^B| = 18,2 \text{ kV}$   $|\bar{U}_c^B| = 18,2 \text{ kV}$

Az „A” gyűjtősin feszültségének szimmetrikus összetevői:

A szimmetrikus összetevők a hibahelyi feszültség szintjén (a helyettesítő kapcsolás alapján):

$$\bar{U}_{a1}^A = \frac{U_g}{\sqrt{3}} - \bar{I}_{a1} \cdot jX_{g1} = \frac{132}{\sqrt{3}} - (-j0,355 \cdot j53,67) = 57,2 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^A = -\bar{I}_{a2} \cdot jX_{g2} = -(j0,187 \cdot j33,45) = 6,26 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a0}^A = 0 \text{ kV}$$

A transzformátor kapcsolási jele Yd11, tehát a fázisforgatás mértéke  $30^\circ$ . Így a transzformátor áttételének és fázisforgató hatásának figyelembe vételével a szimmetrikus összetevők értéke:  $\bar{U}_{a0}^A = 0 \text{ kV}$

$$\bar{U}_{a1}^A = \frac{10,5}{132} \cdot \bar{U}_{a1}^A \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} = \frac{10,5}{132} \cdot 57,2 \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) = (3,94 + j2,27) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^A = \frac{10,5}{132} \cdot \bar{U}_{a2}^A \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}} = \frac{10,5}{132} \cdot 6,26 \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right) = (0,43 - j0,25) \text{ kV}$$

Ez alapján a fázisfeszültségek:

$$\bar{U}_a^A = \bar{U}_{a0}^A + \bar{U}_{a1}^A + \bar{U}_{a2}^A = 0 + 3,94 + j2,27 + 0,43 - j0,25 = (4,37 + j2,02) \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_b^A &= \bar{U}_{a0}^A + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^A + \bar{a} \bar{U}_{a2}^A = 0 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (3,94 + j2,27) + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (0,43 - j0,25) = \\ &= -j4,2 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_c^A &= \bar{U}_{a0}^A + \bar{a} \bar{U}_{a1}^A + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^A = 0 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (3,94 + j2,27) + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (0,43 - j0,25) = \\ &= (-4,37 + j2,02) \text{ kV} \end{aligned}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

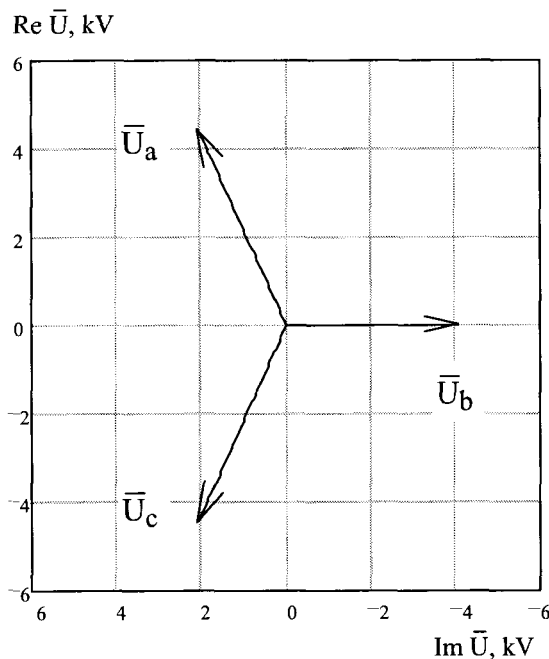
$$|\bar{U}_a^A| = 4,81 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_b^A| = 4,2 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_c^A| = 4,81 \text{ kV}$$

(A generátor fázisfeszültségének névleges értéke:  $U_{nG} = \frac{10,5}{\sqrt{3}} = 6,06 \text{ kV}$  !)

A fázorábra:



A generátor áramának szimmetrikus összetevői a hibahelyi áramból közvetlenül számíthatók a transzformátor áttételének és fázisforgató hatásának figyelembe vételével:

$$\bar{I}_{a1}^G = \frac{U_1}{U_2} \cdot \bar{I}_{a1} \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} = \frac{132}{10,5} \cdot (-j0,355) \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) = (2,23 - j3,87) \text{ kA}$$

$$\bar{I}_{a2}^G = \frac{U_1}{U_2} \cdot \bar{I}_{a2} \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}} = \frac{132}{10,5} \cdot j0,187 \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right) = (1,18 + j2,04) \text{ kA}$$

$$\bar{I}_{a0}^G = 0 \quad (\text{a szigetelt csillagpont miatt zérus sorrendű áram nem folyhat!})$$

A generátor árama:

$$\bar{I}_a^G = \bar{I}_{a0}^G + \bar{I}_{a1}^G + \bar{I}_{a2}^G = 0 + 2,23 - j3,87 + 1,18 + j2,04 = (3,41 - j1,83) \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_b^G &= \bar{I}_{a0}^G + \bar{a}^2 \bar{I}_{a1}^G + \bar{a} \bar{I}_{a2}^G = 0 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (2,23 - j3,87) + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (1,18 + j2,04) = \\ &= -6,82 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_c^G &= \bar{I}_{a0}^G + \bar{a} \bar{I}_{a1}^G + \bar{a}^2 \bar{I}_{a2}^G = 0 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (2,23 - j3,87) + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (1,18 + j2,04) = \\ &= (3,41 + j1,83) \text{ kA} \end{aligned}$$

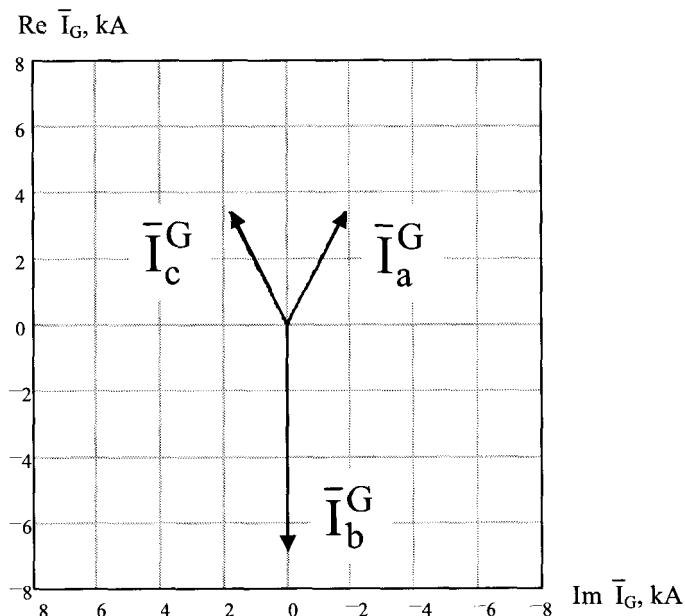
Az áram az egyes fázisokban:

$$|\bar{I}_a^G| = 3,87 \text{ kA}$$

$$|\bar{I}_b^G| = 6,82 \text{ kA}$$

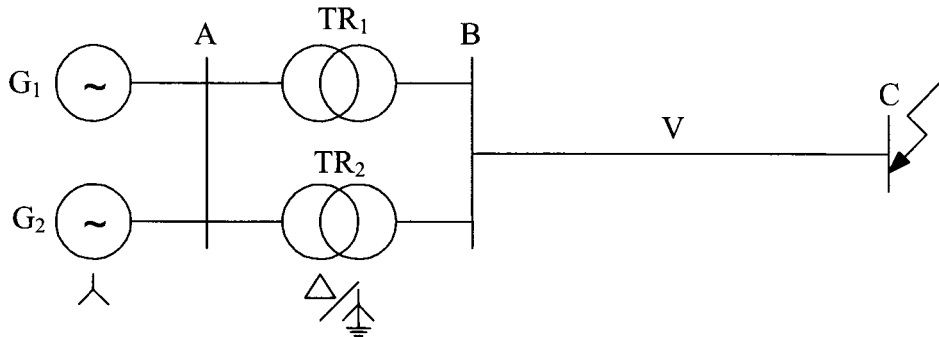
$$|\bar{I}_c^G| = 3,87 \text{ kA}$$

A fázorábra:



**Feladatok:**

1. Milyen az alábbi hálózat zárlati árameloszlása, ha a vezeték végén, a „C” jelű gyűjtősínen a „b” és „c” fázisban egyidejűleg földrövidzárlat lép fel? Adja meg a három fázisú gyűjtősín három fázisfeszültségének (aszimmetrikus feszültségrendszer) értékét a zárlat ideje alatt! A transzformátor fázisforgató hatását vegye figyelembe! A transzformátorok kapcsolási csoportja Yd11.

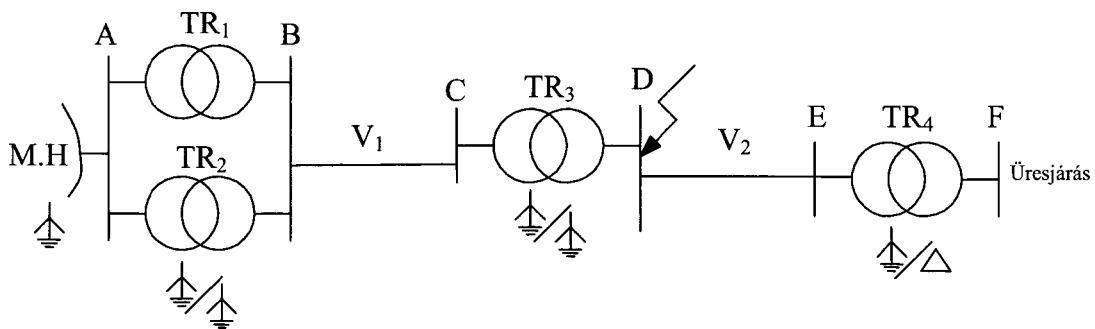


Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon_d''$ [%]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon$ [%]
G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub>	10,5	100	16	10,2	203	-
TR <sub>1</sub> , TR <sub>2</sub>	120/10,5	24	-	-	-	8

A szabadvezeték jellemzői:  $l_V = 110$  km  $x_V = 0,4$   $\Omega$ /km

2. Határozza meg az ábrán látható hálózat zárlati árameloszlását, ha a „D” jelű gyűjtősínen a „b” és „c” fázisban egyidejűleg földrövidzárlat lép fel? Adja meg a három fázisú gyűjtősín három fázisfeszültségének (aszimmetrikus feszültségrendszer) értékét erre az esetre! A transzformátorok fázisforgató hatását ne vegye figyelembe!

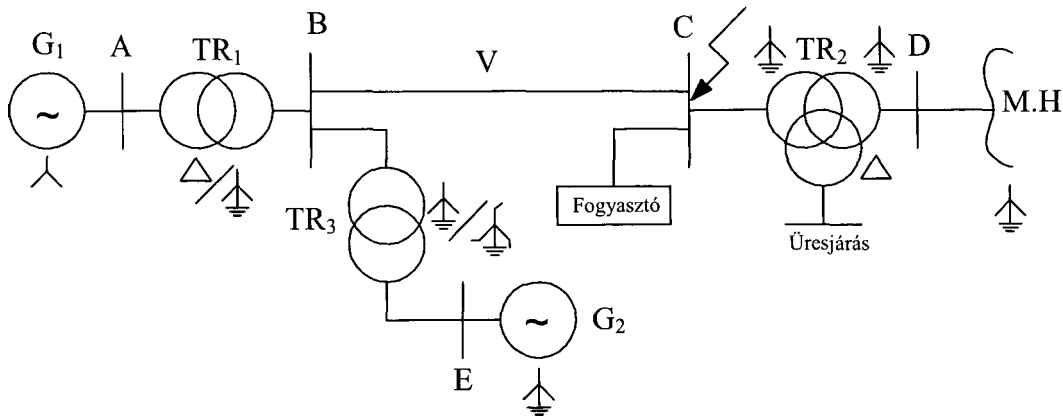


Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	400	$\infty$	-
TR <sub>1</sub> , TR <sub>2</sub>	400/231	500	12,1
TR <sub>3</sub>	220/126	160	9,71
TR <sub>4</sub>	120/36,75	40	10,35

A szabadvezeték jellemzői:  $l_{V1} = 110$  km,  $l_{V2} = 40$  km,  $x_V = 0,4$   $\Omega$ /km .

3. Határozza meg az ábrán látható hálózatban a hibahelyi zárlati áram értékét, ha a „C” jelű gyűjtősínen a „b” és „c” fázisban egyidejűleg földrövidzárlat lép fel? Adja meg a „B” és „C” gyűjtősín három-három fázisfeszültségének (aszimmetrikus feszültségrendszer) értékét erre az esetre! A transzformátorok fázisforgató hatásától tekintsen el!

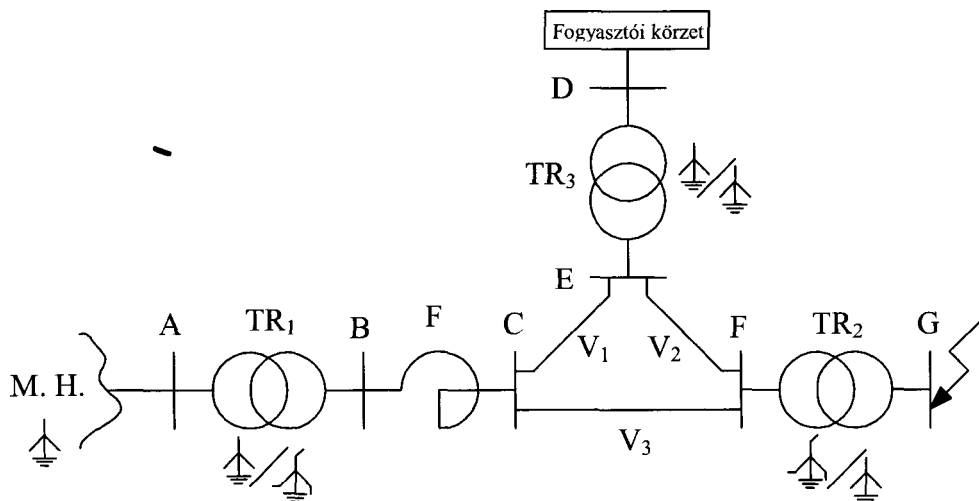


Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d^{(1)}$ [%]	$\varepsilon_d^{(2)}$ [%]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	2000	-	-	-	-
G <sub>1</sub>	22	18,2	29,2	22,8	182	-
G <sub>2</sub>	22	25,9	24	17	207	-
TR <sub>1</sub>	35/22	12,5	-	-	-	7,4
TR <sub>2</sub>	120/36,75/22	30/20/16	-	-	-	7/8,3/7,62
TR <sub>3</sub>	35/22	10	-	-	-	7,47

A szabadvezeték adatai:  $l_V = 20$  km  $x_V = 0,4 \Omega/\text{km}$

4. Határozza meg az ábrán látható hálózatban a hibahelyi zárlati áram értékét, ha a „G” jelű gyűjtősínen a „b” és „c” fázisban egyidejűleg földrövidzárlat lép fel? Adja meg a „C” és „G” jelű gyűjtősín három-három fázisfeszültségének (aszimmetrikus feszültségrendszer) értékét! A TR<sub>2</sub> transzformátor fázisforgató hatását vegye figyelembe, ha a kapcsolási jele: Yz



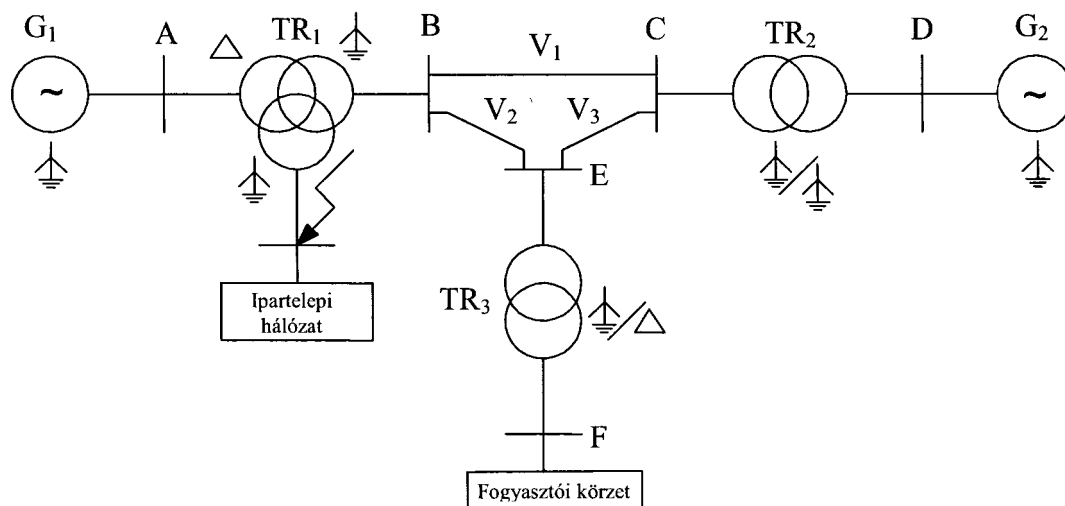
Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	2000	-
TR <sub>1</sub>	120/11	40	9,8
TR <sub>2</sub>	20/11	35	8,7
TR <sub>3</sub>	10,5/0,4	20	9,4

A fojtótekeres reaktanciája:  $X_F = 0,8 \Omega$ .

A szabadvezetékek jellemzői:  $l_{V1} = 2 \text{ km}$ ,  $l_{V2} = 3 \text{ km}$ ,  $l_{V3} = 4 \text{ km}$ ,  
 $x_V = 0,4 \Omega/\text{km}$ .

5. Az alábbi hálózatban az ipartelepi fogyasztó 30 kV-os gyűjtősínjén a „b” és „c” fázisban egyidejűleg földrövidzárlat lép fel. Adja meg a zárlati áram- és zárlati feszültségeloszlást. (A transzformátorok fázisforgató hatását elhanyagolhatja.)



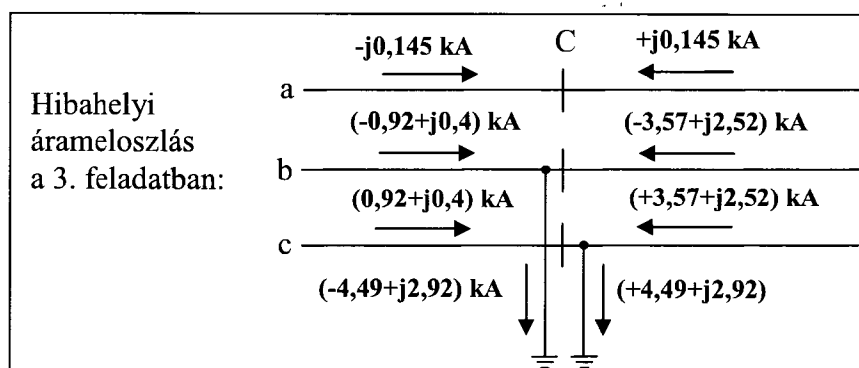
Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d^{(1)}$ [%]	$\varepsilon_d^{(2)}$ [%]	$\varepsilon$ [%]
$G_1$	10,5	125	14,3	8,7	-
$G_2$	18	176,5	14,7	8,9	-
TR <sub>1</sub>	120/30/10,5	36/18/24	-	-	7,67/11,7/8,6
TR <sub>2</sub>	120/22	24	-	-	8,6
TR <sub>3</sub>	120/11	40	-	-	10,6

A szabadvezetékek jellemzői:  $l_{V1} = 30 \text{ km}$   $l_{V2} = 40 \text{ km}$   
 $l_{V3} = 50 \text{ km}$   $x_V = 0,4 \Omega/\text{km}$

**Eredmények:**

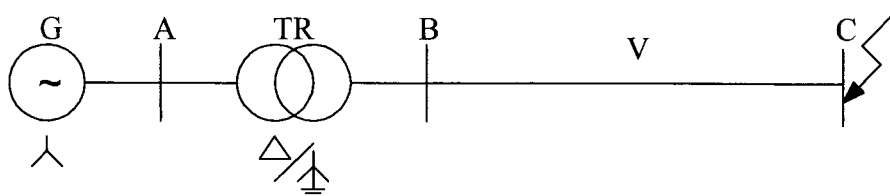
<p><b>1. feladat:</b> <math>\bar{I}_a^C = -j0 \text{ kA}</math>    <math>\bar{I}_b^C = (-0,77 + j0,26) \text{ kA}</math>    <math>\bar{I}_c^C = (0,77 + j0,26) \text{ kA}</math>  <math>\bar{U}_a^C = 81 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_b^C = 0 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_c^C = 0 \text{ kV}</math>  <math>\bar{U}_a^B = 65,8 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_b^B = (-26,7 - j33,9) \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_c^B = (-26,7 + j33,9) \text{ kV}</math>  <math>\bar{U}_a^A = (5 + j2,65) \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_b^A = -j5,3 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_c^A = (-5 + j2,65) \text{ kV}</math>  <math>\bar{I}_a^G = (2,55 - j0,85) \text{ kA}</math>    <math>\bar{I}_b^G = -5,1 \text{ kA}</math>    <math>\bar{I}_c^G = (2,55 + j0,85) \text{ kA}</math></p>
<p><b>2. feladat:</b> <math>\bar{I}_a = 0 \text{ kA}</math>    <math>\bar{I}_b = (-2,4 + j1,44) \text{ kA}</math>    <math>\bar{I}_c = (2,4 + j1,44) \text{ kA}</math>  <math>\bar{U}_a^D = 75,4 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_b^D = 0 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_c^D = 0 \text{ kV}</math>  <math>\bar{U}_a^B = 69,3 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_b^B = (-32,6 - j55,8) \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_c^B = (-32,6 + j55,8) \text{ kV}</math></p>
<p><b>3. feladat:</b> <math>\bar{I}_a^C = 0 \text{ kA}</math>    <math>\bar{I}_b^C = (-4,49 + j2,92) \text{ kA}</math>    <math>\bar{I}_c^C = (4,49 + j2,92) \text{ kA}</math>  <math>\bar{U}_a^C = 18,66 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_b^C = 0 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_c^C = 0 \text{ kV}</math>  <math>\bar{U}_a^B = 16,4 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_b^B = (-6,67 - j7,35) \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_c^B = (-6,67 + j7,35) \text{ kV}</math></p>
<p><b>4. feladat:</b> <math>\bar{I}_a = 0 \text{ kA}</math>    <math>\bar{I}_b = (-1,69 + j0,59) \text{ kA}</math>    <math>\bar{I}_c = (1,69 + j0,59) \text{ kA}</math>  <math>\bar{U}_a^G = 13,85 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_b^G = 0 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_c^G = 0 \text{ kV}</math>  <math>\bar{U}_a^C = (-4,36 - j2,11) \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_b^C = (0,78 + j4,22) \text{ kV}</math>  <math>\bar{U}_c^C = (5,9 - j2,11) \text{ kV}</math></p>
<p><b>5. feladat:</b> <math>\bar{I}_a = 0 \text{ kA}</math>    <math>\bar{I}_b = (-3,69 + j2,32) \text{ kA}</math>    <math>\bar{I}_c = (3,69 + j2,32) \text{ kA}</math>  <math>\bar{U}_a = 15,94 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_b = 0 \text{ kV}</math>    <math>\bar{U}_c = 0 \text{ kV}</math></p>



### 3.5.3. Kétfázisú rövidzárlat (2F) számítása

#### Kidolgozott példa:

Mekkora az alábbi hálózatban a hibahelyen folyó zárlati áram, ha a „C” jelű gyűjtősínen a „b” és „c” fázisok között fáziszárlat lép fel? Adja meg a három gyűjtősín három fázisfeszültségének (aszimmetrikus feszültségrendszer) értékét erre az esetre! Határozza meg a generátor a áramát a vizsgált esetben! A transzformátor fázisforgató hatását vegye figyelembe, a kapcsolási jele: Yd11.



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon$ [%]
G	10,5	50	15,4	9,6	212	-
TR	132/10,5	20	-	-	-	8

A szabadvezeték adatai:  $l_V = 60$  km  $x_V = 0,4$   $\Omega$ /km

Megoldás:

A hibahelyre érvényes feltételek:  $\bar{I}_a = 0$  és  $\bar{I}_b + \bar{I}_c = 0$  illetve  $\bar{U}_b = \bar{U}_c$ .

Az első feltétel alapján az „a” fázis hibahelyi áramának szimmetrikus összetevői:

$$\begin{pmatrix} \bar{I}_{a0} \\ \bar{I}_{a1} \\ \bar{I}_{a2} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{I}_b \\ -\bar{I}_b \end{pmatrix}$$

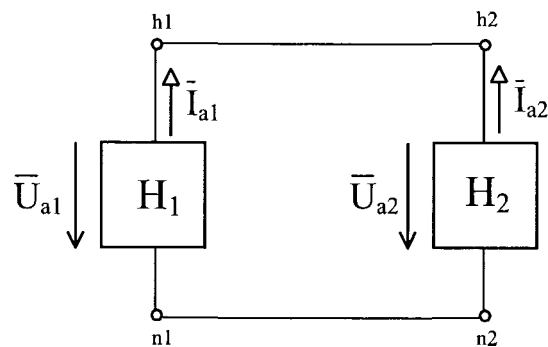
Ebből  $\bar{I}_{a0} = 1 \cdot 0 + 1 \cdot \bar{I}_b + 1 \cdot (-\bar{I}_b) = 0$ , tehát a zérus sorrendű áramkörben áram nem folyhat. Ez csak akkor lehetséges, ha  $\bar{U}_{a0} = 0$  is teljesül, tehát a számításoknál a zérus sorrendű hálózat elhagyható.

Így a hibahelyi feszültség szimmetrikus összetevői:

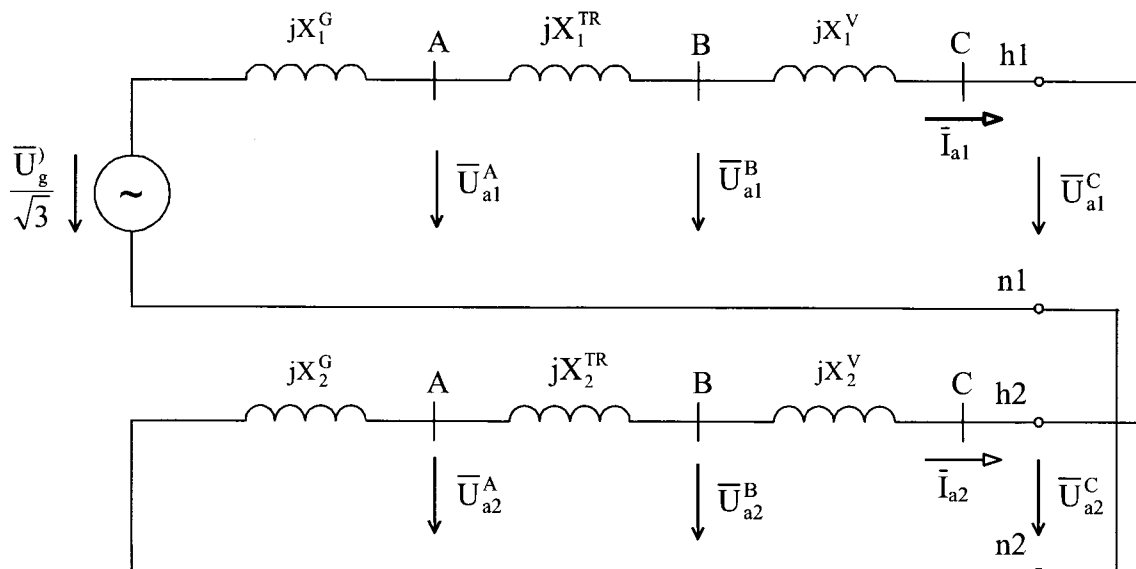
$$\begin{pmatrix} 0 \\ \bar{U}_{a1} \\ \bar{U}_{a2} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \bar{U}_a \\ \bar{U}_b \\ \bar{U}_b \end{pmatrix}$$

amiből az  $\bar{U}_{a1} = \bar{U}_{a2}$  egyenlőség következik, tehát a pozitív és a negatív sorrendű hálózat feszültsége azonos. Mivel  $\bar{I}_a = \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2} = 0$ , a két sorrendű hálózat áramai egy csomópontban találkoznak (összegük nulla).

Fentiek alapján a sorrendi hálózatokat a hibahelyen *párhuzamosan* kell kapcsolni (Valójában ez nem áramköri párhuzamos kapcsolás!):



A helyettesítő vázlat:



A generátor feszültsége a hibahelyi feszültségszintre redukálva:

$$U_g^) = U_{nG} \cdot \frac{U_{Tszek}}{U_{Tprim}} = 10,5 \cdot \frac{132}{10,5} = 132 \text{ kV}$$

A pozitív sorrendű hálózat reaktanciái a számítási feszültségszinten:

$$X_1^G = \frac{\varepsilon_d^)}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nG}} = \frac{15,4}{100} \cdot \frac{132^2}{50} = 53,7 \Omega \quad X_1^{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nTR}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{132^2}{20} = 69,7 \Omega$$

$$X_1^V = x_V \cdot l_V = 0,4 \cdot 60 = 24 \Omega$$

A negatív sorrendű hálózat reaktanciái a számítási feszültségszinten:

$$X_2^G = \frac{\varepsilon_d^)}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nG}} = \frac{9,6}{100} \cdot \frac{132^2}{50} = 33,5 \Omega \quad X_2^{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_g^)^2}{S_{nTR}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{132^2}{20} = 69,7 \Omega$$

$$X_2^V = X_1^V = x_V \cdot l_V = 0,4 \cdot 60 = 24 \Omega$$

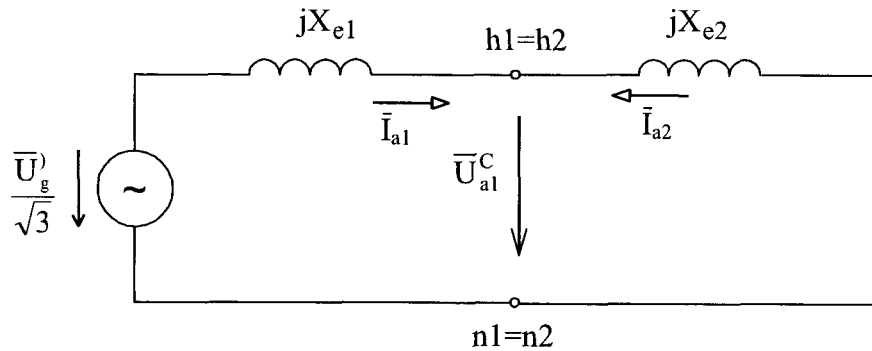
A sorrendi hálózatok eredő reaktanciái a számítási feszültségszinten:

$$X_{e1} = X_1^G + X_1^{TR} + X_1^V = 53,7 + 69,7 + 24 = 147,4 \Omega$$

$$X_{e2} = X_2^G + X_2^{TR} + X_2^V = 33,5 + 69,7 + 24 = 127,2 \Omega$$

Az eredő reaktancia a helyettesítő hálózatok eredő reaktanciái alapján:

$$X_e = X_{e1} + X_{e2} = 147,4 + 127,2 = 274,6 \Omega$$



A zárlati áram a különböző sorrendű összetevői:

A pozitív sorrendű összetevő:

$$\bar{I}_{a1} = \frac{U_g}{\sqrt{3} \cdot jX_e} = \frac{132}{\sqrt{3} \cdot j274,6} = -j0,277 \text{ kA}$$

A negatív sorrendű összetevő az ábra alapján:  $\bar{I}_{a2} = -\bar{I}_{a1} = j0,277 \text{ kA}$

A hibahelyi zárlati áram:

$$\bar{I}_a = \bar{I}_{a0} + \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2} = -j0,277 + j0,277 = 0 \text{ kA}$$

$$\bar{I}_b = \bar{I}_{a0} + \bar{a}^2 \bar{I}_{a1} + \bar{a} \bar{I}_{a2} = (\bar{a}^2 - \bar{a}) \cdot \bar{I}_{a1} = -j\sqrt{3} \cdot (-j0,277) = -0,48 \text{ kA}$$

$$\bar{I}_c = \bar{I}_{a0} + \bar{a} \bar{I}_{a1} + \bar{a}^2 \bar{I}_{a2} = (\bar{a} - \bar{a}^2) \cdot \bar{I}_{a1} = j\sqrt{3} \cdot (-j0,277) = 0,48 \text{ kA}$$

A zárlati áram nagysága a különböző fázisokban:

$$|\bar{I}_a| = 0 \text{ kA}$$

$$|\bar{I}_b| = 0,48 \text{ kA}$$

$$|\bar{I}_c| = 0,48 \text{ kA}$$

A gyűjtősínek feszültségének meghatározása:

A sorrendi feszültségek (szimmetrikus összetevők) számítása a „C” gyűjtősínen:

$$\bar{U}_{a1}^C = \frac{U_g}{\sqrt{3}} - (\bar{I}_{a1} \cdot jX_{e1}) = \frac{132}{\sqrt{3}} - (-j0,277 \cdot j147,4) = 35,3 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^C = -(\bar{I}_{a2} \cdot X_{e2}) = -(j0,277 \cdot j127,2) = 35,3 \text{ kV}$$

Ezek az eredmények nyilvánvalóan várhatóak voltak (l. a kiindulási feltételeket!).

Ez alapján a fázisfeszültségek:

$$\bar{U}_a^C = \bar{U}_{a0}^C + \bar{U}_{a1}^C + \bar{U}_{a2}^C = 0 + 35,3 + 35,3 = 70,6 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_b^C = \bar{U}_{a0}^C + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^C + \bar{a} \bar{U}_{a2}^C = (\bar{a}^2 + \bar{a}) \cdot \bar{U}_{a1}^C = (-1) \cdot 35,3 = -35,3 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_c^C = \bar{U}_{a0}^C + \bar{a} \bar{U}_{a1}^C + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^C = (\bar{a} + \bar{a}^2) \cdot \bar{U}_{a1}^C = (-1) \cdot 35,3 = -35,3 \text{ kV}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

$$|\bar{U}_a^C| = 70,6 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_b^C| = 35,3 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_c^C| = 35,3 \text{ kV}$$

A sorrendi feszültségek (szimmetrikus összetevők) számítása a „B” gyűjtősínen:

$$\bar{U}_{a1}^B = \frac{U_g}{\sqrt{3}} - \bar{I}_{a1} \cdot j(X_1^G + X_1^{TR}) = \frac{132}{\sqrt{3}} - (-j0,277) \cdot j(53,5 + 69,7) = 42,1 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^B = -\bar{I}_{a2} \cdot j(X_2^G + X_2^{TR}) = -(j0,277) \cdot j(33,5 + 69,7) = 28,6 \text{ kV}$$

Ez alapján a fázisfeszültségek:

$$\bar{U}_a^B = \bar{U}_{a0}^B + \bar{U}_{a1}^B + \bar{U}_{a2}^B = 0 + 42,1 + 28,6 = 70,7 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_b^B = \bar{U}_{a0}^B + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^B + \bar{a} \bar{U}_{a2}^B = 0 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 42,1 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 28,6 = (-35,3 - j11,7) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_c^B = \bar{U}_{a0}^B + \bar{a} \bar{U}_{a1}^B + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^B = 0 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 42,1 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 28,6 = (-35,3 + j11,7) \text{ kV}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

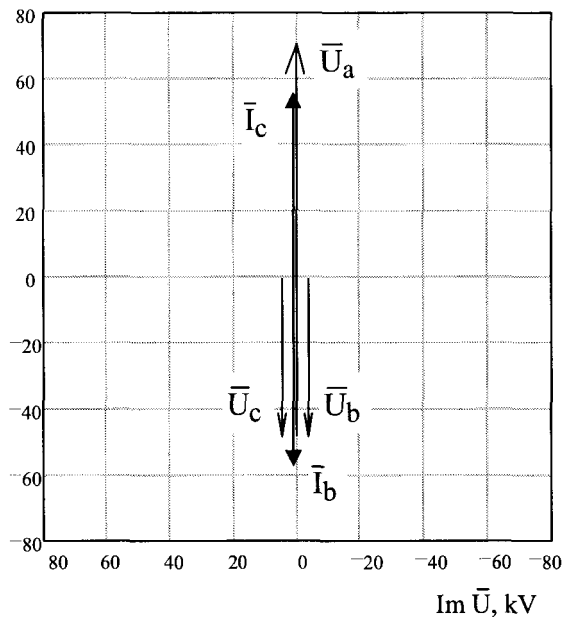
$$|\bar{U}_a^B| = 70,7 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_b^B| = 37,2 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_c^B| = 37,2 \text{ kV}$$

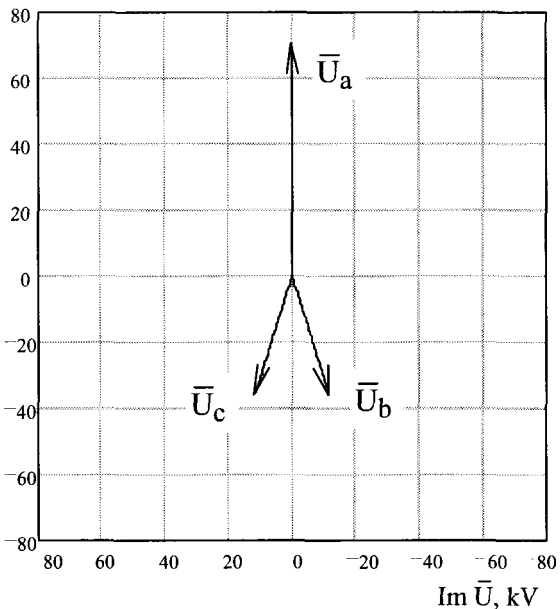
A fázorábrák:

Re  $\bar{U}$ , kV



„C” jelű gyűjtősín

Re  $\bar{U}$ , kV



„B” jelű gyűjtősín

A sorrendi feszültségek (szimmetrikus összetevők) számítása az „A” gyűjtősínen:

A szimmetrikus összetevők a helyettesítő kapcsolás alapján a hibahelyi feszültség szinten:

$$\bar{U}_{a1}^A = \frac{U_g}{\sqrt{3}} - \bar{I}_{a1} \cdot jX_1^G = \frac{132}{\sqrt{3}} - (-j0,277 \cdot j53,67) = 61,3 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^A = -\bar{I}_{a2} \cdot jX_2^G = -(j0,277 \cdot j33,45) = 9,26 \text{ kV}$$

A transzformátor kapcsolási jele Yd11, tehát a fázisforgatás mértéke  $30^\circ$ . Így a transzformátor áttételének és fázisforgató hatásának figyelembe vételével a feszültség szimmetrikus összetevőinek értéke az „A” gyűjtősínen:

$$\bar{U}_{a1}^A = \frac{10,5}{132} \cdot \bar{U}_{a1}^A \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} = \frac{10,5}{132} \cdot 61,3 \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) = (4,22 + j2,44) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^A = \frac{10,5}{132} \cdot \bar{U}_{a2}^A \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}} = \frac{10,5}{132} \cdot 9,26 \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right) = (0,64 - j0,37) \text{ kV}$$

Ez alapján a fázisfeszültségek az „A” gyűjtősínen:

$$\bar{U}_a^A = \bar{U}_{a0}^A + \bar{U}_{a1}^A + \bar{U}_{a2}^A = 0 + 4,22 + j2,44 + 0,64 - j0,37 = (4,86 + j2,07) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_b^A = \bar{U}_{a0}^A + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^A + \bar{a} \bar{U}_{a2}^A = 0 + \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (4,22 + j2,44) + \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (0,64 - j0,37) = -j4,14 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_c^A = \bar{U}_{a0}^A + \bar{a} \bar{U}_{a1}^A + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^A = 0 + \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (4,22 + j2,44) + \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (0,64 - j0,37) = (-4,86 + j2,07) \text{ kV}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

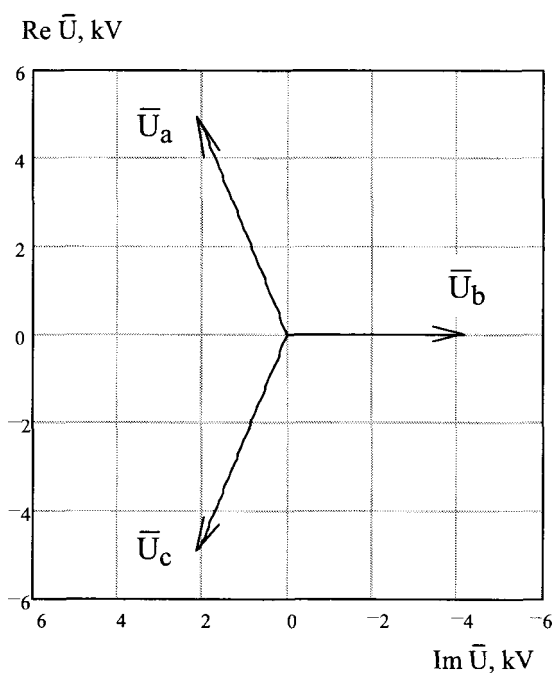
$$|\bar{U}_a^A| = 5,28 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_b^A| = 4,14 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_c^A| = 5,28 \text{ kV}$$

$$\text{(A generátor fázisfeszültségének névleges értéke: } U_{nG} = \frac{10,5}{\sqrt{3}} = 6,06 \text{ kV !)}$$

A fázorábra:



A generátor áramának szimmetrikus összetevői a hibahelyi áramból közvetlenül számíthatók a transzformátor áttételének és fázisforgató hatásának figyelembe vételével:

$$\bar{I}_{a1}^G = \frac{U_1}{U_2} \cdot \bar{I}_{a1} \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} = \frac{132}{10,5} \cdot (-j0,277) \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) = (1,74 - j3,02) \text{ kA}$$

$$\bar{I}_{a2}^G = \frac{U_1}{U_2} \cdot \bar{I}_{a2} \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}} = \frac{132}{10,5} \cdot j0,277 \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right) = (1,74 + j3,02) \text{ kA}$$

Ez alapján a generátor árama:

$$\bar{I}_a^G = \bar{I}_{a0}^G + \bar{I}_{a1}^G + \bar{I}_{a2}^G = 0 + 1,74 - j3,02 + 1,74 + j3,02 = 3,48 \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_b^G &= \bar{I}_{a0}^G + \bar{a}^2 \bar{I}_{a1}^G + \bar{a} \bar{I}_{a2}^G = 0 + \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (1,74 - j3,02) + \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (1,74 + j3,02) = \\ &= -6,96 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_c^G &= \bar{I}_{a0}^G + \bar{a} \bar{I}_{a1}^G + \bar{a}^2 \bar{I}_{a2}^G = 0 + \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (1,74 - j3,02) + \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (1,74 + j3,02) = \\ &= 3,48 \text{ kA} \end{aligned}$$

Az áram nagysága a különböző fázisokban:

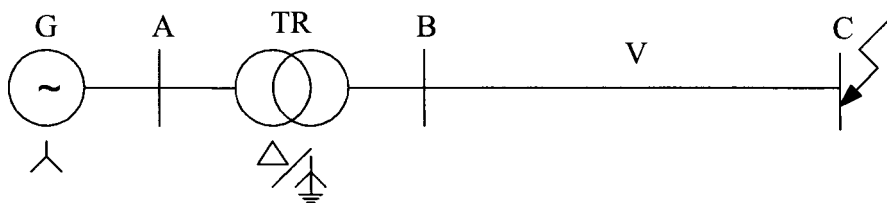
$$|\bar{I}_a^G| = 3,87 \text{ kA}$$

$$|\bar{I}_b^G| = 6,82 \text{ kA}$$

$$|\bar{I}_c^G| = 3,87 \text{ kA}$$

### Feladatok:

1. Határozza meg az alábbi hálózatban a hibahelyen folyó zárlati áram, és valamennyi gyűjtősín feszültségének értékét, ha a „C” jelű gyűjtősínen a „b” és „c” fázisok között zárlat lép fel! Határozza meg a generátor zárlatkor fellépő áramát a különböző fázisokban! A transzformátor fázis-forgató hatását vegye figyelembe, a kapcsolási jele: Yd11.

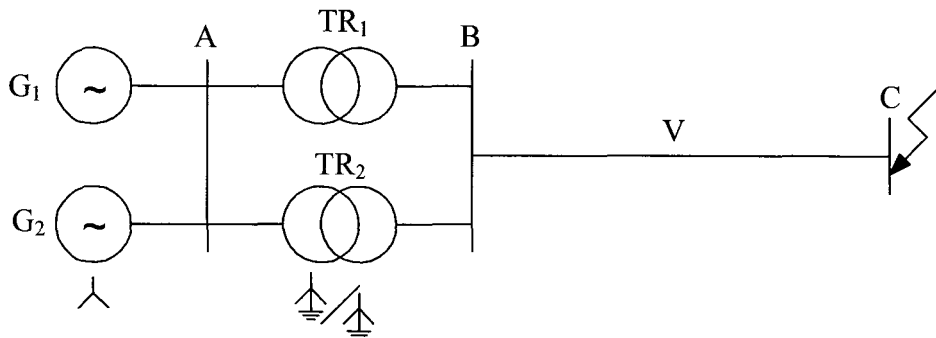


Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d^{(1)}$ [%]	$\varepsilon_d^{(2)}$ [%]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon$ [%]
G	10,5	40	18	12	192	-
TR	132/10,5	50	-	-	-	8

A szabadvezeték adatai:  $l_V = 100 \text{ km}$   $x_V = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$

2. Mekkora az alábbi hálózatban a hibahelyen folyó zárlati áram, ha a vezeték végén a „b” és „c” fázisok között zárlat lép fel? Határozza meg a fázisfeszültségek értékét a „C” és az „A” gyűjtősínen! A transzformátorok fázisforgató hatását vegye figyelembe, a kapcsolási jele Yy6!

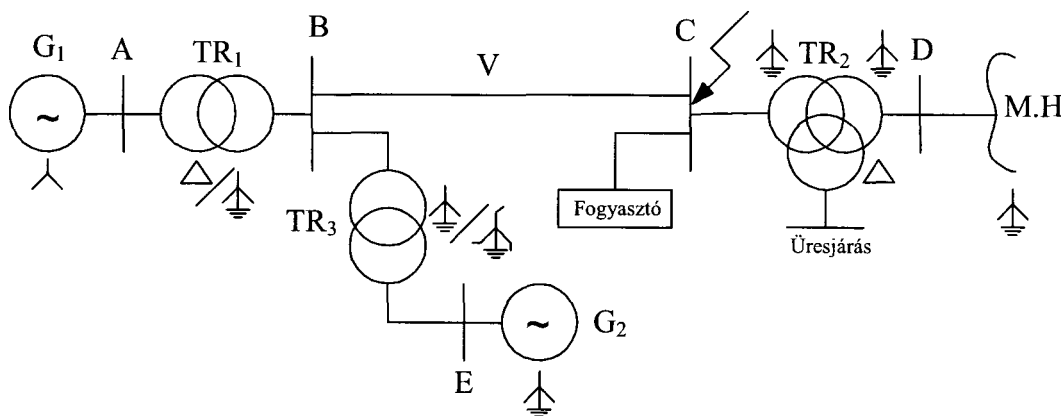


Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d^{(1)}$ [%]	$\varepsilon_d^{(2)}$ [%]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon$ [%]
$G_1, G_2$	20	100	16	10,2	203	-
$TR_1, TR_2$	120/22	24	-	-	-	8

A szabadvezeték jellemzői:  $l_v = 110$  km  $x_v = 0,4$   $\Omega$ /km

3. Határozza meg a fenti hálózat áramát a zárlat helyén, ha a „C” jelű gyűjtősínen zárlat lép fel a „b” és „c” fázis között? Adja meg a hibahelyi fázisfeszültségek értékét is! A transzformátorok fázisforgató hatását nem kell figyelembe venni!

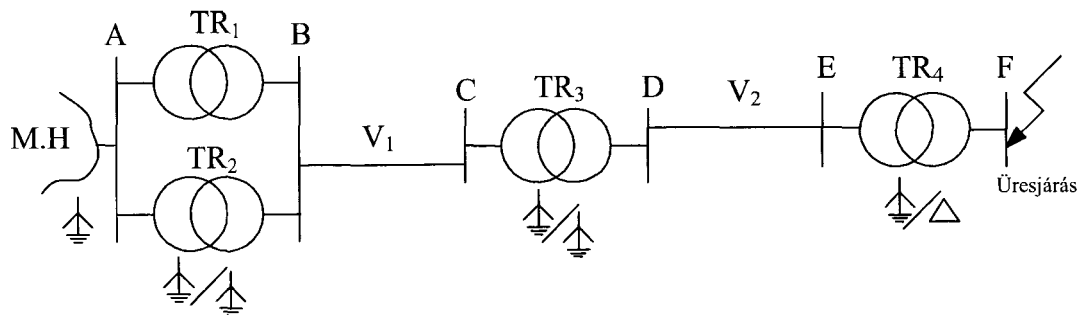


Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon_d^{(1)}$ [%]	$\varepsilon_d^{(2)}$ [%]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	2000	-	-	-	-
$G_1$	22	18,2	29,2	22,8	182	-
$G_2$	22	25,9	24	17	207	-
$TR_1$	35/22	12,5	-	-	-	7,4
$TR_2$	120/36,75/22	30/20/16	-	-	-	7/8,3/7,62
$TR_3$	35/22	10	-	-	-	7,47

A szabadvezeték adatai:  $l_v = 20$  km  $x_v = 0,4$   $\Omega$ /km

4. Határozza meg az ábrán látható hálózat hibahelyi zárlati áramát, valamint a zárlat helyén fellépő aszimmetrikus feszültségrendszer fázisfeszültségeinek értékét, ha az „F” jelű gyűjtősínen a „b” és „c” fázisok között zárlat lép fel!

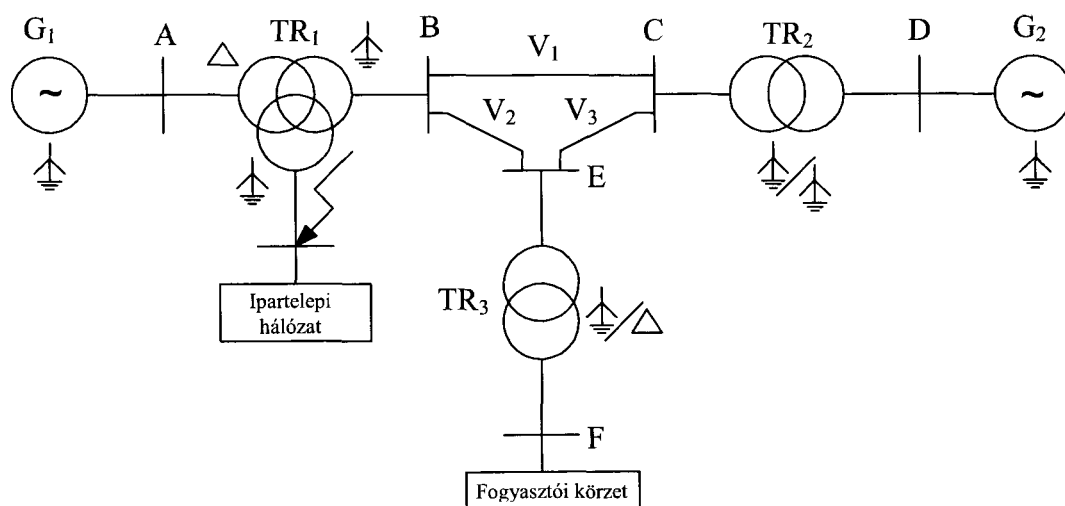


Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	400	$\infty$	-
TR <sub>1</sub> , TR <sub>2</sub>	400/231	500	12,1
TR <sub>3</sub>	220/126	160	9,71
TR <sub>4</sub>	120/36,75	40	10,35

A szabadvezeték jellemzői:  $l_{V1} = 110$  km  $l_{V2} = 40$  km  $x_V = 0,4 \Omega/\text{km}$

5. Az alábbi hálózatban az ipartelepi fogyasztó 30 kV-os gyűjtősínjén a „b” és „c” fázisok között 2F zárlat lép fel. Adja meg, hogy zárlatkor mekkora a hibahelyen fellépő feszültség értéke mindhárom fázisban, valamint határozza meg a hibahelyi zárlati áram nagyságát!



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon$ [%]
$G_1$	10,5	125	14,3	8,7	-
$G_2$	18	176,5	14,7	8,9	-
$TR_1$	120/30/10,5	36/18/24	-	-	7,67/11,7/8,6
$TR_2$	120/22	24	-	-	8,6
$TR_3$	120/11	40	-	-	10,6

A szabadvezetékek jellemzői:  $l_{v1} = 30$  km  $l_{v2} = 40$  km  
 $l_{v3} = 50$  km  $x_v = 0,4 \Omega/\text{km}$

**Eredmények:**

<b>1. feladat:</b>	$\bar{I}_a^C = 0$ kA	$\bar{I}_b^C = -0,495$ kA	$\bar{I}_c^C = 0,495$ kA
	$\bar{U}_a^C = 68,73$ kV	$\bar{U}_b^C = -34,37$ kV	$\bar{U}_c^C = -34,37$ kV
	$\bar{U}_a^B = 68,73$ kV	$\bar{U}_b^B = (-34,4 - j19,8)$ kV	$\bar{U}_c^B = (-34,4 + j19,8)$ kV
	$\bar{U}_a^A = (4,74 + j1,54)$ kV	$\bar{U}_b^A = -j3,1$ kV	$\bar{U}_c^A = (-4,74 + j1,54)$ kV
	$\bar{I}_a^G = 3,6$ kA	$\bar{I}_b^G = -7,2$ kA	$\bar{I}_c^G = 3,6$ kA
<b>2. feladat:</b>	$\bar{I}_a = 0$ kA	$\bar{I}_b = -0,76$ kA	$\bar{I}_c = 0,76$ kA
	$\bar{U}_a^C = 61,4$ kV	$\bar{U}_b^C = -30,7$ kV	$\bar{U}_c^C = -30,7$ kV
	$\bar{U}_a^B = 59,95$ kV	$\bar{U}_b^B = (-29,97 - j12,47)$ kV	$\bar{U}_c^B = (-29,97 + j12,47)$ kV
	$\bar{U}_a^A = -11$ kV	$\bar{U}_b^A = (5,5 + j7,82)$ kV	$\bar{U}_c^A = (5,5 - j7,82)$ kV
<b>3. feladat:</b>	$\bar{I}_a^C = 0$ kA	$\bar{I}_b^C = -4,51$ kA	$\bar{I}_c^C = 4,51$ kA
	$\bar{U}_a^C = 20$ kV	$\bar{U}_b^C = -10$ kV	$\bar{U}_c^C = -10$ kV
<b>4. feladat:</b>	$\bar{I}_a^F = 0$ kA	$\bar{I}_b^F = -2,51$ kA	$\bar{I}_c^F = 2,51$ kA
	$\bar{U}_a^F = 21,2$ kV	$\bar{U}_b^F = -10,6$ kV	$\bar{U}_c^F = -10,6$ kV
	$\bar{U}_a^D = (60 - j23,6)$ kV	$\bar{U}_b^D = (-60 - j23,6)$ kV	$\bar{U}_c^D = +j74,2$ kV
<b>5. feladat:</b>	$\bar{I}_a = 0$ kA	$\bar{I}_b = -3,73$ kA	$\bar{I}_c = 3,73$ kA
	$\bar{U}_a = 16,87$ kV	$\bar{U}_b = -8,43$ kV	$\bar{U}_c = -8,43$ kV

### 3.6. Soros hibák számítása

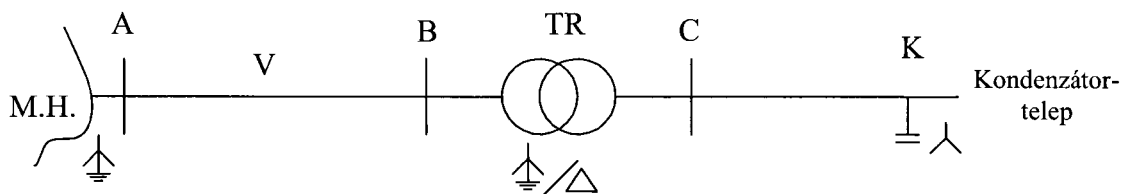
#### 3.6.1. Egyfázisú szakadás (1f) számítása

##### Kidolgozott példa:

Egy kondenzátortelep kikapcsolásakor a „C” gyűjtősnin megszakítója csak az „a” fázisban nyit, a „b” és „c” fázisokban a megszakító érintkezői beragadnak. Az így bekövetkező aszimmetrikus üzemiállapotban számolja ki a következőket:

- a kondenzátortelep feszültségét,
- a megszakító nyitott kapcsai (szakadt végek) közötti feszültséget,
- a hálózat feszültségét!

Hogyan alakulnak a fenti jellemzők, ha a hiba a „B” gyűjtősnin megszakítójának működésekor következik be? (A transzformátor kapcsolási jele: Yd11.)



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	$\infty$	-
TR	120/10	40	8
K	10	2,4	-

A szabadvezeték adatai:

$$l_v = 30 \text{ km} \quad x_v = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$$

##### Megoldás:

A szakadt vezeték (hibahely) két végét megkülönböztetve ( $h$  illetve  $h'$ ) a helyettesítő hálózatoknak három kivezetésük lesz. A szakadt végek közötti feszültség (hibahelyi feszültség) a két végpont feszültségének különbsége:

$$\bar{V}_a = \bar{U}_a - \bar{U}_a' \quad \bar{V}_b = \bar{U}_b - \bar{U}_b' \quad \bar{V}_c = \bar{U}_c - \bar{U}_c'$$

Ha a szakadás az „a” fázisban van, akkor  $\bar{I}_a = 0$  illetve  $\bar{V}_b = 0$  és  $\bar{V}_c = 0$ .

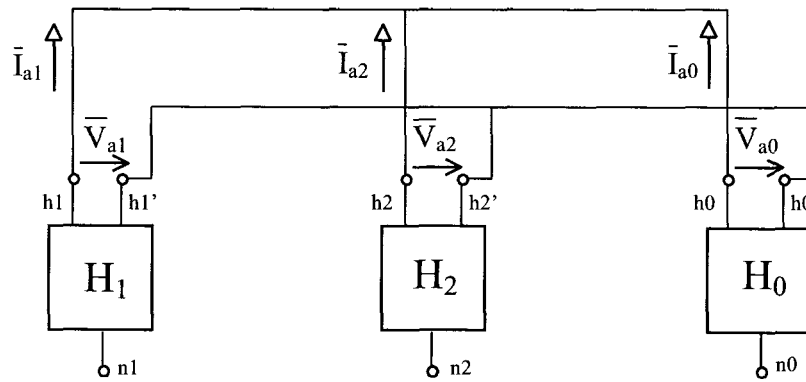
A soros hibahelyi feszültség szimmetrikus összetevői:

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

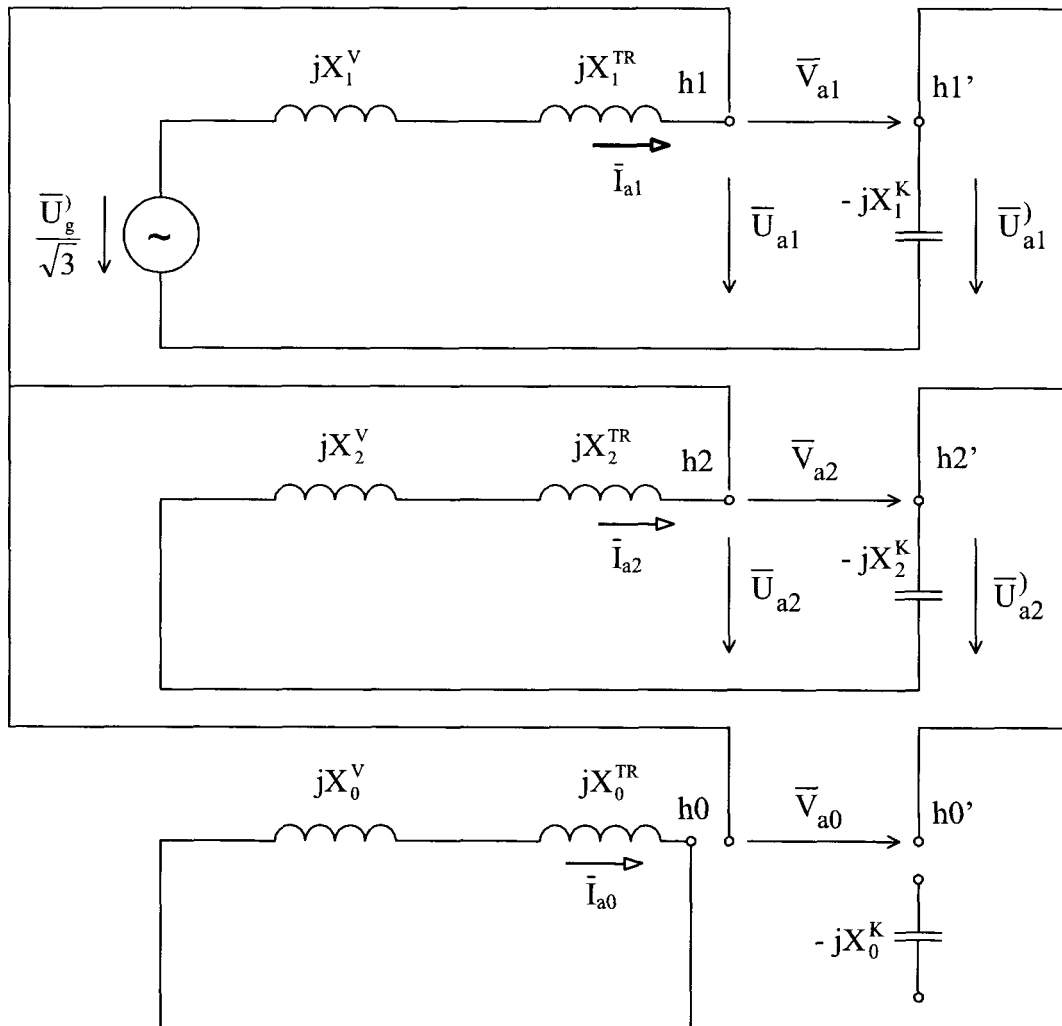
ami alapján  $\bar{V}_{a0} = \bar{V}_{a1} = \bar{V}_{a2} = \frac{1}{3} \cdot \bar{V}_a$ .

A hibahelyi áramra érvényes  $\bar{I}_{a0} + \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2} = 0$ .

A feszültség összetevők megegyeznek, az áramösszetevőkre pedig a csomóponti törvény teljesül, így a sorrendi hálózatokat a szakadt végekre nézve párhuzamosan kell kötni:



A helyettesítő kapcsolási vázlat:



A számításokat a hibahelyi feszültségszinten végezzük:  $U_g^j = 10 \text{ kV}$ .

A pozitív sorrendű hálózat reaktanciái a számítási feszültségszinten:

$$X_1^{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_g^j{}^2}{S_{nTR}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{10^2}{40} = 0,2 \text{ } \Omega \quad X_1^V = x_V \cdot l_V = 0,4 \cdot 30 \cdot \frac{10^2}{120^2} = 0,083 \text{ } \Omega$$

$$X_1^K = \frac{U_g^j{}^2}{S_K} = \frac{10^2}{2,4} = 41,66 \text{ } \Omega$$

A negatív sorrendű hálózat reaktanciái a számítási feszültség szinten:

$$X_2^{TR} = X_1^{TR} = 0,2 \Omega \quad X_2^V = X_1^V = 0,083 \Omega \quad X_2^K = X_1^K = 41,66 \Omega$$

A zérus sorrendű hálózatban nem folyhat áram, ezért a zérus sorrendű reaktanciák meghatározása nem szükséges.

A sorrendi hálózatok eredő reaktanciái:

$$X_{e1} = X_1^V + X_1^{TR} - X_1^K = 0,083 + 0,2 - 41,667 = -41,38 \Omega$$

$$X_{e2} = X_2^V + X_2^{TR} - X_2^K = 0,083 + 0,2 - 41,667 = -41,38 \Omega$$

Az eredő reaktancia:  $X_e = X_{e1} + X_{e2} = -82,76 \Omega$

A hibahelyi áram különböző sorrendű összetevői:

$$\bar{I}_{a1} = \frac{U_g^j}{\sqrt{3} \cdot jX_e} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot (-j82,76)} = j69,75 \text{ A}$$

$$\bar{I}_{a2} = -\bar{I}_{a1} = -j69,75 \text{ A} \quad \bar{I}_{a0} = 0$$

A gyűjtősínek feszültségének meghatározása:

A sorrendi feszültségek (szimmetrikus összetevők) számítása a „C” gyűjtősínen:

$$\bar{U}_{a1}^C = \frac{U_g^j}{\sqrt{3}} - \bar{I}_{a1} \cdot j(X_1^V + X_1^{TR}) = \frac{10^4}{\sqrt{3}} - j69,75 \cdot j0,283 = 5773,5 + 19,7 = 5793,2 \text{ V}$$

$$\bar{U}_{a2}^C = -\bar{I}_{a2} \cdot j(X_2^V + X_2^{TR}) = -(-j69,75) \cdot j0,283 = -19,74 \text{ V} \quad \bar{U}_{a0}^C = 0$$

Ez alapján a fázisfeszültségek:

$$\bar{U}_a^C = \bar{U}_{a0}^C + \bar{U}_{a1}^C + \bar{U}_{a2}^C = 5793,2 - 19,74 = 5773,5 \text{ V} \quad (\text{névtelen!})$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_b^C &= \bar{U}_{a0}^C + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^C + \bar{a} \bar{U}_{a2}^C = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 5793,2 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-19,74) = \\ &= (-2886,7 - j5034,2) \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_c^C &= \bar{U}_{a0}^C + \bar{a} \bar{U}_{a1}^C + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^C = -25,9 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 5793,2 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-19,74) = \\ &= (-2886,7 + j5034,2) \text{ V} \end{aligned}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

$$|\bar{U}_a^C| = 5773,5 \text{ V} \quad |\bar{U}_b^C| = 5803,1 \text{ V} \quad |\bar{U}_c^C| = 5803,1 \text{ V}$$

Tehát a „C” jelű gyűjtősín feszültségeiben jelentéktelen aszimmetria lép fel (l. a fázorábrát).

A sorrendi feszültségek (szimmetrikus összetevők) számítása a kondenzátor kapcsain:

$$\bar{U}_{a1}^j = \bar{I}_{a1} \cdot (-jX_1^K) = j69,75 \cdot (-j41,66) = 2906,2 \text{ V}$$

$$\bar{U}_{a2}^j = \bar{I}_{a2} \cdot (-jX_2^K) = -j69,75 \cdot (-j41,66) = -2906,2 \text{ V} \quad \bar{U}_{a0}^j = 0$$

Ez alapján a fázisfeszültségek a kondenzátoron:

$$\bar{U}_a^j = \bar{U}_{a0}^j + \bar{U}_{a1}^j + \bar{U}_{a2}^j = 2906,2 - 2906,2 = 0$$

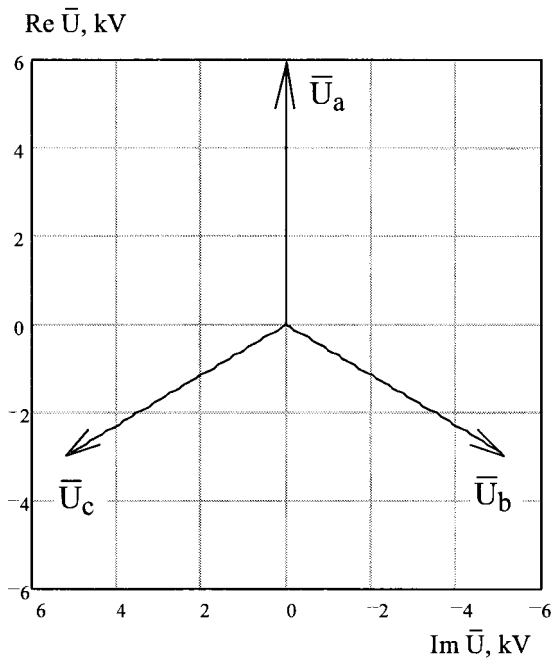
$$\bar{U}_b = \bar{U}_{a0} + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1} + \bar{a} \bar{U}_{a2} = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 2906,2 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-2906,2) = -j5034,2 \text{ V}$$

$$\bar{U}_c = \bar{U}_{a0} + \bar{a} \bar{U}_{a1} + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2} = \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 2906,2 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot (-2906,2) = +j5034,2 \text{ V}$$

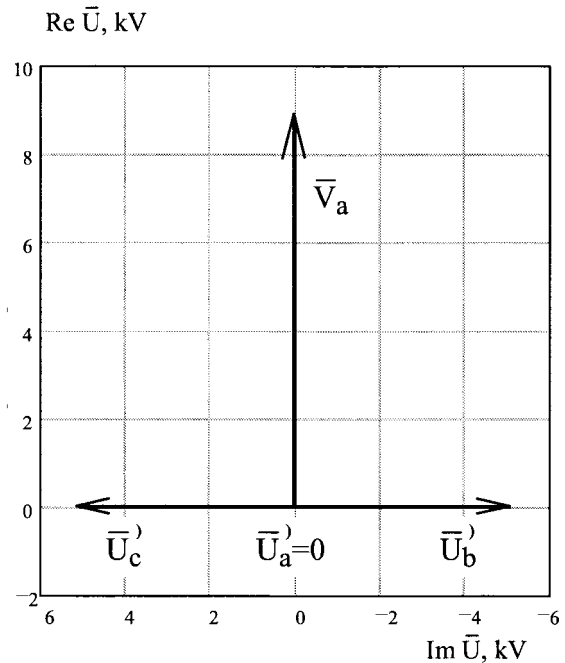
A kondenzátor fázisfeszültségeinek nagysága:

$$|\bar{U}_a| = 0 \text{ V} \quad |\bar{U}_b| = 5034,2 \text{ V} \quad |\bar{U}_c| = 5034,2 \text{ V}$$

A fázorábrák:



„C” jelű gyűjtősín



kondenzátortelep

A megszakító nyitott érintkezői között fellépő (soros hibahelyi) feszültség összetevői:

A helyettesítő kapcsolási vázlat alapján:

$$\bar{V}_{a1} = \bar{U}_{a1} - \bar{U}'_{a1} = 5793,2 - 2906,2 = 2887 \text{ V}$$

Mivel  $\bar{V}_{a0} = \bar{V}_{a1} = \bar{V}_{a2}$ , ezért

$$\bar{V}_a = \bar{V}_{a0} + \bar{V}_{a1} + \bar{V}_{a2} = 3 \cdot 2887 = 8661 \text{ V}$$

$$\bar{V}_b = \bar{V}_{a0} + \bar{a}^2 \bar{V}_{a1} + \bar{a} \bar{V}_{a2} = (1 + \bar{a}^2 + \bar{a}) \cdot \bar{V}_{a1} = 0$$

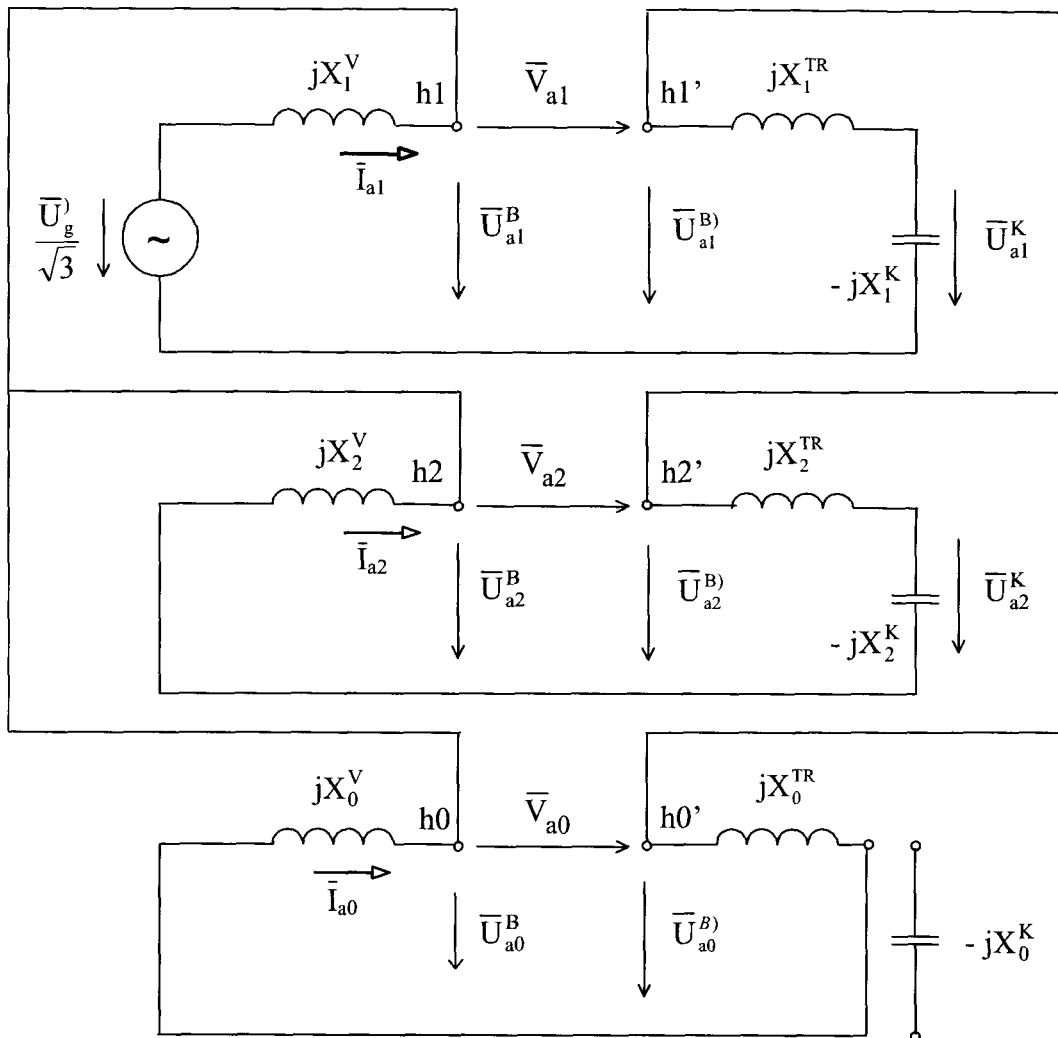
$$\bar{V}_c = \bar{V}_{a0} + \bar{a} \bar{V}_{a1} + \bar{a}^2 \bar{V}_{a2} = (1 + \bar{a} + \bar{a}^2) \cdot \bar{V}_{a1} = 0$$

Utóbbi két érték nyilvánvaló, hiszen ezekben a fázisokban nincs szakadás!

Az „a” fázisban bekövetkező szakadás miatt a kondenzátor-telep csillagpontjának potenciálja megváltozik. Ezért a megszakító érintkezői között fellépő feszültség ( $\bar{V}_a$ ) a fázisfeszültség másfélszerese lesz, ami a fázorábra alapján egyszerűen értelmezhető.

Kidolgozott példa 2.:

Ha az előző példa hálózatán a hiba a „B” jelű gyűjtősin megszakítójának működésekor lép fel, akkor a helyettesítő kapcsolási vázlatok összekötése megváltozik, mert a hiba helye változik: (A sorrendi helyettesítő vázlatok nem változnak!)



A számításokat a hibahelyi feszültség szinten végezzük:  $U_g^1 = 120 \text{ kV}$

A pozitív sorrendű hálózat reaktanciái a számítási feszültség szinten:

$$X_1^{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_g^1)^2}{S_{nTR}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{120^2}{40} = 28,8 \text{ } \Omega \quad X_1^K = \frac{U_g^1)^2}{S_K} = \frac{120^2}{2,4} = 6000 \text{ } \Omega$$

$$X_1^V = x_V \cdot I_V = 0,4 \cdot 30 = 12 \text{ } \Omega$$

A negatív sorrendű hálózat reaktanciái a számítási feszültség szinten:

$$X_2^{TR} = X_1^{TR} = 28,8 \text{ } \Omega \quad X_2^V = X_1^V = 12 \text{ } \Omega \quad X_2^K = X_1^K = 6000 \text{ } \Omega$$

A zérus sorrendű hálózat reaktanciái a számítási feszültség szinten:

$$X_0^{TR} = X_1^{TR} = 28,8 \text{ } \Omega \quad X_0^V = 3 \cdot X_1^V = 3 \cdot 12 = 36 \text{ } \Omega$$

A különböző sorrendi hálózatok eredő reaktanciái:

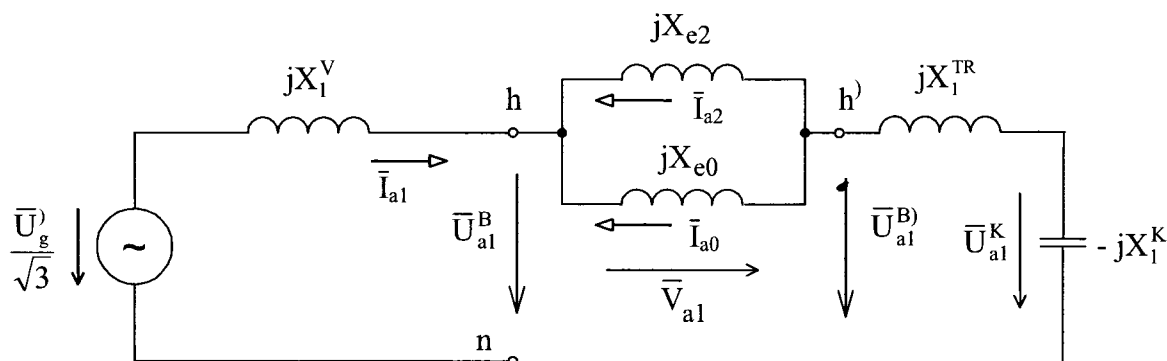
$$jX_{e1} = jX_1^V + jX_1^{TR} - jX_1^K = j12 + j28,8 - j6000 = -j5959,2 \text{ } \Omega$$

$$jX_{e2} = jX_2^V + jX_2^{TR} - jX_2^K = j12 + j28,8 - j6000 = -j5959,2 \text{ } \Omega$$

$$jX_{e0} = jX_0^V + jX_0^{TR} = j36 + j28,8 = j64,8 \text{ } \Omega$$

Az eredő reaktancia a helyettesítő hálózatok eredő reaktanciáinak felhasználásával:

$$jX_e = jX_{e1} + jX_{e2} \otimes jX_{e0} = -j5959,2 + (-j5959,2 \otimes j64,8 = -j5893,7 \Omega$$



A hibahelyi áram különböző sorrendű összetevői:

A hibahelyi áram pozitív sorrendű összetevője:

$$\bar{I}_{a1} = \frac{U_g^j}{\sqrt{3} \cdot jX_e} = \frac{120 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (-j5893,7)} = j11,76 \text{ A}$$

A hibahelyi áram negatív sorrendű összetevője az ábra alapján:

$$\bar{I}_{a2} = -\bar{I}_{a1} \cdot \frac{jX_{e0}}{jX_{e2} + jX_{e0}} = -j11,76 \cdot \frac{j64,8}{-j5959,2 + j64,8} = j0,13 \text{ A}$$

A hibahelyi áram zérus sorrendű összetevője a csomóponti törvény alapján:

$$\bar{I}_{a0} = -\bar{I}_{a1} - \bar{I}_{a2} = -j11,76 - j0,13 = -j11,89 \text{ A}$$

Az áram a hibahelyen:

$$\bar{I}_a = \bar{I}_{a0} + \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2} = -j11,89 + j11,76 + j0,13 = 0 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_b &= \bar{I}_{a0} + a^2 \bar{I}_{a1} + a \bar{I}_{a2} = -j11,89 + (-0,5 - j0,866) \cdot j11,76 + (-0,5 + j0,866) \cdot j0,13 = \\ &= (10,1 - j17,83) \text{ kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_c &= \bar{I}_{a0} + a \bar{I}_{a1} + a^2 \bar{I}_{a2} = -j11,89 + (-0,5 + j0,866) \cdot j11,76 + (-0,5 - j0,866) \cdot j0,13 = \\ &= (-10,1 - j17,83) \text{ kA} \end{aligned}$$

Az áramok nagysága a különböző fázisokban:

$$|\bar{I}_a| = 0 \text{ A} \qquad |\bar{I}_b| = 20,5 \text{ A} \qquad |\bar{I}_c| = 20,5 \text{ A}$$

A gyűjtősínek feszültségének meghatározása:

A sorrendi feszültségek (szimmetrikus összetevők) számítása a „B” gyűjtősínen:

$$\bar{U}_{a1}^B = \frac{U_g^j}{\sqrt{3}} - \bar{I}_{a1} \cdot jX_1^V = \frac{120}{\sqrt{3}} - j11,76 \cdot 10^{-3} \cdot j12 = 69,282 + 0,141 = 69,423 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^B = -\bar{I}_{a2} \cdot jX_2^V = -j0,13 \cdot j12 = 1,55 \text{ V}$$

$$\bar{U}_{a0}^B = -\bar{I}_{a0} \cdot jX_0^V = -(-j11,89) \cdot j36 = -427,7 \text{ V}$$

Ez alapján a fázisfeszültségek:

$$\bar{U}_a^B = \bar{U}_{a0}^B + \bar{U}_{a1}^B + \bar{U}_{a2}^B = -0,428 + 69,423 + 0,002 = 69 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned}\bar{U}_b^B &= \bar{U}_{a0}^B + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^B + \bar{a} \bar{U}_{a2}^B = -0,428 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 69,423 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 0,0015 = \\ &= (-35,14 - j60,12) \text{ kV}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{U}_c^B &= \bar{U}_{a0}^B + \bar{a} \bar{U}_{a1}^B + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^B = -0,428 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 69,423 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 0,0015 = \\ &= (-35,14 + j60,12) \text{ V}\end{aligned}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

$$|\bar{U}_a^B| = 69 \text{ kV} \quad |\bar{U}_b^B| = 69,64 \text{ V} \quad |\bar{U}_c^B| = 69,64 \text{ V}$$

Tehát a „B” jelű gyűjtősín feszültség aszimmetriája jelentéktelen.

A sorrendi feszültségek (szimmetrikus összetevők) a transzformátor primer kapcsain:

$$\bar{U}_{a1}^> = \bar{I}_{a1} \cdot (jX_1^{TR} - jX_1^K) = j11,76 \cdot 10^{-3} \cdot (j28,8 - j6000) = 70,2 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^> = \bar{I}_{a2} \cdot (jX_2^{TR} - jX_2^K) = j0,13 \cdot 10^{-3} \cdot (j28,8 - j6000) = 0,78 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a0}^> = \bar{I}_{a0} \cdot jX_0^{TR} = -j11,89 \cdot 10^{-3} \cdot j28,8 = 0,34 \text{ kV}$$

A fázisfeszültségek a a transzformátor primer kapcsain:

$$\bar{U}_a^> = \bar{U}_{a0}^> + \bar{U}_{a1}^> + \bar{U}_{a2}^> = 70,2 + 0,78 + 0,34 = 71,3 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_b^> = \bar{U}_{a0}^> + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^> + \bar{a} \bar{U}_{a2}^> = 0,34 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 70,2 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 0,78 = -35,14 - j60,12 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_c^> = \bar{U}_{a0}^> + \bar{a} \bar{U}_{a1}^> + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^> = 0,34 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 70,2 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 0,78 = -35,14 + j60,12 \text{ kV}$$

A transzformátor primer oldalán a fázisfeszültségek nagysága:

$$|\bar{U}_a^>| = 71,3 \text{ kV} \quad |\bar{U}_b^>| = 69,64 \text{ kV} \quad |\bar{U}_c^>| = 69,64 \text{ kV}$$

A megszakító nyitott érintkezői között fellépő soros hibahelyi feszültség sorrendi összetevői:

A helyettesítő kapcsolási vázlat alapján:

$$\bar{V}_{a1} = \bar{I}_{a1} \cdot jX_{e2} \otimes jX_{e0} = j11,76 \cdot 10^{-3} \cdot (-j5959,2 \otimes j64,8) = -0,77 \text{ kV}$$

$$\bar{V}_{a2} = -\bar{I}_{a2} \cdot jX_{e2} = j0,13 \cdot 10^{-3} \cdot (-j5959,2) = -0,77 \text{ kV}$$

$$\bar{V}_{a1} = -\bar{I}_{a0} \cdot jX_{e0} = -(-j11,89 \cdot 10^{-3}) \cdot j64,8 = -0,77 \text{ kV}$$

(Nyilvánvaló, hogy a  $\bar{V}_{a0} = \bar{V}_{a1} = \bar{V}_{a2}$  feltételnek teljesülnie kell!)

A hibahelyi feszültségek:

$$\bar{V}_a = \bar{V}_{a0} + \bar{V}_{a1} + \bar{V}_{a2} = 3 \cdot (-0,77) = -2,31 \text{ kV}$$

$$\bar{V}_b = \bar{V}_{a0} + \bar{a}^2 \bar{V}_{a1} + \bar{a} \bar{V}_{a2} = (1 + \bar{a}^2 + \bar{a}) \cdot \bar{V}_{a1} = 0$$

$$\bar{V}_c = \bar{V}_{a0} + \bar{a} \bar{V}_{a1} + \bar{a}^2 \bar{V}_{a2} = (1 + \bar{a} + \bar{a}^2) \cdot \bar{V}_{a1} = 0$$

Utóbbi két érték nyilvánvaló, hiszen ezekben a fázisokban nincs szakadás!

Tehát a megszakító nyitott érintkezői között mindössze 2,31 kV feszültség lép fel!

A kondenzátortelep kapcsain fellépő feszültség meghatározása:

A transzformátor kapcsolási jele Yd11, tehát a fázisforgatás mértéke  $30^\circ$ . Így a transzformátor áttételének és fázisforgató hatásának figyelembe vételével a szimmetrikus összetevők értékei:

$$\bar{U}_{a1}^C = \frac{10}{120} \cdot \bar{U}_{a1} \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} = \frac{10}{120} \cdot 71,3 \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) = (5,07 + j2,92) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^C = \frac{10}{120} \cdot \bar{U}_{a2} \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}} = \frac{10}{120} \cdot 0,78 \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right) = (0,056 - j0,033) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a0}^C = 0$$

Ez alapján a fázisfeszültségek a „C” gyűjtősínen (a kondenzátor-telep kapcsain):

$$\bar{U}_a^C = \bar{U}_{a0}^C + \bar{U}_{a1}^C + \bar{U}_{a2}^C = 5,07 + j2,92 + 0,056 - j0,033 = (5,12 + j2,89) \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_b^C &= \bar{U}_{a0}^C + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^C + \bar{a} \bar{U}_{a2}^C = \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (5,07 + j2,92) + \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (0,056 - j0,033) = \\ &= -j5,79 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{U}_c^C &= \bar{U}_{a0}^C + \bar{a} \bar{U}_{a1}^C + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^C = \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (5,07 + j2,92) + \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (0,056 - j0,033) = \\ &= (-5,12 + j2,89) \text{ kV} \end{aligned}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

$$|\bar{U}_a^C| = 5,88 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_b^C| = 5,79 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_c^C| = 5,88 \text{ kV}$$

A kondenzátortelep áramainak szimmetrikus összetevői a transzformátor áttételének és fázisforgató hatásának figyelembe vételével:

$$\bar{I}_{a1}^K = \frac{U_1}{U_2} \cdot \bar{I}_{a1} \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} = \frac{120}{10} \cdot j11,76 \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) = (-70,5 + j122,2) \text{ A}$$

$$\bar{I}_{a2}^K = \frac{U_1}{U_2} \cdot \bar{I}_{a2} \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}} = \frac{120}{10} \cdot j0,13 \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right) = (0,78 + j1,35) \text{ A}$$

$$\bar{I}_{a0}^K = 0 \quad (\text{a szigetelt csillagpont miatt zérus sorrendű áram nem folyhat!})$$

Ez alapján a kondenzátor árama a különböző fázisokban:

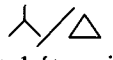
$$\bar{I}_a^K = \bar{I}_{a0}^K + \bar{I}_{a1}^K + \bar{I}_{a2}^K = (-69,75 + j123,5) \text{ A} \quad |\bar{I}_a^K| = 141,8 \text{ A}$$

$$\bar{I}_b^K = \bar{I}_{a0}^K + \bar{a}^2 \bar{I}_{a1}^K + \bar{a} \bar{I}_{a2}^K = 139,5 \text{ A} \quad |\bar{I}_b^K| = 139,5 \text{ A}$$

$$\bar{I}_c^K = \bar{I}_{a0}^K + \bar{a} \bar{I}_{a1}^K + \bar{a}^2 \bar{I}_{a2}^K = (-69,75 - j123,5) \text{ A} \quad |\bar{I}_c^K| = 141,8 \text{ A}$$

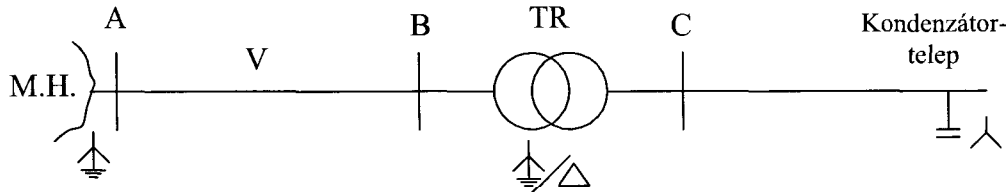
Hibamentes üzemállapot esetén a kondenzátor árama:

$$I_a = \frac{U_g}{\sqrt{3} \cdot X_{e1}} \cdot \frac{U_1}{U_2} = \frac{120 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot j5959,2} \cdot \frac{120}{10} = 11,63 \cdot 12 = 139,5 \text{ A}$$

Alig van eltérés, mert a  kapcsolású transzformátor a fogyasztói oldalon háromfázisú ellátást biztosít, tehát primer oldali 2 fázissal is lehet üzemet vinni. Az aszimmetria annál nagyobb, minél nagyobb a negatív és a zérus sorrendű hálózat impedanciájának párhuzamos eredője (l. a helyettesítő kapcsolást)!

### Feladatok:

1. Egy 4,8 Mvar teljesítményű kondenzátortelep kikapcsolásakor a „C” gyűjtősín megszakítója csak az „a” fázisban nyit, a „b” és „c” fázisokban a megszakító érintkezői beragadnak. Határozza meg az így bekövetkező aszimmetrikus üzemállapotban a kondenzátortelep áramát és feszültségét, és a megszakító nyitott kapcsai között fellépő feszültséget! A transzformátor fázisforgató hatását vegye figyelembe, ha a kapcsolási jele: Yd11.



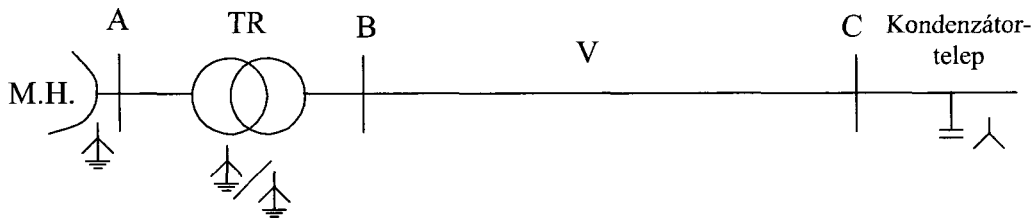
Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	$\infty$	-
TR	120/6	20	11

A szabadvezeték adatai:

$$l_V = 50 \text{ km} \quad x_V = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$$

2. Az oszlopkapcsoló a 20 kV-os távvezeték elején (B gyűjtősín) tönkrement, bekapcsoláskor az „a” fázis nem kapcsol be. ki. Az így kialakult egyfázisú szakadás esetén számolja ki a kondenzátortelep áramát és feszültségét! Adja meg a „B” gyűjtősín fázisfeszültségeit, valamint a szakadt végék közötti feszültséget. A kondenzátor-telep teljesítménye  $S_n = 3,6$  MVA.



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	$\infty$	-
TR	120/20	16	9,6

A szabadvezeték adatai:

$$l_V = 20 \text{ km} \quad x_V = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$$

3. Az 1. feladatban megadott elrendezés esetén a leírt kapcsolási hiba a „B” gyűjtősín megszakítójának működésekor lép fel. Határozza meg az így bekövetkező aszimmetrikus üzemállapotban a „B” gyűjtősín és a kondenzátor-telep fázisfeszültségeit, valamint a megszakító nyitott kapcsai között fellépő feszültséget! A transzformátor fázisforgató hatását vegye figyelembe, ha a kapcsolási jele: Yd11.

4. Az ábrán látható elrendezésben a „B” jelű gyűjtősínen lévő megszakító „a” fázisa nem kapcsol be. Határozza meg az így bekövetkező aszimmetrikus üzemállapotban a fogyasztó jellemzőit, és a megszakító nyitott kapcsai között fellépő feszültséget!

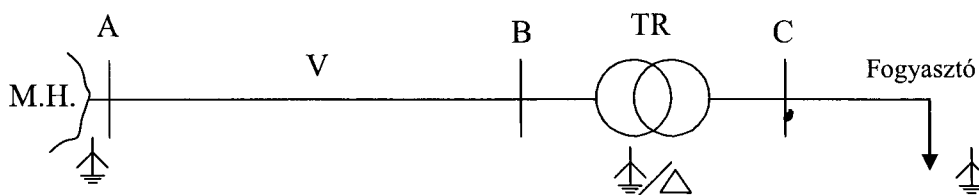
A fogyasztó jellemzői:  $U_n = 35$  kV,  $S_n = 20$  MVA,  $\cos\varphi = 0,8$ . A fogyasztó negatív sorrendű impedanciája az  $S_2 = P_1 + j3 \cdot Q_1$  közelítő összefüggés alapján számolható. A transzformátor fázisforgató hatását vegye figyelembe, ha a kapcsolási jele: Yd11.

Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	$\infty$	-
TR	120/35	24	8

A szabadvezeték adatai:

$$l_V = 30 \text{ km} \quad x_V = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$$



Eredmények:

**1. feladat:** A „C” jelű gyűjtősín fázisfeszültségei:  
 $\bar{U}_a = 3,46 \text{ kV}$      $\bar{U}_b = (-1,73 - j3,1) \text{ kV}$      $\bar{U}_c = (-1,73 + j3,1) \text{ kV}$   
 A kondenzátortelep jellemzői:  
 $\bar{I}_a = 0 \text{ A}$      $\bar{I}_b = 414 \text{ A}$      $\bar{I}_c = -414 \text{ A}$   
 $\bar{U}_a = 0 \text{ kV}$      $\bar{U}_b = -j3,1 \text{ kV}$      $\bar{U}_c = +j3,1 \text{ kV}$   
 A megszakító kapcsai között fellépő feszültség:  $V_a = 5,2 \text{ kV}$

**2. feladat:** A „B” jelű gyűjtősín fázisfeszültségei:  
 $\bar{U}_a = 11,55 \text{ kV}$      $\bar{U}_b = (-5,77 - j10,2) \text{ kV}$      $\bar{U}_c = (-5,77 + j10,2) \text{ kV}$   
 A kondenzátortelep jellemzői:  
 $\bar{I}_a = 0 \text{ A}$      $\bar{I}_b = 92,2 \text{ A}$      $\bar{I}_c = -92,2 \text{ A}$   
 $\bar{U}_a = 0 \text{ kV}$      $\bar{U}_b = -j10,2 \text{ kV}$      $\bar{U}_c = +j10,2 \text{ kV}$   
 A megszakító kapcsai között fellépő feszültség:  $V_a = 17,32 \text{ kV}$

**3. feladat:** A „B” jelű gyűjtősín fázisfeszültségei:  
 $\bar{U}_a = 68,2 \text{ kV}$      $\bar{U}_b = (-36,5 - j60,4) \text{ kV}$      $\bar{U}_c = (-36,5 + j60,4) \text{ kV}$   
 A transzformátor primer oldalán a fázisfeszültségek:  
 $\bar{U}_a = 79,2 \text{ kV}$      $\bar{U}_b = (-36,5 - j60,4) \text{ kV}$      $\bar{U}_c = (-36,5 + j60,4) \text{ kV}$   
 A kondenzátortelep jellemzői:  
 $\bar{I}_a = (-238,8 + j457,6) \text{ A}$      $\bar{I}_b = 477,6 \text{ A}$      $\bar{I}_c = (-238,8 - j457,6) \text{ A}$   
 $\bar{U}_a = (3,34 + j1,74) \text{ kV}$      $\bar{U}_b = -j3,49 \text{ kV}$      $\bar{U}_c = (-3,34 + j1,74) \text{ kV}$   
 A megszakító kapcsai között fellépő feszültség:  $V_a = 11 \text{ kV}$

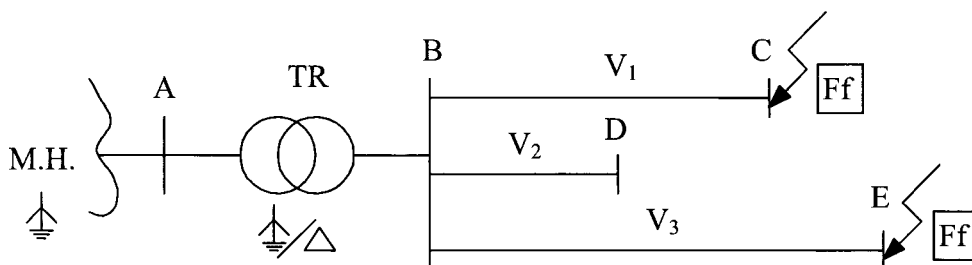
**4. feladat:** A „B” jelű gyűjtősín fázisfeszültségei:  
 $\bar{U}_a = (70,5 + j1,1) \text{ kV}$      $\bar{U}_b = (-33,2 - j57,4) \text{ kV}$   
 $\bar{U}_c = (-31,7 + j61,2) \text{ kV}$   
 A kondenzátortelep jellemzői:  
 $\bar{U}_a = (14,8 + j7,6) \text{ kV}$      $\bar{I}_a = (247,7 - j29,8) \text{ A}$   
 $\bar{U}_b = (-0,25 - j20) \text{ kV}$      $\bar{I}_b = (-231 - j247,6) \text{ A}$   
 $\bar{U}_c = (-14,55 + j12,4) \text{ kV}$      $\bar{I}_c = (-16,7 + j277,5) \text{ A}$   
 A megszakító kapcsai között fellépő feszültség:  $V_a = 23,8 \text{ kV}$

## 3.7. Szimultán hibák számítása

### 3.7.1. Kettős földzárlat számítása a szimmetrikus összetevők módszerével

#### Kidolgozott példa:

Az ábrán látható elrendezésben egyidejűleg földzárlat lépett fel a „C” jelű gyűjtősínen az „a” fázisban, és az „E” jelű gyűjtősínen a „b” fázisban. Határozzuk meg a hálózat árameloszlását, az „A” és „B” jelű gyűjtősínek fázisfeszültségeit! A transzformátor kapcsolási jele: Yd11.



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	3500	-
TR	120/35	36	8

A szabadvezetékek adatai:

$$l_{V1} = 20 \text{ km} \quad l_{V2} = 10 \text{ km}$$

$$l_{V3} = 40 \text{ km} \quad x_V = 0,4 \ \Omega/\text{km}$$

#### Megoldás:

A „C” jelű gyűjtősín hibahelyének jellemzőit X-szel, az „E” jelű gyűjtősín hibahelyének jellemzőit Y-nal jelöljük. Ennek megfelelően a sorrendi hálózatoknak három csatlakozási pontjuk van: két hibahelyi ( $h^X, h^Y$ ) és az impedancia mentes visszavezetés (f) pontja. Egyfázisú zárlat esetén a zárlatos fázisban az  $U = 0$ , míg a másik két fázisban a hibahelyi áramra az  $I = 0$  feltételnek teljesülnie kell. A két hiba esetén ezeket a feltételeket külön-külön megvizsgáljuk.

A „C” jelű gyűjtősínen az „a” fázisban lép fel földzárlat, így a hibahelyre érvényes feltételek:  $\bar{U}_a = 0$  illetve  $\bar{I}_b = 0$  és  $\bar{I}_c = 0$ .

Az első feltétel alapján felírható, hogy

$$\bar{U}_{a0}^X + \bar{U}_{a1}^X + \bar{U}_{a2}^X = 0,$$

tehát a három sorrendi hálózat feszültségeinek összege nulla.

Az áramokra érvényes feltételek alapján

$$\bar{I}_{a0}^X = \bar{I}_{a1}^X = \bar{I}_{a2}^X = \frac{\bar{I}_a^X}{3},$$

tehát a három sorrendi hálózat árama azonos. Így a sorrendi hálózatokat a hibahelyen *sorba* kell kapcsolni. Ezt ábrázoltuk a bal oldali ábrán.

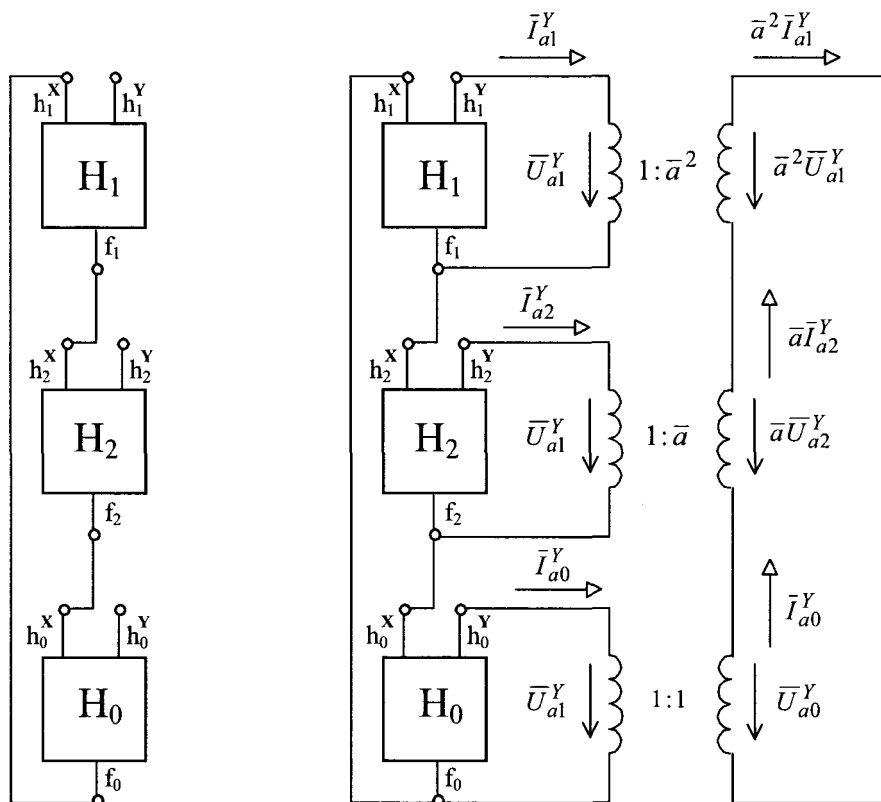
Az „E” jelű gyűjtősínen az „b” fázisban lép fel földzárlat, így a hibahelyre érvényes feltételek:  $\bar{U}_b = 0$  illetve  $\bar{I}_a = 0$  és  $\bar{I}_c = 0$ .

Az első feltétel alapján felírható, hogy  $\bar{U}_{b0}^Y + \bar{U}_{b1}^Y + \bar{U}_{b2}^Y = 0$ .

Ezt az „a” fázis szimmetrikus összetevőivel kifejezve:

$$\bar{U}_{a0}^Y + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^Y + \bar{a} \bar{U}_{a2}^Y = 0$$

tehát a három sorrendi hálózat feszültségeinek összege nulla.



Az áramokra érvényes feltételek alapján a hibahelyi áram szimmetrikus összetevői az

$$\begin{pmatrix} \bar{I}_{a0}^Y \\ \bar{I}_{a1}^Y \\ \bar{I}_{a2}^Y \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \\ 0 \end{pmatrix}$$

egyenlet alapján kifejezhetők:  $\bar{I}_{a0}^Y = \frac{\bar{I}_b}{3}$ ,  $\bar{I}_{a1}^Y = \bar{a} \cdot \frac{\bar{I}_b}{3}$  és  $\bar{I}_{a2}^Y = \bar{a}^2 \cdot \frac{\bar{I}_b}{3}$ .

A második kifejezést  $\bar{a}^2$  - tel , a harmadikat  $\bar{a}$  - val bővítve a kifejezések jobb oldala azonos lesz, tehát a bal oldaluk is megegyeznek:

$$\bar{I}_{a0}^Y = \bar{a}^2 \bar{I}_{a1}^Y = \bar{a} \bar{I}_{a2}^Y$$

A hibahelyi feszültségekre illetve áramokra érvényes fenti feltételekből következik, hogy a sorrendi hálózatok sorba kapcsolásakor 1:1, 1: $\bar{a}^2$  és 1: $\bar{a}$  áttételű, ideális fázisforgató transzformátorokat kell alkalmaznunk (jobb oldali ábra).

A számításokat a hibahelyi feszültség szinten végezzük:  $U_{sz}^Y = 35 \text{ kV}$ .

A helyettesítő vázlatban szereplő elemek értékei:

$$jX_1^{MH} = jX_2^{MH} = \frac{35^2}{3500} = j0,35 \Omega$$

$$jX_1^{TR} = jX_2^{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U^2}{S_n} = \frac{8}{100} \cdot \frac{35^2}{36} = j2,72 \Omega$$

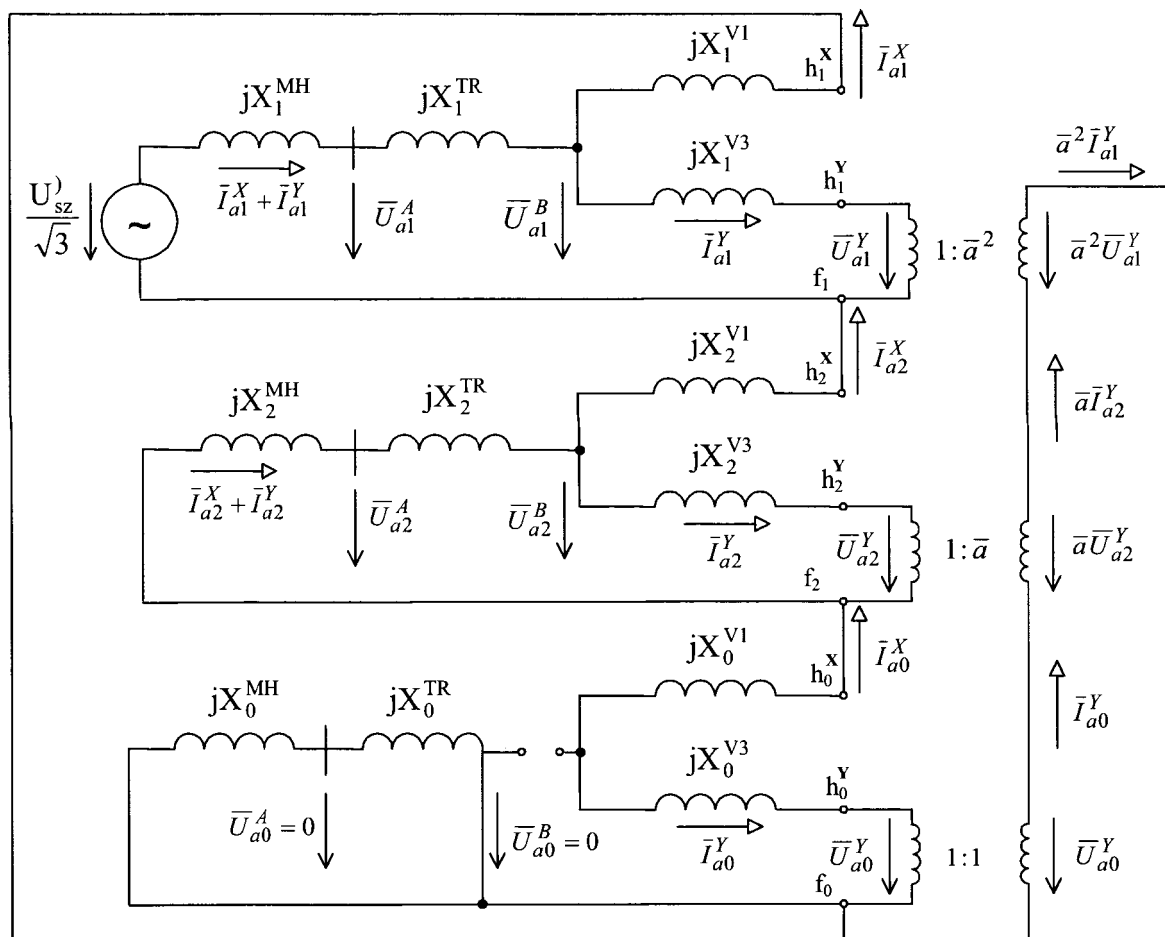
$$jX_1^{V1} = jX_2^{V1} = 0,4 \cdot 20 = j8 \Omega$$

$$jX_0^{V1} = 3 \cdot jX_1^{V1} = 3 \cdot j8 = j24 \Omega$$

$$jX_1^{V3} = jX_2^{V3} = 0,4 \cdot 40 = j16 \Omega$$

$$jX_0^{V3} = 3 \cdot jX_1^{V3} = 3 \cdot j16 = j48 \Omega$$

Ehhez a helyettesítő vázlat:



A hibahelyeken folyó zárlati áramokat a helyettesítő ábra alapján felírt Kirchhoff-egyenletrendszer segítségével lehet kiszámítani. Az egyenletrendszer egyszerűbb felírása érdekében a sorba kapcsolt impedanciákat összevonjuk, az azonos értékűeket azonosan jelöljük:

$$\bar{Z}_1 = jX_1^{MH} + jX_1^{TR} = jX_2^{MH} + jX_2^{TR} = j0,35 + j2,72 = j3,07 \Omega; \bar{Z}_2 = jX_1^{V1} = jX_2^{V1} = j8 \Omega$$

$$\bar{Z}_3 = jX_1^{V3} = jX_2^{V3} = j16 \Omega$$

$$Z_4 = jX_0^{V1} + jX_0^{V3} = j24 + j48 = j72 \Omega$$

A szükséges egyenletek:

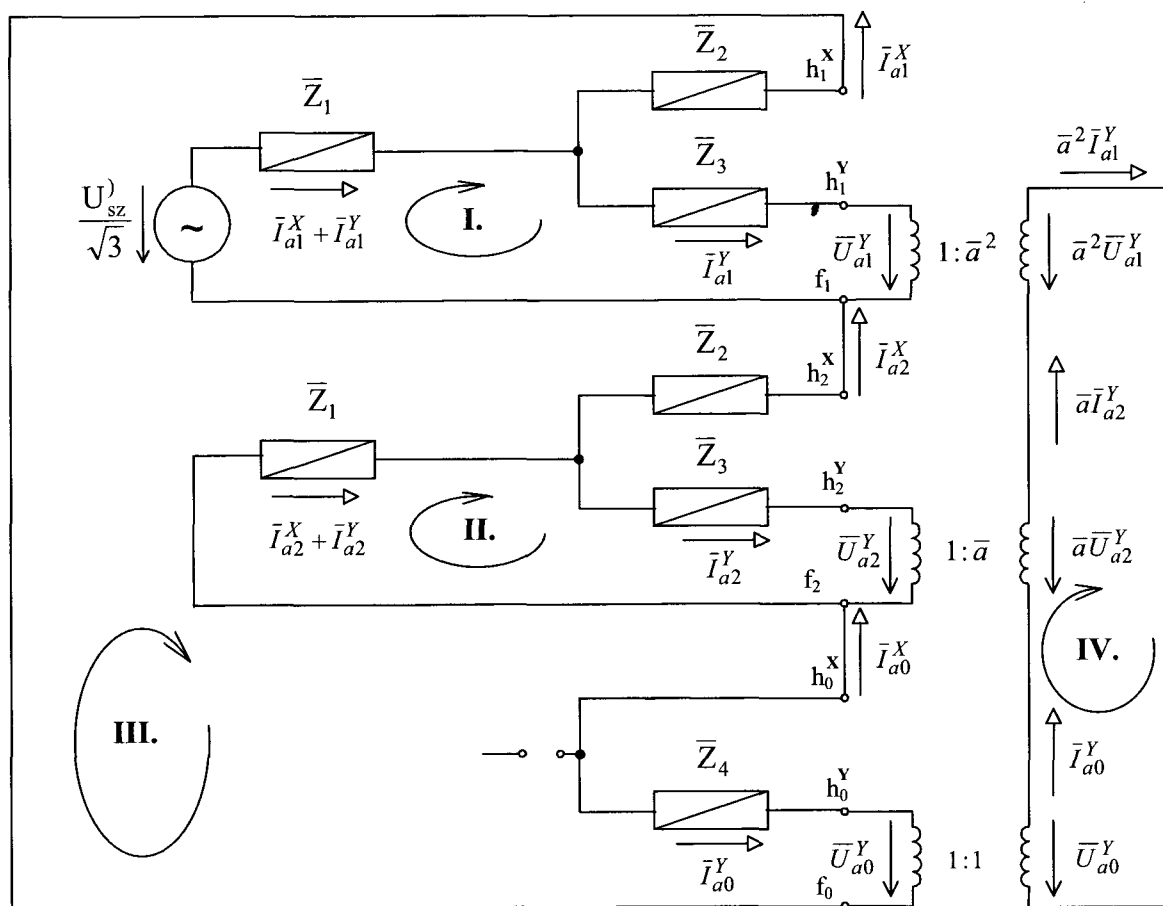
Először írjuk fel Kirchhoff huroktörvényét az ábrán bejelölt négy hurokra ( $\frac{\bar{U}_{sz}^0}{\sqrt{3}} = \bar{U}_f$ ):

Az I-es hurokra:  $-\bar{U}_f + (\bar{I}_{a1}^X + \bar{I}_{a1}^Y) \cdot \bar{Z}_1 + \bar{I}_{a1}^Y \cdot \bar{Z}_3 + \bar{U}_{a1}^Y = 0$

A II-es hurokra:  $(\bar{I}_{a2}^X + \bar{I}_{a2}^Y) \cdot \bar{Z}_1 + \bar{I}_{a2}^Y \cdot \bar{Z}_3 + \bar{U}_{a2}^Y = 0$

A III-es hurokra:  $-\bar{I}_{a1}^X \cdot \bar{Z}_2 + \bar{I}_{a1}^Y \cdot \bar{Z}_3 + \bar{U}_{a1}^Y - \bar{I}_{a2}^X \cdot \bar{Z}_2 + \bar{I}_{a2}^Y \cdot \bar{Z}_3 + \bar{U}_{a2}^Y + \bar{I}_{a0}^Y \cdot \bar{Z}_4 + \bar{U}_{a0}^Y = 0$

A IV-es hurokra:  $-\bar{U}_{a0}^y - \bar{a} \cdot \bar{U}_{a2}^y - \bar{a}^2 \cdot \bar{U}_{a1}^y = 0$



A felírt egyenletekben az ismeretlenek az  $\bar{U}_{a0}^y$ ,  $\bar{U}_{a2}^y$  és  $\bar{U}_{a1}^y$  feszültségek, valamint a hibahelyi áramok. Ezekre érvényesek az

$$\bar{I}_{a0}^X = \bar{I}_{a1}^X = \bar{I}_{a2}^X \quad \text{és az} \quad \bar{I}_{a0}^Y = \bar{a}^2 \bar{I}_{a1}^Y = \bar{a} \bar{I}_{a2}^Y$$

összefüggések, valamint a felrajzolt helyettesítő kapcsolás alapján:

$$\boxed{\bar{I}_{a0}^X = -\bar{I}_{a0}^Y}$$

Tehát az  $\bar{I}_{a1}^X$  segítségével kifejezhető valamennyi összetevő, így ez a negyedik ismeretlen:

$$\bar{I}_{a0}^Y = -\bar{I}_{a1}^X \quad \bar{I}_{a1}^Y = -\bar{a} \bar{I}_{a1}^X \quad \bar{I}_{a2}^Y = -\bar{a}^2 \bar{I}_{a1}^X$$

Ezek figyelembe vételével az egyenletek egyszerűbb alakban írhatók fel:

$$\begin{aligned} \text{I:} & \quad -\bar{U}_f + \bar{I}_{a1}^X \cdot [\bar{Z}_1 - \bar{a} \cdot (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_3)] + \bar{U}_{a1}^Y = 0 \\ \text{II:} & \quad \bar{I}_{a1}^X \cdot [\bar{Z}_1 - \bar{a}^2 \cdot (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_3)] + \bar{U}_{a2}^Y = 0 \\ \text{III:} & \quad \bar{I}_{a1}^X \cdot [-2 \cdot \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3 - \bar{Z}_4] + \bar{U}_{a0}^Y + \bar{U}_{a1}^Y + \bar{U}_{a2}^Y = 0 \\ \text{IV:} & \quad \bar{U}_{a0}^y + \bar{a} \cdot \bar{U}_{a2}^y + \bar{a}^2 \cdot \bar{U}_{a1}^y = 0 \end{aligned}$$

A felírt egyenletrendszer  $\bar{I}_{a1}^X$ -re oldjuk meg úgy, hogy az első három egyenletből kifejezzük az  $\bar{U}_{a1}^y$ ,  $\bar{U}_{a2}^y$  és  $\bar{U}_{a0}^y$  feszültségeket és behelyettesítjük a negyedik egyenletbe.

Az I. egyenletből:  $\bar{U}_{a1}^y = \bar{U}_f - \bar{I}_{a1}^X \cdot [\bar{Z}_1 - \bar{a} \cdot (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_3)]$

A II. egyenletből:  $\bar{U}_{a2}^Y = \bar{I}_{a1}^X \cdot [\bar{a}^2 \cdot (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_3) - \bar{Z}_1]$

A III-as egyenletből:  $\bar{U}_{a0}^Y = \bar{I}_{a1}^X \cdot [3 \cdot \bar{Z}_1 + 2 \cdot \bar{Z}_2 + \bar{Z}_4] - \bar{U}_f$

A IV-es egyenletből a behelyettesítések és a rendezés után  $\bar{I}_{a1}^X$  -et kifejezve:

$$\bar{I}_{a1}^X = \frac{(1 - \bar{a}^2) \cdot \bar{U}_f}{6 \cdot \bar{Z}_1 + 2 \cdot \bar{Z}_2 + 2 \cdot \bar{Z}_3 + \bar{Z}_4} = \frac{(1,5 + j0,866) \cdot 20,2}{j138,4} = (0,126 - j0,219) \text{ kA}$$

Ennek alapján az „Y” hibahely feszültségeinek szimmetrikus összetevői:

$$\bar{U}_{a1}^Y = (15,36 + j2,02) \text{ kV} \quad \bar{U}_{a2}^Y = (-0,67 - j5,21) \text{ kV} \quad \bar{U}_{a0}^Y = (1,08 + j12,29) \text{ kV}$$

A hibahelyi áramok:

Az „x” hibahelyen:  $\bar{I}_a = \bar{I}_{a0}^X + \bar{I}_{a1}^X + \bar{I}_{a2}^X = 378 - j657 \text{ A} \quad |\bar{I}_a| = 758 \text{ A}$

$$\bar{I}_b = \bar{I}_{a0}^X + \bar{a}^2 \bar{I}_{a1}^X + \bar{a} \bar{I}_{a2}^X = 0 \text{ A}$$

$$\bar{I}_c = \bar{I}_{a0}^X + \bar{a} \bar{I}_{a1}^X + \bar{a}^2 \bar{I}_{a2}^X = 0 \text{ A}$$

Az „y” hibahelyen:  $\bar{I}_a = \bar{I}_{a0}^Y + \bar{I}_{a1}^Y + \bar{I}_{a2}^Y = 0 \text{ A}$

$$\bar{I}_b = \bar{I}_{a0}^Y + \bar{a}^2 \bar{I}_{a1}^Y + \bar{a} \bar{I}_{a2}^Y = -378 + j657 \text{ A} \quad |\bar{I}_b| = 758 \text{ A}$$

$$\bar{I}_c = \bar{I}_{a0}^Y + \bar{a} \bar{I}_{a1}^Y + \bar{a}^2 \bar{I}_{a2}^Y = 0 \text{ A}$$

A fázisfeszültségek meghatározása a hibahelyeken:

A sorrendi feszültségek (szimmetrikus összetevők) számítása az „X” hibahelyen:

$$\bar{U}_{a1}^X = -\bar{I}_{a1}^X \cdot \bar{Z}_2 + \bar{I}_{a1}^Y \cdot \bar{Z}_3 + \bar{U}_{a1}^Y = (17,12 - j1,01) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^X = -\bar{I}_{a1}^X \cdot \bar{Z}_2 + \bar{I}_{a2}^Y \cdot \bar{Z}_3 + \bar{U}_{a2}^Y = (-2,43 - j2,18) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a0}^X = \bar{I}_{a0}^Y \cdot \bar{Z}_4 + \bar{U}_{a0}^Y = (-14,69 + j3,19) \text{ kV}$$

Ez alapján a fázisfeszültségek:

$$\bar{U}_a^X = \bar{U}_{a0}^X + \bar{U}_{a1}^X + \bar{U}_{a2}^X = (17,12 - j1,01) + (-2,43 - j2,18) + (-14,69 + j3,19) = 0 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_b^X = \bar{U}_{a0}^X + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^X + \bar{a} \bar{U}_{a2}^X = (-21,02 - j12,14) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_c^X = \bar{U}_{a0}^X + \bar{a} \bar{U}_{a1}^X + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^X = (-23,04 + j21,7) \text{ kV}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

$$|\bar{U}_a^X| = 0 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_b^X| = 24,27 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_c^X| = 31,65 \text{ kV}$$

A fázisfeszültségek számítása az „Y” hibahelyen a szimmetrikus összetevők alapján:

$$\bar{U}_a^Y = \bar{U}_{a0}^Y + \bar{U}_{a1}^Y + \bar{U}_{a2}^Y = (1,08 + j12,29) + (15,36 + j2,02) + (-0,67 - j5,21) = (15,77 + j9,1) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_b^Y = \bar{U}_{a0}^Y + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^Y + \bar{a} \bar{U}_{a2}^Y = 0 \text{ kV} \quad (\text{l. a feltéti egyenletet!})$$

$$\bar{U}_c^Y = \bar{U}_{a0}^Y + \bar{a} \bar{U}_{a1}^Y + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^Y = (-12,53 + j27,77) \text{ kV}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

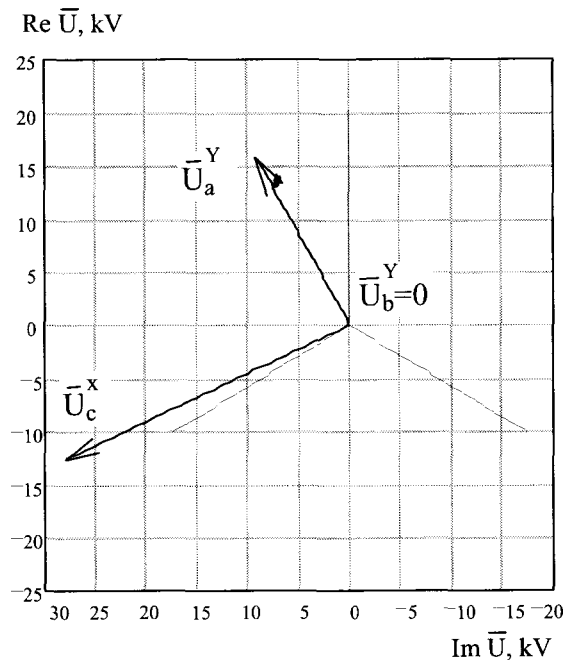
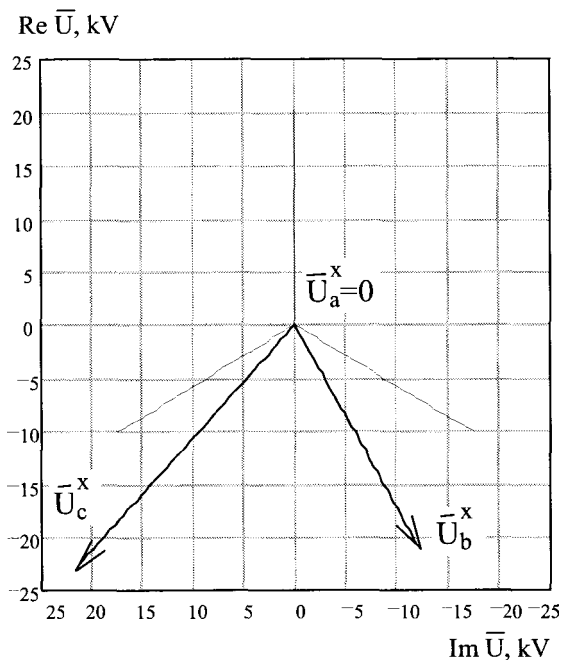
$$|\bar{U}_a^Y| = 18,2 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_b^Y| = 0 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_c^Y| = 30,46 \text{ kV}$$

A fázorábrákban feltüntettük a hibamentes (szimmetrikus) esetben érvényes feszültségek fázorjait is. Megállapítható, hogy az ép fázis feszültsége mindkét hibahelyen lényeg-

gesen nagyobb lesz a névleges értékénél. Mindkét esetben igaz, hogy az ép fázisok feszültségei közötti szög kisebb mint  $120^\circ$ .



A gyűjtősínek feszültségének meghatározása:

A szimmetrikus összetevők számítása a „B” gyűjtősínen a helyettesítő vázlat alapján:

$$\bar{U}_{a1}^B = \bar{I}_{a1}^Y \cdot jX_1^{V3} + \bar{U}_{a1}^Y = (-0,126 - j0,214) \cdot j16 + 15,36 + j2,02 = 18,86 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^B = \bar{I}_{a2}^Y \cdot jX_2^{V3} + \bar{U}_{a2}^Y = 0,253 \cdot j16 + (-0,67 - j5,21) = (-0,67 - j1,16) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a0}^B = 0 \text{ kV}$$

Ez alapján a fázisfeszültségek:

$$\bar{U}_a^B = \bar{U}_{a0}^B + \bar{U}_{a1}^B + \bar{U}_{a2}^B = 18,86 - 0,67 - j1,16 = (18,19 - j1,16) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_b^B = \bar{U}_{a0}^B + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1}^B + \bar{a} \bar{U}_{a2}^B = (-8,09 - j16,34) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_c^B = \bar{U}_{a0}^B + \bar{a} \bar{U}_{a1}^B + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2}^B = (-10,1 + j17,5) \text{ kV}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

$$|\bar{U}_a^B| = 18,23 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_b^B| = 18,23 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_c^B| = 20,2 \text{ kV}$$

A szimmetrikus összetevők számítása az „A” gyűjtősínen a helyettesítő vázlat alapján (a hibahelyi feszültség szinten):

$$\bar{U}_{a1}^A = \frac{U_{sz}^1}{\sqrt{3}} - (\bar{I}_{a1}^X + \bar{I}_{a1}^Y) \cdot jX_1^{MH} = \frac{35}{\sqrt{3}} - (-j0,438) \cdot j0,35 = 20,05 \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2}^A = -(\bar{I}_{a2}^X + \bar{I}_{a2}^Y) \cdot jX_2^{MH} = -(0,379 - j0,219) \cdot j0,35 = (-0,077 - j0,133) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a0}^A = 0 \text{ kV}$$

A transzformátor áttételének és fázisforgatásának figyelembe vételével a szimmetrikus összetevők a primer oldalon:

$$\bar{U}_{a1p}^A = \bar{U}_{a1}^A \cdot \frac{U_{t1}}{U_{t2}} \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}} = 20,05 \cdot \frac{120}{35} \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right) = (59,55 - j34,38) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_{a2p}^A = \bar{U}_{a2}^A \cdot \frac{U_{t1}}{U_{t2}} \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} = (-0,077 - j0,133) \cdot \frac{120}{35} \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) = (-j0,525) \text{ kV}$$

Ez alapján a fázisfeszültségek:

$$\bar{U}_a^A = \bar{U}_{a0}^A + \bar{U}_{a1p}^A + \bar{U}_{a2p}^A = 59,55 - j34,38 - j0,525 = (59,55 - j34,9) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_b^A = \bar{U}_{a0}^A + \bar{a}^2 \bar{U}_{a1p}^A + \bar{a} \bar{U}_{a2p}^A = (-59,1 - j34,1) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_c^A = \bar{U}_{a0}^A + \bar{a} \bar{U}_{a1p}^A + \bar{a}^2 \bar{U}_{a2p}^A = (-0,455 + j69,02) \text{ kV}$$

A fázisfeszültségek nagysága:

$$|\bar{U}_a^A| = 69,02 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_b^A| = 68,23 \text{ kV}$$

$$|\bar{U}_c^A| = 69,02 \text{ kV}$$

Ez a szimmetrikus állapottól igen kis mértékben tér el (a negatív sorrendű összetevő értéke is kicsi!), mert a hálózat merev (zárlati teljesítménye nagy).

A transzformátor áramának meghatározásakor először a szekunder oldali áramokat kell meghatározni. Ezek a szimmetrikus összetevők ismeretében meghatározhatók:

$$\begin{pmatrix} \bar{I}_{as} \\ \bar{I}_{bs} \\ \bar{I}_{cs} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{I}_{a1}^X + \bar{I}_{a1}^Y \\ \bar{I}_{a2}^X + \bar{I}_{a2}^Y \end{pmatrix}$$

A kijelölt műveletet elvégezve megkapjuk a vezetékek áramait:

$$\bar{I}_{as} = (379 - j657) \text{ A}$$

$$\bar{I}_{bs} = -379 + j657 \text{ A}$$

$$\bar{I}_{cs} = 0 \text{ A}$$

Az áramok nagysága:

$$|\bar{I}_{as}| = 758 \text{ A}$$

$$|\bar{I}_{bs}| = 758 \text{ A}$$

$$|\bar{I}_{cs}| = 0 \text{ A}$$

Az „a” és „b” fázis árama megegyező nagyságú és ellenfázisú (ellentett irányú), ami érthető, hiszen a transzformátor szekunder oldala nem földelt!

A primer oldali áramok meghatározásához a transzformátor áttételének és fázisforgatásának figyelembe vételével a szimmetrikus összetevők értékét kell meghatározni a primer oldalra redukálva:

$$\bar{I}_{a1p} = \frac{U_{t2}}{U_{t1}} \cdot (\bar{I}_{a1}^X + \bar{I}_{a1}^Y) \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}} = \frac{35}{120} \cdot (-j438) \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right) = (-63,9 - j110,6) \text{ A}$$

$$\bar{I}_{a2p} = \frac{U_{t2}}{U_{t1}} \cdot (\bar{I}_{a2}^X + \bar{I}_{a2}^Y) \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} = \frac{35}{120} \cdot (379 - j219) \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) = 127,7 \text{ A}$$

$$\bar{I}_{a0p} = 0$$

Ez alapján az áram értéke az egyes fázisokban:

$$\bar{I}_{ap} = \bar{I}_{a0p} + \bar{I}_{a1p} + \bar{I}_{a2p} = 0 - 63,9 - j110,6 + 127,7 = (63,8 - j110,6) \text{ A}$$

$$\bar{I}_{bp} = \bar{I}_{a0p} + \bar{a}^2 \bar{I}_{a1p} + \bar{a} \bar{I}_{a2p} = (-127,7 + j221,2) \text{ A}$$

$$\bar{I}_{cp} = \bar{I}_{a0p} + \bar{a} \bar{I}_{a1p} + \bar{a}^2 \bar{I}_{a2p} = (63,8 - j110,2) \text{ A}$$

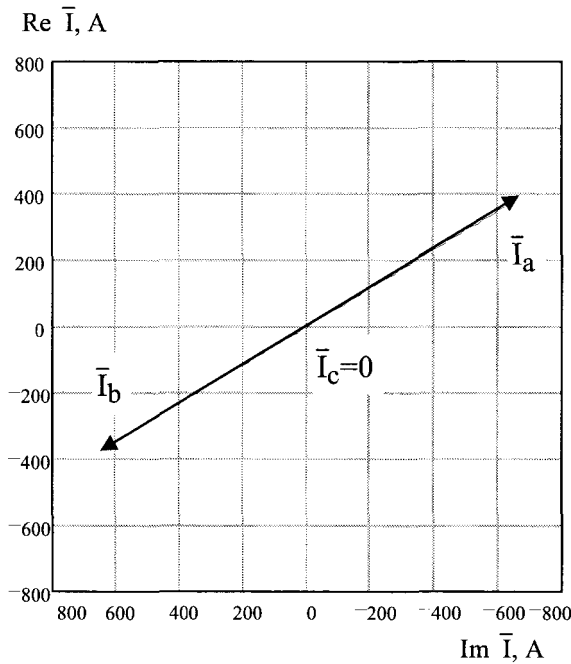
Az áramok nagysága:

$$|\bar{I}_{ap}| = 127,7 \text{ A}$$

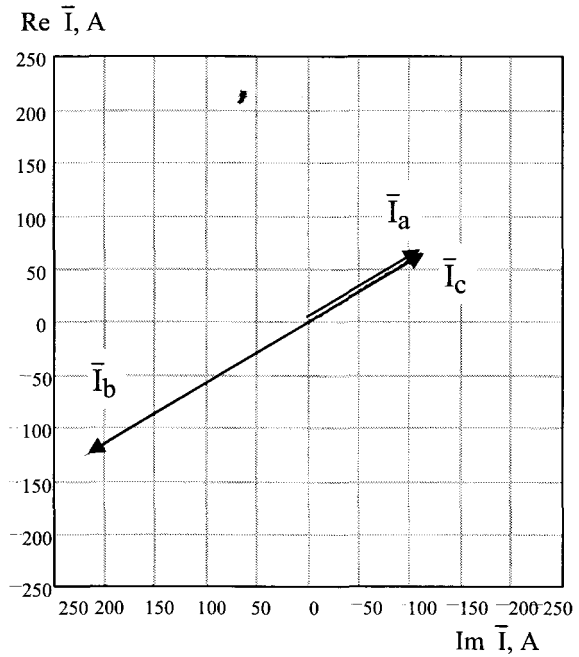
$$|\bar{I}_{bp}| = 255,4 \text{ A}$$

$$|\bar{I}_{cp}| = 127,7 \text{ A}$$

A fázorábrák:



a szekunderoldali áramok

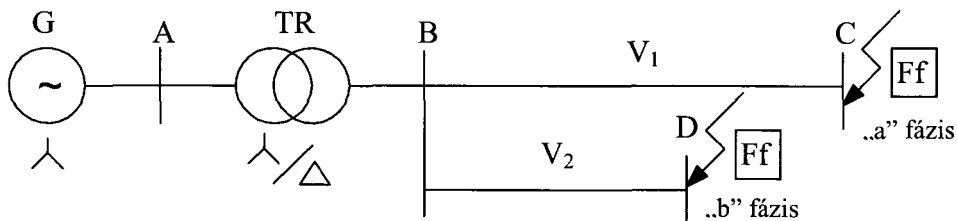


a primeroldali áramok

Feladatok:

1. A kidolgozott feladatban vizsgált áramkörben földzárlat lép fel a „C” jelű gyűjtősínen az „a” fázisban, és a „D” jelű gyűjtősínen a „b” fázisban. Határozza meg a hibahelyi áramok és feszültségek értékét, valamint a „B” jelű gyűjtősín fázisfeszültségeit!

2. Az alábbi hálózatban a jelölt helyeken létrejövő Ff zárlat esetén határozza meg a hálózati árameloszlást, valamint a „B” gyűjtősín fázisfeszültségeinek értékét! A transzformátor kapcsolási jele: Yd 5.

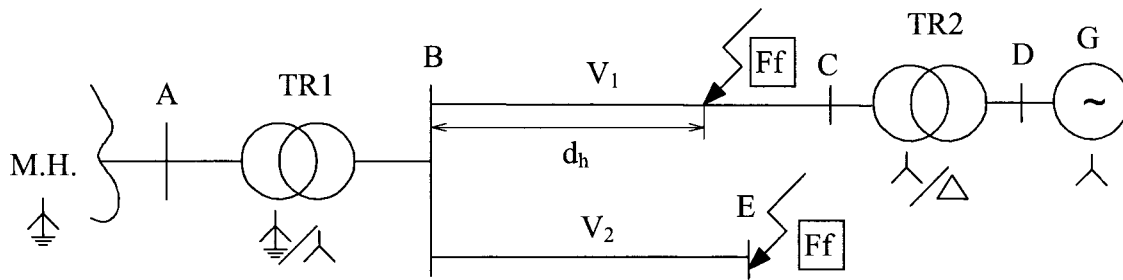


Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\epsilon_d^{(1)}$ [%]	$\epsilon_d^{(2)}$ [%]	$\epsilon_d$ [%]	$\epsilon$ [%]
G	22	50	15,4	9,6	212	-
TR	22/11	20	-	-	-	8

A szabadvezeték adatai:  $l_{V1} = 30 \text{ km}$   $l_{V2} = 20 \text{ km}$   $x_V = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$

3. Adja meg az alábbi hálózatban a jelölt helyeken létrejövő Ff zárlat esetén kialakuló szimultán hiba esetén a hibahelyi áramok értékeit, valamint a „D” jelű gyűjtősín fázis-feszültségeit! A V1 szabadvezetéken az „a” fázisban, a V2 szabadvezetéken a „b” fázisban jött létre a hiba. A TR1 transzformátor kapcsolási jele Yy6, a TR2 transzformátoré Yd5.



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon_d^{(2)}$ [%]	$\varepsilon_d$ [%]	$\varepsilon$ [%]
MH	120	$\infty$	-	-	-	-
G	10,5	28	24	12,8	206	-
TR1	120/20	60	-	-	-	11
TR2	22/11	25				8

A szabadvezetékek adatai:  $l_{V1} = 25$  km  $l_{V2} = 15$  km  $d_h = 10$  km  $x_V = 0,4$   $\Omega$ /km

Eredmények:

**1. feladat:**  $\bar{I}_a^D = 0$  kA  $\bar{I}_b^D = (-0,67 + j1,16)$  kA  $\bar{I}_c^D = 0$  kA  
 $\bar{I}_a^C = (0,67 - j1,16)$  kA  $\bar{I}_b^C = 0$  kA  $\bar{I}_c^C = 0$  kA  
 $\bar{U}_a^D = (18,55 + j10,7)$  kV  $\bar{U}_b^D = 0$  kV  $\bar{U}_c^D = (-8,2 + j30,27)$  kV  
 $\bar{U}_a^C = 0$  kV  $\bar{U}_b^C = (-13,9 - j8)$  kV  $\bar{U}_c^C = (-17,5 + j24,9)$  kV  
 $\bar{U}_a^B = (16,65 - j2,06)$  kV  $\bar{U}_b^B = (-6,54 - j15,44)$  kV  
 $\bar{U}_c^B = (-10,1 + j17,5)$  kV

**2. feladat:**  $\bar{I}_a^D = 0$  A  $\bar{I}_b^D = (-158 + j273)$  A  $\bar{I}_c^D = 0$  A  
 $\bar{I}_a^C = (158 - j273)$  A  $\bar{I}_b^C = 0$  A  $\bar{I}_c^C = 0$  A  
 $\bar{U}_a^D = (6,9 + j4)$  kV  $\bar{U}_b^D = 0$  kV  $\bar{U}_c^D = (-2,38 + j9,58)$  kV  
 $\bar{U}_a^C = 0$  kV  $\bar{U}_b^C = (-5,82 - j3,36)$  kV  $\bar{U}_c^C = (-6 + j7,48)$  kV  
 $\bar{U}_a^A = -11$  kV  $\bar{U}_b^A = (16,65 - j2,06)$  kV  
 $\bar{U}_b^A = (5,5 + j7,82)$  kV  $\bar{U}_b^B = (-6,54 - j15,44)$  kV  
 $\bar{U}_c^A = (5,5 - j7,82)$  kV  $\bar{U}_c^B = (-10,1 + j17,5)$  kV  
 $\bar{I}_{asz} = (158 - j273)$  A  $\bar{I}_{ap} = (-45,5 + j78,8)$  A  
 $\bar{I}_{bsz} = (-158 + j273)$  A  $\bar{I}_{bp} = (91 - j157,6)$  A  
 $\bar{I}_{csz} = 0$  A  $\bar{I}_{cp} = (-45,5 + j78,8)$  A

**3. feladat:** A feladat a kidolgozott feladathoz hasonlóan, de két részáram felvételével 6 ismeretlenes egyenletrendszer felírásával oldható meg.

A hibahelyi áramok:

$$\bar{I}_a^{V1} = (588,5 - j1019) \text{ A} \quad \bar{I}_b^{V1} = 0 \text{ A} \quad \bar{I}_c^{V1} = 0 \text{ A}$$

$$\bar{I}_a^{V2} = 0 \text{ A} \quad \bar{I}_b^{V2} = (-588,5 + j1019) \text{ A} \quad \bar{I}_c^{V2} = 0 \text{ A}$$

A hibahelyi feszültségek:

$$\bar{U}_a^{V1} = 0 \text{ kV} \quad \bar{U}_b^{V1} = (-13,5 - j7,77) \text{ kV} \quad \bar{U}_c^{V1} = (-14 + j11,9) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_a^{V2} = (10 + j5,76) \text{ kV} \quad \bar{U}_b^{V2} = 0 \text{ kV} \quad \bar{U}_c^{V2} = (-6,83 + j16) \text{ kV}$$

A gyűjtősínek feszültségei:

$$\bar{U}_a^C = (1,9 + j2,3) \text{ kV} \quad \bar{U}_a^D = (-5,1 + j2,63) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_b^C = (-14,5 - j9) \text{ kV} \quad \bar{U}_b^D = (4,97 + j3,44) \text{ kV}$$

$$\bar{U}_c^C = (-14,9 + j11) \text{ kV} \quad \bar{U}_c^D = (0,13 - j6,06) \text{ kV}$$

$$\bar{I}_{asz} = (158 - j273) \text{ A} \quad \bar{I}_{ap} = (-45,5 + j78,8) \text{ A}$$

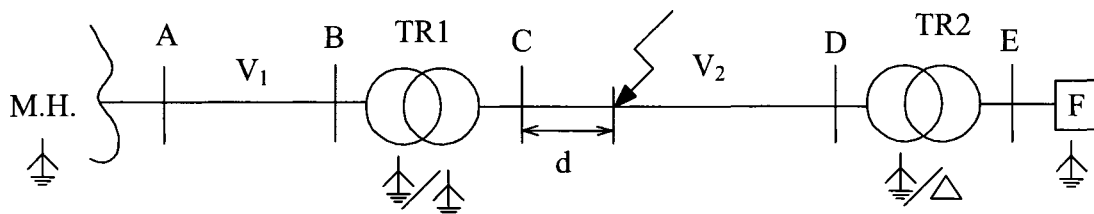
$$\bar{I}_{bsz} = (-158 + j273) \text{ A} \quad \bar{I}_{bp} = (91 - j157,6) \text{ A}$$

$$\bar{I}_{csz} = 0 \text{ A} \quad \bar{I}_{cp} = (-45,5 + j78,8) \text{ A}$$

### Egyidejűleg fellépő egyfázisú szakadás (1f) és földrövidzárlat (1FN) számítása

#### Kidolgozott példa:

Az ábrán látható elrendezésben a „C” jelű gyűjtősíntől adott távolságban az „a” fázisban a fázisvezető elszakadt, és a „C” jelű gyűjtősín felőli része a földre esett, tehát egyidejűleg földrövidzárlat lépett fel. Határozzuk meg a hibahelyi áramok és feszültségek értékét!



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]	$\cos\varphi$
MH	400	2000	-	-
TR1	400/120	100	12,4	-
TR2	120/10	24	9,6	-
F	10	20	-	0,8 ind.

A szabadvezetékek adatai:

$$l_{V1} = 100 \text{ km} \quad l_{V2} = 50 \text{ km}$$

$$d = 20 \text{ km} \quad x_V = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$$

**Megoldás:**

A szakadás hibahelyének jellemzőit 'X'-szel, a földrövidzárlat hibahelyének jellemzőit 'Y'-nal jelöljük. A szakadt vezeték (hibahely) két végét megkülönböztetve a helyettesítő hálózatoknak három kivezetésük lesz: két hibahelyi (h, h') és a nullpont (n).

A szakadt végek közötti feszültség (hibahelyi feszültség) a két végpont feszültségeinek különbsége:  $\bar{V}_a^X = \bar{U}_a - \bar{U}_a'$      $\bar{V}_b^X = \bar{U}_b - \bar{U}_b'$      $\bar{V}_c^X = \bar{U}_c - \bar{U}_c'$

A soros hibahelyi feszültség szimmetrikus összetevői:

$$\bar{V}_{a0}^X = \bar{V}_{a1}^X = \bar{V}_{a2}^X = \frac{1}{3} \cdot \bar{V}_a^X$$

Ha a szakadás az „a” fázisban van, akkor  $\bar{I}_a^X = 0$ ,

$$\bar{I}_{a0}^X + \bar{I}_{a1}^X + \bar{I}_{a2}^X = 0$$

Mivel az áram összetevőkre a csomóponti törvény teljesül, a feszültség összetevők pedig megegyeznek így a sorrendi hálózatokat a szakadt végekre nézve *párhuzamosan* kell kötni (bal oldali ábra).

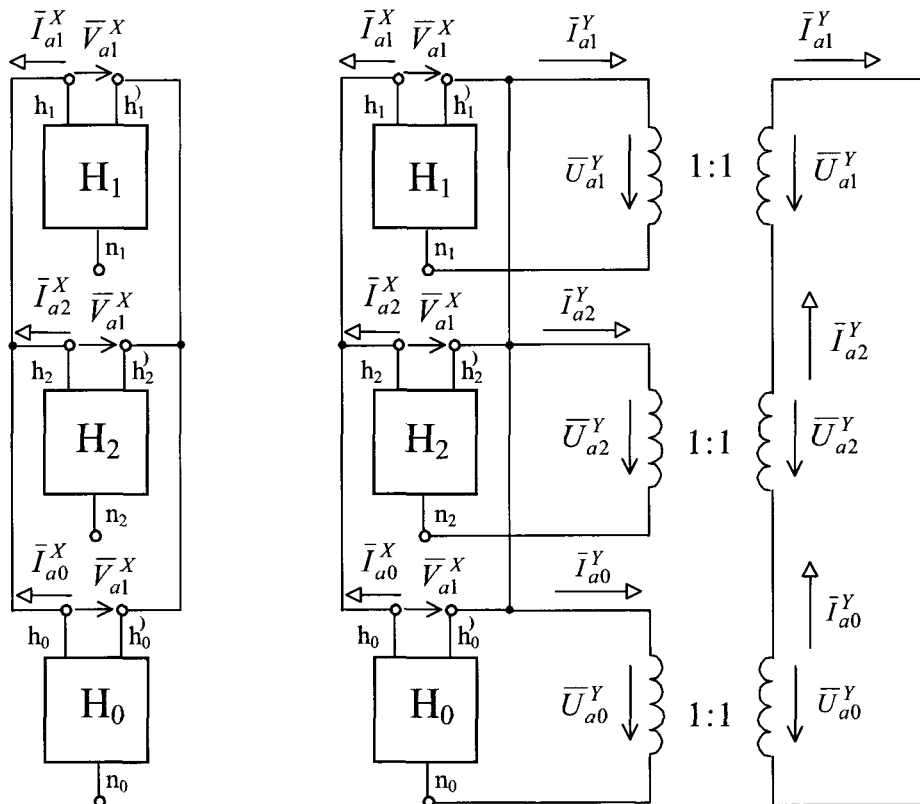
IFN zárlat esetén a hibahelyre érvényes feltétel:  $\bar{U}_a^Y = 0$ , tehát  $\bar{U}_{a0}^Y + \bar{U}_{a1}^Y + \bar{U}_{a2}^Y = 0$ .

Az áramokra érvényes feltételek alapján

$$\bar{I}_{a0}^Y = \bar{I}_{a1}^Y = \bar{I}_{a2}^Y = \frac{\bar{I}_a^Y}{3}$$

Mivel a három sorrendi hálózat feszültségeinek összege nulla, árama azonos, a sorrendi hálózatokat a hibahelyen *sorba* kell kapcsolni. Ezt 1:1 áttételű transzformátorokkal lehet biztosítani (jobb oldali ábra).

A számításokat a hibahelyi feszültség szinten végezzük:  $U_{sz}^Y = 120 \text{ kV}$ .



A helyettesítő vázlatban szereplő elemek értékei a hibahelyi feszültség szinten:

$$jX_1^{MH} = jX_2^{MH} = jX_0^{MH} = \frac{120^2}{200} = j7,2 \Omega$$

$$jX_1^{TR1} = jX_2^{TR1} = jX_0^{TR1} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_{sz}^2}{S_n} = \frac{12,4}{100} \cdot \frac{120^2}{100} = j17,85 \Omega$$

$$jX_1^{TR2} = jX_2^{TR2} = jX_0^{TR2} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_{sz}^2}{S_n} = \frac{9,6}{100} \cdot \frac{120^2}{24} = j57,6 \Omega$$

$$jX_1^{V1} = jX_2^{V1} = 0,4 \cdot 20 = j8 \Omega$$

$$jX_0^{V1} = 3 \cdot jX_1^{V1} = 3 \cdot j8 = j24 \Omega$$

A „V2” szabadvezeték hibahelytől balra illetve jobbra eső szakaszának reaktanciáit 'b' illetve 'j' jelöléssel különböztetjük meg:

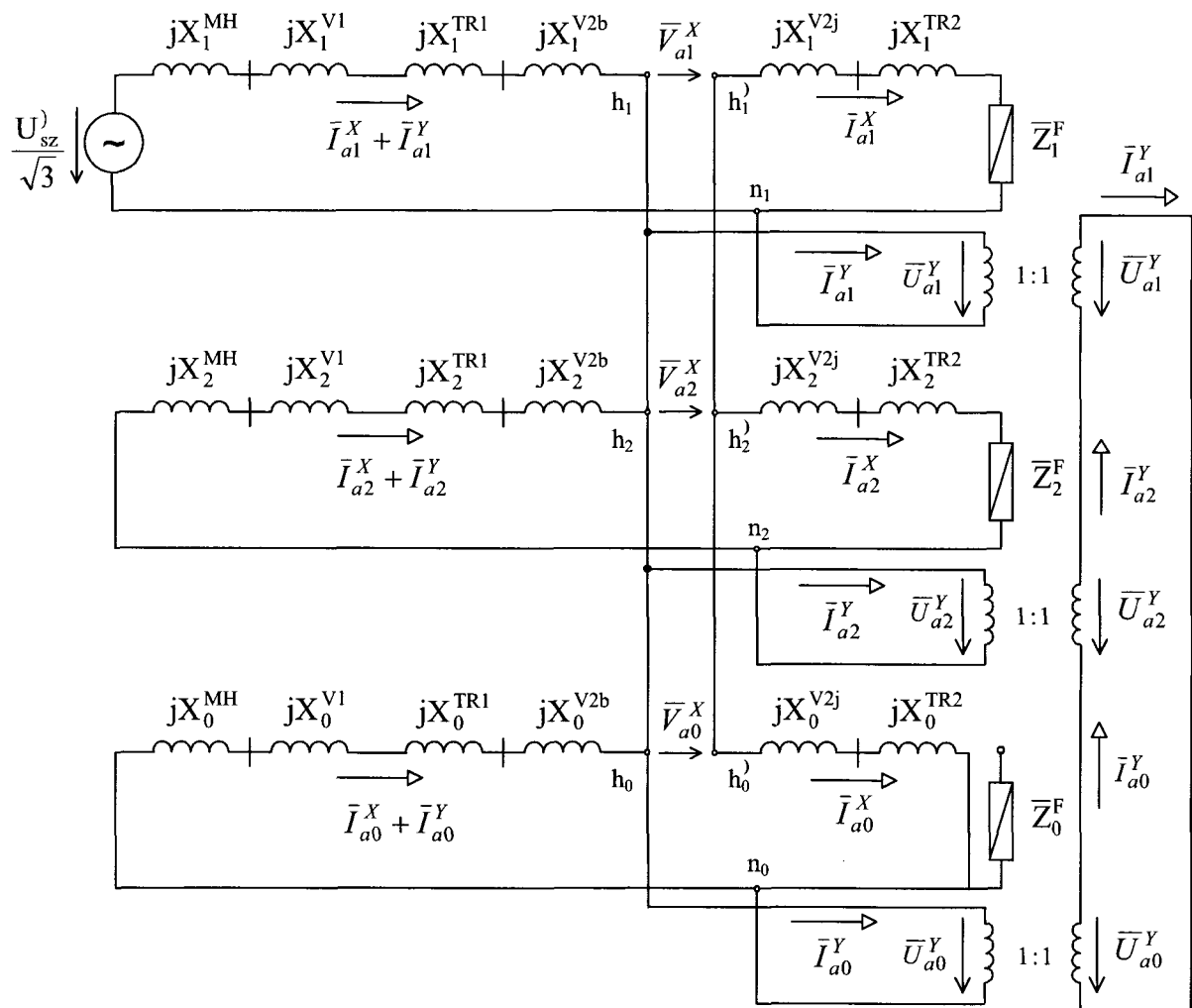
$$jX_1^{V2b} = jX_2^{V2b} = d \cdot x_v = 20 \cdot 0,4 = j8 \Omega$$

$$jX_0^{V2b} = 3 \cdot jX_1^{V2b} = 3 \cdot j8 = j24 \Omega$$

$$jX_1^{V2j} = jX_2^{V2j} = (l_{v2} - d) \cdot x_v = 30 \cdot 0,4 = j12 \Omega$$

$$jX_0^{V2j} = 3 \cdot jX_1^{V2j} = 3 \cdot j12 = j36 \Omega$$

A helyettesítő vázlat:



A fogyasztói impedanciák meghatározása:

$$\bar{Z}_1^F = \frac{U_n^2}{S_n} \cdot (\cos \varphi + j \cdot \sin \varphi) = \frac{10^2}{20} \cdot (0,8 + j \cdot 0,6) = (4 + j3) \Omega$$

A negatív sorrendű impedancia az  $\bar{S}_2 = P_1 + j \cdot 3Q_1 = (16 + j36)$  MVA alapján:

$$\bar{Z}_2^F = \frac{U_n^2}{\bar{S}_2^*} = \frac{10^2}{16 - j36} = (1,03 + j2,32) \Omega$$

Az impedanciákat a hibahelyi feszültségszintre átszámolva:

$$\bar{Z}_1^F = (4 + j3) \cdot \frac{120^2}{10^2} = (576 + j432) \Omega; \quad \bar{Z}_2^F = (1,03 + j2,32) \cdot \frac{120^2}{10^2} = (148,5 + j334) \Omega.$$

A hibahelyen folyó zárlati áramot illetve a szakadt végek között fellépő feszültséget a helyettesítő ábra alapján felírt Kirchhoff-egyenletrendszer segítségével lehet kiszámítani. Az egyenletrendszer egyszerűbb felírása érdekében a sorba kapcsolt impedanciákat összevonjuk:

$$\bar{Z}_1 = jX_1^m + jX_1^{V1} + jX_1^{TR1} + jX_1^{V2b} = j7,2 + j3,6 + j17,86 + j8 = j36,66 \Omega$$

$$\bar{Z}_2 = jX_2^m + jX_2^{V1} + jX_2^{TR1} + jX_2^{V2b} = j7,2 + j3,6 + j17,86 + j8 = j36,66 \Omega$$

$$\bar{Z}_3 = jX_0^m + jX_0^{V1} + jX_0^{TR1} + jX_0^{V2b} = j7,2 + j10,8 + j17,86 + j24 = j59,86 \Omega$$

$$\bar{Z}_4 = jX_1^{V2j} + jX_1^{TR2} = j12 + j57,6 = j69,6 \Omega$$

$$\bar{Z}_5 = jX_2^{V2j} + jX_2^{TR2} = j12 + j57,6 = j69,6 \Omega$$

$$\bar{Z}_6 = jX_0^{V2j} + jX_0^{TR2} = j36 + j57,6 = j93,6 \Omega$$

Az ismeretlenek száma a hibahelyi összetevők számával egyezik meg. A hibahely feltételeinek megfelelő egyenletek:

- az 'X' hibahelyre:  $\bar{I}_{a0}^X + \bar{I}_{a1}^X + \bar{I}_{a2}^X = 0$  és  $\bar{V}_{a0}^X = \bar{V}_{a1}^X = \bar{V}_{a2}^X = \frac{1}{3} \cdot \bar{V}_a^X$ ,

- az 'Y' hibahelyre:  $\bar{U}_{a0}^Y + \bar{U}_{a1}^Y + \bar{U}_{a2}^Y = 0$  és  $\bar{I}_{a0}^Y = \bar{I}_{a1}^Y = \bar{I}_{a2}^Y = \frac{\bar{I}_a^Y}{3}$ .

Tehát az ismeretlenek száma 8:  $\bar{I}_{a0}^X, \bar{I}_{a1}^X, \bar{I}_{a2}^X$  és  $\bar{V}_{a1}^X$ , illetve  $\bar{U}_{a0}^Y, \bar{U}_{a1}^Y, \bar{U}_{a2}^Y$  és  $\bar{I}_{a1}^Y$ .

A szükséges egyenletek száma 8, amelyből kettő a fenti feltételi egyenletekből adódik, míg a további 6 egyenlet a helyettesítő áramkörben a hibahelytől balra illetve jobbra eső hurkokra felírt 3-3 hurokegyenlet:

$$(1) \quad \bar{I}_{a0}^X + \bar{I}_{a1}^X + \bar{I}_{a2}^X = 0$$

$$(5) \quad (\bar{I}_{a0}^X + \bar{I}_{a1}^X) \cdot \bar{Z}_3 + \bar{U}_{a0}^Y = 0$$

$$(2) \quad \bar{U}_{a0}^Y + \bar{U}_{a1}^Y + \bar{U}_{a2}^Y = 0$$

$$(6) \quad \bar{V}_{a1}^X + \bar{I}_{a1}^X \cdot (\bar{Z}_4 + \bar{Z}_1^F) - \bar{U}_{a1}^Y = 0$$

$$(3) \quad -\bar{U}_f + (\bar{I}_{a1}^X + \bar{I}_{a1}^Y) \cdot \bar{Z}_1 + \bar{U}_{a1}^Y = 0$$

$$(7) \quad \bar{V}_{a1}^X + \bar{I}_{a2}^X \cdot (\bar{Z}_5 + \bar{Z}_2^F) - \bar{U}_{a2}^Y = 0$$

$$(4) \quad (\bar{I}_{a2}^X + \bar{I}_{a1}^Y) \cdot \bar{Z}_2 + \bar{U}_{a2}^Y = 0$$

$$(8) \quad \bar{V}_{a1}^X + \bar{I}_{a0}^X \cdot \bar{Z}_6 - \bar{U}_{a0}^Y = 0$$

Az egyenletek felírásakor figyelembe vettük a  $\bar{V}_{a0}^X = \bar{V}_{a1}^X = \bar{V}_{a2}^X$  és  $\bar{I}_{a0}^Y = \bar{I}_{a1}^Y = \bar{I}_{a2}^Y$

egyenlőségeket, valamint  $\bar{U}_f = \frac{\bar{U}_{sz}}{\sqrt{3}}$ . Az egyenletrendszer megoldható bármely számítógépes módszerrel, de – az egyenletek egyszerű felépítése miatt – közvetlenül is, pl. a következő lépéssorrenddel:

1. Fejezzük ki (1)-ből  $\bar{I}_{a0}^X$  -et, (2)-ből  $\bar{U}_{a0}^Y$  -t, és helyettesítsük be a többi egyenletbe.

2. Fejezzük ki (6)-ból  $\bar{U}_{a1}^Y$  -t, (7)-ből  $\bar{U}_{a2}^Y$  -t, és helyettesítsük be a többi egyenletbe.

3. Fejezzük ki (3)-ból  $\bar{I}_{a1}^X$  -et, (4)-ből  $\bar{I}_{a2}^X$  -et, és helyettesítsük be (5)-be és (8)-ba.

4. Így kétismeretlenes egyenletrendszer kapunk, ahol az ismeretlenek:  $\bar{V}_{a1}^X$  és  $\bar{I}_{a1}^Y$ .

A megoldást célszerű az impedanciák értékének behelyettesítésével végezni, mert az esetleges összevonások a számolás közben elvégezhetőek. A részletek mellőzésével a kapott eredmények:

$$\begin{aligned} \bar{I}_{a1}^Y &= (8 - j533,2) \text{ A} & \text{illetve} & & \bar{V}_{a1}^X &= (-20,6 + j6,6) \text{ kV}, \\ \bar{I}_{a1}^X &= (6,1 - j6,93) \text{ A} & \bar{I}_{a2}^X &= (-13,3 - j6,8) \text{ A} & \bar{I}_{a0}^X &= (-45,9 + j74) \text{ kV} \\ \bar{U}_{a1}^Y &= (47,3 - j2,46) \text{ kV} & \bar{U}_{a2}^Y &= (-19,8 + j0,2) \text{ kV} & \bar{U}_{a0}^Y &= (-27,5 + j2,27) \text{ kV} \end{aligned}$$

Ez alapján a hibahelyi áramok:

$$\begin{aligned} \text{Az „X” hibahelyen: } \bar{I}_a &= \bar{I}_{a0}^X + \bar{I}_{a1}^X + \bar{I}_{a2}^X = 0 \text{ A} & |\bar{I}_a| &= 0 \text{ A} \\ \bar{I}_b &= \bar{I}_{a0}^X + a^2 \bar{I}_{a1}^X + a \bar{I}_{a2}^X = (-121,2 + j48,2) \text{ A} & |\bar{I}_b| &= 130,5 \text{ A} \\ \bar{I}_c &= \bar{I}_{a0}^X + a \bar{I}_{a1}^X + a^2 \bar{I}_{a2}^X = (-16,5 + j173,8) \text{ A} & |\bar{I}_c| &= 174,6 \text{ A} \\ \text{Az „Y” hibahelyen: } \bar{I}_a &= \bar{I}_{a0}^Y + \bar{I}_{a1}^Y + \bar{I}_{a2}^Y = (24 - j1599,5) \text{ A} & |\bar{I}_a| &= 1599,6 \text{ A} \\ \bar{I}_b &= \bar{I}_{a0}^Y + a^2 \bar{I}_{a1}^Y + a \bar{I}_{a2}^Y = (-121,2 + j48,2) \text{ A} & |\bar{I}_b| &= 130,5 \text{ A} \\ \bar{I}_c &= \bar{I}_{a0}^Y + a \bar{I}_{a1}^Y + a^2 \bar{I}_{a2}^Y = (-16,5 + j173,8) \text{ A} & |\bar{I}_c| &= 174,6 \text{ A} \end{aligned}$$

Megállapíthatjuk, hogy az 'a' fázisban a hibahely zárlati árama 1,6 kA nagyságú, míg a hibahelytől jobbra áram nem folyik (a szakadás miatt nem is folyhat!). A másik két fázisban viszont *azonos értékeket* kaptunk, ami várható volt, hiszen ezekben nem lépett fel hiba.

A feszültségek a hibahelyeken:

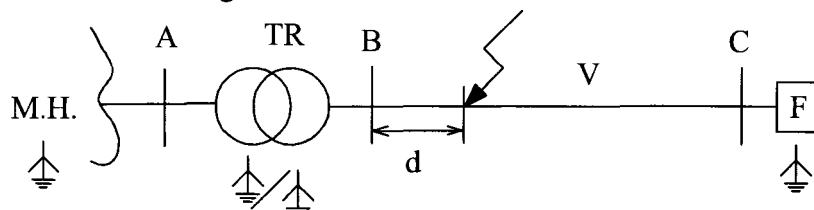
$$\begin{aligned} \text{Az 'X' hibahelyen: } \bar{V}_a^X &= \bar{V}_{a0}^X + \bar{V}_{a1}^X + \bar{V}_{a2}^X = (-61,7 + j19,7) \text{ kV} & |\bar{V}_a^X| &= 64,7 \text{ kV} \\ \bar{V}_b^X &= \bar{V}_{a0}^X + a^2 \bar{V}_{a1}^X + a \bar{V}_{a2}^X = 0 \text{ kV} & \bar{V}_c^X &= \bar{V}_{a0}^X + a \bar{V}_{a1}^X + a^2 \bar{V}_{a2}^X = 0 \text{ kV} \end{aligned}$$

Tehát a szakad vezeték végei között fellépő feszültség 64,7 kV.

$$\begin{aligned} \text{Az 'Y' hibahelyen: } \bar{U}_a^Y &= \bar{U}_{a0}^Y + \bar{U}_{a1}^Y + \bar{U}_{a2}^Y = 0 \text{ kV} & |\bar{U}_a^Y| &= 0 \text{ kV} \\ \bar{U}_b^Y &= \bar{U}_{a0}^Y + a^2 \bar{U}_{a1}^Y + a \bar{U}_{a2}^Y = (-43,5 - j54,7) \text{ kV} & |\bar{U}_b^Y| &= 69,9 \text{ kV} \\ \bar{U}_c^Y &= \bar{U}_{a0}^Y + a \bar{U}_{a1}^Y + a^2 \bar{U}_{a2}^Y = (-38,9 + j61,5) \text{ kV} & |\bar{U}_c^Y| &= 72,8 \text{ kV} \end{aligned}$$

### Feladatok:

1. Az ábrán látható elrendezésben a „B” jelű gyűjtősíntől adott távolságban az „a” fázisban a fázisvezető elszakadt, és a „B” jelű gyűjtősín felőli része a földre esett, tehát egyidejűleg földrövidzárlat lépett fel. A fogyasztó egy kondenzátortelep. Határozzuk meg a hibahelyi áramok és feszültségek értékét!



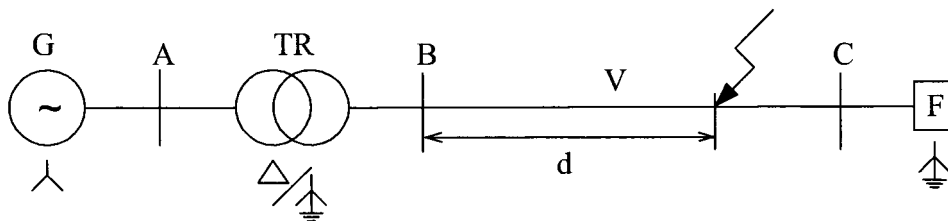
Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon$ [%]	$\cos\varphi$
MH	120	2500	-	-
TR	120/20	25	9,6	-
F	20	10	-	0,8 kap.

A szabadvezeték adatai:  $l_V = 60$  km  $d = 20$  km  $x_V = 0,4 \Omega/\text{km}$

2. Az ábrán látható elrendezésben a „B” jelű gyűjtősíntől adott távolságban az „a” fázisban a fázisvezető elszakadt, és a „B” jelű gyűjtősín felőli része a földre esett, tehát egyidejűleg földrövidzárlat lépett fel. Határozza meg a hibahelyi áramok és feszültségek, valamint a „B” gyűjtősín fázisfeszültségeinek és a generátor fázisáramainak értékét!

A transzformátor kapcsolási csoportja Yd5.



Adatok:

	$U_n$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$\varepsilon_d^{(1)}$ [%]	$\varepsilon_d^{(2)}$ [%]	$\varepsilon_d^{(0)}$ [%]	$\varepsilon$ [%]	$\cos\varphi$
G	10,5	25	15,4	9,6	212	-	-
TR	22/11	20	-	-	-	8	-
F	20	12	-	-	-	-	0,8 ind.

A szabadvezeték adatai:  $l_V = 6$  km  $d = 4$  km  $x_V = 0,4 \Omega/\text{km}$

Eredmények:

**1. feladat:**  $\bar{I}_a^X = 0$  A  $\bar{I}_b^X = (-186,7 + j16,6)$  A  $\bar{I}_c^X = (97,8 + j199,8)$  A  
 $\bar{I}_a^Y = (31,4 - j847,3)$  A  $\bar{I}_b^Y = (-186,7 + j16,6)$  A  $\bar{I}_c^Y = (97,8 + j199,8)$  A  
 $\bar{V}_a^X = (2,3 + j0,95)$  kV  $\bar{V}_b^X = 0$  kV  $\bar{V}_c^X = 0$  kV  
 $\bar{U}_a^Y = 0$  kV  $\bar{U}_b^Y = (-8,94 - j7,9)$  kV  $\bar{U}_c^Y = (-7,17 + j9,36)$  kV

**2. feladat:**  $\bar{I}_a^X = 0$  A  $\bar{I}_b^X = (-427,3 - j175,4)$  A  $\bar{I}_c^X = (23,7 + j290)$  A  
 $\bar{I}_a^Y = (966 - j2344)$  A  $\bar{I}_b^Y = (-427,3 - j175,4)$  A  $\bar{I}_c^Y = (23,7 + j290)$  A  
 $\bar{V}_a^X = (-1,78 + j2,08)$  kV  $\bar{V}_b^X = 0$  kV  $\bar{V}_c^X = 0$  kV  
 $\bar{U}_a^Y = 0$  kV  $\bar{U}_b^Y = (-7 - j11,17)$  kV  $\bar{U}_c^Y = (-8 + j7,36)$  kV

A 'B' gyűjtősín feszültsége:

$$\bar{U}_a^B = (6,13 + j2,15)$$
 kV  

$$\bar{U}_b^B = (-4,35 - j11,25)$$
 kV  

$$\bar{U}_c^B = (-6,1 + j8)$$
 kV

A generátor árama:

$$\bar{I}_a^G = (-1,6 + j2,5)$$
 kA  

$$\bar{I}_b^G = (0,52 + j0,54)$$
 kA  

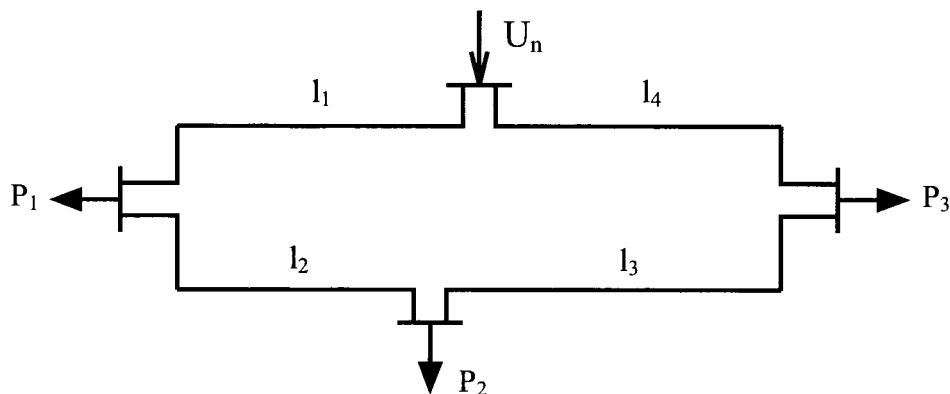
$$\bar{I}_c^G = (1,08 - j3,04)$$
 kA

## 5. HÁLÓZATOK VILLAMOS MÉRETEZÉSE

### 5.1.1. Két végéről azonos feszültséggel táplált vezeték méretezése feszültségesésre

#### Kidolgozott példa:

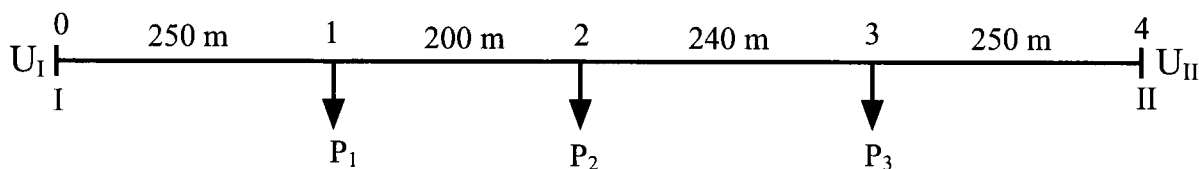
Méretezzük feszültségesésre az 5.1. ábrán vázolt négyvezetős háromfázisú körvezetékét!



5.1. ábra

Adatok:  $U_n = 3 \times 400 / 230 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $\varepsilon = 2 \%$ ,  $\rho = \frac{1}{56} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$   
 $P_1 = 10 \text{ kW}$ ,  $P_2 = 16 \text{ kW}$ ,  $P_3 = 20 \text{ kW}$   
 Valamennyi fogyasztó ohmos jellegű ( $\cos \varphi = 1$ ).  
 $l_1 = 250 \text{ m}$ ,  $l_2 = 200 \text{ m}$ ,  $l_3 = 240 \text{ m}$ ,  $l_4 = 250 \text{ m}$ .

A táppontban felmetszve és kiterítve a hálózatot (5.2. ábra), a két végéről egyenlő feszültséggel táplált hálózatot kapunk.



5.2. ábra

Először meghatározzuk a terhelő áramokat (megegyeznek a wattos összetevőkkel):

$$I_{1w} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 14,43 \text{ A} \quad I_{2w} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 23,09 \text{ A} \quad I_{3w} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 28,86 \text{ A}$$

A táppontokon befolyó áramok a nyomatéki tétel alapján:

$$I_I = \frac{I_{1w} \cdot l_{1-II} + I_{2w} \cdot l_{2-II} + I_{3w} \cdot l_{3-II}}{l_{I-II}} = \frac{14,43 \cdot 690 + 23,09 \cdot 490 + 28,86 \cdot 250}{940} = 30,3 \text{ A}$$

$$I_{II} = \frac{I_{1w} \cdot l_{1-I} + I_{2w} \cdot l_{2-I} + I_{3w} \cdot l_{3-I}}{l_{I-II}} = \frac{14,43 \cdot 250 + 23,09 \cdot 450 + 28,86 \cdot 690}{940} = 36,07 \text{ A}$$

Az 'I' jelű táppont áramának ismeretében a 'II' jelű táppont árama közvetlenül is számítható a fogyasztói áramok összegének ismeretében:

$$I_{II} = \sum_{i=1}^3 I_{iw} - I_I, \quad \text{ahol} \quad \sum_{i=1}^3 I_{iw} = 14,43 + 23,09 + 28,86 = 66,38 \text{ A}.$$

$$\text{Tehát} \quad I_{II} = 66,38 - 30,3 = 36,08 \text{ A}.$$

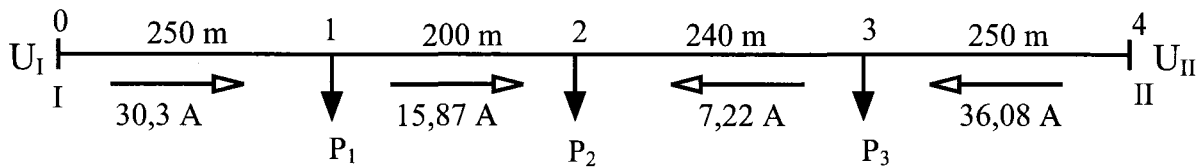
A szakaszáramok:  $I_{01} = I_1 = 30,3 \text{ A}$

$$I_{12} = I_{01} - I_1 = 30,3 - 14,43 = 15,87 \text{ A}$$

$$I_{23} = I_{12} - I_2 = 15,87 - 23,09 = -7,22 \text{ A}$$

$$I_{34} = I_{23} - I_3 = -7,22 - 28,86 = -36,08 \text{ A}$$

A szakaszáram a 2-3 szakaszon vált előjelet (irányt), tehát a kétfelől táplált pont a második fogyasztónál van (5.3. ábra).



5.3. ábra

A vezeték feszültségesésre méretezzük, így a mértékadó feszültségesés négyvezetős rendszer esetén:

$$e = 0,75 \cdot \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} = 0,75 \cdot \frac{2}{100} \cdot \frac{400}{\sqrt{3}} = 3,46 \text{ V}.$$

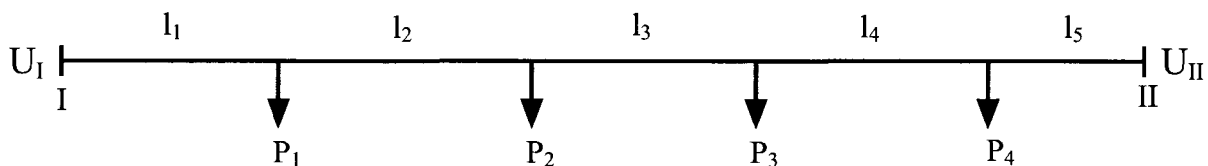
A szükséges vezeték keresztmetszet az 5.3. ábra alapján:

$$A \geq \frac{\rho}{e} \sum_{i=1}^2 I_x \cdot I_x = \frac{1}{56 \cdot 3,46} \cdot (250 \cdot 30,3 + 200 \cdot 15,87) = 55,5 \text{ mm}^2$$

A választott szabványos (tényleges) keresztmetszet:  $A_t = 70 \text{ mm}^2$ .

### Feladatok:

1. Méretezze feszültségesésre az alábbi hálózatot!



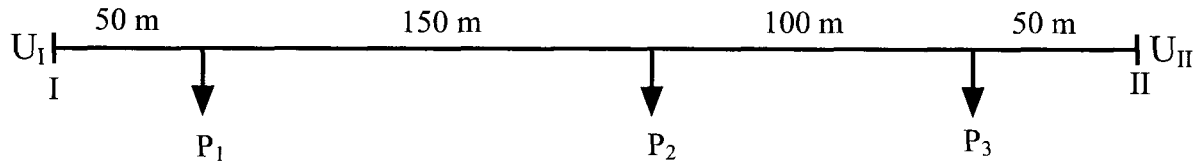
Adatok:  $U_n = 3 \times 400 \text{ V} \sim$        $f = 50 \text{ Hz}$        $\varepsilon = 3 \%$        $\rho = \frac{1}{35} \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$

$P_1 = 6,6 \text{ kW}$      $\cos \varphi_1 = 1$        $P_2 = 5 \text{ kW}$        $\eta = 90 \%$        $\cos \varphi_2 = 1$

$P_3 = 6,6 \text{ kW}$      $\cos \varphi_3 = 0,8$        $P_4 = 10 \text{ kW}$        $\eta = 90 \%$        $\cos \varphi_4 = 0,85$

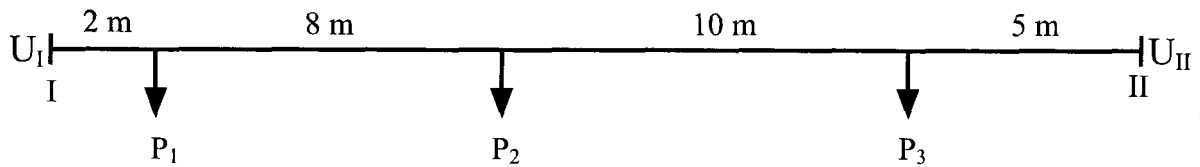
$l_1 = 50 \text{ m}$        $l_2 = 60 \text{ m}$        $l_3 = 70 \text{ m}$        $l_4 = 40 \text{ m}$        $l_5 = 80 \text{ m}$

2. Mekkora keresztmetszetű alumíniumvezetővel oldható meg az alábbi hálózat ellátása?



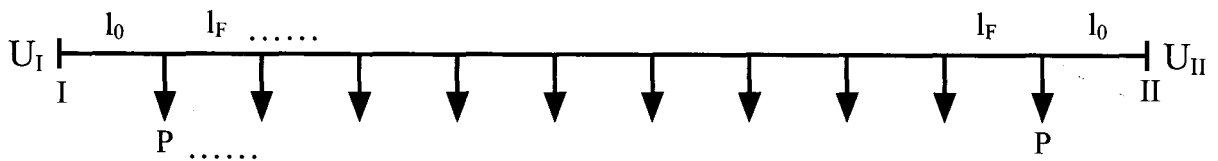
Adatok:  $U_n = 230 \text{ V} \sim$        $\varepsilon = 3 \%$        $\rho = \frac{1}{35} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$   
 $P_1 = 2 \text{ kW}$        $\eta_1 = 90 \%$        $P_2 = 3,5 \text{ kW}$        $\eta_2 = 92 \%$   
 $P_3 = 3 \text{ kW}$        $\eta_3 = 96 \%$       Valamennyi fogyasztó ohmos jellegű ( $\cos \varphi = 1$ ).

3. Méretezze feszültségesésre az alábbi hálózatot!



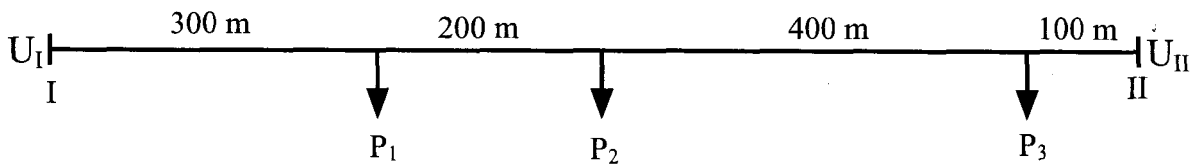
Adatok:  $U_n = 120 \text{ V} \sim$        $\varepsilon = 3 \%$       a vezető anyaga réz.  
 $P_1 = 22 \text{ kW}$        $P_2 = 20 \text{ kW}$        $P_3 = 5 \text{ kW}$   
 Valamennyi fogyasztó ohmos jellegű ( $\cos \varphi = 1$ ).

4. Méretezze feszültségesésre egy fénycsöves megvilágítású körfolyosó alumíniumvezetékét!



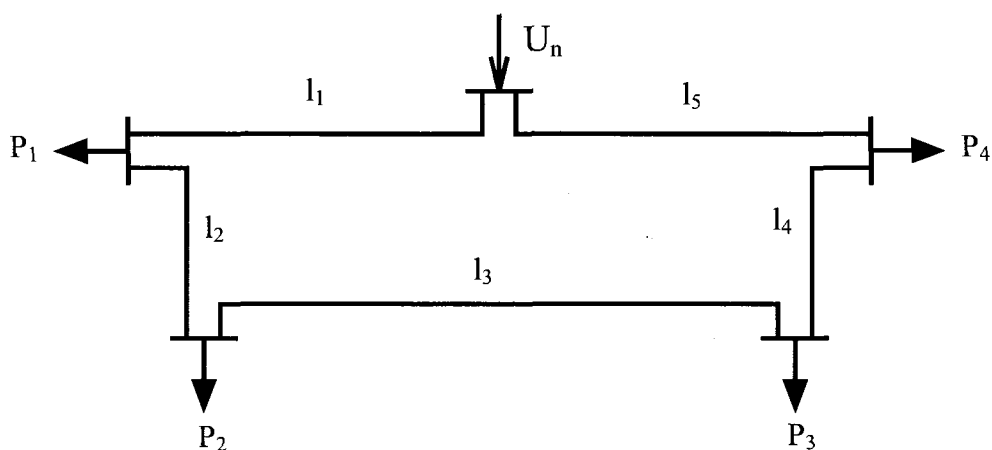
A fénycsövek jellemzői:  $U_n = 230 \text{ V} \sim$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $P = 108 \text{ W}$ ,  $\cos \varphi = 0,95$ .  
 A vezetékhozzak:  $l_0 = 5 \text{ m}$        $l_F = 2,5 \text{ m}$

5. Mekkora az alábbi hálózat vezetőjének keresztmetszete?



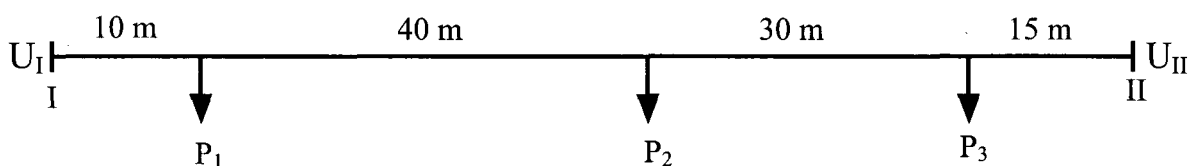
Adatok:  $U_n = 3 \times 400 \text{ V} \sim$        $\varepsilon = 5 \%$        $\rho = \frac{1}{56} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$   
 $P_1 = 20 \text{ kW}$        $P_2 = 80 \text{ kW}$        $P_3 = 30 \text{ kW}$   
 Valamennyi fogyasztó ohmos jellegű ( $\cos \varphi = 1$ )

6.) Méretezze feszültségére az alábbi körvezetékét!



Adatok:  $U_n = 3 \times 400 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $\varepsilon = 5 \%$ ,  $\rho = \frac{1 \text{ } \Omega \text{mm}^2}{35 \text{ m}}$ ,  
 $P_1 = 50 \text{ kW}$     $P_2 = 30 \text{ kW}$     $P_3 = 20 \text{ kW}$     $P_4 = 40 \text{ kW}$   
 $\cos \varphi_1 = 1$     $\cos \varphi_2 = 0,8$     $\cos \varphi_3 = 0,8$     $\cos \varphi_4 = 0,6$   
 $l_1 = 80 \text{ m}$     $l_2 = 50 \text{ m}$     $l_3 = 120 \text{ m}$     $l_4 = 50 \text{ m}$     $l_5 = 60 \text{ m}$

7.) Mekkora keresztmetszetű alumíniumvezetővel oldható meg az alábbi hálózat ellátása?



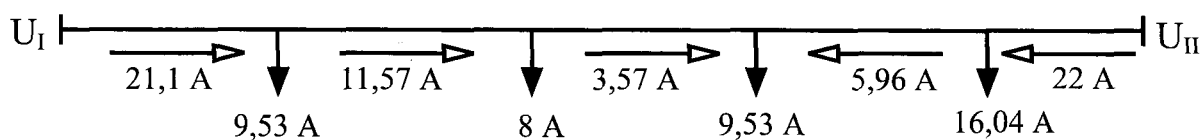
Adatok:  $U_n = 230 \text{ V} \sim$     $\varepsilon = 3 \%$     $\rho = \frac{1 \text{ } \Omega \text{mm}^2}{56 \text{ m}}$   
 $P_1 = 12 \text{ kW}$     $\eta_1 = 94 \%$     $P_2 = 35 \text{ kW}$     $\eta_2 = 90 \%$   
 $P_3 = 30 \text{ kW}$     $\eta_3 = 86 \%$    Valamennyi fogyasztó ohmos jellegű ( $\cos \varphi = 1$ )

### Eredmények:

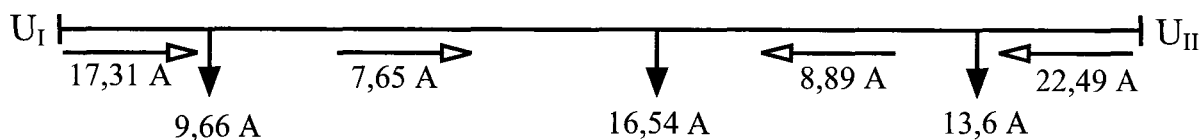
A számított keresztmetszetek (A) után zárójelben megadtuk a tényleges keresztmetszetet (A<sub>t</sub>) is. Ez az előírt *feszültségésés* biztosítása szempontjából szükséges keresztmetszet, amely a terhelhetőség szempontjából nem mindig felel meg.

Az ábrákban a feszültségésés meghatározásához szükséges wattos áramösszetevőket tüntettük fel. (Ezek csak abban az esetekben egyeznek meg a tényleges szakaszáramokkal, amikor az összes fogyasztóra  $\cos \varphi = 1$  teljesül!)

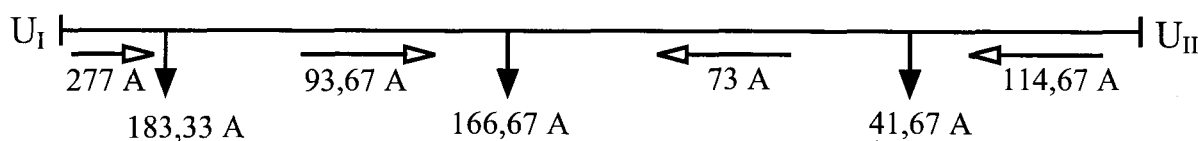
1. feladat:  $A = 8,24 \text{ mm}^2$  ( $A_t = 10 \text{ mm}^2$ )



2. feladat:  $A = 16,67 \text{ mm}^2$  ( $A_t = 25 \text{ mm}^2$ )



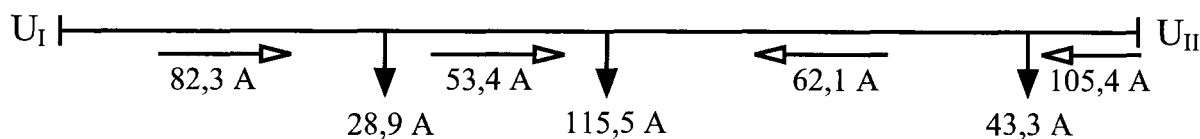
3. feladat:  $A = 12,9 \text{ mm}^2$  ( $A_t = 16 \text{ mm}^2$ )



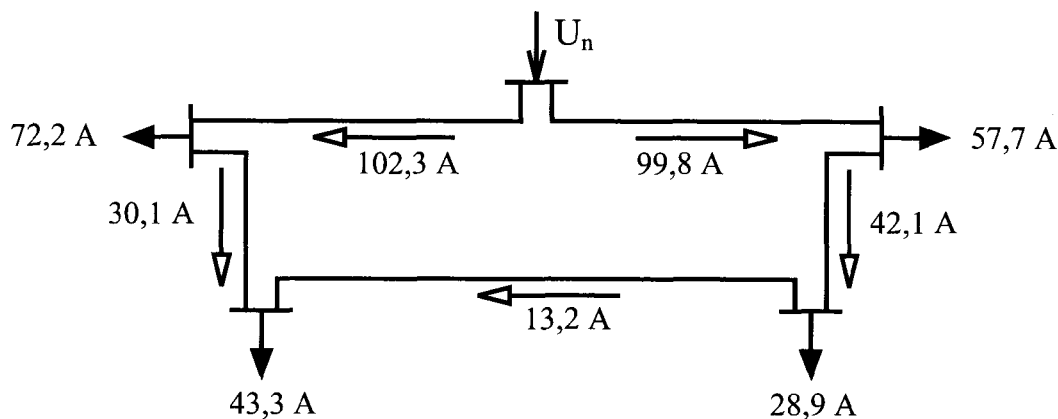
4. feladat:  $A = 0,29 \text{ mm}^2$  ( $A_t = 2,5 \text{ mm}^2$  – alumínium vezeték esetén ez a legkisebb alkalmazható keresztmetszet)

Az elrendezés szimmetriája miatt a vezeték közepén kettévágható, és úgy is méretezhető, mint az egy oldalról táplált, nyitott vezeték (ld. az 1.2.1. pontban!).

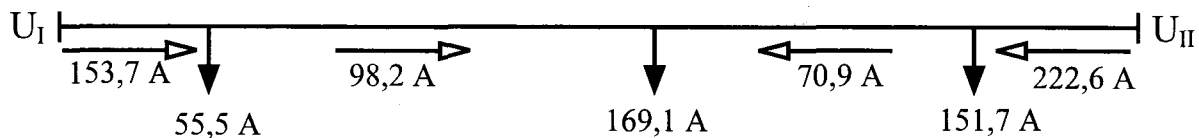
5. feladat:  $A = 54,7 \text{ mm}^2$  ( $A_t = 70 \text{ mm}^2$ )



6. feladat:  $A = 23,96 \text{ mm}^2$  ( $A_t = 25 \text{ mm}^2$ )



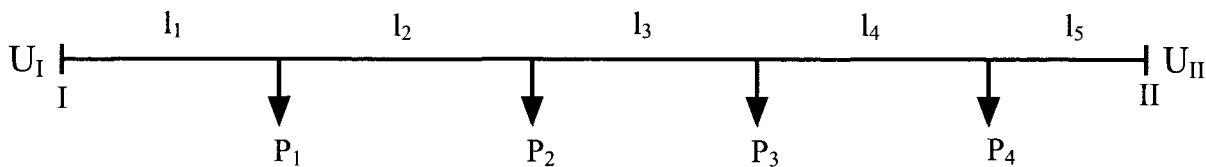
7. feladat:  $A = 28,3 \text{ mm}^2$  ( $A_t = 35 \text{ mm}^2$ )



### 5.1.2. Két végéről azonos feszültséggel táplált vezeték méretezése teljesítményvesztésre

#### Kidolgozott példa:

Méretezzük teljesítményvesztésre az 5.4. ábrán látható egyfázisú hálózatot!



5.4. ábra

Adatok:  $U_n = 230 \text{ V} \sim$        $f = 50 \text{ Hz}$        $\alpha = 5 \%$        $\rho = \frac{1}{35} \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$

$P_1 = 6,6 \text{ kW}$        $\cos\varphi_1 = 1$        $P_2 = 5 \text{ kW}$        $\cos\varphi_2 = 0,75$

$P_3 = 4,6 \text{ kW}$        $\cos\varphi_3 = 0,8$        $P_4 = 10 \text{ kW}$        $\cos\varphi_4 = 0,9$

$l_1 = 50 \text{ m}$        $l_2 = 40 \text{ m}$        $l_3 = 30 \text{ m}$        $l_4 = 25 \text{ m}$        $l_5 = 45 \text{ m}$

A teljesítmények meghatározásához ismerni kell a szakaszáramok nagyságát, amihez ismerni kell minden szakaszon a wattos és meddő áram komponens nagyságát. Ehhez külön-külön meghatározzuk a wattos illetve a meddő komponensekre vonatkozó árameloszlást az előző pontban leírtak szerint.

Először meghatározzuk a fogyasztói terhelő áramok wattos és meddő komponenseit

$$I_{iw} = \frac{P_i}{U_n} \quad \text{illetve} \quad I_{im} = I_{iw} \cdot \text{tg } \varphi \quad \text{alapján:}$$

$$I_{1w} = \frac{6000}{230} = 28,7 \text{ A}$$

$$I_{1m} = 0 \text{ A}$$

$$I_{2w} = \frac{5000}{230} = 21,8 \text{ A}$$

$$I_{2m} = 21,8 \cdot 0,88 = 19,2 \text{ A}$$

$$I_{3w} = \frac{4600}{230} = 20 \text{ A}$$

$$I_{3m} = 20 \cdot 0,75 = 15 \text{ A}$$

$$I_{4w} = \frac{10000}{230} = 43,5 \text{ A}$$

$$I_{4m} = 43,5 \cdot 0,484 = 21,1 \text{ A}$$

A táppontokon befolyó áramok wattos komponensei a nyomatéki tétel alapján:

$$I_{Iw} = \frac{28,7 \cdot 140 + 21,8 \cdot 100 + 20 \cdot 70 + 43,5 \cdot 45}{190} = 50,3 \text{ A}$$

$$I_{IIw} = \frac{28,7 \cdot 50 + 21,8 \cdot 90 + 20 \cdot 120 + 43,5 \cdot 145}{190} = 63,7 \text{ A}$$

Az 'I' jelű táppont wattos áramának ismeretében a 'II' jelű táppont wattos árama közvetlenül is számítható a fogyasztói wattos áramok összegének ismeretében:

$$I_{IIw} = \sum_{i=1}^3 I_{iw} - I_{Iw} \text{ , ahol } \sum_{i=1}^3 I_{iw} = 28,7 + 21,8 + 20 + 43,5 = 114 \text{ A .}$$

$$\text{Tehát } I_{IIw} = 114 - 50,3 = 63,7 \text{ A .}$$

A szakaszáramok wattos komponensei:

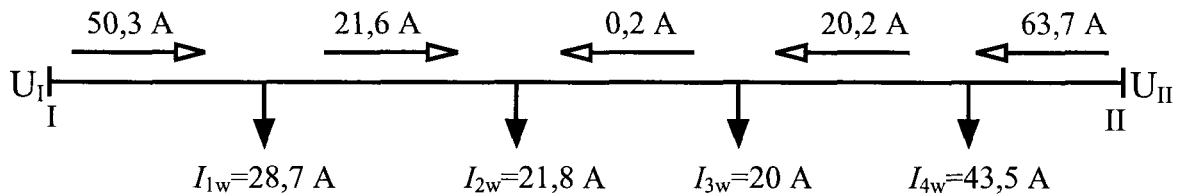
$$I_{01w} = I_{Iw} = 50,3 \text{ A}$$

$$I_{12w} = I_{01w} - I_{1w} = 50,3 - 28,7 = 21,6 \text{ A}$$

$$I_{23w} = I_{12w} - I_{2w} = 21,6 - 21,8 = -0,2 \text{ A}$$

$$I_{34w} = I_{23w} - I_{3w} = -0,2 - 20 = -20,2 \text{ A}$$

A szakaszáram wattos komponense a 2-3 szakaszon vált előjelet (irányt), tehát a kétfelől táplált pont a második fogyasztónál van (5.5. ábra).



5.5. ábra

A meddő komponensek eloszlását is a fentiek szerint határozhatjuk meg.

A táppontokon befolyó áramok meddő komponensei a nyomatéki tétel alapján:

$$I_{Im} = \frac{0 \cdot 140 + 19,2 \cdot 100 + 15 \cdot 70 + 21,1 \cdot 45}{190} = 20,6 \text{ A}$$

$$I_{IIIm} = \frac{0 \cdot 50 + 19,2 \cdot 90 + 15 \cdot 120 + 21,1 \cdot 145}{190} = 34,7 \text{ A}$$

Az 'I' jelű táppont meddő áramának ismeretében a 'II' jelű táppont meddő árama közvetlenül is számítható a fogyasztói meddő áramkomponensek összegének ismeretében:

$$I_{IIIm} = \sum_{i=1}^3 I_{im} - I_{Im} \text{ , ahol } \sum_{i=1}^3 I_{im} = 0 + 19,2 + 15 + 21,1 = 55,3 \text{ A .}$$

$$\text{Tehát } I_{II} = 55,3 - 20,6 = 34,7 \text{ A .}$$

A szakaszáramok meddő komponensei:

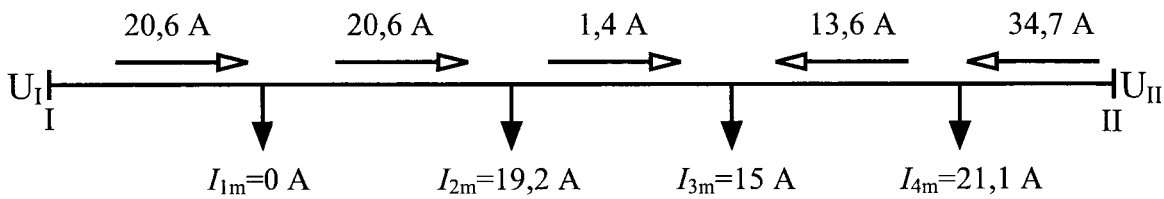
$$I_{01m} = I_{Im} = 20,6 \text{ A}$$

$$I_{12m} = I_{01m} - I_{1m} = 20,6 - 0 = 20,6 \text{ A}$$

$$I_{23m} = I_{12m} - I_{2m} = 20,6 - 19,2 = 1,4 \text{ A}$$

$$I_{34m} = I_{23m} - I_{3m} = 1,4 - 15 = -13,6 \text{ A}$$

A szakaszáram meddő komponense a 3-4 szakaszon vált előjelet (irányt), tehát a kétfelől táplált pont a harmadik fogyasztónál van (5.6. ábra).



5.6. ábra

A komponensek ismeretében a tényleges szakaszáramok meghatározhatók:

$$I_{11} = \sqrt{I_{11w}^2 + I_{11m}^2} = \sqrt{50,3^2 + 20,6^2} = 54,35 \text{ A}$$

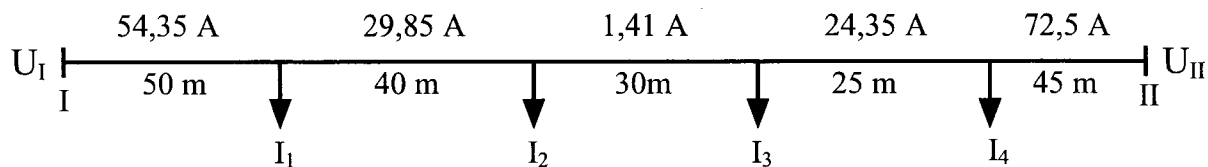
$$I_{12} = \sqrt{I_{12w}^2 + I_{12m}^2} = \sqrt{21,6^2 + 20,6^2} = 29,85 \text{ A}$$

$$I_{23} = \sqrt{I_{23w}^2 + I_{23m}^2} = \sqrt{0,2^2 + 1,4^2} = 1,41 \text{ A}$$

$$I_{34} = \sqrt{I_{34w}^2 + I_{34m}^2} = \sqrt{20,2^2 + 13,6^2} = 24,35 \text{ A}$$

$$I_{4II} = \sqrt{I_{4IIw}^2 + I_{4II m}^2} = \sqrt{63,7^2 + 34,7^2} = 72,5 \text{ A}$$

A szakaszáramokat és szakasz hosszakat az 5.7. ábrában összefoglaltuk:



5.7. ábra

A mértékadó teljesítményvesztés:

$$v) = \frac{v}{2} = \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{P_{\text{öfel}}}{2} = \frac{5}{100} \cdot \frac{6,6 + 5 + 4,6 + 10}{2} \text{ kW} = 655 \text{ W.}$$

Állandó keresztmetszetű vezetőt feltételezve a szükséges vezető keresztmetszet:

$$A_{\text{szüks}} \geq \frac{\rho}{v) \cdot \sum_{i=1}^5 I_{\text{sz}i}^2 \cdot l_{\text{sz}i}}$$

A szükséges vezeték keresztmetszet:

$$A_{\text{szüks}} \geq \frac{54,35^2 \cdot 50 + 29,85^2 \cdot 40 + 1,41^2 \cdot 30 + 24,35^2 \cdot 25 + 72,5^2 \cdot 45}{35 \cdot 655} = 19 \text{ mm}^2$$

A választott szabványos (tényleges) keresztmetszet:  $A_t = 25 \text{ mm}^2$ .

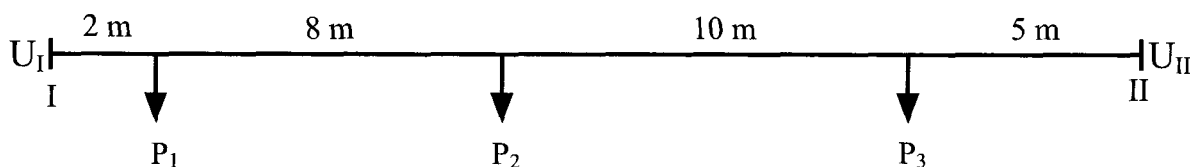
A feszültségesésre történő ellenőrzés a wattos áramok eloszlása alapján (5.5. ábra) történik. A legnagyobb feszültségesés a kétfelől táplált pontban van:

$$e) = \frac{\rho}{A_t} \sum_{k=1}^2 I_{kw} \cdot l_k = \frac{50,3 \cdot 50 + 21,6 \cdot 40}{35 \cdot 25} = 3,86 \text{ V, és ez alapján:}$$

$$\varepsilon = \frac{e}{U_n} \cdot 100 = \frac{2 \cdot e)}{U_n} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 3,86}{230} \cdot 100 = 3,36 \% < 5 \%, \text{ tehát megfelelő.}$$

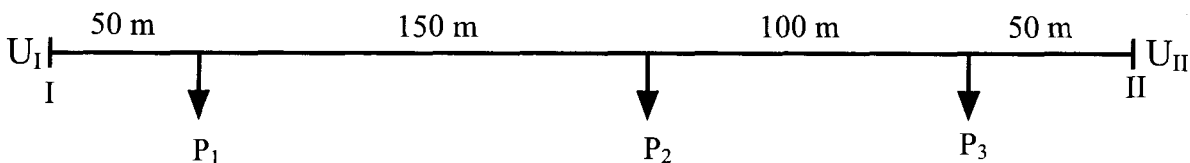
### Feladatok:

1. Méretezze teljesítményveszteségre, és ellenőrizze feszültségésre az alábbi hálózatot!



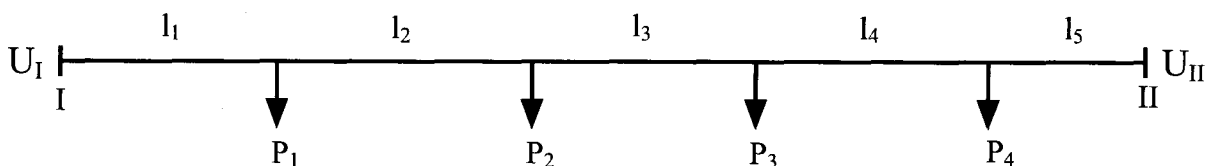
Adatok:  $U_n = 230 \text{ V} \sim$   $\alpha = 5 \%$  a vezető anyaga réz.  
 $P_1 = 12 \text{ kW}$   $P_2 = 20 \text{ kW}$   $P_3 = 15 \text{ kW}$   
Valamennyi fogyasztó ohmos jellegű ( $\cos \varphi = 1$ ).

2. Mekkora keresztmetszetű alumíniumvezetővel oldható meg az alábbi hálózat ellátása?



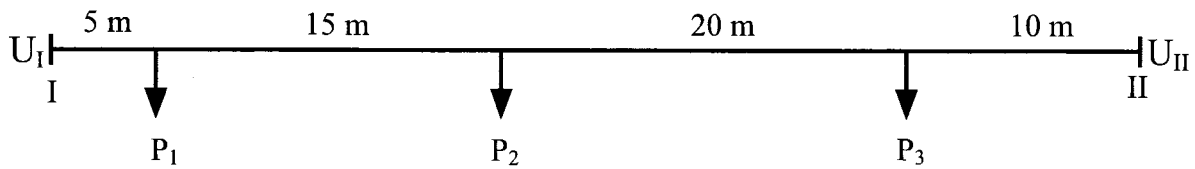
Adatok:  $U_n = 230 \text{ V} \sim$   $\alpha = 6 \%$   $\rho = \frac{1}{35} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$   
 $P_1 = 5 \text{ kW}$   $\eta_1 = 90 \%$   $\cos \varphi_1 = 0,6$   
 $P_2 = 3,5 \text{ kW}$   $\eta_2 = 92 \%$   $\cos \varphi_2 = 0,9$   
 $P_3 = 6 \text{ kW}$   $\eta_3 = 86 \%$   $\cos \varphi_3 = 0,85$

3. Méretezze teljesítményveszteségre, és ellenőrizze feszültségésre az alábbi háromfázisú, háromvezetékes hálózatot!



Adatok:  $U_n = 3 \times 400 \text{ V} \sim$   $f = 50 \text{ Hz}$   $\alpha = 5 \%$   $\rho = \frac{1}{35} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$   
 $P_1 = 6,6 \text{ kW}$   $\eta_1 = 92 \%$   $\cos \varphi_1 = 1$   
 $P_2 = 5 \text{ kW}$   $\eta_2 = 90 \%$   $\cos \varphi_2 = 1$   
 $P_3 = 8,6 \text{ kW}$   $\eta_3 = 86 \%$   $\cos \varphi_3 = 0,8$   
 $P_4 = 10 \text{ kW}$   $\eta_4 = 90 \%$   $\cos \varphi_4 = 0,85$   
 $l_1 = 50 \text{ m}$   $l_2 = 60 \text{ m}$   $l_3 = 70 \text{ m}$   $l_4 = 40 \text{ m}$   $l_5 = 80 \text{ m}$

4. Méretezze teljesítményvesztésre az alábbi hálózatot!



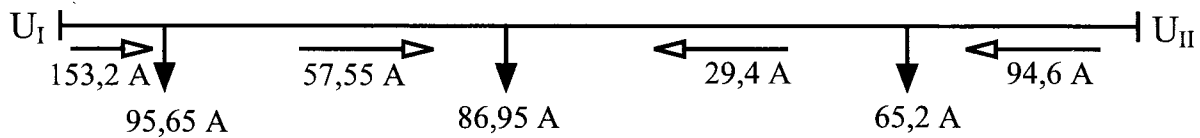
Adatok:  $U_n = 220 \text{ V}_=$   $\alpha = 3 \%$  a vezető anyaga réz.  
 $P_1 = 5 \text{ kW}$   $P_2 = 10 \text{ kW}$   $P_3 = 12 \text{ kW}$

**Eredmények:**

Az ábrákon a *tényleges* szakaszáramokat tüntettük fel!

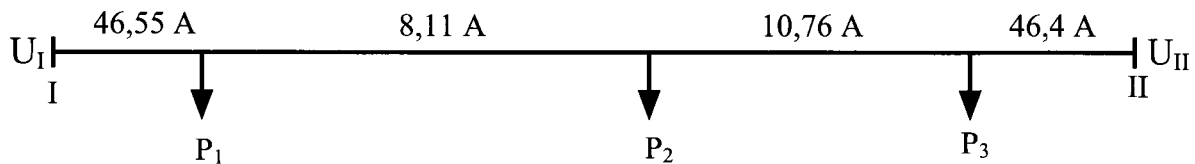
**1. feladat:**

$A_{szüks} = 1,93 \text{ mm}^2$   $A_t = 2,5 \text{ mm}^2$   $e^{\prime} = 5,48 \text{ V}$   $\varepsilon = 4,76 \% < 5 \%$



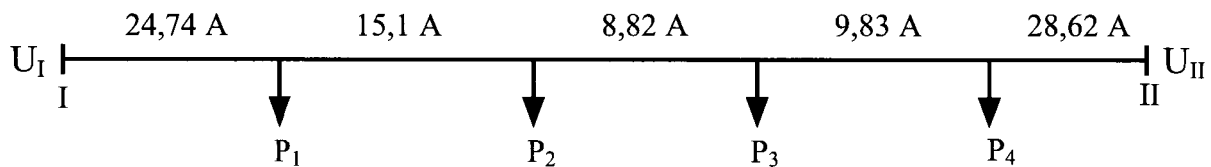
**2. feladat:**

$A_{szüks} = 19,9 \text{ mm}^2$   $A_t = 25 \text{ mm}^2$   $e^{\prime} = 3,2 \text{ V}$   $\varepsilon = 2,78 \% < 5 \%$



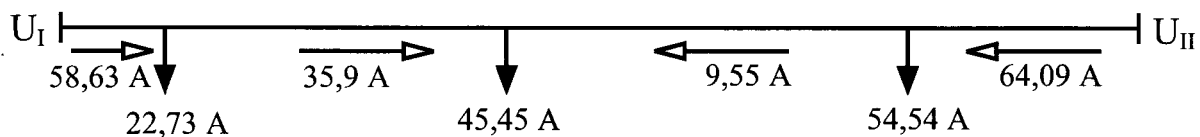
**3. feladat:**

$A_{szüks} = 6,03 \text{ mm}^2$   $A_t = 6 \text{ mm}^2$   $e^{\prime} = 11,27 \text{ V}$   $\varepsilon = 4,88 \% < 5 \%$



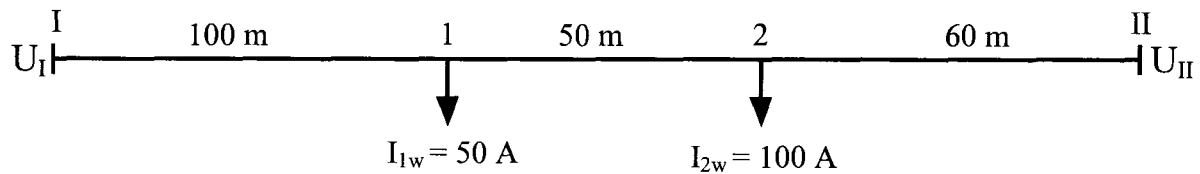
**4. feladat:**

$A_{szüks} = 3,5 \text{ mm}^2$   $A_t = 4 \text{ mm}^2$   $e^{\prime} = 3,71 \text{ V}$   $\varepsilon = 3,38 \% < 5 \%$



### 5.1.3. Két végéről különböző feszültséggel táplált vezeték méretezése feszültségesésre

#### Kidolgozott példa:



5.8. ábra

Mekkora keresztmetszetű alumíniumvezetőt kell választanunk az 5.8. ábrán látható, két végéről különböző értékű feszültségről táplált vezeték esetén, ha a megengedett feszültségesés:  $\varepsilon = 2 \%$ .

A tápponti feszültségek: a.)  $U_I = 3 \times 400 \text{ V}$ ,  $U_{II} = 3 \times 410 \text{ V}$

A meghatározott vezetékeket ellenőrizzük terhelhetőség szempontjából, ha a polietilén szigetelésű kábelt perforálatlan kábeltálcán helyezzük el. Végezzük el a teljesítmény-vesztésre történő ellenőrzést is, ha  $\alpha = 5 \%$ !

A feladatot a *szuperpozíció elve* alapján oldhatjuk meg, így a megoldás menete a következő:

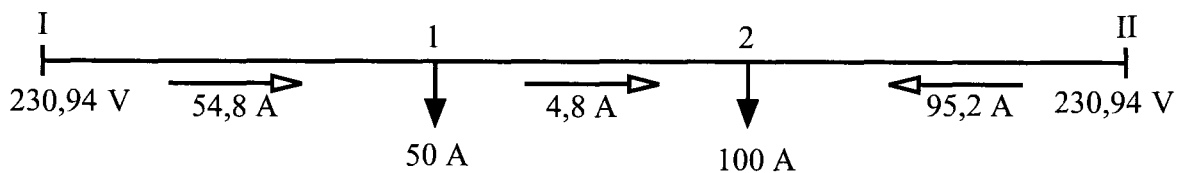
1. Meghatározzuk a szakaszáramok wattos összetevőinek értékét a táppontokon azonos (névleges) feszültséget feltételezve (ld. az 5.1.1.pontban).
2. A megengedett feszültségesés és a tápfeszültségek eltéréséből adódó feszültségesés alapján meghatározzuk a vezeték szükséges keresztmetszetét.
3. Ez alapján a tápponti feszültségek eltérése miatt fellépő üresjárási áram értéke kiszámolható.
4. A tényleges szakaszáramok wattos összetevőit a két áram előjeles (irányhelyes) összegzésével kapjuk meg.
5. A tényleges feszültségesést meghatározzuk (ellenőrzés).

A táppontok feszültségeit azonosnak feltételezve az 'I' tápponton befolyó áram a nyomatéki tétel alapján:

$$I_{1w}^0 = \frac{I_{II1} \cdot I_{1w} + I_{II2} \cdot I_{2w}}{l_{I-II}} = \frac{110 \cdot 50 + 60 \cdot 100}{210} = 54,8 \text{ A}.$$

Ez alapján a szakaszáramok:  $I_{12}^0 = I_{1w}^0 - I_{1w} = 54,8 - 50 = 4,8 \text{ A}$

$$I_{IIw}^0 = I_{2II}^0 = I_{12}^0 - I_{12} = 4,8 - 100 = -95,2 \text{ A}.$$

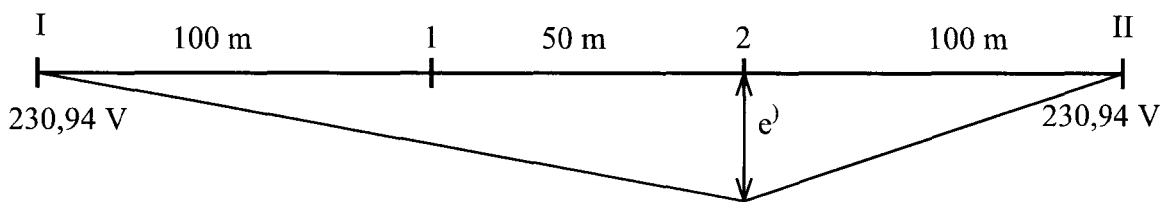


5.9. ábra

A negatív előjel azt jelenti, hogy ezen a szakaszon az áram iránya az előzőekkel ellentétes, tehát a kétfelől táplált pont a 2. fogyasztónál van (5.9. ábra).

A névleges tápponti feszültséggel számolva a megengedett legnagyobb feszültségesés:

$$e^j = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{2}{100} \cdot \frac{400}{\sqrt{3}} = 4,62 \text{ V} \quad (5.10. \text{ ábra}).$$



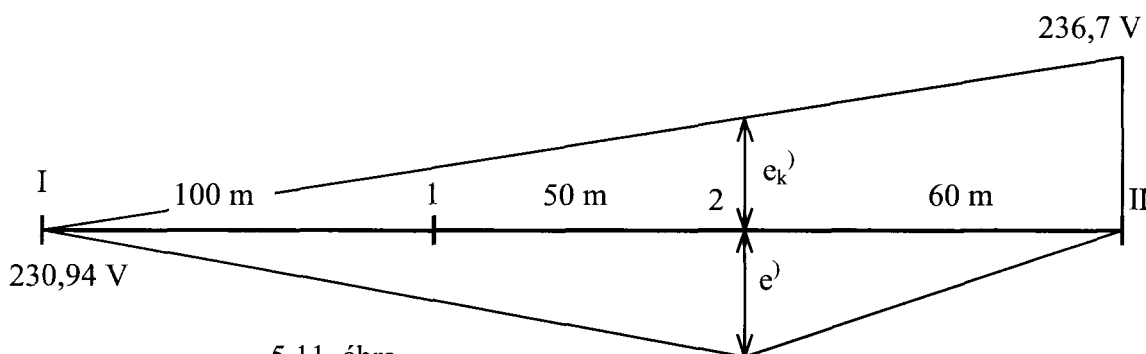
5.10. ábra

A továbbiakban az egyes eseteket külön-külön vizsgáljuk meg.

a.) Az I. táppont feszültsége a névleges feszültség, a II. pontban ennél nagyobb a feszültség.

Az eltérés:

$$U^j = \frac{U_{II} - U_I}{\sqrt{3}} = \frac{410 - 400}{\sqrt{3}} = 5,77 \text{ V}.$$



5.11. ábra

Az eltérő tápfeszültségekből adódó feszültségesésnek az I. tápponttól a kétfelől táplált pontig a szakaszok arányában kiszámított értéke (l. az 5.11. ábrát):

$$e_k^j = U^j \cdot \frac{l_{I-2}}{l_{I-II}} = 5,77 \cdot \frac{150}{210} = 4,124 \text{ V}.$$

Tehát a 2 jelű fogyasztói leágazás pontjában megengedett (legnagyobb) feszültségesés – az ábra alapján – a két feszültség összege:

$$e_2^j = e^j + e_k^j = 4,62 + 4,124 = 8,744 \text{ V}.$$

Most már a vezeték keresztmetszete számolható. Ehhez a 2. pontban gondolatban elvágjuk a vezetéket, és az egy oldalról táplált nyitott vezetékeknél megismertek szerint számolhatunk.

A szakaszáramok ismeretében a szükséges keresztmetszet:

$$A \geq \frac{\rho}{e^j} \sum l_{II} \cdot I_{sz} = \frac{1}{35 \cdot 8,744} \cdot (100 \cdot 54,8 + 50 \cdot 4,8) = 18,7 \text{ mm}^2$$

A tényleges keresztmetszet a szabványban rögzített értékek figyelembe vételével:  $A_t = 25 \text{ mm}^2$ . Ennek segítségével már meghatározható az üresjárású áram:

$$I_{ij} = \frac{U_I - U_{II}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{A_t}{\rho \cdot l_{I-II}} = \frac{400 - 410}{\sqrt{3}} \cdot \frac{35 \cdot 25}{210} = -24 \text{ A}.$$



Most már a vezeték keresztmetszete számolható. Ehhez a 2. pontban gondolatban elvágjuk a vezetékét, és az egy oldalról táplált nyitott vezetékneként megismertek szerint számolhatunk.

A szakaszáramok ismeretében a szükséges keresztmetszet:

$$A \geq \frac{\rho}{e^2} \sum I_{ii} \cdot I_{szi} = \frac{1}{35 \cdot 6,27} \cdot (100 \cdot 54,8 + 50 \cdot 4,8) = 26,06 \text{ mm}^2$$

A tényleges keresztmetszet a szabványban rögzített értékek figyelembe vételével:

$$A_t = 35 \text{ mm}^2.$$

Ennek segítségével meghatározható az üresjárás áram:

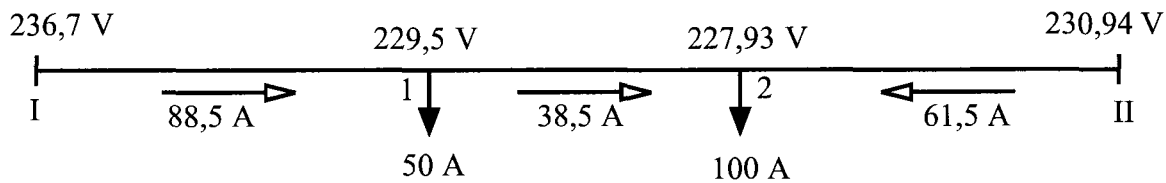
$$I_{ij} = \frac{U_I - U_{II}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{A_t}{\rho \cdot l_{I-II}} = \frac{410 - 400}{\sqrt{3}} \cdot \frac{35 \cdot 35}{210} = 33,7 \text{ A}.$$

Ezt az üresjárás áramot a korábban meghatározott terhelési árameloszlásra szuperponálva megkapjuk a tényleges árameloszlást (5.14. ábra). Tehát a szakaszáramok:

$$I_{1w} = I_{1w}^j + I_{ij} = 54,8 + 33,7 = 88,5 \text{ A}$$

$$I_{2w} = I_{12}^j + I_{ij} = 4,8 + 33,7 = 38,5 \text{ A}$$

$$I_{3w} = I_{IIw}^j + I_{ij} = -95,2 + 33,7 = -61,5 \text{ A}$$



5.14. ábra

Az áram iránya az 2-II szakaszon fordul meg ezért a kétfelől táplált pont a 2-es fogyasztónál van. A kétfelől táplált pontban lévő feszültségesés:

$$e_1^j = \frac{1}{35 \cdot 35} \cdot 61,5 \cdot 60 = 3,01 \text{ V} \quad (\text{illetve az ábra alapján: } 230,94 - 227,93 = 3,01 \text{ V})$$

A feszültségesés százalékos értéke:  $\varepsilon = \frac{e_1^j \cdot \sqrt{3}}{U_n} \cdot 100 = \frac{3,01 \cdot \sqrt{3}}{400} \cdot 100 = 1,31 \% < 2 \%.$

Tehát a választott keresztmetszet feszültségesés szempontjából megfelel.

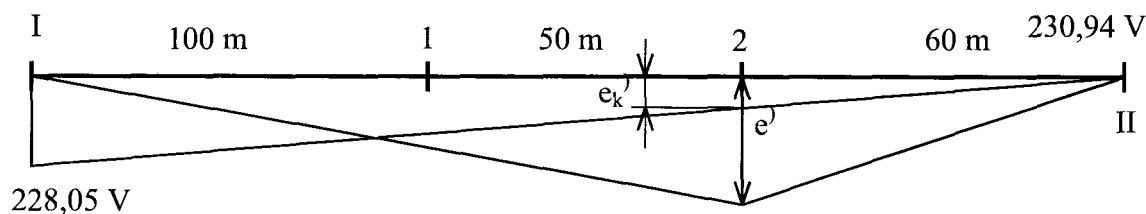
c.) Az II. táppont feszültsége a névleges feszültség, az I. pontban ennél kisebb a feszültség. Az eltérés:

$$U^j = \frac{U_{II} - U_I}{\sqrt{3}} = \frac{400 - 395}{\sqrt{3}} = 2,887 \text{ V}.$$

Az eltérő tápfeszültségekből adódó feszültségesésnek a névleges feszültségű (II.) tápponttól a kétfelől táplált pontig (2) a szakaszok arányában kiszámított értéke (l. az 5.15. ábrát):

$$e_k^j = U^j \cdot \frac{l_{II2}}{l_{I-II}} = 2,888 \cdot \frac{60}{210} = 0,825 \text{ V}.$$

Az ábra alapján a 2 jelű fogyasztói leágazás pontjában megengedett (legnagyobb) feszültségesés a két feszültség különbsége:  $e_2^j = e^j - e_k^j = 4,62 - 0,825 = 3,795 \text{ V}.$



5.15. ábra

Most már a vezeték keresztmetszete számolható. Ehhez a 2. pontban gondolatban elvágjuk a vezetéket, és az egy oldalról táplált nyitott vezetékeknél megismertek szerint számolhatunk.

A szakaszáramok ismeretében a szükséges keresztmetszet:

$$A \geq \frac{\rho}{e_2'} \sum I_{ii} \cdot I_{szi} = \frac{1}{35 \cdot 3,795} \cdot (100 \cdot 54,8 + 50 \cdot 4,8) = 43,06 \text{ mm}^2$$

A tényleges keresztmetszet a szabványban rögzített értékek figyelembe vételével:  $A_t = 50 \text{ mm}^2$ . Ennek segítségével már meghatározható az üresjárási áram:

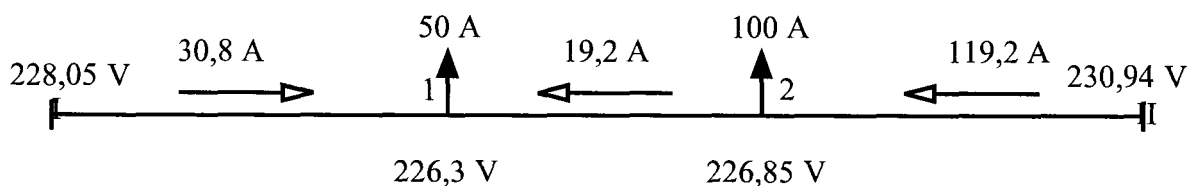
$$I_{ij} = \frac{U_I - U_{II}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{A_t}{\rho \cdot l_{I-II}} = \frac{395 - 400}{\sqrt{3}} \cdot \frac{35 \cdot 50}{210} = -24 \text{ A}.$$

Ezt az üresjárási áramot a korábban meghatározott terhelési árameloszlásra szuperponálva megkapjuk a tényleges árameloszlást (5.16. ábra). Tehát a szakaszáramok:

$$I_{1w} = I_{1w}^j + I_{ij} = 54,8 - 24 = 30,8 \text{ A}$$

$$I_{2w} = I_{12}^j + I_{ij} = 4,8 - 24 = -19,2 \text{ A}$$

$$I_{3w} = I_{IIw}^j + I_{ii} = -95,2 - 24 = -119,2 \text{ A}$$



5.16. ábra

Az áram iránya az 1-2 szakaszon fordul meg ezért a kétfelől táplált pont az 1-es fogyasztónál van. A kétfelől táplált pontban lévő feszültségesés a névleges feszültségű (II.) ponthoz képest:

$$e_1' = \frac{1}{35 \cdot 50} \cdot (119,2 \cdot 60 + 19,2 \cdot 50) = 4,635 \text{ V}$$

A feszültségesés százalékos értéke:  $\varepsilon = \frac{e_1' \cdot \sqrt{3}}{U_n} \cdot 100 = \frac{4,635 \cdot \sqrt{3}}{400} \cdot 100 = 2 \%$ .

Tehát a választott keresztmetszet megfelel.

A terhelhetőség ellenőrzéséhez a létesítési módszert kell meghatározni. A Függelékben található ábrák alapján a perforálatlan tálcákon történő elhelyezés a „C” létesítési módszernek felel meg. A három terhelt vezetőjű polietilén kábelekre érvényes értékek az 1.táblázat '7' jelű oszlopában találhatóak meg. Korrekciókra nincs szükség, ezért ezek már a tényleges terhelhetőséget jelentik. Eredményeinket foglaljuk táblázatba:

	A számított keresztmetszet, mm <sup>2</sup>	A számított maximális szakaszáram, A	A táblázatban megengedett terhelőáram, A	Ez alapján a szükséges keresztmetszet, mm <sup>2</sup>
a.) eset	25	119,2	90	50
b.) eset	35	88,5	112	35
c.) eset	50	119,2	136	50

A táblázat alapján megállapíthatjuk, hogy a feszültségesésre történő méretezés során kapott keresztmetszet a b.) és c.) esetekben terhelhetőség szempontjából is megfelelő, míg az a.) esetben kapott értéket növelni kell.

A veszteségek meghatározását itt nem részletezzük, az a szakaszáramok és a keresztmetszet ismeretében elvégezhető. Kifejeztük ezeket százalékos értékben is, és meghatároztuk az 5 %-hoz tartozó keresztmetszetet is. Eredményeinket most is táblázatba foglaltuk:

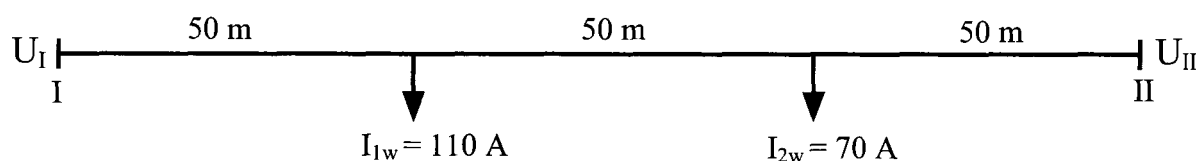
	A számított összveszteség, W	A százalékos veszteség, %	A számított keresztmetszet, mm <sup>2</sup> ( $\alpha=5\%$ )	A szükséges keresztmetszet, mm <sup>2</sup>
a.) eset	3315	9,57	47,8	50
b.) eset	2653	7,66	53,6	70
c.) eset	1657	4,78	47,8	50

A kapott eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy az a.) és b.) esetekben növelni kell a keresztmetszetet. Az a.) esetben ez a terhelhetőség alapján meghatározottal megegyező, míg a b.) esetben ennél nagyobb.

Összességében megállapíthatjuk, hogy az a.) és c.) esetekben mindhárom tényező figyelembe vétele alapján 50 mm<sup>2</sup> keresztmetszet szükséges, míg a b.) esetben ennél nagyobb, 70 mm<sup>2</sup> keresztmetszetű vezető szükséges. Ennek oka, hogy ebben az esetben a nagyobb teljesítményű fogyasztótól távolabb van a nagyobb feszültségű betáplálás!

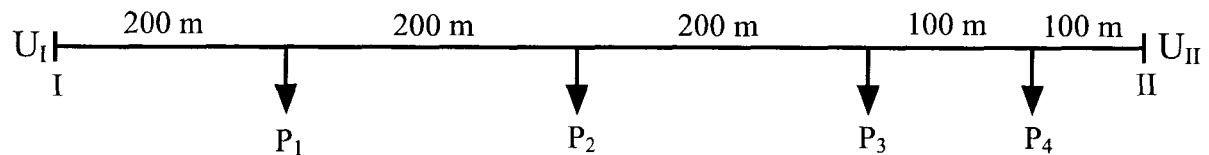
Feladatok:

1. Méretezze az alábbi hálózatot, ha a vezető anyaga réz!



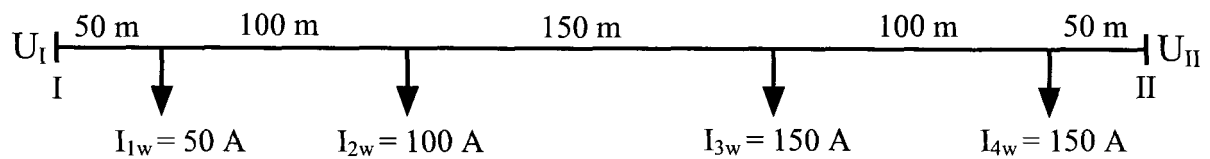
Adatok:  $U_I = 3 \times 410 \text{ V} \sim$        $U_{II} = 3 \times 400 \text{ V} \sim$        $f = 50 \text{ Hz}$        $\varepsilon = 3 \%$

2. Méretezze az alábbi ábrán látható, két oldalról különböző feszültséggel táplált hálózatot, ha a vezető anyaga réz!



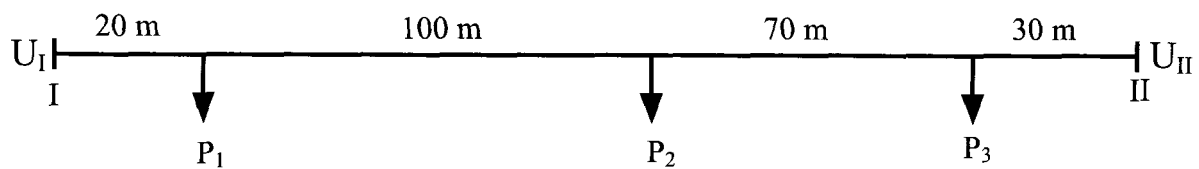
Adatok:  $U_I = 3 \times 410 \text{ V} \sim$        $U_{II} = 3 \times 400 \text{ V} \sim$        $f = 50 \text{ Hz}$        $\varepsilon = 5 \%$   
 $P_1 = 10 \text{ kW}$        $P_2 = 16 \text{ kW}$        $P_3 = 10 \text{ kW}$        $P_4 = 20 \text{ kW}$   
 Valamennyi fogyasztó ohmos jellegű ( $\cos \varphi = 1$ ).

3. Méretezze az alábbi hálózatot, ha a vezető anyaga alumínium!



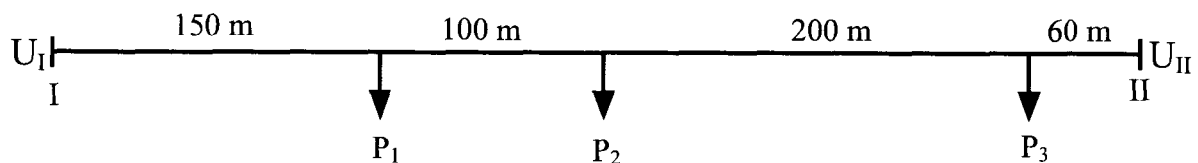
Adatok:  $U_I = 3 \times 395 \text{ V} \sim$        $U_{II} = 3 \times 400 \text{ V} \sim$        $f = 50 \text{ Hz}$        $\varepsilon = 4 \%$

4. Mekkora keresztmetszetű alumíniumvezetővel oldható meg az alábbi hálózat ellátása?



Adatok:  $U_I = 3 \times 400 \text{ V} \sim$        $U_{II} = 3 \times 410 \text{ V} \sim$        $f = 50 \text{ Hz}$        $\varepsilon = 5 \%$   
 $P_1 = 10 \text{ kW}$        $P_2 = 16 \text{ kW}$        $P_3 = 20 \text{ kW}$   
 Valamennyi fogyasztó ohmos jellegű ( $\cos \varphi = 1$ ).

5. Határozza meg az alábbi hálózat vezetőjének keresztmetszetét!



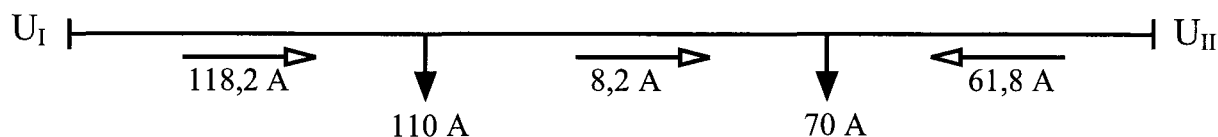
Adatok:  $U_I = 3 \times 400 \text{ V} \sim$        $U_{II} = 3 \times 395 \text{ V} \sim$        $\varepsilon = 4 \%$        $\rho = \frac{1}{56} \cdot \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$   
 $P_1 = 20 \text{ kW}$        $P_2 = 60 \text{ kW}$        $P_3 = 40 \text{ kW}$   
 Valamennyi fogyasztó ohmos jellegű ( $\cos \varphi = 1$ ).

### Eredmények:

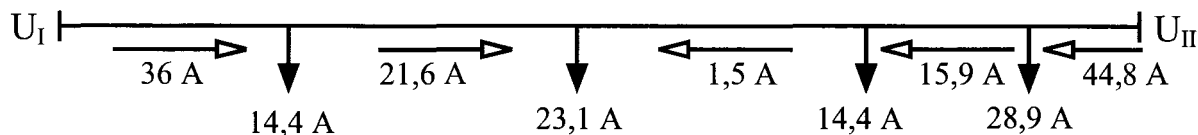
A számított keresztmetszetek ( $A$ ) után zárójelben megadtuk a tényleges keresztmetszetet ( $A_t$ ) is. Ez az előírt feszültségés biztosítása szempontjából szükséges keresztmetszet, amely a terhelhetőség szempontjából nem mindig felel meg (l. a Függelék 1. táblázatát).

Az ábrákban a feszültségés meghatározásához szükséges wattos áramösszetevőket tüntettük fel. (Ezek csak abban az esetekben egyeznek meg a tényleges szakaszáramokkal, amikor az összes fogyasztóra  $\cos\varphi = 1$  teljesül!)

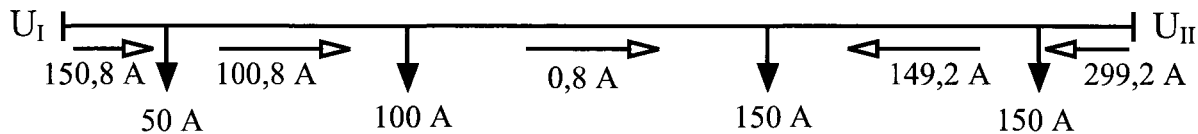
**1. feladat:**  $A = 9,75 \text{ mm}^2$  ( $A_t = 10 \text{ mm}^2$ )



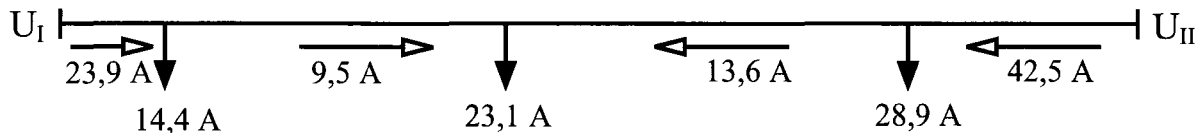
**2. feladat:**  $A = 11,07 \text{ mm}^2$  ( $A_t = 16 \text{ mm}^2$ )



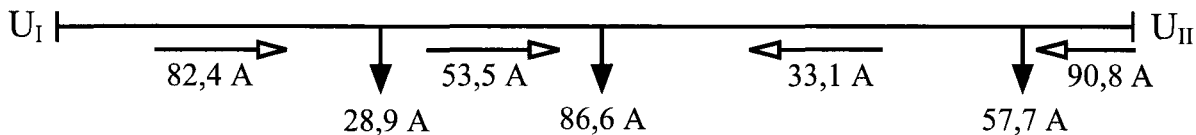
**3. feladat:**  $A = 100,9 \text{ mm}^2$  ( $A_t = 120 \text{ mm}^2$ )



**4. feladat:**  $A = 3,62 \text{ mm}^2$  ( $A_t = 4 \text{ mm}^2$ )



**5. feladat:**  $A = 34,36 \text{ mm}^2$  ( $A_t = 35 \text{ mm}^2$ )



## 6. TÁVVEZETÉK AZ ENERGIARENDSZERBEN

### 6.1. Szabadvezeték szilárdsági számítások

#### 6.1.2. A vezetőre ható erők

##### Kidolgozott példák:

##### 1. Példa:

Mennyi annak a 19 huzalból álló,  $70 \text{ mm}^2$  névleges keresztmetszetű alumínium sodronynak a súlya, amelynek a tényleges keresztmetszete:  $A_t = 65,8 \text{ mm}^2$ , a huzalanyag sűrűsége:  $\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$ , a nehézségi gyorsulás:  $g = 10 \text{ m/s}^2$  (a későbbiekben mindig ezzel az értékkel számolunk).

A c sodrási tényező értékei:	3...7	huzal esetén	1,020
	19	huzal esetén	1,025
	37	huzal esetén	1,028
	61 és több huzal esetén		1,032

A súlyerő:  $s = c \cdot A_t \cdot \rho \cdot g$  alapján  $s = 1,025 \cdot 65,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2800 \cdot 10 = 1,888 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

##### 2. Példa:

Számítsuk ki a  $95 \text{ mm}^2$  névleges keresztmetszetű acélsodrony szabványos pótterhét, és állapítsuk meg a vezető zúzmarás sűrűségét – szabványos és többszörös pótteher esetén is –, ha a vezető tényleges keresztmetszete:  $A_t = 93,3 \text{ mm}^2$ , átmérője:  $d = 12,5 \text{ mm}$ , fajlagos tömege:  $m = 0,756 \text{ kg/m}$ .

A zúzmarára fajlagos tömege:

$$m_z = 0,325 + 0,025 \cdot d \quad \text{alapján:} \quad m_z = 0,325 + 0,025 \cdot 12,5 = 0,6375 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

A szabványos pótteher:

$$z = m_z \cdot g \quad \text{alapján:} \quad z = 0,6375 \cdot 10 = 6,375 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

A zúzmarás sűrűség – szabványos pótteherrel –:

$$\rho_z = \frac{m + m_z}{A_t} \quad \text{alapján:} \quad \rho_z = \frac{0,756 + 0,6375}{93,3 \cdot 10^{-6}} = 14,94 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A zúzmarás sűrűség – többszörös pótteherrel –: (n = 3 esetén)

$$\rho_z = \frac{m + n \cdot m_z}{A_t} \quad \text{alapján:} \quad \rho_z = \frac{0,756 + 3 \cdot 0,6375}{93,3 \cdot 10^{-6}} = 28,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$



A kilengés szöge:

$$\boxed{\operatorname{tg} \lambda = \frac{f}{s}} \text{ alapján: } \operatorname{tg} \lambda = \frac{f}{s} = \frac{3,34}{1,88} = 1,77 \quad \Rightarrow \quad \lambda = 60,5^\circ$$

A szélteher hatására kilengett vezető megnövekedett terhelésének értéke:

$$\boxed{f_\lambda = \sqrt{f^2 + s^2}} \text{ alapján: } f_\lambda = \sqrt{3,34^2 + 1,88^2} = 3,83 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

A látszólagosan megnövekedett nehézségi gyorsulás:

$$\boxed{g_\lambda = \frac{g}{\cos \lambda}} \text{ alapján: } g_\lambda = \frac{10}{\cos 60,5^\circ} = 20,35 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

### **Feladatok:**

1. Számítsa ki egy kifestőhálózat részéből készült fázisvezetőjének súlyerejét, ha sodrony a következő jellemzőkkel rendelkezik:

$$7 \text{ huzalból áll} \quad A_t = 15,9 \text{ mm}^2 \quad \rho = 2800 \text{ kg/m}^3$$

2. Egy 0,4 kV feszültségű, 70 mm<sup>2</sup> névleges keresztmetszetű nemesített alumínium sodronynak mekkora a szabványos pótterhe, és az ezzel az értékkel számolt zúzmarás sűrűsége, ha

$$A_t = 65,8 \text{ mm}^2, \quad d = 10,5 \text{ mm, és} \quad m = 0,184 \text{ kg/m}^3$$

3. Egy oszlopot két oldalról szélerő által terhelt vezető hűz. A két szomszédos oszlopköz  $a_1 = 200 \text{ m}$ ,  $a_2 = 240 \text{ m}$ . A 240 mm<sup>2</sup> névleges keresztmetszetű közepfeszültség távvezeték 32,5 m terepszint feletti magasságban húzódik. A sodrony anyaga nemesített alumínium, sugara 10 mm. A szélnek kitett felület szél irányával bezárt szöge  $63^\circ$ . A vezeték 37 huzalból készült, melynek tényleges keresztmetszete 236 mm<sup>2</sup>, és sűrűsége 2,8 t/m<sup>3</sup>.

Mekkora erő hat arra az oszlopra? Számítsa ki ezenkívül az  $f_\lambda$  és a  $g_\lambda$  értékét!

4. Mekkora a sodrony tényleges keresztmetszete, és átmérője, ha

$$\text{a szabványos pótterhe } 8,25 \text{ N/m,} \quad \text{zúzmarás sűrűsége } 6,296 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3, \\ \text{fajlagos tömege pedig } 0,661 \text{ kg/m}^3?$$

5. Egy 37 huzalból álló acél védővezetőnek a súlyereje 11,74 N/m. Mekkora a tényleges keresztmetszete, ha az acél sűrűsége 8100 kg/m<sup>3</sup>?

6. Számítsa ki a  $g_\lambda$  értékét annál a 400 kV-os szabadvezetékénél, amelynél az oszlopon lévő sodrony a szél a legkedvezőtlenebb irányból,  $90^\circ$ -os szögből éri!

A vezeték adatai:

61 huzalból álló sodrony,  $d = 31,05 \text{ mm}$ ,  $A_t = 570,24 \text{ mm}^2$ ,  
 a terepszint feletti magasság:  $44,5 \text{ m}$ ,  $\rho = 3408 \text{ kg/m}^3$ .

7. Meghatározandó a  $250/40 \text{ mm}^2$ -es Acal sodrony pótterhe, és zúzmarás sűrűsége – szabványos és háromszoros pótteher esetén is –, ha:

$A_t = 293,27 \text{ mm}^2$ ,  $r = 1,12 \text{ cm}$ ,  $m = 1,05 \text{ kg/m!}$

8. Határozza meg egy sodrony súlyerejét, ha:

61 huzalból áll,  $A_t = 570,24 \text{ mm}^2$ ,  $\rho = 3408 \text{ kg/m}^3!$

9. Egy közép feszültségű távvezeték oszloptávolsága  $250 \text{ m}$ . A vezetékre számolt látszólagosan megnövekedett nehézségi gyorsulás  $14,22 \text{ m/s}^2$ . Mekkora szél erő hat a teljes oszlopközben, ha

$A_t = 116,9 \text{ mm}^2$ , 19 huzalból áll a sodrony,  $\rho = 2800 \text{ kg/m}^3?$

10. Számítsa ki:

a.)  $116,9 \text{ mm}^2$  tényleges keresztmetszetű,  $0,7 \text{ cm}$  sugarú, és  $0,327 \text{ kg/m}$  fajlagos tömegű nemesített alumínium sodrony szabványos pótterhét és zúzmarás sűrűségét kétszeres pótteherrel!

b.)  $93,3 \text{ mm}^2$  tényleges keresztmetszetű,  $12,5 \text{ mm}$  átmérőjű, és  $0,261 \text{ kg/m}$  fajlagos tömegű alumínium sodrony szabványos pótterhét és zúzmarás sűrűségét!

### Eredmények:

<b>1. feladat:</b>	$s = 1,49 \text{ N/m}$		
<b>2. feladat:</b>	$z = 5,87 \text{ N/m}$	$\rho_z = 11,72 \text{ t/m}^3$	
<b>3. feladat:</b>	$F_1 = 937 \text{ N}$ , $f = 9,37 \text{ N/m}$	$F_2 = 1125 \text{ N}$ , $f_\lambda = 11,57 \text{ N/m}$	$F = 2062 \text{ N}$ , $g_\lambda = 17,04 \text{ m/s}^2$
<b>4. feladat:</b>	$A = 236 \text{ mm}^2$	$d = 20 \text{ mm}$	
<b>5. feladat:</b>	$A = 141 \text{ mm}^2$		
<b>6. feladat:</b>	$f = 16,33 \text{ N/m}$	$s = 20 \text{ N/m}$	$g_\lambda = 12,9 \text{ m/s}^2$
<b>7. feladat:</b>	$z = 8,85 \text{ N/m}$	$\rho_z = 6598 \text{ kg/m}^3$	$\rho_{z_{n=3}} = 12,63 \text{ t/m}^3$
<b>8. feladat:</b>	$s = 20 \text{ N/m}$	<b>9. feladat:</b> $F = 848 \text{ N}$	
<b>10. feladat:</b>	a.) $z = 6,75 \text{ N/m}$	$\rho_{z_{n=2}} = 14,34 \text{ t/m}^3$	
	b.) $z = 6,37 \text{ N/m}$	$\rho_z = 9,63 \text{ t/m}^3$	

### 6.1.3. Szabadvezeték belógása

#### Kidolgozott példák:

##### 1. Példa:

Egy vízszintes belógási köz számításához adottak:

$a = 1000 \text{ m}$	-	oszlopköz
$A = 250/40 \text{ mm}^2$	-	névleges keresztmetszet
$\sigma_h = 70 \text{ N/mm}^2$	-	húzófeszültség vízszintes komponense
$\rho = 3579 \text{ kg/m}^3$	-	a sodrony sűrűsége
$\rho_z = 6600 \text{ kg/m}^3$	-	zúzmarás sűrűség

A belógás értéke zúzmarára nélküli állapotban:

$$\boxed{b = \frac{a^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \sigma_h}} \text{ alapján: } b = \frac{1000^2 \cdot 3579 \cdot 10}{8 \cdot 70 \cdot 10^6} = 63,9 \text{ m}$$

A belógás százalékos értéke zúzmarára nélküli állapotban:

$$\boxed{\beta = 100 \cdot \frac{b}{a}} \text{ alapján: } \beta = 100 \cdot \frac{63,91}{1000} \% = 6,39 \%$$

Mivel a  $b < 20 \text{ m}$  feltétel nem teljesül, ezért a belógás értékét a láncgörbe alapján kell számolni:

$$\boxed{b'' = b + \frac{4}{3} \cdot \frac{b^3}{a^2}} \text{ alapján: } b'' = 63,91 + \frac{4}{3} \cdot \frac{63,91^3}{1000^2} = 64,25 \text{ m}$$

A belógás értéke zúzmarás állapotban:

$$\boxed{b_z = \frac{a^2 \cdot \rho_z \cdot g}{8 \cdot \sigma_h}} \text{ alapján: } b_z = \frac{1000^2 \cdot 6600 \cdot 10}{8 \cdot 70 \cdot 10^6} = 117,85 \text{ m}$$

A belógás százalékos értéke zúzmarás állapotban:

$$\boxed{\beta_z = 100 \cdot \frac{b_z}{a}} \text{ alapján: } \beta_z = 100 \cdot \frac{117,85}{1000} = 11,78 \%$$

Mivel a  $b < 20 \text{ m}$  és a  $\beta < 7,5 \%$  feltételek nem teljesülnek, ezért a belógást a láncgörbe alapján kell számolni:

$$\boxed{b_z'' = b_z + \frac{4}{3} \cdot \frac{b_z^3}{a^2}} \text{ alapján: } b_z'' = 117,85 + \frac{4}{3} \cdot \frac{117,85^3}{1000^2} = 120 \text{ m}$$

A belógás szélteher esetén:

$g_\lambda = 13,5 \text{ m/s}^2$  a szélnyomás következtében megnövekedett látszólagos nehézségi gyorsulás:

$$\boxed{b_\lambda = \frac{a^2 \cdot \rho \cdot g_\lambda}{8 \cdot \sigma_h}} \text{ alapján: } b_\lambda = \frac{1000^2 \cdot 3579 \cdot 13,5}{8 \cdot 70 \cdot 10^6} = 86,28 \text{ m}$$

A belógás százalékos értéke szélteher esetén:

$$\boxed{\beta_\lambda = 100 \cdot \frac{b_\lambda}{a}}$$
 alapján:  $\beta_\lambda = 100 \cdot \frac{86,28}{1000} = 8,62 \%$

Mivel a  $b < 20$  m és a  $\beta < 7,5 \%$  feltételek itt sem teljesülnek, ezért a belógást a láncgörbe alapján kell számolni:

$$\boxed{b_\lambda'' = b_\lambda + \frac{4}{3} \cdot \frac{b_\lambda^3}{a^2}}$$
 alapján:  $b_\lambda'' = 86,28 + \frac{4}{3} \cdot \frac{86,28^3}{1000^2} = 87,13$  m

A belógás értékének meghatározása tetszőleges pontban:

$x = 110$  m - a belógás legmélyebb pontjától mért távolság

Zúzvara nélküli állapotban:

$$\boxed{b_x = b'' - 4 \cdot b'' \cdot \frac{x^2}{a^2}}$$
 alapján:  $b_x = 64,25 - 4 \cdot 64,25 \cdot \frac{110^2}{1000^2} = 61,14$  m

Zúzvara terhelés esetén:

$$\boxed{b_{xz} = b_z'' - 4 \cdot b_z'' \cdot \frac{x^2}{a^2}}$$
 alapján:  $b_{xz} = 120 - 4 \cdot 120 \cdot \frac{110^2}{1000^2} = 114,2$  m

A parabola ívhossza zúzvaramentes állapotban:

$$\boxed{l = a + \frac{8}{3} \cdot \frac{b''^2}{a}}$$
 alapján:  $l = 1000 + \frac{8}{3} \cdot \frac{64,25^2}{1000} = 1011$  m

Zúzvarás állapotban:

$$\boxed{l_z = a + \frac{8}{3} \cdot \frac{b_z''^2}{a}}$$
 alapján:  $l_z = 1000 + \frac{8}{3} \cdot \frac{120^2}{1000} = 1038,4$  m

A húzófeszültség értéke a felfüggesztési pontban:

$$\boxed{\sigma = \sigma_h + b'' \cdot \rho \cdot g}$$
 alapján:  $\sigma = 70 \cdot 10^6 + 64,25 \cdot 3579 \cdot 10 = 72,3 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 72,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

## 2. Példa:

Egy ferde felfüggesztési közben az átfeszítés adatai a következők:

$a = 300$ m	-	oszlopköz
$h = 80$ m	-	a felfüggesztési pontok magasságkülönbsége
$A = 95/15$ mm <sup>2</sup>	-	névleges keresztmetszet
$\sigma_h = 80$ N/mm <sup>2</sup>	-	húzófeszültség vízszintes komponense
$\rho = 3564$ kg/m <sup>3</sup>	-	a sodrony sűrűsége

Határozzuk meg a százalékos belógás értékét!

Az átfeszítést akkor kell ferde felfüggesztés szerint számolni, ha  $\text{tg } \psi = \frac{h}{a} > 0,1$ .

$\psi$  – a felfüggesztési pontokat összekötő húr vízszintes iránnyal bezárt szöge.

$$\boxed{\operatorname{tg} \psi = \frac{h}{a}} \text{ alapján: } \operatorname{tg} \psi = \frac{80}{300} = 0,266 \Rightarrow \psi = 14,9^\circ$$

Mivel  $\operatorname{tg} \psi = 0,266 > 0,1$ , ezért ferde nek kell tekinteni az oszlopközt!

Ferde felfüggesztés szerint számolva a belógást:

$$\boxed{b_f = \frac{a^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \sigma_h \cdot \cos \psi}} \text{ alapján: } b_f = \frac{300^2 \cdot 3564 \cdot 10}{8 \cdot 80 \cdot 10^6 \cdot \cos 14,9^\circ} = 5,18 \text{ m}$$

A százalékos belógás értéke:  $\beta = 100 \cdot \frac{b_f}{a} = 100 \cdot \frac{5,18}{300} = 1,72 \%$

### 3. Példa:

Az alábbi adatok egy ferde oszlopközben érvényesek:

$a = 420 \text{ m}$	-	oszlopköz
$h = 20 \text{ m}$	-	a felfüggesztési pontok magasságkülönbsége
$A = 150 \text{ mm}^2$	-	névleges keresztmetszet
$\sigma_h = 60 \text{ N/mm}^2$	-	húzófeszültség vízszintes komponense
$\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$	-	a sodrony sűrűsége

Határozzuk meg a százalékos belógás értékét!

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{h}{a} = \frac{20}{420} = 0,047 < 0,1, \text{ tehát nem kell ferde nek tekinteni az oszlopközt!}$$

A belógás értéke:  $b = \frac{a^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \sigma_h} = \frac{420^2 \cdot 2800 \cdot 10}{8 \cdot 60 \cdot 10^6} = 10,3 \text{ m}$

A belógás százalékos értéke:  $\beta = 100 \cdot \frac{b}{a} = 100 \cdot \frac{10,3}{420} = 2,45 \%$

### Feladatok:

1. Mekkora a zúzmarás belógás értéke egy 170 m-es vízszintes oszlopközben, ha az aludur sodrony zúzmarás sűrűsége  $9630 \text{ kg/m}^3$ , és a vezetékot  $100 \text{ N/mm}^2$  húzófeszültséggel terhelhetjük?

2. Egy vízszintes felfüggesztésű oszlopközben a belógás 1,01 m, és az oszlopköz 170 m. Határozza meg az oszlopköz közepétől mért 20 m-re a belógás értékét!

3. Határozza meg a szél által kilengetett állapotban a százalékos belógást, az alábbi adatok ismeretében:

$$\begin{aligned} a &= 210 \text{ m} & \rho &= 2800 \text{ kg/m}^3 \\ \sigma_h &= 85 \text{ N/mm}^2 & g_\lambda &= 15 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

4. Ferdének kell-e tekinteni azt az átfeszítést, ahol az oszlopköz 515 m, és a felfüggesztési pontok magasságkülönbsége 125 m?

Számolja ki normál állapotban a százalékos belógás értékét, ha

$$A = 120 \text{ mm}^2, \quad \text{acél védővezető}, \quad \rho = 8100 \text{ kg/m}^3, \quad \sigma_h = 200 \text{ N/mm}^2$$

5. Mekkora a belógás zúzmaramentes és zúzmarás állapotban, ha:

$$\begin{array}{ll} a = 89 \text{ m} & h = 8 \text{ m} \\ A = 70 \text{ mm}^2 \text{ alumínium} & \rho = 2800 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_z = 11720 \text{ kg/m}^3 & \sigma_h = 55 \text{ N/mm}^2 \end{array}$$

6. Számítsa ki:

- a belógást, és a százalékos belógást zúzmaramentes állapotban,
- a felfüggesztési pontban fellépő húzófeszültséget, ha

$$a = 460 \text{ m}, \quad \rho = 3564 \text{ kg/m}^3 \quad \sigma_h = 80 \text{ N/mm}^2!$$

7. Számítsa ki a belógást normál és zúzmarás állapotban, ha adott:

$$\begin{array}{ll} a = 925 \text{ m} & \rho = 2800 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_z = 8570 \text{ kg/m}^3 & \sigma_h = 60 \text{ N/mm}^2 \end{array}$$

8. Számítsa ki egy vízszintes felfüggesztési közben a vezeték hosszát és belógását normál ill. zúzmarás állapotban! Szükséges-e a láncgörbe alapján számolni a belógást? Ha igen, akkor miért? Az oszlopköz közepétől számított „x” m-re (az x értéke az átfeszítés és sodrony adatainál található) egy torony található. Mekkora lesz a torony fölött a vezeték belógása normál körülmények között, ill. zúzmarás időben?

Határozza meg:

- a parabola ívhosszát a szél által kilengetett állapotban;
- a százalékos belógást a szél által kilengetett állapotban;
- valamint a felfüggesztési pontban fellépő húzófeszültséget!

Az átfeszítés és a sodrony adatai:

$$\begin{array}{ll} a = 315 \text{ m} & A = 150/25 \text{ mm}^2 \\ \rho = 3579 \text{ kg/m}^3 & \rho_z = 7800 \text{ kg/m}^3 \\ \sigma_h = 75 \text{ N/mm}^2 & x = 133 \text{ m} \\ g_\lambda = 22,3 \text{ m/s}^s & \end{array}$$

9. Egy vízszintes felfüggesztési közű völgyátvezetés adatai a következők:

$$a = 800 \text{ m}$$

$$\rho = 3408 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma_h = 70 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 350/50 \text{ mm}^2$$

$$\rho_z = 5834 \text{ kg/m}^3$$

$$x = 93 \text{ m}$$

Határozza meg:

- a belógást;
- a belógást az oszlopköz közepétől számított „x” m-re;
- a parabola ívhosszát zúzmarás állapotban;
- a százalékos belógást a zúzmarás állapotban;
- a felfüggesztési pontban fellépő húzófeszültséget zúzmara nélküli állapotban!

### Eredmények:

<b>1. feladat:</b>	$b = 3,47 \text{ m}$			
<b>2. feladat:</b>	$b_x = 0,954 \text{ m}$			
<b>3. feladat:</b>	$b_\lambda = 2,72 \text{ m}$	$\beta_\lambda = 1,3 \%$		
<b>4. feladat:</b>	Ferdének kell tekinteni, mert: $\text{tg}\psi = \frac{h}{a} > 0,1$ $b = 13,8 \text{ m}$ $\beta = 2,68 \%$			
<b>5. feladat:</b>	$b = 0,5 \text{ m}$	$b_z = 2,1 \text{ m}$		
<b>6. feladat:</b>	$a,$	$b = 11,78 \text{ m}$	$\beta = 2,56 \%$	$b,$ $\sigma = 80,42 \text{ N/mm}^2$
<b>7. feladat:</b>	$b = 49,9 \text{ m}$	$\beta = 5,39 \%$		
	Mivel $b < 20 \text{ m}$ feltétel nem teljesül, ezért a láncgörbével kell számolni!			
	$b'' = 50,1 \text{ m}$	$b_z = 152,7 \text{ m}$	$\beta_z = 16,51 \%$	
	Itt is a láncgörbével kell számolni, mert a $b < 20 \text{ m}$ , és a $\beta < 7,5 \%$ feltételek nem teljesülnek!			
	$b_z'' = 158,3 \text{ m}$			
<b>8. feladat:</b>	$b = 5,92 \text{ m}$	$\beta = 1,88 \%$	$b_z = 12,9 \text{ m}$	$\beta_z = 4,1 \%$
	Nem kell a láncgörbével számolni, mert: $b < 20 \text{ m}$ és $\beta < 7,5 \%$ !			
	$l = 315,3 \text{ m}$	$l_z = 316,5 \text{ m}$	$b_x = 1,7 \text{ m}$	$b_{x_z} = 3,7 \text{ m}$
	$l_\lambda = 316,4 \text{ m}$	$\beta_\lambda = 4,2 \%$	$\sigma = 75,02 \text{ N/m}^2$	
<b>9. feladat:</b>	$b = 38,9 \text{ m}$	$\beta = 4,87 \%$	$b'' = 39,07 \text{ m}$	$b_x = 36,95 \text{ m}$
	$l_z = 815 \text{ m}$	$b_z = 66,6 \text{ m}$	$\beta_z = 8,32 \%$	$b_z'' = 67,2 \text{ m}$
	$\sigma = 71,3 \text{ N/mm}^2$			

## 6.1.4. A vezetők állapotváltozása

### Kidolgozott példák:

#### 1. Példa:

Egy szabadvezeteki feszítőköz adatai a következők:

$a = 243 \text{ m}$	-	oszlopköz
$A = 150/25 \text{ mm}^2$ $A_{cal}$	-	névleges keresztmetszet
$\rho = 3579 \text{ kg/m}^3$	-	normál sűrűség
$\rho_z = 7800 \text{ kg/m}^3$	-	zúzmarás sűrűség
$\alpha = 18,65 \cdot 10^{-6} \text{ 1}^{\circ}\text{C}$	-	lineáris hőtágulási tényező
$E = 7,5 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$	-	rugalmassági tényező
$\sigma_{maz} = 90 \text{ N/mm}^2$	-	maximális húzófeszültség
$U = 220 \text{ kV}$	-	névleges feszültség

a.) Számítsa ki  $t = 20^{\circ}\text{C}$ -on a vezeték belógását!

b.) Határozza meg a maximális belógást!

a.) A kritikus oszlopköz kiszámítása:

$$a_{kr} = \frac{\sigma_{max}}{g} \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot \alpha}{\rho_z^2 - \rho^2}} \quad \text{alapján: } a_{kr} = \frac{90 \cdot 10^6}{10} \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot 18,65 \cdot 10^{-6}}{7800^2 - 3579^2}} = 106,4 \text{ m.}$$

ha,  $a_{kr} < a \Rightarrow t_0 = -5^{\circ}\text{C}, \rho_0 = \rho_z,$  zúzmarás állapot,

$a_{kr} > a \Rightarrow t_0 = -20^{\circ}\text{C}, \rho_0 = \rho,$  nem zúzmarás állapot

az állapotegyenlet kiindulási adatai.

Mivel  $a_{kr} < a$ , azaz  $106,4 \text{ m} < 243 \text{ m}$ , az állapotegyenlet kiindulási adatai:

$$t_0 = -5^{\circ}\text{C}, \quad \rho_0 = \rho_z = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

A mértékadó oszlopköz kiszámítása:

$$a_m = 0,6 \cdot \frac{\sigma_{max}}{\rho_z \cdot g} \quad \text{szerint, azaz } a_m = 0,6 \cdot \frac{90 \cdot 10^6}{7800 \cdot 10} = 692,3 \text{ m alapján:}$$

ha,  $a_m < a \Rightarrow \sigma_{h0} = \sigma_{max} - b \cdot \rho \cdot g$  nem zúzmarás állapotban,  $(b = \frac{a^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \sigma_{max}})$

$$\sigma_{h0} = \sigma_{max} - b_z \cdot \rho_z \cdot g \quad \text{zúzmarás állapotban, } (b_z = \frac{a^2 \cdot \rho_z \cdot g}{8 \cdot \sigma_{max}})$$

$$a_m > a \Rightarrow \sigma_{h0} = \sigma_{max}$$

az állapotegyenlet kiindulási adata.

Mivel  $a_m > a$ , azaz  $692,3 \text{ m} > 243 \text{ m}$ , az állapotegyenlet kiindulási adata:

$$\sigma_{h0} = \sigma_{\max} = 90 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

Az állapotegyenlet általános alakja:

$$\frac{a^2 \cdot \rho^2 \cdot g^2}{24 \cdot \sigma_h^2} - \frac{a^2 \cdot \rho_0^2 \cdot g_0^2}{24 \cdot \sigma_{h0}^2} = \alpha \cdot (t - t_0) + \frac{1}{E} \cdot (\sigma_h - \sigma_{h0})$$

Az állapotegyenlet  $\sigma_h$  változóra vonatkozó normált harmadfokú kifejezése:

$$\sigma_h^3 + \left[ \frac{a^2 \cdot \rho_0^2 \cdot g_0^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{h0}^2} + \alpha \cdot E \cdot (t - t_0) - \sigma_{h0} \right] \cdot \sigma_h^2 - \frac{a^2 \cdot \rho^2 \cdot g^2 \cdot E}{24} = 0$$

Az együtthatók definiálása:

- A másodfokú tag együtthatója:  $c = \frac{a^2 \cdot \rho_0^2 \cdot g_0^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{h0}^2} + \alpha \cdot E \cdot (t - t_0) - \sigma_{h0}$

- A konstans tag:  $d = \frac{a^2 \cdot \rho^2 \cdot g^2 \cdot E}{24}$

Az egyenlet együtthatós alakja:

$$\sigma_h^3 + c \cdot \sigma_h^2 - d = 0$$

Javasolt alak az iterációs megoldáshoz:  $\sigma_h + c = \frac{d}{\sigma_h^2}$

A kiindulási adatok ismeretében az együtthatók értékei meghatározhatók:

A behelyettesítéskor javasolt az alábbi mértékegységek használata:

$$\begin{aligned} [a] &= \text{m}, & [\rho] &= \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2}, & [\sigma_h] &= \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, & [E] &= \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \\ [g] &= \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, & [t] &= {}^\circ\text{C}, & [\alpha] &= \frac{1}{{}^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

Az együtthatók értéke ezek szerint:  $c = \frac{a^2 \cdot \rho_0^2 \cdot g_0^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{h0}^2} + \alpha \cdot E \cdot (t - t_0) - \sigma_{h0} =$

$$= \frac{243^2 \cdot (7,8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10^2 \cdot 7,5 \cdot 10^4}{24 \cdot 90^2} + 18,65 \cdot 10^{-6} \cdot 7,5 \cdot 10^4 \cdot (20 - (-5)) - 90 = 83,56$$

illetve  $d = \frac{a^2 \cdot \rho^2 \cdot g^2 \cdot E}{24} = \frac{243^2 \cdot (3,579 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10^2 \cdot 7,5 \cdot 10^4}{24} = 236366,5$

A  $\sigma_{h20^\circ\text{C}}$  értékének meghatározása az egyenlet alapján:

$$\sigma_{h20^\circ\text{C}} + c = \frac{d}{\sigma_{h20^\circ\text{C}}^2} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{h20^\circ\text{C}} + 83,56 = \frac{236366,5}{\sigma_{h20^\circ\text{C}}^2}$$

Ebből a keresett érték próbálgatással:  $\sigma_{h20^\circ\text{C}} = 43,18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Így a belógás értéke: 
$$b_{20^\circ C} = \frac{a^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \sigma_h} = \frac{243^2 \cdot 3579 \cdot 10}{8 \cdot 43,18 \cdot 10^6} = 6,11 \text{ m}$$

A százalékos belógás értéke: 
$$\beta_{20^\circ C} = 100 \cdot \frac{b}{a} \% = 100 \cdot \frac{6,11}{243} \% = 2,51 \%$$

b.) A *maximális belógás* meghatározása: a legnagyobb belógásnak a következő esetek közül a nagyobbak kiadódó belógást kell tekinteni:

b<sub>1.</sub>) A maximális belógás meghatározása +40 °C vagy +60 °C hőmérsékleten csupasz vezeték (zúzmarás pótteher nélküli) esetén:

Ha a távvezeték feszültsége  $120 \text{ kV} \geq U$ , akkor + 40 °C-on,  
ha a távvezeték feszültsége  $U > 120 \text{ kV}$ , akkor +60 °C-on számítandó a vezeték legnagyobb belógása.

Az állapotegyenletből kiszámítjuk a  $\sigma_{h40^\circ C}$  vagy  $\sigma_{h60^\circ C}$  értékét, és ebből meghatározhatjuk a

belógást:

$$b_{\max 40^\circ C \text{ vagy } 60^\circ C} = \frac{a^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \sigma_{h40^\circ C \text{ vagy } h60^\circ C}}$$

Az állapotegyenlet kiindulási adatai ugyanazok, mint  $t = 20^\circ C$ -nál, kivéve, hogy itt  $t = 40^\circ C$  vagy  $t = 60^\circ C$  a távvezeték feszültségétől függően!

b<sub>2.</sub>) Zúzmarás állapot pótteherrel

ha  $a > a_{kr} \Rightarrow b_{\max z} = \frac{a^2 \cdot \rho_z \cdot g}{8 \cdot \sigma_{\max}}$ ,

ha  $a < a_{kr} \Rightarrow b_{\max z} = \frac{a^2 \cdot \rho_z \cdot g}{8 \cdot \sigma_{hz}}$ ,

amelyhez a  $\sigma_{hz}$  értéke az állapotegyenletből határozandó meg.

Az állapotegyenletben szereplő adatok:

$$\rho_0 = \rho \quad \rho = \rho_z \quad \sigma_{h0} = \sigma_{\max} \quad t_0 = -20^\circ C \quad t = -5^\circ C$$

Az adott példánál a legnagyobb belógás értéke az alábbiak szerint határozható meg:

b<sub>1.</sub>) A távvezeték feszültsége  $220 \text{ kV} > 120 \text{ kV}$ , tehát először  $\sigma_{h60^\circ C}$ -t kell meghatározni.

Ehhez az állapotegyenlet együtthatóinak értéke:

$$c = \frac{a^2 \cdot \rho_0^2 \cdot g_0^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{h0}^2} + \alpha \cdot E \cdot (t - t_0) - \sigma_{h0} =$$

$$= \frac{243^2 \cdot (7,8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10^2 \cdot 7,5 \cdot 10^4}{24 \cdot 90^2} + 18,65 \cdot 10^{-6} \cdot 7,5 \cdot 10^4 \cdot (60 - (-5)) - 90 = 139,5$$

illetve 
$$d = \frac{a^2 \cdot \rho^2 \cdot g^2 \cdot E}{24} = \frac{243^2 \cdot (3,579 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10^2 \cdot 7,5 \cdot 10^4}{24} = 236366,5$$

Az állapotegyenlet:  $\sigma_{h60^\circ C} + c = \frac{d}{\sigma_{h60^\circ C}^2} \Rightarrow \sigma_{h60^\circ C} + 83,56 = \frac{236366,5}{\sigma_{h60^\circ C}^2}$ .

Ebből a  $\sigma_{h60^\circ C}$  értéke próbálgatással:  $\sigma_{h60^\circ C} = 36,63 \frac{N}{mm^2}$

Tehát a maximális belógás értéke  $+60^\circ C$ -on:

$$b_{\max 60^\circ C} = \frac{a^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \sigma_{h60^\circ C}} = \frac{243^2 \cdot 3579 \cdot 10}{8 \cdot 36,63 \cdot 10^6} = 7,2 \text{ m}$$

b<sub>2</sub>.)  $a > a_{kr}$ , tehát a maximális belógás értéke zúzmarás állapotban:

$$b_{\max z} = \frac{a^2 \cdot \rho_z \cdot g}{8 \cdot \sigma_{\max}} = \frac{243^2 \cdot 7800 \cdot 10}{8 \cdot 90 \cdot 10^6} = 6,39 \text{ m}$$

A két maximális értéket összehasonlítva látszik, hogy legnagyobb belógás  $+60^\circ C$ -on lesz, és az értéke 7,2 m.

## 2. Példa:

Egy távvezeték adatai a következők:

$U = 220 \text{ kV}$	$a = 100 \text{ m}$	$A = 250/40 \text{ mm}^2 \text{ Acal}$
$\rho = 3544 \text{ kg/m}^3$	$\rho_z = 6562 \text{ kg/m}^3$	$\sigma_{\max} = 80 \text{ N/mm}^2$
$\alpha = 19,05 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ C$	$E = 7,2 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$	

a.) Határozza meg az átfeszítés belógását  $t = 25^\circ C$ -on!

b.) Határozza meg a maximális belógást!

A kritikus oszlopköz meghatározása:

$$a_{kr} = \frac{\sigma_{\max}}{g} \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot \alpha}{\rho_z^2 - \rho^2}} = \frac{80 \cdot 10^6}{10} \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot 19,05 \cdot 10^{-6}}{6562^2 - 3544^2}} = 120 \text{ m}$$

Mivel  $a_{kr} > a$ , azaz  $120 \text{ m} > 100 \text{ m}$ , az állapotegyenlet kiindulási adatai:

$$t_0 = -20^\circ C, \quad \rho_0 = \rho = 3544 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A mértékadó oszlopköz kiszámítása:  $a_m = 0,6 \cdot \frac{\sigma_{\max}}{\rho_z \cdot g} = 0,6 \cdot \frac{80 \cdot 10^6}{6562 \cdot 10} = 731 \text{ m}$

Mivel  $a_m > a$ , azaz  $731 \text{ m} > 100 \text{ m}$ , az állapotegyenlet kiindulási adata:

$$\sigma_{h0} = \sigma_{\max} = 80 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Az állapotegyenlet együtthatói: 
$$c = \frac{a^2 \cdot \rho_0^2 \cdot g_0^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{h0}^2} + \alpha \cdot E \cdot (t - t_0) - \sigma_{h0} =$$

$$= \frac{100^2 \cdot (3,544 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10^2 \cdot 7,2 \cdot 10^4}{24 \cdot 80^2} + 19,05 \cdot 10^{-6} \cdot 7,2 \cdot 10^4 \cdot (25 - (-20)) - 80 = -12,4$$

illetve 
$$d = \frac{a^2 \cdot \rho^2 \cdot g^2 \cdot E}{24} = \frac{100^2 \cdot (3,544 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10^2 \cdot 7,2 \cdot 10^4}{24} = 37680.$$

A  $\sigma_{h25^\circ C}$  értékének meghatározása:

$$\sigma_{h25^\circ C} + c = \frac{d}{\sigma_{h25^\circ C}^2} \Rightarrow \sigma_{h25^\circ C} - 12,4 = \frac{37680}{\sigma_{h25^\circ C}^2}$$

amiből a keresett érték próbálgatással: 
$$\sigma_{h25^\circ C} = 38,21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Ezzel a belógás értéke: 
$$b_{25^\circ C} = \frac{a^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \sigma_h} = \frac{100^2 \cdot 3544 \cdot 10}{8 \cdot 38,21 \cdot 10^6} = 1,16 \text{ m}$$

A százalékos belógás értéke: 
$$\beta_{25^\circ C} = 100 \cdot \frac{b}{a} = 100 \cdot \frac{1,16}{100} = 1,16 \%$$

b.) A legnagyobb belógás értékének meghatározása:

b<sub>1.</sub>) A távvezeték feszültsége nagyobb, mint 120 kV, ezért a belógást először +60°C-on kell meghatározni. Ehhez szükség van  $\sigma_{h60^\circ C}$ -ra, amit az állapotegyenletből kapunk meg. Az itt használandó állapotegyenlet kiinduló adatai megegyeznek a  $t = 25^\circ C$ -nál alkalmazott állapotegyenlet kiinduló adataival.

Az állapotegyenlet együtthatói: 
$$c = \frac{a^2 \cdot \rho_0^2 \cdot g_0^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{h0}^2} + \alpha \cdot E \cdot (t - t_0) - \sigma_{h0} =$$

$$= \frac{100^2 \cdot (3,544 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10^2 \cdot 7,2 \cdot 10^4}{24 \cdot 80^2} + 19,05 \cdot 10^{-6} \cdot 7,2 \cdot 10^4 \cdot (60 - (-20)) - 80 = 35,6$$

illetve 
$$d = \frac{a^2 \cdot \rho^2 \cdot g^2 \cdot E}{24} = \frac{100^2 \cdot (3,544 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10^2 \cdot 7,2 \cdot 10^4}{24} = 37680$$

A  $\sigma_{h60^\circ C}$  értékének meghatározása:

$$\sigma_{h60^\circ C} + c = \frac{d}{\sigma_{h60^\circ C}^2} \Rightarrow \sigma_{h60^\circ C} + 35,6 = \frac{37680}{\sigma_{h60^\circ C}^2}$$

amiből a keresett érték próbálgatással: 
$$\sigma_{h60^\circ C} = 24,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

A maximális belógás értéke +60°C-on: 
$$b_{\text{max } 60^\circ C} = \frac{a^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \sigma_{h60^\circ C}} = \frac{100^2 \cdot 3544 \cdot 10}{8 \cdot 24,95 \cdot 10^6} = 1,77 \text{ m}.$$

b<sub>2</sub>.)  $a < a_{kr}$  tehát  $b_{maxz}$  kiszámításához  $\sigma_{hz}$  -t kell először meghatározni az állapotegyenlet segítségével. Az állapotegyenlet kiinduló adatai:

$$\rho_0 = \rho = 3544 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \sigma_{h0} = \sigma_{max} = 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad t_0 = -20^\circ \text{C}$$

$$t = -5^\circ \text{C} \quad \rho = \rho_z = 6562 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Az állapotegyenlet együtthatói: 
$$c = \frac{a^2 \cdot \rho_0^2 \cdot g_0^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{h0}^2} + \alpha \cdot E \cdot (t - t_0) - \sigma_{h0} =$$

$$= \frac{100^2 \cdot (3,544 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10^2 \cdot 7,2 \cdot 10^4}{24 \cdot 80^2} + 19,05 \cdot 10^{-6} \cdot 7,2 \cdot 10^4 \cdot (-5 - (-20)) - 80 = -53,55$$

illetve 
$$d = \frac{a^2 \cdot \rho^2 \cdot g^2 \cdot E}{24} = \frac{100^2 \cdot (6,562 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10^2 \cdot 7,2 \cdot 10^4}{24} = 129180.$$

A  $\sigma_{hz}$  értéke az egyenlet alapján:

$$\sigma_{hz} + c = \frac{d}{\sigma_{hz}^2} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{hz} - 53,55 = \frac{129180}{\sigma_{hz}^2}$$

amiből a keresett érték próbálgatással: 
$$\sigma_{hz} = 75,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

A legnagyobb belógás értéke zúzmarás állapotban:

$$b_{maxz} = \frac{a^2 \cdot \rho_z \cdot g}{8 \cdot \sigma_{hz}} = \frac{100^2 \cdot 6562 \cdot 10}{8 \cdot 75,95 \cdot 10^6} = 1,08 \text{ m}$$

Látható, hogy a legnagyobb belógás  $+60^\circ \text{C}$ -on lép fel, és értéke 1,77 m.

### Feladatok:

1. Határozza meg a kritikus és a mértékadó oszlopközt!

Az állapotegyenletben mennyi  $t_0$ ,  $\rho_0$ , és  $\sigma_{h0}$  értéke és miért?

$$\sigma_{max} = 70 \text{ N/mm}^2, \quad \alpha = 23 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ \text{C}, \quad \rho_z = 8570 \text{ kg/m}^3,$$

$$\rho = 2800 \text{ kg/m}^3, \quad a = 185 \text{ m}!$$

2. Egy vezeték jellemzői:  $a = 185 \text{ m}, \quad \rho_0 = 8,57 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{mm}^2,$   
 $g_0 = 10 \text{ m/s}^2, \quad E = 5,6 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_{h0} = 70 \text{ N/mm}^2,$   
 $\alpha = 23 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ \text{C}, \quad t_0 = -5^\circ \text{C}, \quad \rho = 2800 \text{ kg/m}^3,!$

a. Adja meg  $\sigma_h$  értékét  $t = 18^\circ \text{C}$  hőmérsékleten!

b. Adja meg  $\sigma_h$  értékét  $t = 20^\circ \text{C}$  hőmérsékleten!

c. Adja meg  $\sigma_h$  értékét  $t = 22^\circ \text{C}$  hőmérsékleten!

3. A 2. feladat adatai alapján határozza meg a vezeték legnagyobb belógását, ha az átfeszítés kifestésű!

4. Számítsa ki a kritikus oszlopközt, az alábbi adatok ismeretében:

$$\begin{aligned} \rho &= 8100 \text{ kg/m}^3 & \rho_z &= 14940 \text{ kg/m}^3 \\ \sigma_{\max} &= 500 \text{ N/mm}^2 & \alpha &= 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C!} \end{aligned}$$

5. Mekkora a mértékadó oszlopköz, egy olyan átfeszítésben, ahol

$$\sigma_{\max} = 500 \text{ N/mm}^2, \text{ és} \quad \rho_z = 14940 \text{ kg/m}^3?$$

6. Számítsa ki  $t = 32^\circ\text{C}$ -on a húzófeszítés értékét ha,

$$\begin{aligned} a &= 210 \text{ m} & \rho &= \rho_0 = 8100 \text{ kg/m}^3 & \sigma_{h_0} &= 500 \text{ N/mm}^2 \\ \alpha &= 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} & E &= 18,5 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 & t_0 &= -20^\circ\text{C} \end{aligned}$$

7. Határozza meg egy vezeték belógását, ha:

$$a = 210 \text{ m}, \quad \rho = 8100 \text{ kg/m}^3, \quad \sigma_{h_{32^\circ\text{C}}} = 399,25 \text{ N/mm}^2!$$

8. Számítsa ki az alábbi adatokkal rendelkező szabadvezeték legnagyobb belógását, ha védővezetőről van szó!

$$\begin{aligned} a &= 210 \text{ m} & A &= 95 \text{ mm}^2 \text{ acélsodrony} \\ \rho &= 8100 \text{ kg/m}^3 & \rho_z &= 14940 \text{ kg/m}^3 & \sigma_{\max} &= 500 \text{ N/mm}^2 \\ \alpha &= 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} & E &= 18,5 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

9. Mekkora a mértékadó és a kritikus oszlopköz? Adja meg továbbá, hogy az állapotegyenletbe behelyettesítendő  $t_0$ ,  $\rho_0$ , és  $\sigma_{h_0}$  értéke mekkora?

$$\begin{aligned} a &= 690 \text{ m} & \rho &= 2800 \text{ kg/m}^3 & \rho_z &= 6300 \text{ kg/m}^3 \\ \sigma_{\max} &= 70 \text{ N/mm}^2 & \alpha &= 23 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

10. Egy távvezeték adatai:

$$\begin{aligned} a &= 690 \text{ m} & \rho_0 &= 6300 \text{ kg/m}^3 & \rho &= 2800 \text{ kg/m}^3 \\ \sigma_{h_0} &= 66,62 \text{ N/mm}^2 & t_0 &= -5^\circ\text{C} \\ \alpha &= 23 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} & E &= 6 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Határozza meg a vezetékre megengedhető húzófeszültséget, és számítsa ki a hozzá tartozó belógást

- $t = 27^\circ\text{C}$  esetén,
- $t = 35^\circ\text{C}$  esetén!

11. Milyen állapotban jöhet létre a következő vezeték maximális belógása? (+40°C illetve +60°C hőmérsékleten vagy zúzmarás állapotban?) Mekkora a belógás értéke?

$$\begin{aligned}
 U &= 220 \text{ kV} & a &= 690 \text{ m} \\
 \rho &= 2800 \text{ kg/m}^3 & \rho_z &= 6300 \text{ kg/m}^3 & \sigma_{\max} &= 70 \text{ N/mm}^2 \\
 \alpha &= 23 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} & E &= 6 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

12. Számítsa ki a kritikus és a mértékadó oszlopközt az alábbi adatok alapján!

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\max} &= 65 \text{ N/mm}^2, & \alpha &= 23 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}, \\
 \rho &= 2800 \text{ kg/m}^3, & \rho_z &= 11720 \text{ kg/m}^3!
 \end{aligned}$$

13. Mekkora  $t = 0^\circ\text{C}$ -on az átfeszítés belógása ha,

$$\begin{aligned}
 a &= 48 \text{ m} & \rho_0 = \rho &= 2800 \text{ kg/m}^3 & t_0 &= -20^\circ\text{C} \\
 \sigma_{h_0} &= 65 \text{ N/mm}^2 & E &= 5,6 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 & \alpha &= 23 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

14. Számítsa ki az alábbi adatokkal bíró 0,4 kV-os szabadvezeték legnagyobb belógását!

$$\begin{aligned}
 \rho &= 2800 \text{ kg/m}^3 & \rho_z &= 11720 \text{ kg/m}^3 & \sigma_{\max} &= 65 \text{ N/mm}^2 \\
 \alpha &= 23 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} & E &= 5,6 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 & a &= 48 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### Eredmények:

<b>1. feladat:</b>	$a_{kr} = 78,64 \text{ m}$	$a_{kr} < a \text{ (} 78,64 \text{ m} < 185 \text{ m) ,}$
tehát:	$t_0 = -5^\circ\text{C}$	és $\rho_0 = \rho_z = 8570 \text{ kg/m}^3$
	$a_m = 490 \text{ m}$	$a_m > a \text{ (} 490 \text{ m} > 185 \text{ m)}$
tehát:	$\sigma_{h_0} = \sigma_{\max} = 70 \text{ N/mm}^2$	
<b>2. feladat:</b>	a.) $\sigma_{h_{18^\circ\text{C}}} = 24,55 \text{ N/mm}^2$ b.) $\sigma_{h_{20^\circ\text{C}}} = 24,28 \text{ N/mm}^2$ c.) $\sigma_{h_{22^\circ\text{C}}} = 24,03 \text{ N/mm}^2$	
<b>3. feladat:</b>	A legnagyobb belógás +40°C hőmérsékleten adódik. $b_{\max 40^\circ\text{C}} = 5,45 \text{ m}$	
<b>4. feladat:</b>	$a_{kr} = 250,6 \text{ m}$	<b>5. feladat:</b> $a_m = 2008 \text{ m}$
<b>6. feladat:</b>	$\sigma_{h_{32^\circ\text{C}}} = 399,25 \text{ N/mm}^2$	<b>7. feladat:</b> $b_{32^\circ\text{C}} = 1,12 \text{ m}$
<b>8. feladat:</b>	$\sigma_{h_{40^\circ\text{C}}} = 384,11 \text{ N/mm}^2$	$b_{\max 40^\circ\text{C}} = 1,16 \text{ m}$
	$\sigma_{hz} = 491,8 \text{ N/mm}^2$	$b_{\max z} = 1,67 \text{ m}$
	A legnagyobb belógás zúzmarás állapotban lép fel.	

<b>9. feladat:</b>	$a_{kr} = 112,8 \text{ m}$	$a_{kr} < a (112,8 \text{ m} < 690 \text{ m}),$	
tehát:	$t_0 = -5^0 \text{ C}$	és $\rho_0 = \rho_z = 6300 \text{ kg/m}^3$	
	$a_m = 666 \text{ m}$	$a_m < a (666 \text{ m} < 690 \text{ m})$	
tehát:	$\sigma_{h_0} = \sigma_{\max} - b_z \cdot \rho_z \cdot g$	$\sigma_{h_0} = 66,62 \text{ N/mm}^2$	
<b>10. feladat:</b>	$\sigma_{h_{27^0 \text{ C}}} = 29,51 \text{ N/mm}^2$	$b_{27^0 \text{ C}} = 56,46 \text{ m};$	
	$\sigma_{h_{35^0 \text{ C}}} = 29,38 \text{ N/mm}^2$	$b_{35^0 \text{ C}} = 56,71 \text{ m}$	
<b>11. feladat:</b>	$\sigma_{h_{60^0 \text{ C}}} = 28,92 \text{ N/mm}^2$	$b_{\max 60^0 \text{ C}} = 57,61 \text{ m}$	$b_{\max z} = 53,56 \text{ m}$
	Tehát a legnagyobb belógás $+60^0 \text{ C}$ -on lép fel		
<b>12. feladat:</b>	$a_{kr} = 52 \text{ m}$	$a_m = 332,7 \text{ m}$	
<b>13. feladat:</b>	$\sigma_{h_{0^0 \text{ C}}} = 40,77 \text{ N/mm}^2$	$b_{0^0 \text{ C}} = 0,2 \text{ m}$	
<b>14. feladat:</b>	$\sigma_{h_{40^0 \text{ C}}} = 12,73 \text{ N/mm}^2$	$b_{\max 40^0 \text{ C}} = 0,63 \text{ m}$	$\sigma_{hz} = 63,18 \text{ N/mm}^2$
	$b_{\max z} = 0,53 \text{ m}$	Tehát a legnagyobb belógás $+40^0 \text{ C}$ -on lép fel.	

## 6.2. Feszített vezetők mozgása

### 6.2.1. Függőszigetelők kilengése a tartószerkezethez

#### Kidolgozott példák:

##### 1. Példa:

Megfelelő távolságra van-e a vezeték az oszloptól, ha alábbi adatokkal rendelkező távvezetékét vizsgáljuk?

A vezeték adatai: Acal

$A = 500/65 \text{ mm}^2$  - névleges keresztmetszet  $s = 19,43 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  - a vezeték súlyereje

$d = 31,05 \text{ mm}$  - a vezeték átmérője  $U = 120 \text{ kV}$  - névleges feszültség

A szigetelőlánc adatai: egysapkás üveg-szigetelőlánc

$m = 35,4 \text{ kg}$  - a szigetelőlánc tömege  $l_{\text{szig}} = 1420 \text{ mm}$  - a szigetelőlánc hossza

$h = 29,4 \text{ m}$  - a felfüggesztési pont magassága

Az oszlop és oszlopközök adatai:

$a_1 = 350 \text{ m}$   $a_2 = 290 \text{ m}$

$k = 2750 \text{ mm}$  - az oszlop kartávolsága (a felfüggesztési pont távolsága az oszloptörzstől)

A szigetelőláncot a két szomszédos oszlopközben lévő vezetékek fele-fele terheli. A legrosszabb az az eset, ha a szél a vezetéket vízszintes irányból éri, tehát  $\varphi = 90^\circ$ ! (A vezetékre ható szélerő számítását lásd részletesen a 6.1.2. fejezetben a 3. kidolgozott példa!)

A szigetelőláncra ható szélerő tehát két részből adódik.

Az 
$$F = \alpha \cdot c \cdot \frac{v^2}{1,6} \cdot \frac{a}{2} \cdot d \cdot \sin \varphi$$
 összefüggés felhasználásával az egyes erők:

$$F_1 = 0,75 \cdot 1,0 \cdot \frac{33,5^2}{1,6} \cdot \frac{350}{2} \cdot 31,05 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 90^\circ = 2858 \text{ N} \quad \text{illetve}$$

$$F_2 = 0,75 \cdot 1,0 \cdot \frac{33,5^2}{1,6} \cdot \frac{290}{2} \cdot 31,05 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 90^\circ = 2368 \text{ N}$$

Az erő eredője:  $F = F_1 + F_2 = 2858 + 2368 = 5226 \text{ N}$

A csupasz vezeték szigetelőláncra ható súlya szintén két részből számolható ki:

Az 
$$S = s \cdot \frac{a}{2}$$
 összefüggés felhasználásával az egyes erők:

$$S_1 = 19,43 \cdot \frac{350}{2} = 3400 \text{ N} \quad \text{illetve} \quad S_2 = 19,43 \cdot \frac{290}{2} = 2817 \text{ N}.$$

Az erő eredője:  $S = S_1 + S_2 = 3400 + 2817 = 6217 \text{ N}$

A szigetelőlánc súlya:  $G = m \cdot g = 35,4 \cdot 10 = 354 \text{ N}$

A szigetelőlánc kilengésének szöge:

$$\text{tg } \alpha = \frac{F}{\frac{G}{2} + S} \quad \text{alapján:} \quad \text{tg } \alpha = \frac{5226}{\frac{354}{2} + 6217} = 0,817 \quad \Rightarrow \quad \alpha = 39,26^\circ$$

A szigetelőlánc távolsága az oszloptörzstől kilengett állapotban:

$$t_1 = k - l_{\text{szig}} \cdot \sin \alpha \quad \text{alapján:} \quad t_1 = 2,75 - 1,42 \cdot \sin 39,26^\circ = 1,86 \text{ m}$$

A szigetelőlánc távolsága az oszlopkartól kilengett állapotban:

$$t_2 = l_{\text{szig}} \cdot \cos \alpha \quad \text{alapján:} \quad t_2 = 1,42 \cdot \cos 39,26^\circ = 1,1 \text{ m}$$

A feszültség alatt álló vezetékek és a földelt tartószerkezet közötti megengedett legkisebb távolság szabványban van rögzítve.

A szabadvezeték névleges feszültsége kV	A megengedett legkisebb távolság a torlónyomás legnagyobb értékének	
	25%-áig	25%-a felett, 100%-áig
120	0,9 m	0,3 m
220	1,6 m	0,5 m
400	2,7 m	1,0 m

Ezen feladatoknál a torlónyomás 100%-ánál megadott értékekkel kell számolni!

Tehát a 120 kV-os feszültség szinten, a megengedett legkisebb távolság 0,3 m. Mivel mind az oszloptörzstől ( $t_1 = 1,86 \text{ m} > 0,3 \text{ m}$ ), mind pedig az oszlopkartól való távolság ( $t_2 = 1,1 \text{ m} > 0,3 \text{ m}$ ), meghaladja ezt az értéket, ezért hozzáengésre a méretezés megfelelő!

### Feladatok:

1. Mekkora távolságra van az oszloptörzstől és az oszlopkartól az a szél által kilendített szigetelőlánc, amelynél a távvezeték adatai a következők:

A vezeték adatai:      Acal

$$U = 400 \text{ kV} \quad A = 500 / 65 \text{ mm}^2 \quad s = 19,43 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad d = 31,05 \text{ mm}$$

A szigetelőlánc adatai: kompozit szigetelő

$$m = 21,9 \text{ kg} \quad l_{\text{szig}} = 3885 \text{ mm} \quad h = 38,5 \text{ m}$$

Az oszlop és oszlopközök adatai:

$$a_1 = 450 \text{ m} \quad a_2 = 410 \text{ m} \quad k = 5750 \text{ mm}$$

2. Ellenőrizze hozzáengésre az alábbi szabadvezeték:

A vezeték adatai:      Acal

$$U = 120 \text{ kV} \quad A = 250 / 40 \text{ mm}^2 \quad s = 10,5 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad d = 22,4 \text{ mm}$$

A szigetelőlánc adatai:      kompozit szigetelő

$$m = 7,3 \text{ kg} \quad l_{\text{szig}} = 1295 \text{ mm} \quad h = 22 \text{ m}$$

Az oszlop és oszlopközök adatai:

$$a_1 = 280 \text{ m} \quad a_2 = 290 \text{ m} \quad k = 3650 \text{ mm}$$

3. Hozzáérhet-e az oszlopszerkezethez szeles időjárás esetén a vezeték? Ha nem, akkor a távolság megfelel-e a szabványban megadott értéknek?

A vezeték adatai:      Acal

$$U = 120 \text{ kV} \quad A = 250 / 40 \text{ mm}^2 \quad s = 10,5 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad d = 22,4 \text{ mm}$$

A szigetelőlánc adatai:      egysapkás üveg-szigetelőlánc

$$m = 35,4 \text{ kg} \quad l_{\text{szig}} = 1420 \text{ mm} \quad h = 29,2 \text{ m}$$

Az oszlop és oszlopközök adatai:

$$a_1 = 340 \text{ m} \quad a_2 = 220 \text{ m} \quad k = 2750 \text{ mm}$$

## Eredmények:

<b>1. feladat:</b> $F_1 = 3675 \text{ N}$ $\alpha = 39,68^\circ$	$F_2 = 3348 \text{ N}$ $t_1 = 3,27 \text{ m}$	$S_1 = 4371 \text{ N}$ $t_2 = 2,98 \text{ m}$	$S_2 = 3983 \text{ N}$
<b>2. feladat:</b> $F_1 = 1432 \text{ N}$ $\alpha = 43,7^\circ$	$F_2 = 1463 \text{ N}$ $t_1 = 2,76 \text{ m}$	$S_1 = 1470 \text{ N}$ $t_2 = 0,93 \text{ m}$	$S_2 = 1522,5 \text{ N}$
<b>3. feladat:</b> $F_1 = 2002 \text{ N}$ $\alpha = 46,6^\circ$	$F_2 = 1295 \text{ N}$ $t_1 = 1,72 \text{ m}$	$S_1 = 1785 \text{ N}$ $t_2 = 0,97 \text{ m}$	$S_2 = 1155 \text{ N}$

## 6.2.2. A vezetők összelengése

### Kidolgozott példák:

#### 1. példa:

A szél által kilendített állapotban össze tud-e érni a két vezeték, az alábbi adatokkal rendelkező szabadvezeték esetén:

$U = 120 \text{ kV}$	-	névleges feszültség
$a = 300 \text{ m}$	-	oszlopköz
$A = 250/40 \text{ mm}^2, \text{ Acal}$	-	névleges keresztmetszet
$d = 22,4 \text{ mm}$	-	külső átmérő
$\rho_z = 6600 \text{ kg/m}^3$	-	zúzmarás sűrűség
$\rho = 3579 \text{ kg/m}^3$	-	normál sűrűség
$\sigma_{\max} = 80 \text{ N/mm}^2$	-	maximális húzófeszültség
$s = 10,5 \text{ N/m}$	-	súlyerő
$E = 7,49 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$	-	rugalmissági tényező
$\alpha = 18,64 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$	-	lineáris hőtágulási tényező
$h_1 = 18 \text{ m}$	-	az alsó vezető felfüggesztési pontjának magassága
$h_2 = 22 \text{ m}$	-	a felső vezető felfüggesztési pontjának magassága
$m = 4 \text{ m}$	-	a felfüggesztési pontok magasságkülönbsége
$l_{\text{fázis}} = 1 \text{ m}$	-	a felfüggesztési pontok vízszintes távolsága
$l_{\text{szig}} = 1,42 \text{ m}$	-	a szigetelőlánc hossza

A szél által előbb ért vezetőre vonatkozó mennyiségek indexe legyen az 1-es, míg a szél által később ért másik vezetőre vonatkozó mennyiségeké 2-es.

A vezetőkire ható legnagyobb szélterő:

(A legrosszabb eset, ha a szél a vezetéket vízszintesen a nyomvonalra merőlegesen éri,  $\varphi = 90^\circ$ ! A vezetőkire ható szélterő számítását lásd részletesen a 6.1.2. fejezetben a 3. kidolgozott példa!)

$$F_{1\max} = F_{2\max} = \alpha \cdot c \cdot \frac{v^2}{1,6} \cdot a \cdot d \cdot \sin \varphi = 0,75 \cdot 1,0 \cdot \frac{31^2}{1,6} \cdot 300 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} = 3027,1 \text{ N}$$

Egy olyan esetet tételezzünk fel, hogy  $x = 70\%$ -os szélterő terheli a vezetékeket.

A vezetőkire ható szélterő:  $F_{1x} = x^2 \cdot F_{1\max} = 0,7^2 \cdot 3027,1 = 1483 \text{ N}$

$$F_{2x} = x^2 \cdot 0,8^2 \cdot F_{2\max} = 0,7^2 \cdot 0,8^2 \cdot 3027,1 = 949,2 \text{ N}$$

A vezetékek súlyereje:  $S_1 = S_2 = s \cdot a = 10,5 \cdot 300 = 3150 \text{ N}$

A kilendülési szögek:

$$\operatorname{tg} \lambda_{1x} = \frac{F_{1x}}{S_1} = \frac{1483}{3150} = 0,47 \quad \Rightarrow \quad \lambda_{1x} = 25,21^\circ$$

$$\operatorname{tg} \lambda_{2x} = \frac{F_{2x}}{S_2} = \frac{949,2}{3150} = 0,3 \quad \Rightarrow \quad \lambda_{2x} = 16,76^\circ$$

A maximális belógás kiszámítása: (A maximális belógás kiszámítását lásd részletesen a 6.1.4. fejezetben 1/b. Kidolgozott példa!) A maximális belógás vagy  $+40^\circ\text{C}$ -on pótteher nélkül, vagy  $-5^\circ\text{C}$ -on pótteherrel lép fel.

a.)  $\sigma_{h40^\circ\text{C}}$ -t az állapotegyenletből kapjuk meg.

$$a_{kr} = \frac{\sigma_{\max}}{g} \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot \alpha}{\rho_z^2 - \rho^2}} = \frac{80 \cdot 10^6}{10} \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot 18,64 \cdot 10^{-6}}{6562^2 - 3579^2}} = 118,1 \text{ m}$$

Mivel  $a_{kr} < a$ , azaz  $118,1 \text{ m} > 300 \text{ m}$ , az állapotegyenlet kiindulási adatai:

$$t_0 = -5^\circ\text{C}, \quad \rho_0 = \rho_z = 6600 \text{ kg/m}^3.$$

A mértékadó oszlopköz meghatározása:

$$a_m = 0,6 \cdot \frac{\sigma_{\max}}{\rho_z \cdot g} = 0,6 \cdot \frac{80 \cdot 10^6}{6600 \cdot 10} = 727,2 \text{ m}$$

Mivel  $a_m > a$ , azaz  $727,2 \text{ m} > 300 \text{ m}$ , az állapotegyenlet kiindulási adata:

$$\sigma_{h0} = \sigma_{\max} = 80 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2.$$

Ezután az állapotegyenlet felírható, melyből  $\sigma_{h40^\circ\text{C}}$  kiszámolható.  $\sigma_{h40^\circ\text{C}} = 40,91 \text{ N/mm}^2$

A maximális belógás  $+40^\circ\text{C}$ -on:

$$b_{\max 40^\circ\text{C}} = \frac{a^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \sigma_{h40^\circ\text{C}}} = \frac{300^2 \cdot 3579 \cdot 10}{8 \cdot 40,91 \cdot 10^6} = 9,84 \text{ m}$$

b.) Mivel  $a > a_{kr}$ , tehát a maximális belógás értéke zúsmarás állapotban:

$$b_{\max z} = \frac{a^2 \cdot \rho_z \cdot g}{8 \cdot \sigma_{\max}} = \frac{300^2 \cdot 6600 \cdot 10}{8 \cdot 80 \cdot 10^6} = 9,28 \text{ m}$$

A maximális belógás tehát  $+40^\circ\text{C}$ -on lép fel.  $\Rightarrow b_{\max} = 9,84\text{ m}$

A két vezeték távolságának kiszámítása kilengett állapotban:

$$b_1 = b_2 = b_{\max} + l_{\text{szig}} = 9,48 + 1,42 = 11,26\text{ m}$$

$$b_{1f} = b_1 \cdot \cos \lambda_{1x} = 11,26 \cdot \cos 25,21 = 10,18\text{ m} \quad b_{1v} = b_1 \cdot \sin \lambda_{1x} = 11,26 \cdot \sin 25,21 = 4,8\text{ m}$$

$$b_{2f} = b_2 \cdot \cos \lambda_{2x} = 11,26 \cdot \cos 16,76 = 10,78\text{ m} \quad b_{2v} = b_2 \cdot \sin \lambda_{2x} = 11,26 \cdot \sin 16,76 = 3,24\text{ m}$$

$$\boxed{x = b_{1v} - l_{\text{fázis}} - b_{2v}} \quad \text{alapján:} \quad x = 4,8 - 1 - 3,24 = 0,56\text{ m.}$$

$$\boxed{y = m + b_{1f} - b_{2f}} \quad \text{alapján:} \quad y = 4 + 10,18 - 10,78 = 3,4\text{ m.}$$

A két vezeték távolsága:  $D_x = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{0,56^2 + 3,4^2} = 3,44\text{ m.}$

A feszültség alatt álló vezetékek egymástól való megengedett legkisebb távolsága szabványban van rögzítve:

A szabadvezeték névleges feszültsége kV	A megengedett legkisebb távolság, m a torlónyomás legnagyobb értékének	
	25%-áig	25%-a felett, 100%-áig
120	1,1	0,45
220	2,0	0,8
400	3,6	1,6

Ezen feladatoknál a torlónyomás 100%-ánál megadott értékekkel kell számolni!

Tehát a 120 kV -os feszültség szinten, a megengedett legkisebb távolság 0,45 m.

$D_x = 3,44\text{ m} > 0,45\text{ m}$ , így a vezetékek nem tudnak összelengeni.

### Feladatok:

1. Számolja ki, hogy elegendő távolságra vannak-e egymástól a szél által kilendített vezetők, ha a szélerő:

a.)  $x = 90\%$  -os,

b.)  $x = 30\%$  -os?

A vezeték és az elrendezés adatai:

$$U = 400\text{ kV}$$

$$a = 400\text{ m}$$

$$A = 500/65\text{ mm}^2, \text{ Acal}$$

$$d = 31,05\text{ mm}$$

$$\rho_z = 5339\text{ kg/m}^3$$

$$\rho = 3408\text{ kg/m}^3$$

$$\sigma_{\max} = 80\text{ N/mm}^2$$

$$s = 19,43\text{ N/m}$$

$$E = 7,09 \cdot 10^4\text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = 19,35 \cdot 10^{-6}\text{ 1/}^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 29\text{ m}$$

$$h_2 = 38\text{ m}$$

$$m = 9\text{ m}$$

$$l_{\text{fázis}} = 0,25\text{ m}$$

$$l_{\text{szig}} = 3,885\text{ m}$$

2. Ellenőrizzen összelengésre két vezetékét 40 %-os szélérő mellett, ha a vezeték és az elrendezés adatai:

$U = 400 \text{ kV}$	$a = 450 \text{ m}$	$A = 500/65 \text{ mm}^2, A_{\text{cal}}$
$d = 31,05 \text{ mm}$	$\rho_z = 5339 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 3408 \text{ kg/m}^3$
$\sigma_{\text{max}} = 80 \text{ N/mm}^2$	$s = 19,43 \text{ N/m}$	$E = 7,09 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$
$\alpha = 19,35 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$	$h_1 = 29 \text{ m}$	$h_2 = 29 \text{ m}$
	$l_{\text{fázis}} = 1,35 \text{ m}$	$l_{\text{szig}} = 4,26 \text{ m}$

3. A szél által kilendített állapotban össze tud-e érni a két vezeték, ha a szélérő 80 %-os. A vezeték és az elrendezés adatai:

$U = 120 \text{ kV}$	$a = 300 \text{ m}$	$A = 250/40 \text{ mm}^2, A_{\text{cal}}$
$d = 22,4 \text{ mm}$	$\rho_z = 6600 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 3579 \text{ kg/m}^3$
$\sigma_{\text{max}} = 80 \text{ N/mm}^2$	$s = 10,5 \text{ N/m}$	$E = 7,49 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$
$\alpha = 18,64 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$	$h_1 = 18 \text{ m}$	$h_2 = 22 \text{ m}$
$m = 4 \text{ m}$	$l_{\text{fázis}} = 1 \text{ m}$	$l_{\text{szig}} = 1,42 \text{ m}$

### Eredmények:

<b>1. feladat: a.)</b>	$F_{1\text{max}} = F_{2\text{max}} = 6533,6 \text{ N}$	$F_{1x} = 5292,2 \text{ N}$	$F_{2x} = 3388 \text{ N}$
	$S_1 = S_2 = 7772 \text{ N}$	$\lambda_{1x} = 34,25^\circ$	$\lambda_{2x} = 23,54^\circ$
	$b_{\text{max}} = 14,26 \text{ m}$	$D_x = 7,85 \text{ m}$ Összelengésre megfelel!	
<b>1. feladat: b.)</b>	$F_{1\text{max}} = F_{2\text{max}} = 6533,6 \text{ N}$	$F_{1x} = 588 \text{ N}$	$F_{2x} = 376 \text{ N}$
	$S_1 = S_2 = 7772 \text{ N}$	$\lambda_{1x} = 4,3^\circ$	$\lambda_{2x} = 2,7^\circ$
	$b_{\text{max}} = 15 \text{ m}$	$D_x = 8,97 \text{ m}$ Összelengésre megfelel!	
<b>2. feladat:</b>	$F_{1\text{max}} = F_{2\text{max}} = 7350 \text{ N}$	$F_{1x} = 1176 \text{ N}$	$F_{2x} = 735 \text{ N}$
	$S_1 = S_2 = 8743,5 \text{ N}$	$\lambda_{1x} = 7,6^\circ$	$\lambda_{2x} = 4,9^\circ$
	$b_{\text{max}} = 17,53 \text{ m}$	$D_x = 3,91 \text{ m}$ Összelengésre megfelel!	
<b>3. feladat:</b>	$F_{1\text{max}} = F_{2\text{max}} = 3027 \text{ N}$	$F_{1x} = 1937 \text{ N}$	$F_{2x} = 1240 \text{ N}$
	$S_1 = S_2 = 3150 \text{ N}$	$\lambda_{1x} = 31,58^\circ$	$\lambda_{2x} = 21,48^\circ$
	$b_{\text{max}} = 9,84 \text{ m}$	$D_x = 3,22 \text{ m}$ . Összelengésre megfelel!	

### 6.2.3. A vezetők felcsapódása

#### Kidolgozott példák:

##### 1. Példa:

Megfelelő távolságra vannak-e a függőleges síkban egymás fölött húzódó vezetékek, ha az alsó vezető a póttehertől hirtelen megszabadulva felcsapódik a felső vezető felé, amelyen a pótteher megmarad? A vezetők adatai a következők:

$U = 120 \text{ kV}$	-	névleges feszültség
$a = 300 \text{ m}$	-	oszlopköz
$A = 250/40 \text{ mm}^2$ , Acal	-	névleges keresztmetszet
$\rho_z = 6600 \text{ kg/m}^3$	-	zúzmarás sűrűség
$\rho = 3579 \text{ kg/m}^3$	-	normál sűrűség
$\sigma_{\max} = 80 \text{ N/mm}^2$	-	maximális húzófeszültség
$z = 8,85 \text{ N/m}$	-	szabványos pótteher
$s = 10,5 \text{ N/m}$	-	súlyerő
$E = 7,49 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$	-	rugalmassági tényező
$\alpha = 18,64 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$	-	lineáris hőtágulási tényező
$h_1 = 5,1 \text{ m}$	-	a felfüggesztési pontok magasságkülönbsége

A zúzmarás belógás értéke:  $b_z = \frac{a^2 \cdot \rho_z \cdot g}{8 \cdot \sigma_{\max}} = \frac{300^2 \cdot 6600 \cdot 10}{8 \cdot 80 \cdot 10^6} = 9,28 \text{ m}$

A normál belógás meghatározásához először  $\sigma_h$  értékét kell kiszámolni, amelyet az állapotegyenletből kapunk meg.

Az állapotegyenlet kiinduló adatai:

$$\begin{aligned} t_0 &= -5^\circ \text{C} & \rho_0 &= \rho_z = 6600 \text{ kg/m}^3 & \sigma_{h0} &= \sigma_{\max} = 80 \text{ N/mm}^2 \\ t &= -5^\circ \text{C} & \rho &= 3579 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Ezek alapján:  $\sigma_h = 47,61 \text{ N/mm}^2$  (meghatározását lásd a 6.1.4. fejezetben).

A normál belógás értéke:  $b = \frac{a^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \sigma} = \frac{300^2 \cdot 3579 \cdot 10}{8 \cdot 47,61 \cdot 10^6} = 8,45 \text{ m}$

A felcsapódás értéke az  $f = 0,5 \cdot (b_z - b) \cdot \frac{z}{s}$  összefüggés alapján:

$$f = 0,5 \cdot (9,28 - 8,45) \cdot \frac{8,85}{10,5} = 0,35 \text{ m.}$$

A felcsapódó alsó vezető  $t$  távolságra közelíti meg a felső vezetőt, amelynek értéke:

$$t = h - f = 5,1 - 0,35 = 4,75 \text{ m}$$

Ennek a függőleges távolságnak a legkisebb értéke a szabványban rögzítve van:

A szabadvezeték névleges feszültsége, kV	A legkisebb függőleges távolság, m
120 alatt	2,0
120	3,1
220	4,0
400	5,6

Látható, hogy a feladatban szereplő feszültség szinten 3,1 m-nél nem kerülhet közelebb egymáshoz a két vezeték. Mivel  $t = 4,75 \text{ m} > 3,1 \text{ m}$ , ezért a felcsapódásra való méretezés megfelelő.

### Feladatok:

1. Egy távvezetéknel egymás fölött húzódik két vezeték. Számítsa ki, hogy egymáshoz érhetnek-e, ha az alsó vezeték felcsapódik.

A szabadvezeték adatai:

$$\begin{array}{lll}
 U = 120 \text{ kV} & a = 330 \text{ m} & A = 500/65 \text{ mm}^2, A_{cal} \\
 \rho_z = 5339 \text{ kg/m}^3 & \rho = 3408 \text{ kg/m}^3 & \sigma_{max} = 80 \text{ N/mm}^2 \\
 z = 11 \text{ N/m} & s = 19,43 \text{ N/m} & E = 7,09 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 \\
 \alpha = 19,35 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} & h = 5,2 \text{ m} &
 \end{array}$$

2. Ellenőrizze felcsapódásra az alábbi távvezetékét:

$$\begin{array}{lll}
 U = 120 \text{ kV} & a = 290 \text{ m} & A = 250/40 \text{ mm}^2, A_{cal} \\
 \rho_z = 6600 \text{ kg/m}^3 & \rho = 3579 \text{ kg/m}^3 & \sigma_{max} = 80 \text{ N/mm}^2 \\
 z = 8,85 \text{ N/m} & s = 10,5 \text{ N/m} & E = 7,49 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 \\
 \alpha = 18,64 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} & h = 8 \text{ m} &
 \end{array}$$

### Eredmények:

<b>1. feladat:</b>	$b_z = 9,08 \text{ m}$ $b = 8,28 \text{ m}$	$\sigma_h = 55,97 \text{ N/mm}^2$ $f = 0,22 \text{ m}$	$t = 4,98 \text{ m}$ Az elrendezés jó!
<b>2. feladat:</b>	$b_z = 8,67 \text{ m}$ $b = 7,85 \text{ m}$	$\sigma_h = 47,89 \text{ N/mm}^2$ $f = 0,34 \text{ m}$	$t = 7,66 \text{ m}$ Az elrendezés jó!

## 8. A TRANSZFORMÁTOROK, VEZETÉKEK ÉS A KAPCSOLÓBERENDEZÉS KÉSZÜLÉKEINEK, MÉRŐVÁLTÓINAK, ZÁRLATKORLÁTOZÓ FOJTÓTEKERECSEINEK KIVÁLASZTÁSA

### 8.3. A kapcsolóberendezés készülékeinek, mérőváltóinak zárlatkorlátozó fojtótekercecseinek kiválasztása

#### 8.3.2. Nagyfeszültségű készülékek kiválasztása

##### 8.3.2.1. Megszakítók

*A készülék legfontosabb kiválasztási jellemzői:*

A katalógusok nagy többsége idegen nyelvű, így ismernünk kell az egyes idegen nyelvű kifejezéseket is, és a megnevezések magyar megfelelőjét is. Az első az angol, a második a német, a harmadik a magyar megnevezés.

Jelen példák és megnevezések csak a kiválasztás *számítással meghatározandó* műszaki paramétereire terjednek ki.

1. A készülék névleges feszültsége:  $U_n$  (Rated voltage Nennspannung)

A hálózat legnagyobb üzemi feszültsége:  $U_{\text{hálózati}}$

A kiválasztás feltétele:

$$U_n \geq U_{\text{hálózati}}$$

2. A készülék névleges üzemi árama:  $I_n$  (Rated normal current Nennbetriebsstrom)

A hálózat tartós legnagyobb üzemi árama:  $I_{\text{üzemi}}$

A kiválasztás feltétele:

$$I_n \geq I_{\text{üzemi}}$$

3. A készülék névleges zárlati megszakítóképessége:  $I_z (S_z)$   
(Rated breaking current Nenn-Kruzschlussausschaltstrom)

A hálózat legnagyobb zárlati árama a beépítés helyén:  $I_{z \text{ max}}$

A kiválasztás feltétele:

$$I_z \geq I_{z \text{ max}}$$

4. Névleges zárlati bekapcsolóképesség (dinamikus határáram):  $I_d$   
(Making current/peak Nenn-Kruzschluseinschaltstrom)

A beépítés helyén várhatóan fellépő legnagyobb zárlati áramcsúcs:  $I_{zcs} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{z \text{ max}}$

ahol  $k$  az R/X viszony függvénye - *felvett értéke általában 1.8*

A kiválasztás feltétele:

$$I_d \geq I_{zcs}$$

5. Termikus határáram (másodpercáram):  $I_{th}$   
(Thermal limit current / Rated short-time withstand current    Nennkurzzeitstrom)
6. Termikus időhatár:  $t_t$  (Rated duration of short circuit    Nennkurzschlussdauer)
7. Védelmi működési idő:  $t_z$  (Opening time    Ausschaltzeit)

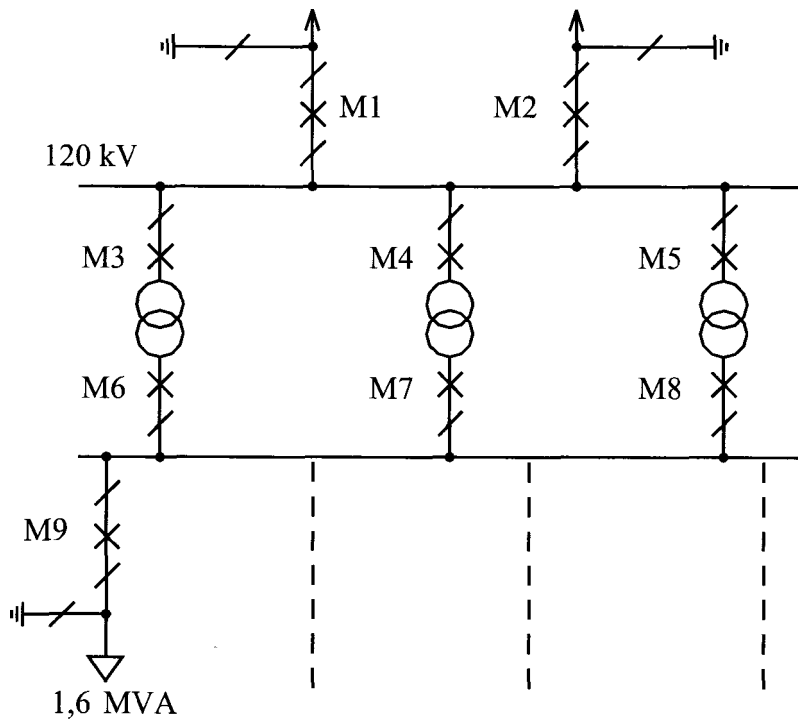
A hálózat legnagyobb zárlati árama a beépítés helyén:  $I_{z \max}$

A kiválasztás feltétele zárlati termikus igénybevételre:  $I_{th} \cdot \sqrt{t_t} \geq I_{z \max} \cdot \sqrt{t_z}$

**Megjegyzés:** a készülégyártók a készülékeket úgy méretezik, hogy dinamikus határáramuk legalább  $2,5 \cdot I_z$  legyen. Vagyis, ha a készülék névleges zárlati megszakítóképesége nagyobb, mint a beépítési hely legnagyobb zárlati árama ( $I_z \geq I_{z \max}$ ), akkor  $I_d$  minden esetben nagyobb lesz  $I_{zcs}$ -nél.

**Kidolgozott példa:**

Az alábbi 120/10 kV-os állomáson (8.1. ábra) a két  $S=36$  MVA-es,  $\varepsilon=8,2$  %-os transzformátor párhuzamosan üzemel, a harmadik az előzőekkel azonos transzformátor csak tartalékokat képez. A mögöttes hálózat zárlati teljesítménye 2000 MVA. A betáplálási távvezeték ACSR 250/40-es acélalumínium sodrony. Az átkapcsolás idejére a három transzformátor párhuzamosan kapcsolható! Válassza ki az állomás megszakítóit!



8.1. ábra

a.) Megszakító kiválasztása a betáplálási távvezeték mezőbe (M1 és M2):

A távvezeték sodronyának megengedett legnagyobb állandó árama:  $I_{üzemi\_max} = 540 \text{ A}$   
(Értékét a Függelék 11. táblázata alapján: „Szabadvezeték alapterhelése” választottuk ki)

A zárlati áram legnagyobb értéke:  $I_{z\_max} = \frac{S_z^m}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2000 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 120 \cdot 10^3} = 9623 \text{ A}.$

A zárlati áram csúcsértéke:  $I_{zcs} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{z\_max} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,6 = 24 \text{ kA}.$

A kiválasztott készülék: A Függelék 6. táblázatából az S1 típusjelű AEG gyártmány:

$$U_n = 123 \text{ kV} \geq U_{hálózati} = 120 \text{ kV}$$

$$I_n = 630 \text{ A} \geq I_{üzemi} = 540 \text{ A}$$

$$I_z = 31,5 \text{ kA} \geq I_{z\_max} = 9,6 \text{ kA}$$

Ellenőrzés termikus igénybevételre:  $t_z = ?$  A készülékekre legtöbbször a másodpercáramot adják meg, azaz  $t_i = 1 \text{ s}.$

*Megjegyzés: A legtöbb esetben a készülékek kiválasztása megelőzi a védelmi tervezést, így a védelmek működési ideje a készülékek kiválasztásának időpontjában még nem ismert. Ezért előzetesen egy maximális zárlathárítási időtartam határozható meg, amelyet a védelmi tervezéskor figyelembe kell venni, illetve védelmi működési idővel össze kell vetni.*

$$I_{th} \cdot \sqrt{t_i} \geq I_{z\_max} \cdot \sqrt{t_z} \Rightarrow 31,5 \cdot \sqrt{1} \geq 9,6 \cdot \sqrt{t_z} \text{ ,amelyből } t_z \leq 10,7 \text{ s} .$$

A készülék nagy valószínűséggel megfelelő lesz, mert a védelmi működési idő a gyakorlatban kisebb szokott lenni, mint 1 másodperc.

b.) Megszakító kiválasztása a tartaléktranszformátor 10 kV-os mezőjébe M7, (a kiválasztás azonos az M6, M8 esetben is), az átkapcsolás idejére a transzformátorok párhuzamos kapcsolása megengedhető, de a megszakítóknak zárlatkor (amennyiben a zárlat a megszakító fogyasztói oldalán lép fel) a rajta átfolyó zárlati áramot kell megszakítania:

A 36 MVA-es transzformátor névleges szekunder árama:

$$I_{üzemi} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{36 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 2079 \text{ A}$$

A zárlati áram meghatározása:

$$S_z^{Tr36} = \frac{100}{\varepsilon} \cdot S_n = \frac{100}{8,2} \cdot 36 = 439 \text{ MVA}$$

A zárlati teljesítmény tartaléktranszformátoron áthaladó része ha a zárlat az M7 megszakító beépítési helyén van:

$$S_{ze} = S_z^m \otimes S_z^{Tr36} = 2000 \otimes 439 = 360 \text{ MVA}$$

A zárlati áram tartaléktranszformátoron áthaladó része ha a zárlat az M7 megszakító beépítési helyén van:

$$I_{z\_max}^{M7} = \frac{S_{ze}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 10} = 20,8 \text{ kA}$$

A zárlati áram csúcserőértéke:  $I_{zcs} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{zmax}^{M7} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 20,8 = 53 \text{ kA}$

A kiválasztott készülék: a Függelék 6. táblázatából a Siemens 3AH típusú megszakítója:

$$\text{Adatok: } U_n = 12 \text{ kV} \geq U_{hálózati} = 10 \text{ kV}$$

$$I_n = 2500 \text{ A} \geq I_{üzemi}^{Tr} = 2079 \text{ A}$$

$$I_z = 63 \text{ kA} \geq I_{zmax} = 18,2 \text{ kA}$$

Ellenőrzés termikus igénybevételre:  $t_z = ?$ , ha  $t_t = 1 \text{ s}$

$$I_{th} \cdot \sqrt{t_t} \geq I_{zmax} \cdot \sqrt{t_z} \Rightarrow 63 \cdot \sqrt{1} \geq 18,2 \cdot \sqrt{t_z} \text{ ,amiből } t_z \leq 12 \text{ s .}$$

A védelmi működési időnek 12 s-nél kisebbnek kell lennie!

b.) Megszakító kiválasztása a 10 kV-os leágazási mezőbe (M9). Az átkapcsolás idejére a transzformátorok párhuzamos kapcsolása megengedhető, így a legkedvezőtlenebb eset mindhárom transzformátor üzemkor a 10 kV gyűjtősín zárlati áramának megszakítása:

A 10 kV-os sín eredő zárlati teljesítménye ebben az esetben:

$$S_{ze} = S_z^m \otimes (S_z^{Tr36} + S_z^{Tr36} + S_z^{Tr36}) = 2000 \otimes (439 + 439 + 439) = 794 \text{ MVA .}$$

A hibahelyi zárlati áram:

$$I_{zmax}^{10kV} = \frac{S_{ze}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{794}{\sqrt{3} \cdot 10} = 45,8 \text{ kA}$$

A zárlati áram csúcserőértéke:  $I_{zcs} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{zmax} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 45,8 = 116,8 \text{ kA}$

A kiválasztott készülék: a Függelék 6. táblázatából a Siemens 3AH típusú megszakítója:

$$\text{Adatok: } U_n = 12 \text{ kV} \geq U_{hálózati} = 10 \text{ kV}$$

$$I_n = 2500 \text{ A} \geq I_{üzemi} = I_{üzemi}^{Tr} / (\text{ellátott leágazások száma}) \text{ A}$$

$$I_z = 63 \text{ kA} \geq I_{zmax} = 45,8 \text{ kA}$$

Ellenőrzés termikus igénybevételre:  $t_z = ?$ , ha  $t_t = 1 \text{ s}$

$$I_{th} \cdot \sqrt{t_t} \geq I_{zmax} \cdot \sqrt{t_z} \Rightarrow 63 \cdot \sqrt{1} \geq 44,5 \cdot \sqrt{t_z} \text{ amiből } t_z \leq 2 \text{ s .}$$

A védelem elvárt működési ideje maximum 2 s!

### **Feladatok:**

Legyen 8.1. ábra 120/10 kV-os állomásán a két  $S=36 \text{ MVA}$ -es,  $\varepsilon=8,2 \%$ -os transzformátor, amelyik párhuzamosan üzemel, és közöttük egy ideiglenesen tartalékot képező harmadik  $S = 40 \text{ MVA}$ -es,  $\varepsilon = 10,7 \%$ -os transzformátor. A mögöttes hálózat zárlati teljesítménye 2000 MVA. A betáplálási távvezeték ACSR 250/40-es acélalumínium sodrony. Az átkapcsolás idejére a transzformátorok párhuzamosan kapcsolhatók!

1. Válasszon megszakítót az 8.1. ábra két párhuzamosan üzemelő 36 MVA-es transzformátorának 120 kV-os mezőjébe (M3 és M5)!

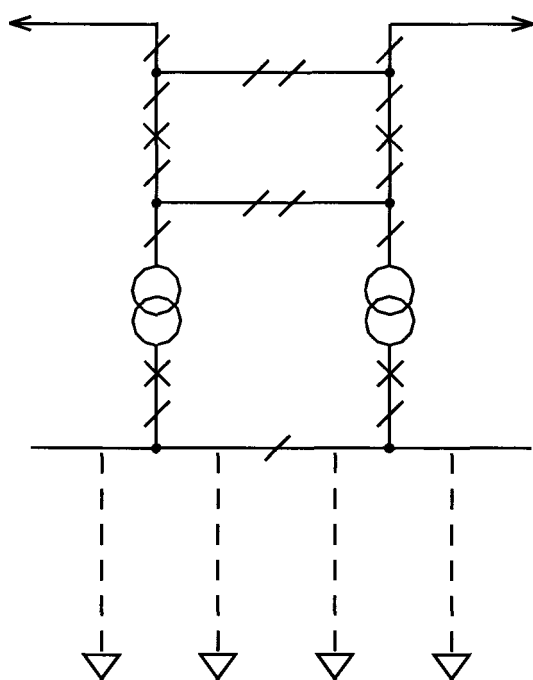
2. Válasszon megszakítót a két párhuzamosan üzemelő 36 MVA-es transzformátor 10 kV-os mezőjébe (M6 és M8)!

3. Válasszon megszakítót a 40 MVA-es tartaléktranszformátor 120 kV-os mezőjébe (M4)!

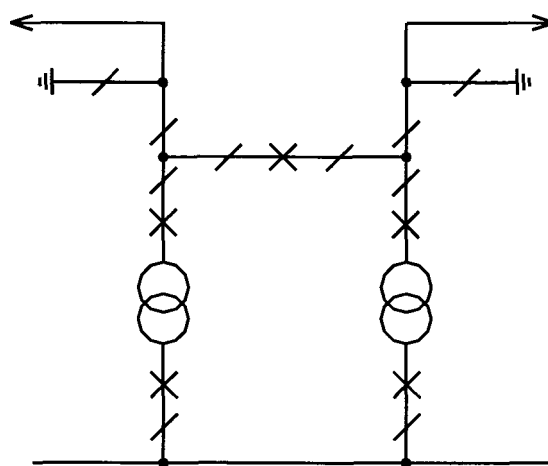
4. Válasszon megszakítót a 10 kV-os kábelleágazásokba, ha a leágazások egyenkénti üzemi teljesítménye 1,6 MVA (M9)!

5. A 8.2. ábra 120/10 kV-os H-kapcsolású transzformátorállomásában a két transzformátor közül az egyik tartalékot képez. A távvezeték felhasítási helyén a mögöttes hálózat zárlati teljesítménye 2000 MVA, a transzformátorok névleges teljesítménye 40 MVA, dropjuk: 10,7 %. Az átkapcsolás idejére a két transzformátor párhuzamosan kapcsolható!

Válassza ki a transzformátorállomás 120 kV-os megszakítóit!



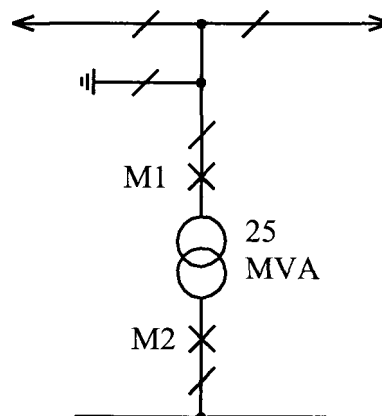
8.2. ábra



8.3. ábra

6. A 8.3. ábrán egy 220/20 kV-os  $\pi$  kapcsolású transzformátorállomás kapcsolási képe látható. Az állomás két transzformátora közül normál üzemmódban csak az egyik van üzemben, a másik 100 %-os tartalékot képez, de az átkapcsolás idejére a transzformátorok párhuzamosan kapcsolhatók! A szabadvezeték ACSR150/25-ös acélalumínium sodrony, a mögöttes hálózat zárlati teljesítménye a távvezeték felhasítási helyén 2500 MVA, a transzformátorok névleges teljesítménye 16 MVA, dropja: 7,8 %.

Válassza ki a 220 kV-os oldal megszakítóit (M1, M2 és M3)!



8.4. ábra

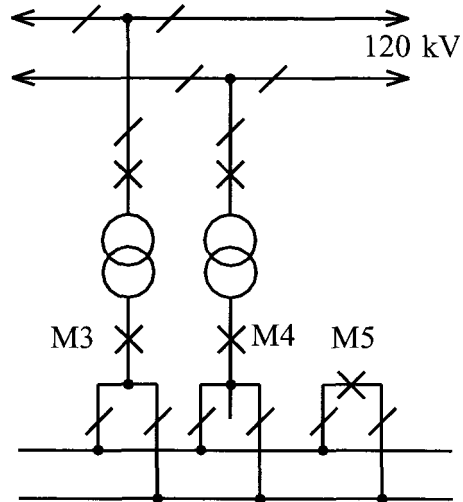
7. A 8.4. ábra T leágazású transzformátor-állomásában egy 120/30 kV-os transzformátor üzemel. A mögöttes hálózat zárlati teljesítménye a T leágazás helyén 2800 MVA, a transzformátor névleges teljesítménye 25 MVA, dropja 7,5 %.

- a.) Válassza ki a 120 kV-os transzformátor-mező megszakítóját (M1)!
- b.) Válassza ki a 30 kV-os transzformátor-mező megszakítóját (M2)!

8. Egy kettős T leágazású transzformátorállomás képét mutatja a 8.5. ábra kapcsolási rajza. A transzformátorok névleges feszültségáttetele 120/20 kV, névleges teljesítménye 63 MVA, dropja 12 %. A mögöttes hálózat zárlati teljesítménye a leágazási pontban 3000 MVA.

A két transzformátor a középfeszültségű gyűjtősínen keresztül nyújt egymásnak 100 %-os tartalékot, de az átkapcsolás idejére mindkét transzformátor a hálózatra kapcsolható, és ekkor a 20 kV-os sín zárlati teljesítménye 700 MVA.

- a.) Válasszon megszakítót a 120 kV-os transzformátor mezőbe (M1 és M2)!
- b.) Válasszon megszakítót a 20 kV-os transzformátor mezőbe (M3 és M4)!
- c.) Válasszon megszakítót a sínáthidaló mezőbe (M5)!



8.5. ábra

### Eredmények:

<p><b>1. feladat:</b> A kiválasztott készülék: ABB: LTB D1</p> $U_n = 123 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 120 \text{ kV}$ $I_n = 250 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 173 \text{ A}$ $I_z = 20 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 9,62 \text{ kA}$	<p><b>2. feladat:</b> A kiválasztott készülék: Siemens: 3AH</p> $U_n = 12 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 10 \text{ kV}$ $I_n = 2500 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 2078 \text{ A}$ $I_z = 63 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 20,8 \text{ kA}$
<p><b>3. feladat:</b> A kiválasztott készülék: ABB: LTB D1</p> $U_n = 123 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 120 \text{ kV}$ $I_n = 250 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 192,5 \text{ A}$ $I_z = 20 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 9,62 \text{ kA}$	<p><b>4. feladat:</b> A kiválasztott készülék: Siemens: 3AH</p> $U_n = 12 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 10 \text{ kV}$ $I_n = 800 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 92,5 \text{ A}$ $I_z = 63 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 44,5 \text{ kA}$
<p><b>5. feladat:</b> A kiválasztott készülék: ABB: LTB D1</p> $U_n = 123 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 120 \text{ kV}$ $I_n = 250 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 192,5 \text{ A}$ $I_z = 20 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 9,62 \text{ kA}$	<p><b>6. feladat:</b> A kiválasztott készülék: AEG: S2</p> $U_n = 245 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 220 \text{ kV}$ $I_n = 100 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 42 \text{ A}$ $I_z = 20 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 6,56 \text{ kA}$

(természetesen szóba jöhet az AEG S1 típusú megszakítója is – ld. az 1. feladatnál)

<p><b>7.a feladat:</b> A kiválasztott készülék: ABB: LTB D1</p> $U_n = 123 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 120 \text{ kV}$ $I_n = 250 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 120 \text{ A}$ $I_z = 20 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 13,5 \text{ kA}$	<p><b>7.b feladat:</b> A kiválasztott készülék: Siemens: 3AH</p> $U_n = 35 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 30 \text{ kV}$ $I_n = 800 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 481 \text{ A}$ $I_z = 50 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 5,74 \text{ kA}$
<p><b>8.a feladat:</b> A kiválasztott készülék: ABB: HPL-B</p> $U_n = 123 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 120 \text{ kV}$ $I_n = 350 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 303 \text{ A}$ $I_z = 20 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 14,4 \text{ kA}$	<p><b>8.b feladat:</b> A kiválasztott készülék: ABB: LTB D1</p> $U_n = 24 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 20 \text{ kV}$ $I_n = 2500 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 1818 \text{ A}$ $I_z = 25 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 12,9 \text{ kA}$
<p><b>8.c feladat:</b> A kiválasztott készülék: ABB: LTB D1</p> $U_n = 24 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 20 \text{ kV}$ $I_n = 2500 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 1818 \text{ A}$ $I_z = 25 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 20,2 \text{ kA}$	<p>(A 8.b. és 8.c. feladatban a 2500 A névleges áram választása - 2000 A helyett – a transzformátorok túlterhelhetősége miatt célszerű.)</p>

### 8.3.2.2. Szakaszolók

Megjegyzés:

A megszakítónál „A készülék legfontosabb kiválasztási szempontjai” fejezetben felsoroltak — a megszakításra vonatkozók kivételével — a szakaszolókra is vonatkoznak.

#### Kidolgozott példa:

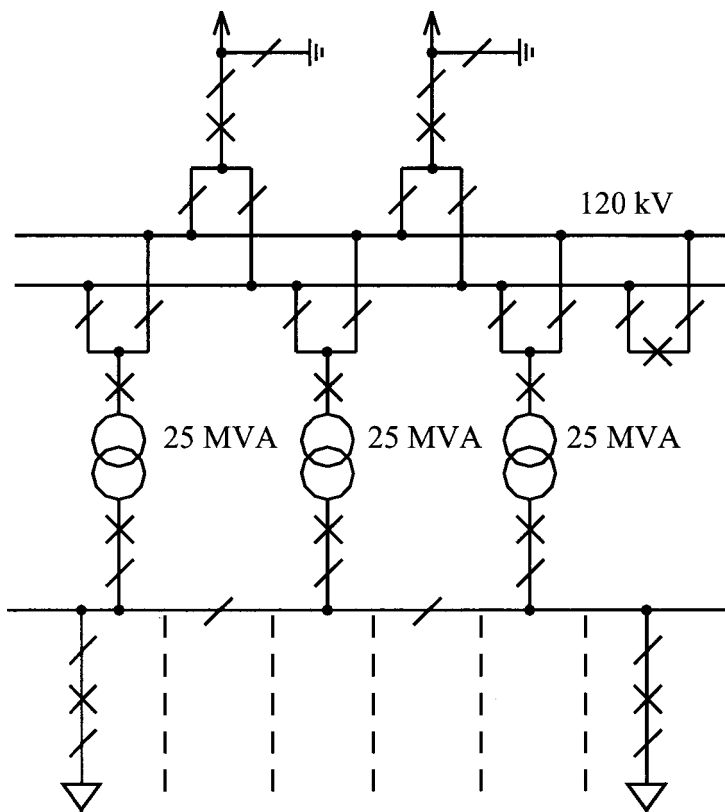
A 8.6. ábra 120/20 kV-os állomásában a két  $S=25$  MVA-es,  $\varepsilon=7,2$  %-os transzformátor párhuzamosan üzemel, a harmadik 25 MVA-es transzformátor csak tartalékot képez. A mögöttes hálózat zárlati teljesítménye 4000 MVA. A betáplálási távvezeték ACSR 185/60-es acélalumínium sodrony. Az átkapcsolás idejére a három transzformátor párhuzamosan kapcsolható. Válassza ki az állomás szakaszolóját!

a.) Szakaszoló kiválasztása a transzformátorok 120 kV-os mezőjébe:

$$\text{A transzformátorok primer névleges árama: } I_{üzemi} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 120 \cdot 10^3} = 120,3 \text{ A}$$

$$\text{A zárlati áram maximuma: } I_{z \max} = \frac{S_z^m}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 120} = 19,245 \text{ kA}$$

$$\text{A zárlati áram csúcserőértéke: } I_{zcs} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{z \max} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 19,245 = 48,11 \text{ kA}$$



8.6. ábra

A kiválasztott készülék:

A Függelék 2. táblázatából a DR típusjelű Merlin Gerin gyártmány:

$$\begin{aligned}U_n &= 123 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 120 \text{ kV} \\I_n &= 1250 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 120,3 \text{ A} \\I_{th} &= 31,5 \text{ kA} \geq I_{z \max} = 19,245 \text{ kA}\end{aligned}$$

Ellenőrzés termikus igénybevételre:  $t_z = ?$

$$I_{th} \cdot \sqrt{t_t} \geq I_{z \max} \cdot \sqrt{t_z} \Rightarrow 31,5 \cdot \sqrt{1} \geq 19,245 \cdot \sqrt{t_z} \text{ amiből } t_z \leq 2,68 \text{ s}$$

A védelmi működési idő kisebb kell, hogy legyen, mint 2,68 s!

b.) Szakaszoló kiválasztása a transzformátorok 20 kV-os mezőjébe:

A transzformátorok névleges árama:  $I_{\text{üzemi}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 721,7 \text{ A}$

A zárlati áram maximumának meghatározása:

$$\begin{aligned}S_z^{Tr} &= \frac{100}{\varepsilon} \cdot S_n = \frac{100}{7,2} \cdot 25 = 347,2 \text{ MVA} \\S_{ze} &= S_z^m \otimes (S_z^{Tr} + S_z^{Tr} + S_z^{Tr}) = 4000 \otimes (3 \cdot 347,2) = 826,4 \text{ MVA} \\I_{z \max} &= \frac{S_{ze}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{826,4}{\sqrt{3} \cdot 20} = 23,8 \text{ kA}\end{aligned}$$

A zárlati áram csúcértéke:

$$I_{zcs} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{z \max} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 23,8 = 60,7 \text{ kA}$$

A kiválasztott készülék:

A Függelék 2. táblázatából a TG típusjelű AEG gyártmány:

$$\begin{aligned}U_n &= 24 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 20 \text{ kV} \\I_n &= 1250 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 721,7 \text{ A} \\I_{th} &= 31,5 \text{ kA} \geq I_{z \max} = 23,8 \text{ kA}\end{aligned}$$

Ellenőrzés termikus igénybevételre:  $t_z = ?$

$$I_{th} \cdot \sqrt{t_t} \geq I_{z \max} \cdot \sqrt{t_z} \Rightarrow 31,5 \cdot \sqrt{1} \geq 23,8 \cdot \sqrt{t_z} \text{ amiből } t_z \leq 1,75 \text{ s}$$

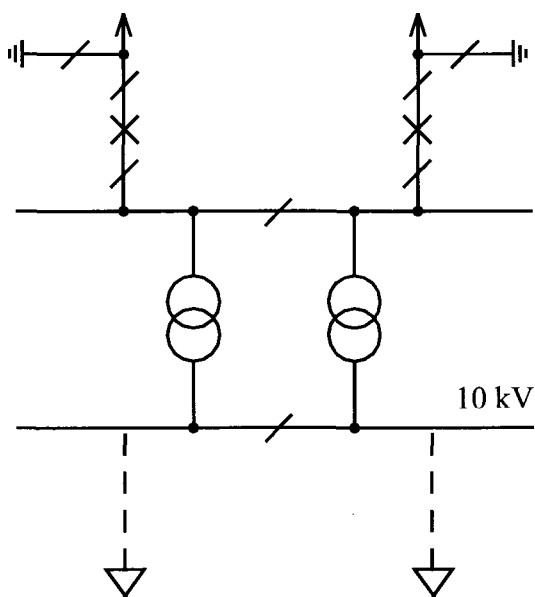
A védelmi működési idő kisebb kell, hogy legyen, mint 1,75 s!

### Feladatok:

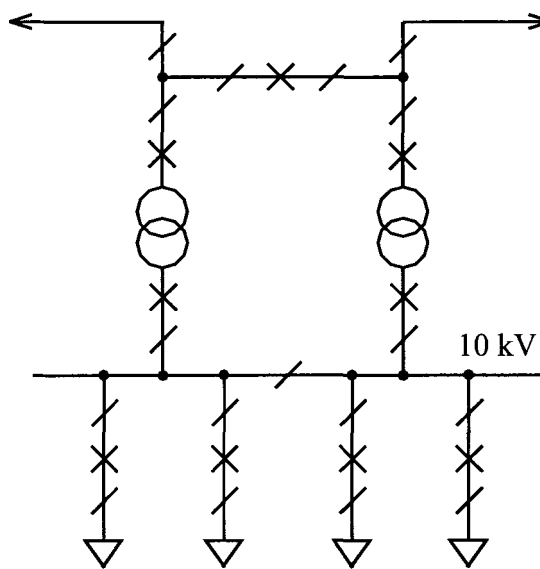
1. Válassza ki a 8.6. ábra betáplálási távvezetékének szakaszolóját!
2. Válasszon szakaszolót 8.6. ábra két 20 kV-os kábeléágzásába, ha a leágazások egyenkénti üzemi teljesítménye 21 MVA!
3. A 8.7. ábra 35/10 kV-os transzformátorállomásában a 40 MVA-es transzformátor az üzemi, a 25 MVA-es transzformátor tartalékoképez. Az átkapcsolás idejére sem kapcsolható a két transzformátor párhuzamosan! A mögöttes hálózat zárlati teljesítménye 1150 MVA.
  - a.) Válassza ki a 40 MVA-es transzformátor 35 kV-os mezőinek szakaszolóját!
  - b.) Válassza ki a 25 MVA-es transzformátor 35 kV-os mezőinek szakaszolóját!
4. A 8.8. ábrán egy 120/10 kV-os  $\pi$  kapcsolású transzformátorállomás kapcsolási képe látható. Az állomás két transzformátora közül normál üzemmódban csak az egyik van üzemben, a másik tartalékként szolgál, de az átkapcsolás idejére a két transzformátor párhuzamosan kapcsolható!

A szabadvezeték ACSR 250/40-ös acélalumínium sodrony, a mögöttes hálózat zárlati teljesítménye 2500 MVA, a transzformátorok névleges teljesítménye 16 MVA, dropjuk 8 %.

  - a.) Válassza ki a 120 kV-os oldal szakaszolóját!
  - b.) Válassza ki a vezetéki szakaszolót!

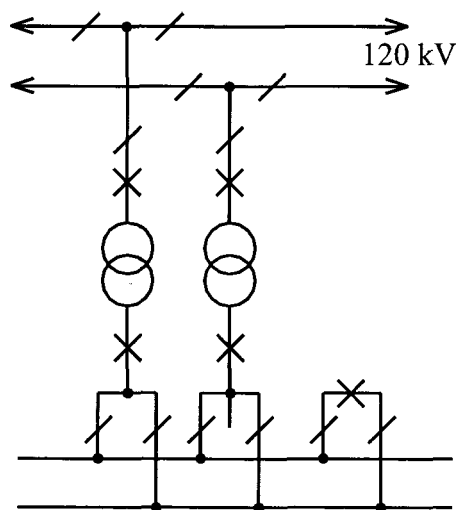


8.7. ábra



8.8. ábra

5. Egy kettős T leágazású transzformátorállomás képét mutatja a 8.9. ábra kapcsolási rajza. A transzformátorok névleges feszültségátétele 120/20 kV, névleges teljesítményük 63 MVA, dropjuk 10 %. A mögöttes hálózat zárlati teljesítménye 4000 MVA. A két transzformátor a közép-feszültségű gyűjtősínen keresztül nyújt egymásnak 100 %-os tartalékot, de az átkapcsolás idejére a transzformátorok párhuzamosan kapcsolhatók!



8.9. ábra

a.) Válasszon szakaszolót a 120 kV-os transzformátormezőbe!

b.) Válasszon szakaszolót a 20 kV-os transzformátormezőbe!

c.) Válasszon szakaszolót a sínáthidalóba!

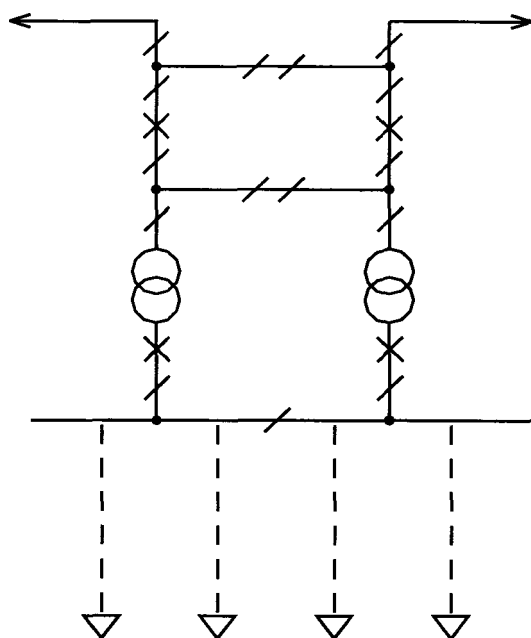
6. A 8.10. ábra 120/10 kV-os H-kapcsolású transzformátorállomásán a két transzformátor közül az egyik tartalékot képez. A szabadvezeték 95-mm<sup>2</sup> keresztmetszetű nemesített alumínium sodrony, a mögöttes hálózat zárlati teljesítménye 2500 MVA, a transzformátorok névleges teljesítménye 40 MVA, dropjuk: 10,2 %. Az átkapcsolás idejére a két transzformátor párhuzamosan kapcsolható!

Válassza ki a transzformátorállomás 120 kV-os oldalán található szakaszolókat!

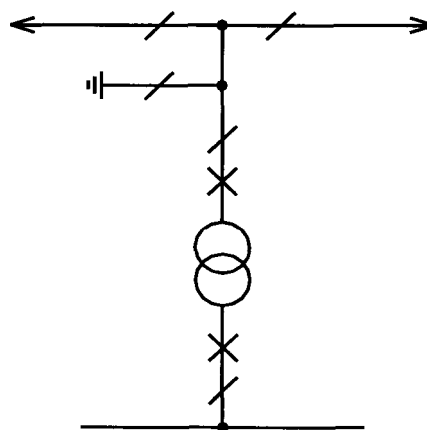
7. A 8.11. ábra T leágazású transzformátorállomásában egy 220/30 kV-os transzformátor üzemel. A mögöttes hálózat zárlati teljesítménye 3000 MVA, a transzformátor névleges teljesítménye 63 MVA, dropja 7,5 %.

a.) Válassza ki a 120 kV-os transzformátormező szakaszolóit!

b.) Válassza ki a 30 kV-os transzformátormező szakaszolóit!



8.10. ábra



8.11. ábra

**Eredmények:**

<b>1. feladat:</b> A kiválasztott készülék: Merlin Gerin: DR $U_n = 123 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 120 \text{ kV}$ $I_n = 1250 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 540 \text{ A}$ $I_z = 31,5 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 19,245 \text{ kA}$	<b>2. feladat:</b> A kiválasztott készülék: KVGY: SS $U_n = 24 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 20 \text{ kV}$ $I_n = 630 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 606 \text{ A}$ $I_z = 31,5 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 23,9 \text{ kA}$
<b>3.a feladat:</b> A kiválasztott készülék: Siemens: 3DC $U_n = 36 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 35 \text{ kV}$ $I_n = 1250 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 660 \text{ A}$ $I_z = 31,5 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 19 \text{ kA}$	<b>3.b feladat:</b> A kiválasztott készülék: Siemens: 3AH $U_n = 36 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 35 \text{ kV}$ $I_n = 630 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 412 \text{ A}$ $I_z = 20 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 19 \text{ kA}$

<b>4. feladat:</b> A kiválasztott készülék: Merlin Gerin: DR $U_n = 123 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 120 \text{ kV}$ $I_n = 1250 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 540 \text{ A}$ $I_z = 20 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 12 \text{ kA}$	
<b>5.a feladat:</b> A kiválasztott készülék: AEG: Z $U_n = 123 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 120 \text{ kV}$ $I_n = 1000 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 303 \text{ A}$ $I_z = 20 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 19,245 \text{ kA}$	<b>5.b feladat:</b> A kiválasztott készülék: AEG: TG $U_n = 24 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 20 \text{ kV}$ $I_n = 2500 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 1818 \text{ A}$ $I_z = 31,5 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 15,7 \text{ kA}$
<b>5.c feladat:</b> A kiválasztott készülék: AEG: TG $U_n = 24 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 20 \text{ kV}$ $I_n = 2500 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 1818 \text{ A}$ $I_z = 31,5 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 27,66 \text{ kA}$	

**6. feladat:**

A kiválasztott készülék: Merlin Gerin: SRT

$$U_n = 123 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 120 \text{ kV}$$

$$I_n = 500 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}}^{\text{max}} = 245 \text{ A}$$

$$I_z = 20 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 12 \text{ kA}$$

**7.a feladat:**

A kiválasztott készülék: AEG: Z

$$U_n = 245 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 220 \text{ kV}$$

$$I_n = 1000 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 165 \text{ A}$$

$$I_z = 31,5 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 7,87 \text{ kA}$$

**7.b feladat:**

A kiválasztott készülék: AEG: TG

$$U_n = 36 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 35 \text{ kV}$$

$$I_n = 1250 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 1212 \text{ A}$$

$$I_z = 31,5 \text{ kA} \geq I_{z \text{ max}} = 12,6 \text{ kA}$$

### 8.3.3. Áramváltók

*A készülék legfontosabb kiválasztási szempontjai:*

1. Rated voltage

Nennspannung

A készülék névleges feszültsége:  $U_n$     A hálózat legnagyobb üzemi feszültsége:  $U_{\text{hálózati}}$

Kiválasztás:  $U_n \geq U_{\text{hálózati}}$

2. Rated primary current with

A készülék névleges primer árama:  $I_{1n}$

Kiválasztás:  $I_{1n} \geq I_{\text{üzemi}}$

ahol  $I_{\text{üzemi}}$  = a hálózat tartós legnagyobb üzemi árama

3. Rated secondary current

A készülék névleges szekunder árama:  $I_{2n}$

Kiválasztás:  $I_{2n} \geq I_{\text{terhelő}}$

ahol  $I_{\text{terhelő}}$  = az áramváltó szekunder körét terhelő üzemi áram.

4. Thermal limit current vagy Rated short-time withstand current    Nennkurzzeitstrom

Zárlati termikus igénybevétel (termikus határáram):  $I_{th}$

5. Duration of short circuit

Nennkurzschlussdauer

Termikus időhatár:  $t_t$

Opening time

Ausschalteigenzeit

Védelmi működési idő:  $t_z$

4...5. Kiválasztás:  $I_{th} \cdot \sqrt{t_t} \geq I_z \cdot \sqrt{t_z}$

ahol  $I_z$  = a hálózat zárlati árama:

6. Making current/peak

Nenn-Kruzschluseinschaltstrom

Dinamikus határáram:  $I_d$

Kiválasztás:  $I_d \geq k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{z \max}$     azaz  $I_d \geq I_{zcs}$

ahol  $k$  az R/X viszony függvénye (felvett értéke általában 1.8)

7. Rated capacity

Scheinleistung

Névleges teljesítmény:  $S_n$

Kiválasztás:  $S_n \geq S_{\ddot{u}}^{\text{vez}}$

ahol  $S_{\ddot{u}}^{\text{vez}}$  = az összekötő vezeték üzemi teljesítménye:

## Kidolgozott példák:

### 1. Példa:

A 8.12. ábra T leágazású transzformátor-állomásában egyetlen 120/30 kV-os transzformátor üzemel. A mögöttes hálózat zárlati teljesítménye 2000 MVA, a transzformátor névleges teljesítménye 40 MVA, dropja 8,7 %. A 7 db leágazás egyenletes árameloszlású.

- a.) Válassza ki a 120 kV-os transzformátor-mező áramváltóját (ÁV1), ha az áramváltót és az ampermérőt összekötő vezeték hossza összesen 52 m (a műszer 26 m-re van az áramváltótól), a vezeték anyaga réz,  $\cos \beta$ -ja 0,8 és keresztmetszete  $1,5 \text{ mm}^2$ !

A 40 MVA-es transzformátor névleges árama:

$$I_{üzemi} = \frac{S_n^{Tr40}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{40 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 120 \cdot 10^3} = 192,5 \text{ A}$$

A legnagyobb zárlati áram:

$$I_{z \max} = \frac{S_z^m}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 120} = 9,62 \text{ kA}$$

A legnagyobb zárlati áram értéke:  $I_{zcs} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{z \max} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,62 = 24,5 \text{ kA}$

Az áramváltó szekunder oldali üzemi terhelése:  $S_{ü}^{vez} = I_{2n}^2 \cdot Z^{vez}$

ahol  $Z^{vez} = \rho \cdot \frac{l_{\sigma}}{A} \cdot \frac{1}{\cos \beta}$  a vezetékimpedancia.

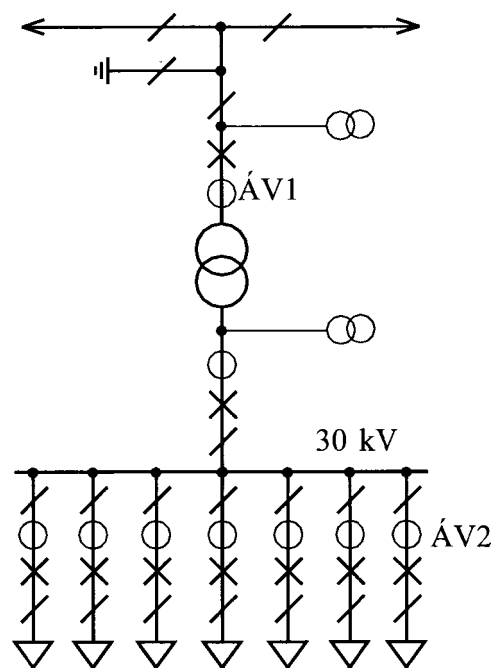
Ez alapján:  $Z^{vez} = \frac{1}{56} \cdot \frac{52}{1,5} \cdot \frac{1}{0,8} = 0,77 \Omega$ , tehát  $S_{ü}^{vez} = 5^2 \cdot 0,77 = 19,34 \text{ VA}$ .

Megjegyzés: A korszerű elektronikus berendezések teljesítményfelvétele a vezetékek teljesítményfelvétele mellett elhanyagolható!

A kiválasztott készülék:

A Függelék 8. táblázatából az AMN-120 típusjelű Transzvill gyártmány:

$$\begin{aligned} U_n &= 123 \text{ kV} &> U_{hálózati} &= 120 \text{ kV} \\ I_{1n} &= 200 \text{ A} &> I_{üzemi} &= 192,5 \text{ A} \\ S_n &= 30 \text{ VA} &> S_{ü}^{vez} &= 19,34 \text{ VA} \\ I_{2n} &= 5 \text{ A} \end{aligned}$$



8.12. ábra

Ellenőrzés termikus zárlatbiztonságra:

$$I_{th} = 20 \text{ kA} \geq I_{z \max} = 9,62 \text{ kA}, \text{ tehát megfelel.}$$

Ellenőrzés termikus igénybevételre:  $t_z = ?$

$$I_{th} \cdot \sqrt{t_t} \geq I_{z \max} \cdot \sqrt{t_z} \Rightarrow 20 \cdot \sqrt{1} \geq 9,6 \cdot \sqrt{t_z} \quad \text{amiből} \quad t_z \leq 4,34 \text{ s}$$

A védelmi működési idő kisebb kell, hogy legyen, mint 4,34 s!

b.) A 30 kV-os transzformátormező áramváltójának (ÁV2) kiválasztása:

Az áramváltó ebben a példában 5 m-rel messzebb van az ampermérőtől, mint az előzőben.

A 40 MVA-es transzformátor névleges árama:

$$I_{üzemi} = \frac{S_n^{Tr}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{40 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 30 \cdot 10^3} = 770 \text{ A}$$

A legnagyobb zárlati áram meghatározása:

$$S_z^{Tr} = \frac{100}{\varepsilon} * S_n = \frac{100}{8,7} * 40 * 10^6 = 459,7 \text{ MVA}$$

$$S_{ze} = S_z^m \otimes S_z^{Tr} = 2000 \otimes 459,7 = 373,8 \text{ MVA}$$

$$I_{z \max}^{30} = \frac{S_{ze}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{373,8 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 30 \cdot 10^3} = 7194 \text{ A}$$

A zárlati áram csúcértéke:  $I_{zcs} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{z \max} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,2 = 18,344 \text{ kA}$

Az áramváltó szekunder oldali üzemi terhelése:

$$Z^{vez} = \rho \cdot \frac{l_{\sigma}}{A} \cdot \frac{1}{\cos \beta} = \frac{1}{56} \cdot \frac{62}{1,5} \cdot \frac{1}{0,8} = 0,923 \text{ } \Omega \quad \text{figyelembe vételével:}$$

$$S_{ü}^{vez} = I_{2n}^2 \cdot Z^{vez} = 5^2 \cdot 0,923 = 23,06 \text{ VA}$$

A kiválasztott készülék:

A Függelék 8. táblázatából az AMN-40 típusjelű Transzvill gyártmány:

$$U_n = 35 \text{ kV} \geq U_{hálózati} = 30 \text{ kV}$$

$$I_{1n} = 1000 \text{ A} \geq I_{üzemi} = 770 \text{ A}$$

$$S_n = 30 \text{ VA} \geq S_{ü}^{vez} = 24,6 \text{ VA}$$

$$I_{2n} = 5 \text{ A}$$

Ellenőrzés termikus zárlatbiztonságra:

$$I_{th} = 100 \text{ kA} \geq I_{z \max} = 7,2 \text{ kA}, \text{ tehát megfelel.}$$

Ellenőrzés termikus igénybevételre:  $t_z = ?$

$$I_{th} \cdot \sqrt{t_t} \geq I_{zmax} \cdot \sqrt{t_z} \Rightarrow 7,2 \cdot \sqrt{1} \geq 100 \cdot \sqrt{t_z} \Rightarrow t_z \leq 192 \text{ s}$$

A védelmi működési idő kisebb kell, hogy legyen, mint 192 s!

## 2. Példa:

Az AM-24 típusú áramváltó névleges adatai a következők:

$$U_n = 35 \text{ kV}, \quad I_{1n} / I_{2n} = 1000 / 5 \text{ A}, \quad S_n = 30 \text{ VA.}$$

A zárlati teljesítmény az áramváltón keresztül táplált sínen 120 MVA. Mekkora a szekunder kapcsok között a feszültség a gyűjtősín zárlatakor?

A zárlati áram: 
$$I_{1z} = \frac{S_z}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{120 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 1979,5 \text{ A}$$

A zárlati áram értéke az áramváltó szekunder oldalán:

$$I_{2z} = \frac{I_{1z}}{a} = \frac{1979,5}{200} = 9,9 \text{ A}$$

ahol az áramváltó áttétele:  $a = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}$

Az áramváltót terhelő impedancia nagysága:

$$Z_t = \frac{S_n}{I_{2n}^2} = \frac{30}{25} = 1,2 \text{ } \Omega$$

A szekunder kapcsok közötti feszültség a zárlat fennállása idején:

$$U_2 = I_{2z} \cdot Z_t = 9,9 \cdot 1,2 = 11,88 \text{ V}$$

## Feladatok:

1. Válassza ki az előző példához (8.12. ábra) az egyes leágazások áramváltóit (ÁV3), ha a mérőműszer 57 méterre van a mérőváltótól, a bekötővezeték  $A=2,5 \text{ mm}^2$ -es tömör rézvezeték,  $\cos \beta = 0,8$ .

2. Mekkora lehet az előző példában a bekötővezeték hossza, ha  $A=4 \text{ mm}^2$  keresztmetszetű vezetékkel csatlakoztatjuk a műszert?

3. Hány VA egy AHM-35 típusú áramváltó üzemi terhelése, és megengedhető-e ez, ha az áramváltó szekunder oldalán 3,5 V mérhető az üzemi áram esetén?

$$I_{1n} / I_{2n} = 200 / 5 \text{ A}; \quad S_n = 30 \text{ VA}; \quad I_{üzemi} = 100 \text{ A}; \quad U_2 = 3,5 \text{ V}$$

4. Egy AM-24 típusú áramváltó névleges adatai:

$$U_n = 20 \text{ kV} \quad I_{1n} / I_{2n} = 200 / 5 \text{ A}, \quad S_n = 15 \text{ VA.}$$

Ha a zárlati teljesítmény az áramváltón keresztül táplált sínen 145 MVA, mekkora a szekunder kapcsok között mérhető feszültség?

5. A 8.13. ábra 120/20 kV-os H-kapcsolású transzformátorállomásán a két transzformátor közül az egyik tartalékot képez. A mögöttes hálózat zárlati teljesítménye 2600 MVA, a transzformátorok névleges teljesítménye 40 MVA, dropjuk: 10,5 %. Az átkapcsolás idejére a két transzformátor párhuzamosan kapcsolható! A műszerek 50 m-re vannak az áramváltótól, az összekötő vezeték 1,5 mm<sup>2</sup> keresztmetszetű rézvezeték,  $\cos \beta = 0,8$ .

Válassza ki a transzformátorállomás 20 kV-os oldali áramváltóit (ÁV3 és ÁV4)!

6. Egy állomásban 1 A-es mérőváltót kell beépíteni. A mérőváltótól 20 m-re lenne a műszer. A bekötővezeték kereszt-metszete  $A=2,5 \text{ mm}^2$ ; anyaga réz,  $\cos \beta = 0,8$ .

Mekkora teljesítményű legyen a mérőváltó?

7. Kicserélhetjük-e a vezetékét az előző példában 0,75 mm<sup>2</sup>-esre anélkül, hogy áramváltót kellene cserélnünk?

8. Egy MAS-24 típusú áramváltóhoz kell bekötnünk egy tőle 32 m-re lévő mérő-műszert. A rendelkezésre álló adatok:

$$U_n = 20 \text{ kV}; \quad I_{1n} / I_{2n} = 300 / 5 \text{ A};$$

$$S_n = 30 \text{ VA}; \quad \cos \beta = 0,8;$$

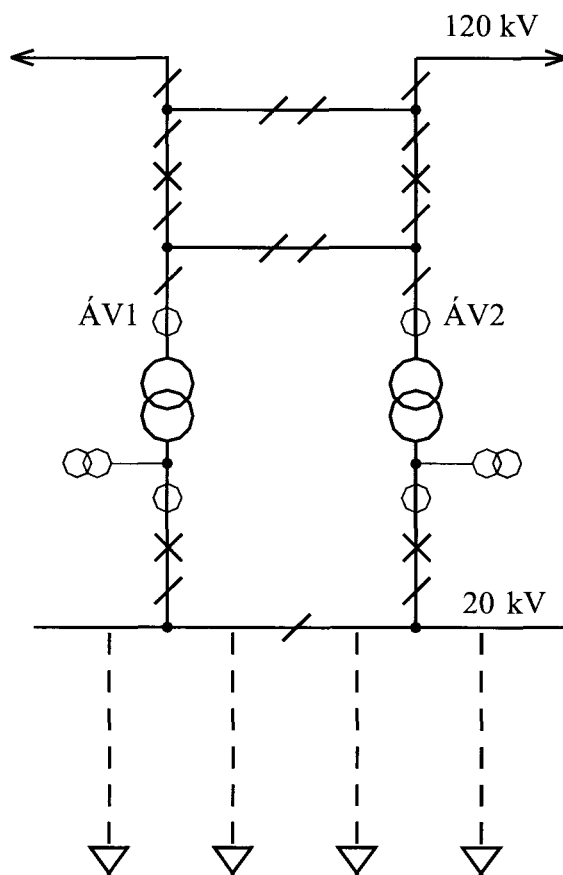
a bekötővezeték anyaga réz.

Mekkora legyen a bekötővezeték kereszt-metszete?

9. Egy VÁV: MAS-12 típusú áramváltón keresztül a gyűjtősín felé folyó zárlati áram  $U_2 = 200 \text{ V}$  feszültséget hoz létre a szekunder kapcsok között. Az áramváltó adatai:

$$U_n = 12 \text{ kV}; \quad I_{1n} / I_{2n} = 400 / 5 \text{ A}; \quad S_n = 60 \text{ VA}$$

Mekkora a fellépő zárlati teljesítmény a gyűjtősínen?



7.13. ábra

10. Egy gyűjtősín zárlati teljesítménye  $S_z = 189$  MVA. A zárlat alatt a szekunder kapcsok között a feszültség 736,44 V. Az áramváltó adatai:

$$U_n = 10 \text{ kV}; \quad I_{1n} / I_{2n} = 75/5 \text{ A.}$$

Mekkora a zárlati áram értéke az áramváltó szekunder oldalán?

**Eredmények:**

<p><b>1. feladat:</b> A kiválasztott készülék: ARM-35 típusjelű VBKM gyártmány</p> $U_n = 35 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 30 \text{ kV} \quad I_{1n} = 300 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 110 \text{ A}$ $S_n = 30 \text{ VA} \geq S_{\text{ü}} = 25,45 \text{ kA} \quad I_{2n} = 5 \text{ A} \quad I_t = 30 \text{ kA}$
<p><b>2. feladat:</b> A bekötővezeték hossza: <math>X = 107,5</math> m.</p>
<p><b>3. feladat:</b> Az áramváltó üzemi terhelése: <math>8,75 \text{ VA} &lt; 30 \text{ VA}</math>, tehát megengedett.</p>
<p><b>4. feladat:</b> Az áramváltó szekunder kapcsai között mérhető feszültség: <math>U_2 = 62,8 \text{ V}</math>.</p>
<p><b>5. feladat:</b> A kiválasztott készülék: AM-24 típusjelű Transzvíll gyártmány</p> $U_n = 20 \text{ kV} \geq U_{\text{hálózati}} = 20 \text{ kV} \quad I_{1n} = 1250 \text{ A} \geq I_{\text{üzemi}} = 1155 \text{ A}$ $S_n = 45 \text{ VA} \geq S_{\text{ü}} = 27,2 \text{ kA} \quad I_{2n} = 5 \text{ A} \quad I_t = 125 \text{ kA}$
<p><b>6. feladat:</b> Az áramváltó szekunder oldali üzemi terhelése: <math>S_{\text{ü}}^{\text{vez}} = 0,357 \text{ VA}</math> A legkisebb teljesítményű áramváltó: <math>S_n = 5 \text{ VA}</math></p>
<p><b>7. feladat:</b> <math>S_{\text{ü}}^{\text{vez}} = 1,19 \text{ VA}</math>, tehát ki lehet cserélni a vezetékét.</p>
<p><b>8. feladat:</b> A bekötő vezeték keresztmetszete: <math>A = 1,5 \text{ mm}^2</math></p>
<p><b>9. feladat:</b> A gyűjtősín zárlati teljesítménye: <math>S_z = 138,6 \text{ MVA}</math>.</p>
<p><b>10. feladat:</b> A zárlati áram értéke a szekunder oldalon: <math>I_{2z} = 727,5 \text{ A}</math></p>

### 8.3.4. Feszültségváltók

A készülék legfontosabb kiválasztási szempontjai:

1. Rated primary voltage

A feszültségváltó névleges primer feszültsége:  $U_{1n}$

Kiválasztás: 
$$U_{1n} \geq U_{\text{hálózati}}$$

ahol  $U_{\text{hálózati}}$  = a hálózat legnagyobb üzemi feszültsége.

2. Rated secondary voltage

A feszültségváltó névleges szekunder feszültsége:  $U_{2n}$

Kiválasztás: 
$$U_{2n} \geq U_{\text{terhelő}}$$

ahol  $U_{\text{terhelő}}$  = a feszültségváltó szekunder körét terhelő készülék névleges feszültsége

3. Rated capacity

Névleges teljesítmény:  $S_n$

Kiválasztás: 
$$S_n \geq S_{\text{ü}}^{\text{kész}}$$

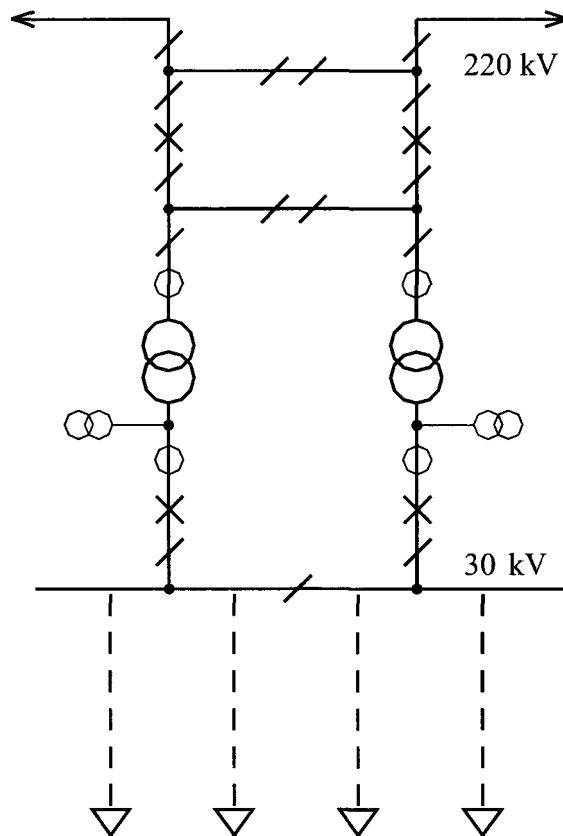
ahol  $S_{\text{ü}}^{\text{kész}}$  = a feszültségváltó szekunder körét terhelő készülék névleges teljesítménye:

**Kidolgozott példa:**

Egy 220/30 kV-os H kapcsolású transzformátorállomás (8.14. ábra) 30 kV-os mezőibe kell beépítenünk egy-egy 1 szekunder körös feszültségváltót (FV1 és FV2), amelyek közül az egyik egy 15 VA-es energiairányrelét, egy 12 VA-es feszültségrelét és egy 13 VA-es impedanciarelet, a másik egy 25 VA-es távolsági védelmet működtet. A relék és a védelem névleges feszültsége: 100 V. Válassza ki a reléket működtető feszültségváltót a függelék 9. táblázatából!

A relék összteljesítménye:

$$S^{\text{ö}} = S^E + S^U + S^Z = 15 + 12 + 13 = 40 \text{ VA}$$



8.14. ábra

A kiválasztott készülék:

A Függelék 9. táblázatából az

FFM-30 típusjelű VBKM gyártmány:

$$U_{1n} = 30 \text{ kV} = U_{\text{hálózati}}$$

$$U_{2n} = 100 \text{ V} = U_{\text{terhelő}}$$

$$S_n = 75 \text{ VA} (> 40 \text{ VA})$$

### Feladatok:

1. Válassza ki az előző példában a távolsági védelem működtetéséhez megfelelő feszültségváltót!

2. Egy T leágazású transzformátorállomásba (8.15. ábra) a 120/30 kV-os transzformátor mindkét mezőjébe be kell építeni egy-egy 2 szekunder körös feszültségváltót. A 120 kV-os mezőbe kötött feszültségváltó (FV1) egyik áramköre egy 20 VA-es zavarirót hajt meg, a másik áramköre egy 50 VA-es távolsági védelmet hajt meg. A 30 kV-os mezőbe kötött feszültségváltó (FV2) egyik áramköre egy 15 VA-es feszültségrelét és egy 20 VA-es energia-irányrelét hajt meg, a másik áramköre egy 40 VA-es távolsági védelmet hajt meg.

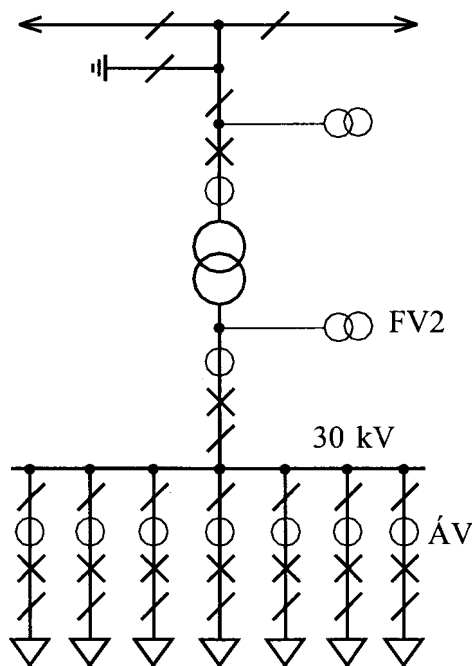
Válassza ki a függelék 9. táblázatából a 120 kV-os oldalhoz alkalmazható feszültségváltót (FV1), ha a műszerek és a relék feszültségtekercei 110 V-osak!

3. Válassza ki az előző feladat 30 kV-os primer feszültségű feszültségváltóját (FV2)!

4. Egy 220/20 kV-os  $\pi$  kapcsolású transzformátorállomás két 20 kV-os mezőjébe egy-egy 1 szekunder körös feszültségváltót kell beépíteni. Az egyik meghajt egy 5 VA-es számlálót, egy 20 VA-es impedanciarelét, egy 13 VA-es energiairányrelét és egy 23 VA-es feszültségrelét. A másik két 50 VA-es távolsági védelmet és két 23 VA-es feszültségrelét. A műszerek és a relék feszültségtekercei 100 V-osak.

a.) Válassza ki a 9. táblázatból a számlálót, az impedanciarelét, az energia-irányrelét és a feszültségrelét működtető feszültségváltót!

b.) Válassza ki a 9. táblázatból a távolsági védelmet- és a feszültségrelét működtető feszültség-váltót!



8.15. ábra

**Eredmények:**

<b>1. feladat:</b> A kiválasztott készülék: VÁV: FME-30 $U_{1n} = 30 \text{ kV} = U_{\text{hálózati}}$ $U_{2n} = 100 \text{ V} = U_{\text{terhelő}}$ $S_n = 30 \text{ VA} \geq S_{\ddot{u}}^{\text{kész}} = 25 \text{ VA}$	<b>2. feladat:</b> A kiválasztott készülék: ABB: LM-145 $U_{1n} = 120 \text{ kV} = U_{\text{hálózati}}$ $U_{2n} = 110 \text{ V} = U_{\text{terhelő}}$ $S_n = 100 \text{ VA} \geq S_{\ddot{u}}^{\text{kész}} = 70 \text{ VA}$
<b>3. feladat:</b> A kiválasztott készülék: VÁV: FO-30 $U_{1n} = 30 \text{ kV} = U_{\text{hálózati}}$ $U_{2n} = 110 \text{ V} = U_{\text{terhelő}}$ $S_n = 30 \text{ VA} \geq S_{\ddot{u}}^{\text{kész}} = 25 \text{ VA}$	
<b>4.a feladat:</b> A kiválasztott készülék: VÁV: FOSZ-20 $U_{1n} = 20 \text{ kV} = U_{\text{hálózati}}$ $U_{2n} = 100 \text{ V} = U_{\text{terhelő}}$ $S_n = 100 \text{ VA} \geq S_{\ddot{u}}^{\text{kész}} = 61 \text{ VA}$	<b>4.b feladat:</b> A kiválasztott készülék: VBKM: FM-20 $U_{1n} = 20 \text{ kV} = U_{\text{hálózati}}$ $U_{2n} = 100 \text{ V} = U_{\text{terhelő}}$ $S_n = 150 \text{ VA} \geq S_{\ddot{u}}^{\text{kész}} = 96 \text{ VA}$

### 8.3.5. Zárlatkorlátozó fojtótekercs

*A készülék legfontosabb kiválasztási szempontjai (adatai):*

1. Rated voltage                      Nennspannung

A készülék névleges feszültsége:  $U_n$  A hálózat legnagyobb üzemi feszültsége:  $U_{\text{hálózati}}$

Kiválasztás: 
$$U_n \geq U_{\text{hálózati}}$$

2. Rated normal current            Nennbetriebsstrom

A készülék névleges üzemi árama:  $I_n$  A hálózat tartós legnagyobb üzemi árama:  $I_{\text{üzemi}}$

Kiválasztás: 
$$I_n \geq I_{\text{üzemi}}$$

3. Rated breaking current        Nenn-Kruzschlussausschaltstrom

A készülék névleges zárlati megszakítóképessége:  $I_z ; S_z$

Kiválasztás: 
$$I_z \geq I_{z \text{ max}}$$

ahol  $I_{z \text{ max}}$  a hálózat legnagyobb zárlati árama a beépítés helyén

4. Making current/peak            Nenn-Kruzschluseinschaltstrom

Dinamikus határáram:  $I_d$

Kiválasztás: 
$$I_d \geq I_{zcs}$$
 ahol 
$$I_{zcs} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{z \text{ max}}$$

( $k$  az R/X viszony függvénye, felvett értéke általában 1.8)

5. Thermal limit current / Rated short-time withstand current

Nennkurzzeitstrom

Termikus határáram (másodpercáram):  $I_{th}$

6. Rated duration of short circuit    Nennkurzschlussdauer

Termikus időhatár:  $t_t$

7. Opening time                      Ausschalteigenzeit

Védelmi működési idő:  $t_z$

Kiválasztás: 
$$I_{th} \cdot \sqrt{t_t} \geq I_{z \text{ max}} \cdot \sqrt{t_z}$$
 (zárlati termikus igénybevételre)

ahol  $I_{z \text{ max}}$  a hálózat maximális zárlati árama a beépítés helyén:

### Alapösszefüggések:

A fojtótekeres szükséges reaktanciája: 
$$X_f = \frac{U_n^2}{S_{zu}} - \frac{U_n^2}{S_{ze}} \frac{\Omega}{\text{fázis}},$$

ahol  $S_{zu}$ : a fojtótekeres utáni (korlátozott) zárlati teljesítmény,  
 $S_{ze}$ : a fojtótekeres előtti (korlátozás nélküli) zárlati teljesítmény.

A fojtótekeres fázisonkénti feszültségese: 
$$e_f = I_n \cdot X_f \text{ V},$$

A fojtótekeres saját (fázisonkénti) teljesítménye: 
$$Q_n = I_n^2 \cdot X \text{ var},$$

A fojtótekeres háromfázisú névleges átmenő teljesítménye: 
$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \text{ VA},$$

A fojtótekeres névleges százalékos reaktanciája: 
$$\varepsilon = 100 \cdot \frac{3 \cdot Q_n}{S_n} \%,$$

A fojtótekeres névleges reaktanciája: 
$$X = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \Omega / \text{fázis}$$

### Kidolgozott példák:

#### 1. Példa:

Egy 20 kV-os gyűjtősín 3F zárlati teljesítménye 330 MVA. A leágazásba 100 MVA-es megszakítót kívánunk beépíteni (8.16. ábra). A leágazás névleges árama 250 A.

Válasszon fojtótekerceset a leágazásba!

A fázisonkénti reaktancia:

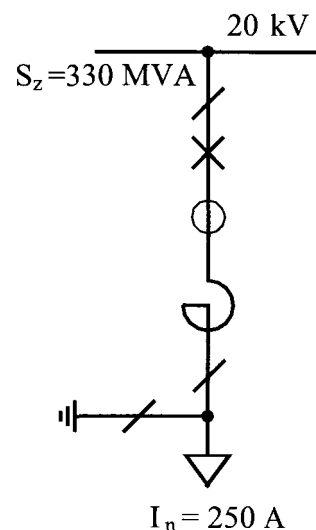
$$X_f = \frac{U_n^2}{S_{zu}} - \frac{U_n^2}{S_{ze}} = \frac{400 \cdot 10^6}{100 \cdot 10^6} - \frac{400 \cdot 10^6}{330 \cdot 10^6} = 2,8 \frac{\Omega}{\text{fázis}}$$

A fojtótekercesen eső feszültség %-os értéke:

$$e_f = I_n \cdot X_f = 250 \cdot 2,8 = 700 \text{ V}$$

$$\varepsilon_f = \frac{\sqrt{3} \cdot e_f}{U_n} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 700}{20 \cdot 10^3} \cdot 100 = 6 \%$$

A zárlati áram a fojtótekeres után: 
$$I_z = \frac{S_u}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 2886,7 \text{ A}.$$



$I_n = 250 \text{ A}$

8.16. ábra

A zárlati áram csúcserőértéke:  $I_{zcs} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{zmax} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,8867 = 7,36 \text{ kA}$

A kiválasztott készülék:

A Függelék 10. táblázatából a BCS-20-250-6 típusjelű gyártmány, a Csepel Művek Transzformátorgyárának terméke:

$$\begin{aligned} U_n = 20 \text{ kV} &\geq U_{hálózati} = 20 \text{ kV} \\ I_n = 250 \text{ A} &\geq I_{üzemi} = 250 \text{ A} \\ \varepsilon = 6 \% & \quad e = 692 \text{ V} \\ I_{th} = 4,15 \text{ kA} & \quad Q = 173 \text{ kvar} \end{aligned}$$

Ellenőrzés termikus igénybevételre:  $t_z = ?$

$$I_{th} \cdot \sqrt{t_t} \geq I_{zmax} \cdot \sqrt{t_z} \Rightarrow 4,15 \cdot \sqrt{1} \geq 2,887 \cdot \sqrt{t_z} \text{ amiből } t_z \leq 2,06 \text{ s}$$

A védelmi működési idő kisebb kell, hogy legyen, mint 2,06 s!

## 2. Példa:

Egy 6 kV-os sín 3F zárlati teljesítménye 100 MVA, a leágazások zárlatkorlátozó fojtó-tekercei: ACS-6-160-4 típusúak ( $U_n = 6 \text{ kV}$ ;  $I_n = 160 \text{ A}$ ;  $Q_n = 22,2 \text{ kvar}$ )

- Mekkora a fojtótekercs reaktanciája?
- Mekkora a leágazás korlátozott zárlati teljesítménye?

a.) A fojtótekercs névleges áramából és a saját (fázisonkénti) teljesítményéből a fázis-impedancia közvetlenül számolható:

$$X_f = \frac{Q_n}{I_n^2} = \frac{22,2 \cdot 10^3 \text{ VA}}{160^2 \text{ A}^2} = 0,867 \text{ } \Omega \text{ .}$$

b.) A mögöttes hálózat helyettesítő reaktanciája a sín zárlati teljesítménye alapján:

$$X_m = \frac{U_n^2}{S_z} = \frac{6^2 \cdot 10^6 \text{ V}^2}{100 \cdot 10^6 \text{ VA}} = 0,36 \text{ } \Omega \text{ .}$$

A zárlati kör eredő reaktanciája:

$$X_e = X_m + X_f = 0,36 + 0,867 = 1,227 \text{ } \Omega \text{ .}$$

A fojtótekercs utáni (korlátozott) teljesítmény:

$$S_z^u = \frac{U_n^2}{X_e} = \frac{6^2 \cdot 10^6 \text{ V}^2}{1,227 \text{ } \Omega} = 29,34 \text{ MVA} \text{ .}$$

### 3. Példa:

A 8.17. ábra 35/10 kV-os állomásában az egyik transzformátor – sötét átkapcsolással - tartalékokat képez. A mögöttes hálózat zárlati teljesítményét végtelennek tekintjük, a transzformátorok teljesítménye  $S_n = 16$  MVA, dropjuk  $\varepsilon = 7$  %. A 3 leágazás terhelő árama megegyezik. Szeretnénk egy Siemens:3AH típusú megszakítót beépíteni, melynek adatai:

$$U_n = 10 \text{ kV}; \quad I_n = 400 \text{ A};$$

$$I_z = 8,6 \text{ kA}.$$

Válasszuk ki a beépítendő fojtótekerceszt!

A transzformátor névleges árama:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{16 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10^4} = 924 \text{ A}.$$

Tehát egy leágazás árama:

$$I_{\text{leágazás}} = \frac{I_n}{3} = \frac{924}{3} = 308 \text{ A}.$$

A fázisonkénti reaktancia meghatározása a zárlati teljesítmények alapján:

A zárlati teljesítmények:

$$S_z^{TR} = \frac{100}{\varepsilon} \cdot S_n = \frac{100}{7} \cdot 16 = 228,6 \text{ MVA}$$

$$S_z^{\text{megsz}} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_z = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 8,6 = 149 \text{ MVA}$$

A fojtótekercesz szükséges (fázisonkénti) reaktanciája:

$$X_f = \frac{U_n^2}{S_z^u} - \frac{U_n^2}{S_z^e} = \frac{U_n^2}{S_z^{\text{megsz}}} - \frac{U_n^2}{S_z^{TR}} = \frac{100 \cdot 10^6}{149 \cdot 10^6} - \frac{100 \cdot 10^6}{228,6 \cdot 10^6} = 0,67 - 0,44 = 0,23 \frac{\Omega}{\text{fázis}}$$

A 10. táblázat alapján válasszuk a BCS 10-400-6 típusjelű fojtótekerceszt, melynek

$$\text{névleges termikus határárama:} \quad I_{\text{th}} = 6,65 \text{ kA},$$

$$\text{névleges teljesítménye:} \quad Q_n = 138 \text{ kvar}.$$

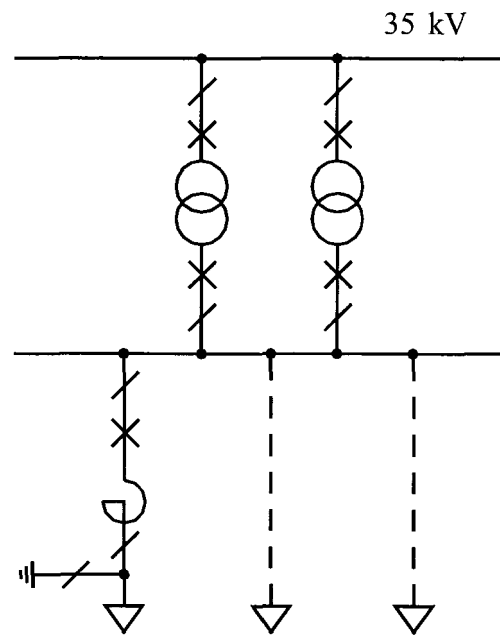
A kiválasztott fojtótekercesz fázisonkénti reaktanciája ez alapján:

$$X_f = \frac{Q_n}{I_n^2} = \frac{138 \cdot 10^3 \text{ VA}}{400^2 \text{ A}^2} = 0,863 \Omega.$$

Határozzuk meg a kiválasztott fojtótekercesz alkalmazása esetén kialakuló zárlati áram értékét!

$$\text{A transzformátor reaktanciája:} \quad X_{TR} = \frac{9}{100} \cdot \frac{10^2}{16} = 0,438 \Omega$$

$$\text{A kialakuló zárlati áram:} \quad I_z = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot (X_f + X_{TR})} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot (0,863 + 0,438)} = 4,44 \text{ kA}.$$



8.17. ábra

Ez a megszakító megszakítóképeségénél (8,6 kA) és a fojtótekercs névleges termikus határ-  
áramánál (6,65 kA) is kisebb, tehát a kiválasztott fojtótekercs megfelelő.

**Feladatok:**

1. Egy 10 kV-os gyűjtősín háromfázisú zárlati teljesítménye  $S_z = 400$  MVA. Az elmenő leágazás  $S_{zu} = 150$  MVA zárlati teljesítményre méretezendő!

a.) Mekkora a fojtótekercs szükséges reaktanciája? ( $X_f = ?$ )

b.) Válassza ki a szükséges fojtótekercset, ha a leágazási terhelés  $I_n = 789,5$  A.

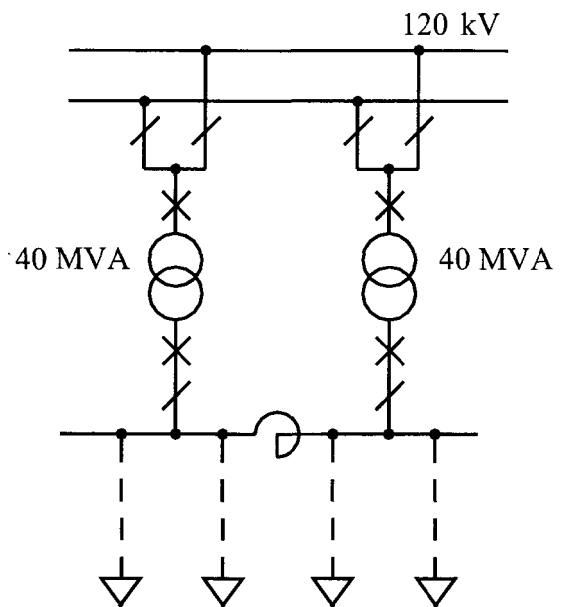
c.) Mekkora a választott fojtótekercs üzemi százalékos feszültségesése?

d.) Mekkora a fojtótekercs saját zárlati teljesítménye?

2. A 8.18. ábra 120/10 kV-os transzformátorállomásában a 120 kV-os mögöttes hálózat zárlati teljesítménye  $S_z = 3000$  MVA.

A transzformátorok teljesítménye egyenként  $S_n = 40$  MVA dropjuk  $\varepsilon = 10\%$  és párhuzamosan üzemelnek! A 10 kV-os gyűjtősínt 600 MVA-re akarjuk méretezni!

Számolja ki a gyűjtősínbé iktatott fojtó-tekercs reaktanciáját!



8.18. ábra

3. A 8.19. ábra 30 kV-os gyűjtősínjének zárlati teljesítménye 264,7 MVA. Az elmenő leágazások készülékeinek zárlati teljesítménye 150 MVA. A leágazás névleges árama 400 A.

a.) Mekkora a fojtótekercs fázisonkénti szükséges reaktanciája?

b.) Mekkora a fojtótekercsen fellépő feszültségesés fázisonkénti %-os értéke?

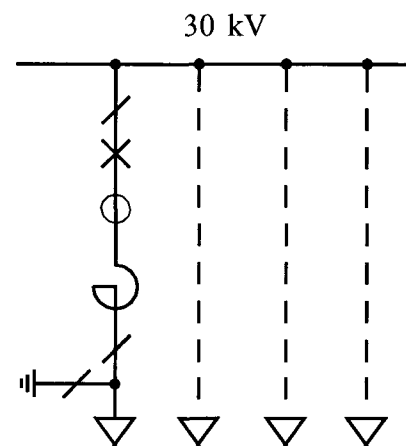
c.) Válassza ki a zárlatkorlátozó fojtótekercset a leágazásba!

4. Egy 10 kV-os gyűjtősínen a mögöttes hálózat zárlati teljesítménye 230 MVA, a leágazások zárlat-korlátozó fojtótekercsei: ACS-10-250-3 típusúak a következő névleges adatokkal:

$$U_n = 10 \text{ kV}; \quad I_n = 250 \text{ A}; \quad Q_n = 43,3 \text{ kvar}$$

a.) Mekkora a fojtó fázisonkénti reaktanciája ?

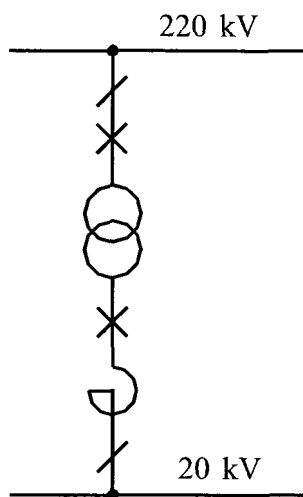
b.) Mekkora a leágazás korlátozott zárlati teljesítménye?



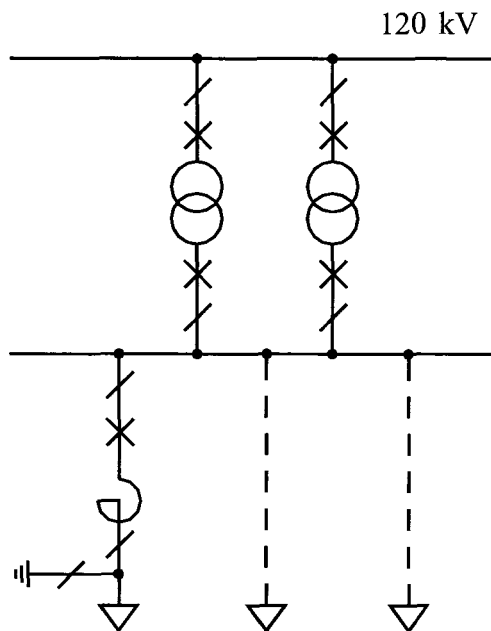
8.19. ábra

5. A 8.20. ábra 220/20 kV-os T leágazású transzformátorállomásának adatai a következők: a mögöttes hálózat zárlati teljesítménye  $S_z = 3600$  MVA a leágazási pontban; a transzformátor teljesítménye  $S_n = 63$  MVA és droppja  $\varepsilon = 9,8$  %. A 20 kV-os gyűjtősínt:  $S_{zu} = 230$  MVA-re akarjuk méretezni!

Mekkora a betáplálási fojtótekeres fázisonkénti reaktanciája?



8.20. ábra



8.21. ábra

6. Egy 15 kV-os sín zárlati teljesítménye 340 MVA, a leágazások zárlatkorlátozó fojtótekeresei BCS-15-400-6 típusúak, melyek adatai:

$$U_n = 15 \text{ kV}; \quad I_n = 400 \text{ A}; \quad Q_n = 208 \text{ kvar}$$

- Mekkora a fojtótekeres reaktanciája ?
- Mekkora a leágazás korlátozott zárlati teljesítménye?

7. A 8.21. ábra 120/20 kV-os állomásában az egyik transzformátor tartalékokat képez. (Átkapcsoláskor a két transzformátor párhuzamosan kapcsolható.) A mögöttes hálózat zárlati teljesítményét végtelennek tekintjük.

A transzformátorok teljesítménye  $S_n = 35$  MVA, droppjuk  $\varepsilon = 8,4$  %. A 3 leágazás terhelő árama megegyezik.

Szeretnénk egy Siemens:3AH típusú megszakítót beépíteni, melynek adatai:

$$U_n = 20 \text{ kV}; \quad I_n = 800 \text{ A}; \quad I_z = 16 \text{ kA}.$$

Válassza ki a beépítendő fojtótekerest!

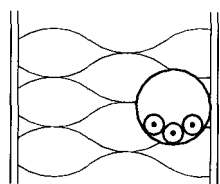
## Eredmények:

<b>1. feladat:</b>	a.) A fojtótekeres reaktanciája: $X_f = 0,417 \Omega$ b.) A fojtótekeres típusa: BCS10-1000-6 c.) A fojtótekeres üzemi százalékos feszültségesése: $\varepsilon = 5,7 \%$ d.) A fojtótekeres saját zárlati teljesítménye: $S_z = 150 \text{ MVA}$
<b>2. feladat:</b>	A fojtótekeres fázisonkénti reaktanciája: $X_f = 0,0357 \Omega$
<b>3. feladat:</b>	a.) A fojtótekeres reaktanciája: $X_f = 2,6 \Omega$ b.) A fojtótekeres üzemi százalékos feszültségesése: $\varepsilon = 6 \%$ c.) A fojtótekeres típusa: BCS30-400-6
<b>4. feladat:</b>	a.) A fojtótekeres reaktanciája: $X_f = 0,693 \Omega$ b.) A leágazás korlátozott zárlati teljesítménye: $S_z = 88,67 \text{ MVA}$ .
<b>5. feladat:</b>	A fojtótekeres fázisonkénti reaktanciája: $X_f = 1,006 \Omega$
<b>6. feladat:</b>	a.) A fojtótekeres reaktanciája: $X_f = 1,3 \Omega$ b.) A leágazás korlátozott zárlati teljesítménye: $S_z = 114,7 \text{ MVA}$ .
<b>7. feladat:</b>	A leágazások árama $I_{\text{leágazás}} = 337 \text{ A}$ , tehát elegendő 400 A névleges áramú fojtótekereset választani. A beépítendő fojtótekeres típusa: BCS 20-400-3. A fojtótekeres fázisonkénti reaktanciája: $X_f = 0,8625 \Omega$ . A kialakuló zárlati áram a fojtótekeres alkalmazásakor: $I_z = 8,6 \text{ kA}$ . A fojtótekeres névleges termikus határárama $I_{\text{th}} = 10 \text{ kA}$ , tehát megfelelő.

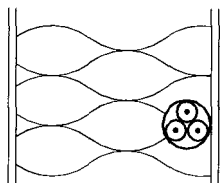
# Függelék

## Létesítési módszerek az MSZ 2064 alapján

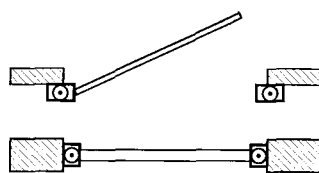
A



Köpeny nélküli szigetelt vezetékek hőszigetelt falba (min.  $10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) ágyazott védőcsőben

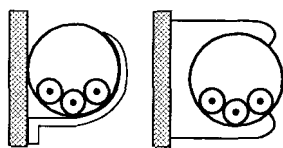


Többberű kábelek vagy köpenyes vezetékek közvetlenül hőszigetelt falba ágyazva

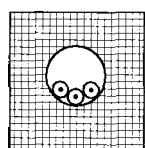


Védőcsőben lévő szigetelt vezeték, egy- vagy többberű kábel vagy köpenyes vezeték ajtókeretben vagy ablakkeretben

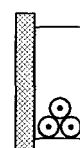
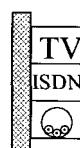
B



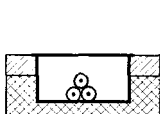
Köpeny nélküli szigetelt vezetékek vagy egyerű kábelek és köpenyes vezetékek fából készült falra vagy attól kis távolságra ( $< 0,3 \cdot D$ ) szerelt védőcsőben



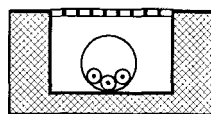
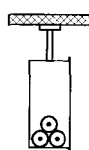
Köpeny nélküli szigetelt vezetékek vagy egyerű kábelek és köpenyes vezetékek téglafalba ágyazott védőcsőben (max.  $2 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ )



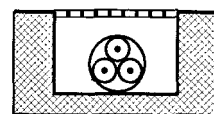
B



Köpeny nélküli szigetelt vezetékek padlóba süllyesztett, felfüggesztett vezetékcsatornában

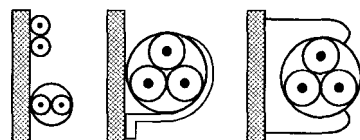


Védőcsőben elhelyezett köpeny nélküli szigetelt vezetékek a padlózatban lévő

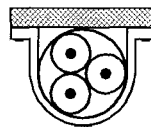


Egy- vagy többberű kábelek vagy köpenyes vezetékek vízszintesen vagy függőlegesen vezetett nyitott vagy szellőztetett kábelcsatornában

C



Egy- vagy többberű kábelek vagy köpenyes vezetékek közvetlenül a fából készült falra vagy attól kis távolságra ( $< 0,3 \cdot D$ ) szerelve



Egy- vagy többberű kábelek vagy köpenyes vezetékek közvetlenül a fából készült mennyezetre szerelve vagy perforálatlan tálcákon

1.táblázat Kábelek és vezetékek megengedett áramai [A] - az MSZ 2064-1:1998 alapján

Létesítési módszer		A terhelt vezetők száma és a szigetelés anyaga								
		3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE				
A				3 PVC	2 PVC		3 XLPE		2 XLPE	
B										
C										
Keresztmetszet, mm <sup>2</sup>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
R	1,5	13,5	14,5	15,5	17	18,5	19,5	22	23	24
	2,5	18	19,5	21	23	25	27	30	31	33
	4	24	26	28	31	34	36	40	42	45
	6	31	34	36	40	43	48	51	54	58
	10	42	46	50	54	60	63	70	75	80
É	16	56	61	68	73	80	85	94	100	107
	25	73	80	89	95	101	110	119	127	135
	35	89	99	110	117	126	137	147	158	169
Z	50	108	119	134	141	153	167	179	192	207
	70	136	151	171	179	196	213	229	246	268
	95	164	182	207	216	238	258	278	298	328
	120	188	210	239	249	276	299	322	346	382
	150	216	240		285	318	344	371		441
	185	245	273		324	362	392	424		506
	240	286	320		380	424	461	500		599
	300	328	367		440	486	530	576		693
A L U M Í N I U M	2,5	14	15	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26
	4	18,5	20	22	25	26	28	31	32	35
	6	24	26	28	32	33	36	39	42	45
	10	32	36	39	44	46	49	54	58	62
	16	43	48	53	58	61	66	73	77	84
	25	57	63	70	73	78	83	90	97	101
	35	70	77	86	90	96	103	112	120	126
	50	84	93	104	110	117	125	136	146	154
	70	107	118	133	140	150	160	174	187	198
	95	129	142	161	170	183	195	211	227	241
	120	149	164	186	197	212	226	245	263	280
	150	170	189		226	245	261	283		324
185	194	215		256	288	298	323		371	
240	227	252		300	338	352	382		439	
300	261	289		351	387	406	440		508	

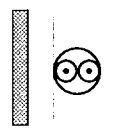
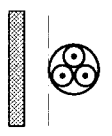
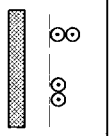
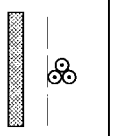
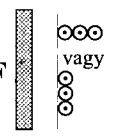
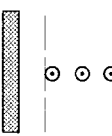
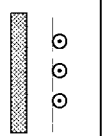
2. táblázat **Átszámítási tényezők ( $k_1$ ) a 30 °C-tól eltérő környezeti levegő-hőmérsékletre:**

Szigetelés		PVC	XLPE
Környezeti hőmérséklet, °C	10	1,22	1,15
	15	1,17	1,12
	20	1,12	1,08
	25	1,06	1,04
	30	1,00	1,00
	35	0,94	0,96
	40	0,87	0,91
	45	0,79	0,87
	50	0,71	0,82
	55	0,61	0,76
	60	0,50	0,71
	65		0,65
	70		0,58
	75		0,50
	80		0,41

3. táblázat **Redukciós tényezők ( $k_2$ ) egynél több áramkör vagy egynél több többesű kábel, illetve köpenyes vezeték csoportjaira:**

Elrendezés (kábelek vagy köpenyes vezetékek érintkezve)		Felületen kötegelve vagy beágyazva vagy burkolatban	Egy rétegben falon, padlózat, perforálatlan tálcán	Egy rétegben mennyezet
Az áramkörök vagy a többesű kábelek illetve köpenyes vezetékek száma	1	1,00	1,00	0,95
	2	0,80	0,85	0,81
	3	0,70	0,79	0,72
	4	0,65	0,75	0,68
	5	0,60	0,73	0,66
	6	0,57	0,72	0,64
	7	0,54	0,72	0,63
	8	0,52	0,71	0,62
	9	0,50	0,70	0,61
	12	0,45	0,70	0,61
	16	0,41	0,70	0,61
20	0,38	0,70	0,61	
Létesítési módszer		A.....C	C	C

4. táblázat Kábelek és vezeték megengedett áramai [A] - az MSZ 2064-1:1998 alapján

	A vezető névleges keresztmetszete, mm <sup>2</sup>	Létesítési módszer																
																		
		PVC XLPE	PVC XLPE	PVC XLPE	PVC XLPE	PVC XLPE	PVC XLPE	PVC XLPE	PVC XLPE	PVC XLPE	PVC XLPE	PVC XLPE	PVC XLPE					
R É Z	1,5	22	26	18,5	23													
	2,5	30	36	25	32													
	4	40	49	34	42													
	6	51	63	43	54													
	10	70	86	60	75													
	16	94	115	80	100													
	25	119	149	101	127	131	161	110	135	114	141	146	182	130	161			
	35	148	185	126	158	162	200	137	169	143	176	181	226	162	201			
	50	180	225	153	192	196	242	167	207	174	216	219	275	197	246			
	70	232	289	196	246	251	310	216	268	225	279	281	353	254	318			
	95	282	352	238	298	304	377	264	328	275	342	341	430	311	389			
	120	328	410	278	346	352	437	308	383	321	400	396	500	362	454			
	150	379	473	319	399	406	504	456	444	372	464	456	577	419	527			
	185	434	542	364	456	463	575	409	510	427	533	521	661	480	605			
	240	514	641	430	538	546	679	485	607	507	634	615	781	569	719			
300	593	741	497	621	629	783	561	703	587	736	709	902	659	833				
400					754	940	656	823	689	868	852	1085	795	1008				
500					868	1083	749	946	789	998	982	1253	920	1169				
630					1005	1254	855	1088	905	1151	1138	1454	1070	1362				
A L U M Í N I U M	2,5	23	28	19,5	24													
	4	31	38	26	32													
	6	39	49	33	42													
	10	54	67	46	58													
	16	73	91	61	77													
	25	89	108	78	97	98	121	84	103	87	107	112	138	99	122			
	35	111	135	96	120	122	150	105	129	109	135	139	172	124	153			
	50	135	164	117	146	149	184	128	159	133	165	169	210	152	188			
	70	173	211	150	187	192	237	166	206	173	215	217	271	196	244			
	95	210	257	183	227	235	289	203	253	212	264	265	332	241	300			
	120	244	300	212	263	273	337	237	296	247	308	308	387	282	351			
	150	282	346	245	304	316	389	274	343	287	358	356	448	327	408			
	185	322	397	280	347	363	447	315	395	330	413	407	515	376	470			
	240	380	470	330	409	430	530	375	471	392	492	482	611	447	561			
	300	439	543	381	471	497	613	434	547	455	571	557	708	519	652			
400					600	740	526	663	552	694	671	856	629	792				
500					694	856	610	770	640	806	775	991	730	921				
630					808	996	711	899	746	942	900	1154	882	1077				

5. táblázat Redukciós tényezők ( $k_2$ ) egynél több áramkör vagy egynél több többesű kábel, illetve köpenyes vezeték csoportjaira:

Elrendezés (kábelek vagy köpenyes vezetékek érintkezve)		Egy rétegben vízszintes vagy függőleges perforált tálcán	Egy rétegben kábellétrán vagy tartókonzolon stb.
Az áramkörök vagy a többesű kábelek, illetve köpenyes vezetékek száma	1	1,00	1,00
	2	0,88	0,87
	3	0,82	0,82
	4	0,77	0,80
	5	0,75	0,80
	6	0,73	0,79
	7	0,73	0,79
	8	0,72	0,78
	9	0,72	0,78
	12	0,72	0,78
	16	0,72	0,78
20	0,72	0,78	
Létesítési módszer		<b>E, F</b>	<b>E, F</b>

6. táblázat Megszakítók kiválasztási adatai

Gyártó/Típus	Névleges feszültség (kV)	Névleges áram (A)	Megszakítóképesség (kA)
Siemens: 3AH	7,2	800	25
		1250	20
	10	1250	40
		400	8,6
	12	800	25
		800	63
		1250	31,5
		1250	40
		2500	63
	15	800	20
		1250	31,5
		3150	40
	24	800	16
		2000	20
		2500	25
AEG: S1		500, 2000	31,5
Siemens: 3AH	35	500, 800	50
AEG: S1	52	2000	25
	72,5	1600, 2000	25
		3150	40
ABB: LTB D1		3150	40
AEG: S1	100	400, 630, 1250 2500, 3150	31,5
ABB: HPL-B	123	350	20
ABB: LTB D1		250	20
ABB: LTB D1		3150	40
AEG: S1		400, 630, 1250 2500, 3150	31,5
AEG: S1	145	3150	31,5
ABB: LTB D1		3150	40
AEG: S1	170	3150	40
ABB: LTB D1		3150	40
AEG: S1	245	3150	40
AEG: S2		100	20
ABB: HPL-B		2500	40
ABB: HPL-B	300	3150	31,5
ABB: HPL-B	420	4000	40
AEG: S2		4000	50

7. táblázat: Szakaszolók kiválasztási adatai

Gyártó / Típus	Névleges feszültség (kV)	Névleges áram (A)	Termikus határáram (másodpercáram - kA)
AEG: TG	12	630	20
		630, 1250, 1600, 2500	31,5
		1250, 2500, 3150	50
		4000, 6300	63
KVGY:SS		630	31,5
Siemens: 3DC	12	630	20, 31,5
		1250	31,5, 50, 63
		1600	31,5, 50, 63
		2500	31,5
AEG: TG	17,5	630	20
AEG: TG		1250, 2500	31,5
AEG: TG	24	630	16
		1250, 1600, 2500	31,5
		4000, 6300	50
		KVGY:SS	630
Siemens: 3DC	24	630	20
		1250, 1600, 2500	31,5
		AEG: TG	630
Siemens: 3DC	36	1250, 1600	31,5
		630	20
Siemens: 3DC	36	1250, 1600, 2500	31,5
		KVGY:SS	630
Merlin Gerin: DR	72,5	1250	31,5
		2000	40
Merlin Gerin: SRT		1600	40
Merlin Gerin: SV		1250, 2000	40
Merlin Gerin: DR	100	1250	31,5
		2000	40
		1600	40
		1250, 2000	40
AEG: Z	123	1000	20
		2000	40
Merlin Gerin: DR		500, 1250	20
Merlin Gerin: DR		1250	31,5
Merlin Gerin: DR		2000	40
Merlin Gerin: SRT		500	20
Merlin Gerin: SV	123	1600	40
		1250, 2000	40
AEG: Z	145	2000	40
Merlin Gerin: DR		1250	31,5
Merlin Gerin: DR		2000	40
Merlin Gerin: SV		1250, 2000	40
AEG: Z	170	3000	50
Merlin Gerin: DR		1250	31,5
Merlin Gerin: DR		2000	40
AEG: Z	245	1000	20
		1250	31,5
Merlin Gerin: DR		4000	63
Merlin Gerin: DR		2000, 2500	40
Merlin Gerin: SRT		1000	20
AEG: Z	420	2000	50
		4000	63
Merlin Gerin: DR	525	2000, 4000	40
AEG: Z		3000	50

8. táblázat: Áramváltók kiválasztási adatai

Gyártó : Típus	Névleges feszültség (kV)	Névleges primer áram (A)	Névleges szekundár áram (A)	Névleges teljesítmény (VA)	Termikus határáram (kA)
VBKM:AHM-10	10	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200	1, 5	10, 15, 30	100*I <sub>n</sub>
Transzvill:AM-12		5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 750, 1000, 1250	1, 5	15, 30, 45	100*I <sub>n</sub>
VÁV:MAS-12	12	10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600	1, 5	15, 30, 45, 60	100*I <sub>n</sub>
VBKM:AHM-20	20	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200	1, 5	10, 15, 30	100*I <sub>n</sub>
VBKM:ARM-20		300, 400, 500, 600, 800	1, 5	15, 30, 45, 60	100*I <sub>n</sub>
Transzvill:AM-24		5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 750, 1000, 1250	1, 5	15, 30, 45, 60	100*I <sub>n</sub>
VÁV:MAS-24	24	10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600	1, 5	15, 30, 45, 60	100*I <sub>n</sub>
VBKM:ARM-35	35	300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1250, 1500	1, 5	10, 15, 30, 45, 60	100*I <sub>n</sub>
Transzvill:AM-40		5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60	1, 5	15, 30, 45	100*I <sub>n</sub>
VÁV:MAS-40	36, 40.5	10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600	1, 5	15, 30, 45, 60	100*I <sub>n</sub>
PFIFFNER: EJOF 36	36	100 .....2400	1, 5	<250	100*I <sub>n</sub>
PFIFFNER: EJOF 72	72,5	100 .....2400	1, 5	<350	100*I <sub>n</sub>
PFIFFNER: EJOF 123	123	100 .....2400	1, 5	<500	100*I <sub>n</sub>
PFIFFNER: EJOF 145	145	100 .....2400	1, 5	<500	100*I <sub>n</sub>
PFIFFNER: EJOF 170	170	100 .....2400	1, 5	<500	100*I <sub>n</sub>

9. táblázat Feszültségváltók kiválasztási adatai

Gyártó : Típus	Névleges primer feszültség (V)	Névleges szekunder feszültség (V)	Névleges teljesítmény egy mérőkör esetén (VA)	Névleges teljesítmény két mérőkör esetén (VA)
VBKM:FME-10	2100	100	50, 100, 200,	30, 45
	2150	100	50, 100, 200,	30, 45
	3000	100	50, 100, 200,	30, 45
VÁV:FO-10	3150	100, 110	100, 200, 300	30, 50, 75, 150
VBKM:FME-10	3300	100	50, 100, 200,	30, 45
	3500	100	50, 100, 200,	30, 45
	3600	100	50, 100, 200,	30, 45
	5000	100	50, 100, 200,	30, 45
	5250	100	50, 100, 200,	30, 45
	5500	100	50, 100, 200,	30, 45
	6000	100	50, 100, 200,	30, 45
	6300	100	50, 100, 200,	30, 45
	6600	100	50, 100, 200,	30, 45
VBKM:FME-10	10000	100	50, 100, 200,	30, 45
VBKM:FM-20		100	75, 150, 300	30, 75, 150
VBKM:FME-10	10500	100	50, 100, 200,	30, 45
VBKM:FM-20		100	75, 150, 300	30, 75, 150
VBKM:FME-10	11000	100	50, 100, 200,	30, 45
VBKM:FM-20		100	75, 150, 300	30, 75, 150
VÁV:FOSZ-10		100, 110	100, 200, 300	30, 50, 75, 150
VBKM:FME-10	11500	100	50, 100, 200,	30, 45
VBKM:FM-20		100	75, 150, 300	30, 75, 150
VÁV:FME-12		100, 110	30, 40, 50, 80, 100, 200	30, 40, 50, 75, 100
VÁV:FM-12	12000	100, 110	100, 200, 300	50, 100, 150
VBKM:FM-20	15000	100	75, 150, 300	30, 75, 150
VÁV:FO-20		100, 110	100, 200, 300	30, 50, 75, 150
VBKM:FM-20	15750	100	75, 150, 300	30, 75, 150
VBKM:FM-20	20000	100	75, 150, 300	30, 75, 150
VÁV:FOSZ-20		100, 110	100, 200, 300	30, 50, 75, 150
VBKM:FM-20		100	75, 150, 300	30, 75, 150
VBKM:FM-20	21000	100	75, 150, 300	30, 75, 150
VÁV:FM-24		100, 110	30, 50, 75, 100, 150, 200	15, 30, 50, 75, 100, 150
VÁV:FME-24		100, 110	30, 50, 75, 100, 150, 200	30, 40, 50, 75, 100
PIFFNER:EOF 24	24000	100	<250	4 szekunder áramkör
VBKM: FME-30	30000	100	25, 30, 50	25, 30, 50
VÁV:FO-30		100, 110	100, 200, 300	30, 50, 75, 150
VÁV:FOSZ-30		100, 110	100, 200, 300	30, 50, 75, 150
PIFFNER:EJOF 36	36000	100	<250	4 szekunder áramkör
PIFFNER:EJOF 72	72500	100	<350	4 szekunder áramkör
ABB:LM-145	110000	110	100, 250, 500, 600	100, 250, 500, 600
	120000	110	100, 250, 500, 600	100, 250, 500, 600
PIFFNER:EOF 123	123000	100	<500	4 szekunder áramkör
PIFFNER:EOF 145	145000	100	<500	4 szekunder áramkör
ABB:LM-170	154000	110	200, 250, 500, 700	200, 250, 500, 700
PIFFNER:EOF 170	170000	100	<500	4 szekunder áramkör

10. táblázat Fojtótekercek kiválasztási adatai

Gyártó : Csepel Művek Típus	Névleges feszültség U (kV)	Névleges feszültség-esés U <sub>k</sub> (V)	Üzemi százalékos feszültségcsökkenés (%)	Névleges áram, I <sub>n</sub> (A)	Névleges termikus határáram, I <sub>th</sub> (kA)	Névleges teljesítmény Q (kvar/fázis)	
ACS 6-160-4	6	139	4	160	4	22,2	
ACS 6-250-3		104	3	250	6,25	26	
ACS 6-250-6		208	6	250	4,15	52	
ACS 6-400-3		104	3	400	10	41,6	
ACS 6-400-6		208	6	400	6,65	83,2	
BCS 6-630-6		208	6	630	10,5	131	
BCS 6-750-8		277	8	750	9,38	208	
BCS 6-1250-6		208	6	1250	20,8	260	
BCS 6-1600-6		208	6	1600	26,7	333	
BCS 6-1000-8		277	8	1000	12,5	277	
BCS 6-1250-8		277	8	1250	16,5	348	
BCS 6-1250-10		346	10	1250	12,5	433	
BCS 6-1500-10		346	10	1500	15	519	
BCS 6-1600-10		346	10	1600	16	554	
ACS 10-250-3	10	173	3	250	6,25	43,3	
ACS 10-250-6		346	6	250	4,15	86,6	
ACS 10-300-5		288,5	5	300	6	86,6	
ACS-10-400-3		173	3	400	10	69,2	
BCS 10-400-6		346	6	400	6,65	138	
BCS 10-600-6		346	6	600	10	208	
BCS 10-1000-6		346	6	1000	16,7	346	
BCS 10-1250-6		346	6	1250	20,8	433	
BCS 10-1600-6		346	6	1600	26,7	554	
BCS-10-630-6		346	6	630	10,5	218	
BCS 10-630-10		577	10	630	6,3	364	
BCS 10-1000-10		577	10	1000	10	577	
BCS 15-160-6		15	520	6	160	2,66	83,2
BCS 15-250-6			520	6	250	4,15	130
BCS 15-400-6	520		6	400	6,65	208	
BCS 15-630-6	520		6	630	10,5	328	
BCS 15-800-6	520		6	800	13,4	416	
BCS 15-630-10	866		10	630	6,3	546	
ACS 20-250-3	20	346	3	250	6,25	86,6	
BCS 20-250-6		692	6	250	4,15	173	
BCS 20-400-3		346	3	400	10	138	
BCS 20-400-6		692	6	400	6,65	276	
BCS 20-630-3		346	3	630	20	218	
BCS 20-630-6		692	6	630	10,5	436	
BCS 20-630-10		1154	10	630	6,3	727	
BCS 20-1000-6		692	6	1000	16,7	692	
ACS-30-100-4	30	639	4	100	2,5	69,3	
ACS-30-160-6		1040	6	160	2,66	166,3	
BCS-30-250-3		520	3	250	6,25	130	
BCS-30-250-6		1040	6	250	4,15	260	
BCS-30-400-3		520	3	400	10	208	
BCS-30-400-6		1040	6	400	6,65	416	
BCS-30-1000-6		1040	6	1000	16,7	1040	

11. táblázat: Szabadvezetékek alapterhelése

A vezető névleges keresztmetszete, mm <sup>2</sup>	Nemesített alumínium	Acélalumínium (ACSR)
	sodrony megengedett legnagyobb árama, A	
70	195	
95	245	
120	290	
150/25		370
185/60		440
250/40		540