

**Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar**

Dr. Novothny Ferenc (PhD)

Villamosenergia-ellátás II.

PÉLDATÁR

1. kötet

Villamos biztonságtechnika

ÓE KVK 2080/I.
Budapest, 2011.

TARTALOMJEGYZÉK

	Oldal
TARTALOMJEGYZÉK.....	3
ELŐSZÓ.....	4
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	4
2.2.1.1 Földelés.....	5
Földelés, kidolgozott példák.....	6
Földelés, feladatok.....	10
Földelés, eredmények.....	14
2.2.1. TT-rendszer (Védőföldelés közvetlenül földelt rendszerben).....	15
TT-rendszer, kidolgozott példák.....	16
TT-rendszer, feladatok.....	21
TT-rendszer, eredmények.....	22
2.2.2. TN-rendszer (Nullázás).....	23
TN-rendszer, kidolgozott példák.....	23
TN-rendszer, feladatok.....	36
TN-rendszer, eredmények.....	38
2.2.3. IT-rendszer (Védőföldelés közvetve földelt rendszerben).....	39
IT-rendszer, kidolgozott példák.....	39
IT-rendszer, feladatok.....	45
IT-rendszer, eredmények.....	46
9. Villamosenergia-rendszer stabilitási viszonyai.....	47
9.2.1 Természetes statikus stabilitás.....	47
Természetes statikus stabilitás, kidolgozott példák.....	47
9.3. Tranziens stabilitás.....	51
Tranziens stabilitás, kidolgozott példák.....	51
Stabilitás, feladatok.....	67
Stabilitás, eredmények.....	75
FÜGGELÉK(táblázatok).....	77

ELŐSZÓ

Ez a példatár a villamos energetika szakirányban tovább tanuló villamosmérnök hallgatók számára készült. Szorosan illeszkedik a Villamosenergia-ellátás II. 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.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ehelyütt szeretnék köszönetet mondani, Naisz Máté, Beke Ákos, Cseh Péter, Heincz János, Németh Gábor és Dános Róbert villamosmérnöknek, volt hallgatóimnak, akik a példatár készítésében segítségemre voltak. Külön köszönet illeti Kálnay Gábor 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.

2.2.1.1. Földelés

Talaj fajlagos ellenállásának meghatározása:

A talaj fajlagos ellenállása (ρ) egy számított érték, amely a talaj legrosszabb állapotát (hideg száraz talaj) jellemzi. Értékét a jegyzetben ismertetett speciális mérési módszerrel mért értékből (ρ_M) számítják ki úgy, hogy a mért értéket megszorozzák egy a talajnedvességet figyelembe vevő korrekciós tényezővel (k), amelynek értékeit a függelék F1 táblázata tartalmazza.

$$\rho = k \cdot \rho_M$$

Amennyiben mért érték nem áll rendelkezésre a talajvizsgálat meghatározta talajfajta ismeretében a függelék F2 táblázatának adatai alkalmazhatók közelítő számításokhoz.

Földelők szétterjedési ellenállásának számítása:

Egyszerű földelők: Az egyszerű földelők típusát, elhelyezési módját és számítási összefüggéseit az F3. táblázat tartalmazza.

Az összefüggések kör keresztmetszetű rúdanyagra vonatkoznak, eltérő profilok alkalmazásánál a kerületegyenlőséget figyelembe véve kell az egyenértékű rúdátmérőt (d) kiszámítani.

Összetett földelők: Az összetett földelőket egyszerű földelők együttes alkalmazásával alakítják ki (csoportosítás és párhuzamos kapcsolás).



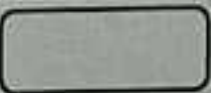

Az összetett földelők szétterjedési ellenállása (R) nem számítható egyszerűen a részföldelők szétterjedési ellenállásának párhuzamos eredőjéből (R_p), azért mert az egyes részföldelők szétterjedési áramának földbeli alakulására hatással van a közelében elhelyezett másik részföldelő, azaz a potenciál teret az összes részföldelő árama együttesen alakítja ki. Azt mondhatjuk, hogy a független földelő potenciál tere, részföldelőként való alkalmazása esetén torzul. Így nem lehet a részföldelők alkotta összetett földelők ellenállását független földelők ellenállásának eredőjeként számítani!

Ezért az összetett földelők ellenállását úgy számítjuk, hogy a független részföldelők ellenállásának párhuzamos eredőjét kiszámítjuk és az összetett földelők ennél nagyobb ellenállás értékét egy „kihasználási tényező” (η) alkalmazásával vesszük figyelembe.

$$R = \frac{1}{\eta} R_p$$

A gyakorlatban előszeretettel alkalmazott összetett földelők kihasználási tényezőinek értékeit az F4 táblázat tartalmazza.

A példatár példáiban alkalmazott jelölések:

	Rúd földelő
	Földelő vezető csatlakozási pontja
	Keret földelő
	Szalag földelő

Földelés, kidolgozott példák:

1. példa

Milyen hosszú függőleges rúdföldelőre van szükség 10Ω szétterjedési ellenállás eléréséhez?

Adatok: A talaj fajlagos ellenállása $75 \Omega\text{m}$, és a földelő rúd külső átmérője 3 cm .

Megoldás

A rúdföldelő szétterjedési ellenállásának pontos számítási összefüggéséből a rúdföldelő hosszát nem lehet kifejezni — nincs explicit alakja —, ezért az alábbi módszert alkalmazzuk:

1. Felhasználjuk a függőleges rúdföldelő szétterjedési ellenállásának közelítő számítási összefüggését, amelyből könnyen kifejezhető a hosszúság:

$$R_{sz} = \frac{\rho}{l} \rightarrow l = \frac{\rho}{R_{sz}}, \quad \text{ahol } l \text{ a hosszúság, } \rho \text{ a talaj fajlagos ellenállása, } R_{sz} \text{ a szétterjedési ellenállás.}$$

2. Az eredményül kapott hosszúságot az iteráció kiinduló értékének tekintjük és a pontos számítás képletébe behelyettesítve, megkapjuk az első közelítés értékét. Ha a kívánt érték a számítottnál kisebb, a hossz fokozatos növelése után a 2. pontot addig ismételjük, míg a szétterjedési ellenállás számított értéke a célkitűzésben szereplő értéknél kisebb nem lesz.

A hosszúság meghatározása közelítő számítással:

$$l = \frac{\rho}{R_{sz}} = \frac{75 \Omega\text{m}}{10 \Omega} = 7,5 \text{ m}$$

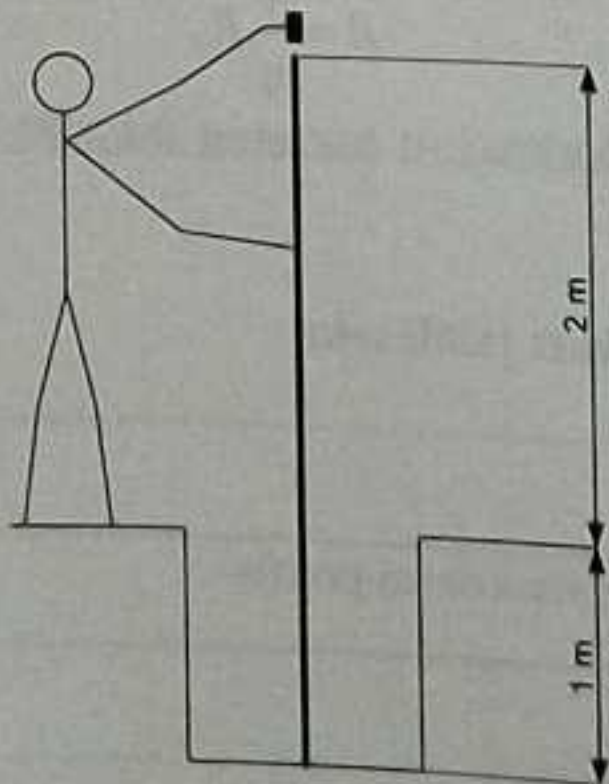
A közelítő hosszal a szétterjedési ellenállás:

$$R_{sz} = \frac{\rho}{2\pi l} * \ln \frac{4l}{d} = \frac{75 \Omega\text{m}}{2 * \pi * 7,5 \text{ m}} * \ln \frac{4 * 7,5 \text{ m}}{0,03 \text{ m}} = 10,99 \Omega$$

A kapott érték 10%-kal nagyobb, mint a megvalósítandó ellenállás, ezért meg kell növelni a földelő hosszát. Az értéket kb. 15%-kal hosszabbra választva: $l = 7,5 \text{ m} * 1,15 = 8,625 \text{ m}$:

$$R_{sz} = \frac{\rho}{2\pi l} * \ln \frac{4l}{d} = \frac{75 \Omega\text{m}}{2 * \pi * 8,625 \text{ m}} * \ln \frac{4 * 8,625 \text{ m}}{0,03 \text{ m}} = 9,75 \Omega$$

Ez az érték már megfelelő, miután kisebb, mint a kívánt 10Ω .



1. ábra

Ilyen egyszerű földelő megvalósítására a legegyszerűbb lemélyítési technológiát a leverést választva (1. ábra) nyilván 9 méteres rúdról szó sem lehet.

A földelők számának meghatározása:

A földelők leverése úgy történik, hogy egy kb. 1 m mély gödröt ásunk, és ebbe kezdik leverni a földelő rudat. Egy 2 m magas ember az 1 m mély gödörbe legfeljebb 3 m-es rudat tud elkezdni leverni. Azaz 9 m értéket 3 db 3 m-es rúddal tudjuk megvalósítani, ami jó közelítéssel ugyan azt az eredményt adja. Hogy egymás potenciáletterét ne befolyásolják, egymástól 20 m távolságra kell az egyes rudakat leverni!

2. példa

Mennyi egy 10 m x 12 m-es, 30 mm x 5 mm lapos acélból készült keretföldelő szétterjedési ellenállása, ha azt a $\rho = 96 \Omega\text{m}$ fajlagos ellenállású talajba $m = 1$ m mélyre fektetjük?

Megoldás:

Az egyenértékű rúdátmérő (d) kiszámítása:

$$d = \frac{2}{\pi} * (b + v) = \frac{2}{\pi} * (30 \text{ mm} + 5 \text{ mm}) = 22,28 \text{ mm},$$

ahol b a földelő anyagának szélessége, v a földelő anyagának vastagsága.

A keretföldelőt gyűrűföldelőnek tekintve az egyenértékű gyűrűátmérő (D):

$$D = \frac{2}{\pi} * (a + b) = \frac{2}{\pi} * (10 \text{ m} + 12 \text{ m}) = 14 \text{ m},$$

ahol a a földelő keret hosszúsága, b a földelő keret szélessége.

A keretföldelő (mint gyűrűföldelő) szétterjedési ellenállása (4. táblázat):

$$R_{SZ} = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{\pi D}{2m} \right) = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{4D^2 \pi}{dm} \right) = \frac{96 \Omega\text{m}}{2\pi^2 * 14 \text{ m}} \ln \left(\frac{4(14 \text{ m})^2 \pi}{0,022 \text{ m} * 1 \text{ m}} \right) = 4,04 \Omega$$

Megjegyzés: Ha a keretföldelőt szalagföldelőnek tekintenénk — lásd 4.példa — $R_{SZ} = 3,95 \Omega$ értéket kapnánk! Az eltérés elhanyagolható, gondoljunk a talaj fajlagos ellenállásának pontosságára.

3. példa

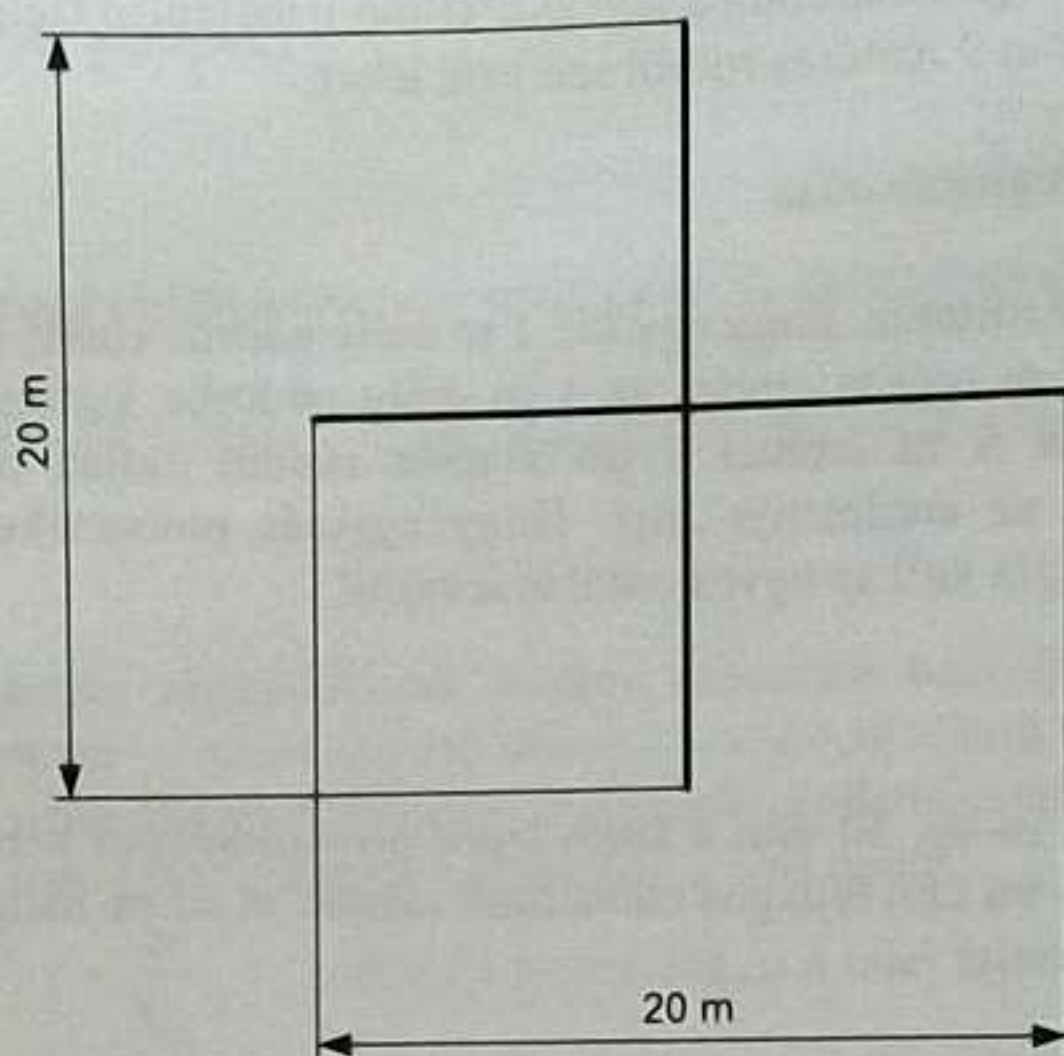
Mennyi a 2. ábrán látható négyirányú sugárföldelő szétterjedési ellenállása?

Adatok: A talaj fajlagos ellenállása $\rho = 90 \Omega\text{m}$, a földelőhöz $d = 6$ mm külső átmérőjű, kétcselos csövet használunk, amelyet $m = 0,8$ m mélyre fektetünk.

Megoldás

A 10 m-es sugár (szalagföldelő) mint részföldelő szétterjedési ellenállása:

$$R_{SZ(10\text{m})} = \frac{\rho}{2\pi l} * \ln \frac{l^2}{d * m} = \frac{90 \Omega\text{m}}{2\pi * 10 \text{ m}} * \ln \frac{(10 \text{ m})^2}{0,06 \text{ m} * 0,8 \text{ m}} = 10,95 \Omega$$



2. ábra

Az összetett földelő szétterjedési ellenállása, ha a kihasználási tényező az F4 táblázat alapján: $\eta = 0,65$, és

$$R_{SZ} = \frac{1}{\eta} * \frac{R_{SZ(10\text{ m})}}{n} = \frac{1}{0,65} * \frac{10,95 \Omega}{4} = 4,21 \Omega$$

4. példa

Mennyi egy olyan, négyirányú sugaras földelő szétterjedési ellenállása, amelyiknek két 10 m-es és két 12 m-es rúdból állnak a sugarai? A talaj fajlagos ellenállása $\rho = 80 \Omega\text{m}$, a földelőhöz $d = 3 \text{ cm}$ átmérőjű acélrudat használunk, amelyet $m = 1 \text{ m}$ mélyre fektetünk.

Megoldás

Az egyes részföldelők szétterjedési ellenállása:
A 10 m-es szakaszé:

$$R_{SZ(10\text{ m})} = \frac{\rho}{2\pi l} * \ln \frac{l^2}{d * m} = \frac{80 \Omega\text{m}}{2\pi * 10 \text{ m}} * \ln \frac{(10 \text{ m})^2}{0,03 \text{ m} * 1 \text{ m}} = 10,33 \Omega$$

A 12 m-es szakaszé:

$$R_{SZ(12\text{ m})} = \frac{\rho}{2\pi l} * \ln \frac{l^2}{d * m} = \frac{80 \Omega\text{m}}{2\pi * 12 \text{ m}} * \ln \frac{(12 \text{ m})^2}{0,03 \text{ m} * 1 \text{ m}} = 9 \Omega$$

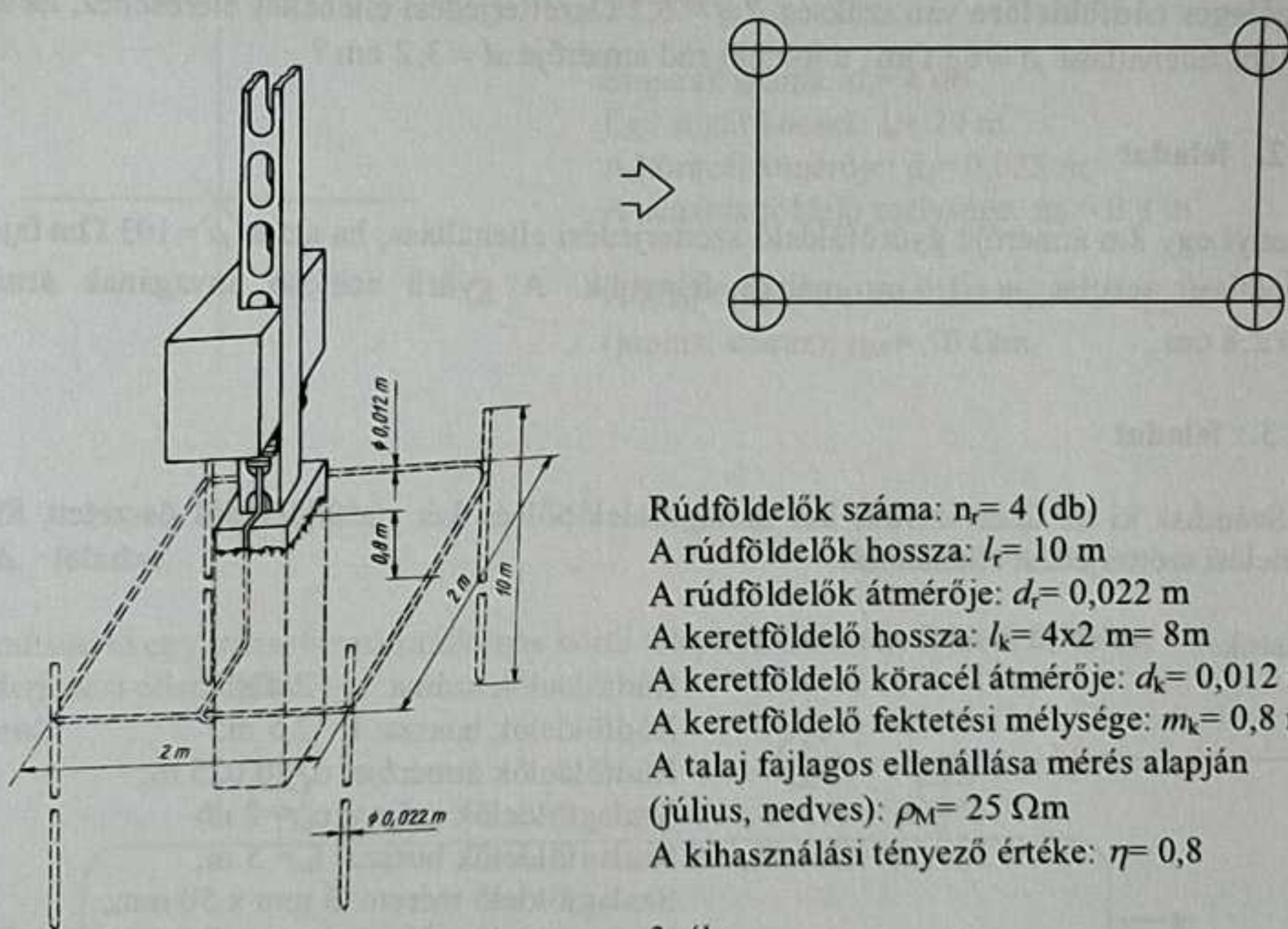
Az összetett földelő szétterjedési ellenállása:

A kihasználási tényező az F4 táblázat alapján: $\eta = 0,65$

$$R_{SZ} = \frac{1}{\eta} * \frac{1}{2} * \frac{R_{SZ(10)} * R_{SZ(12\text{ m})}}{R_{SZ(10\text{ m})} + R_{SZ(12\text{ m})}} = \frac{1}{0,65} * \frac{1}{2} * \frac{10,33\Omega * 9\Omega}{10,33\Omega + 9\Omega} = 3,7 \Omega$$

5. példa

Számítsuk ki a 3. ábrán látható oszlop-transzformátorállomás körül telepített összetett földelő földelési szétterjedési ellenállását!



- Rúdföldelők száma: $n_r = 4$ (db)
- A rúdföldelők hossza: $l_r = 10$ m
- A rúdföldelők átmérője: $d_r = 0,022$ m
- A keretföldelő hossza: $l_k = 4 \times 2$ m = 8 m
- A keretföldelő köracél átmérője: $d_k = 0,012$ m
- A keretföldelő fektetési mélysége: $m_k = 0,8$ m
- A talaj fajlagos ellenállása mérés alapján (július, nedves): $\rho_M = 25 \Omega \text{ m}$
- A kihasználási tényező értéke: $\eta = 0,8$

3. ábra

A talaj fajlagos ellenállásának átszámítása a legrosszabb állapotra (1. táblázat: $k = 2$):

$$\rho = \rho_M \cdot k = 25 \Omega \text{ m} \cdot 2 = 50 \Omega \text{ m}$$

Egy rúdföldelő ellenállása (F3 táblázat):

$$R_r = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4 \cdot l}{d} = \frac{50 \Omega \text{ m}}{2\pi \cdot 10 \text{ m}} \ln \frac{4 \cdot 10 \text{ m}}{0,022 \text{ m}} = 6 \Omega$$

A négy rúdföldelő együttes ellenállása:

$$R_{re} = \frac{R_r}{n} = \frac{6}{4} = 1,5 \Omega$$

A keretföldelőt, mint szalagföldelőt tekintve ellenállása (F3 táblázat):

$$R_k = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \ln \frac{l}{2 \cdot m} \right) = \frac{50 \Omega \text{ m}}{2\pi \cdot 8 \text{ m}} \left(\ln \frac{2 \cdot 8 \text{ m}}{0,012 \text{ m}} + \ln \frac{8 \text{ m}}{2 \cdot 0,8 \text{ m}} \right) = 8,75 \Omega$$

Az összetett földelő részföldelők ellenállásából számított párhuzamos eredő ellenállása:

$$R_e = \frac{R_{re} \cdot R_k}{R_{re} + R_k} = \frac{1,5 \cdot 8,75 \Omega}{1,5 + 8,75} = 1,28 \Omega$$

Az összetett földelő szétterjedési ellenállása:

$$R = \frac{1}{\eta} \cdot R_e = \frac{1}{0,8} \cdot 1,28 \Omega = 1,6 \Omega$$

Földelés, feladatok:

1. feladat

Hány darab és milyen hosszú egymástól távol elhelyezett (távolság nagyobb, mint 20 m) **függőleges rúd földelőre** van szükség $R_{sz} = 6,2 \Omega$ szétterjedési ellenállás eléréséhez, ha a talaj fajlagos ellenállása $\rho = 63 \Omega\text{m}$, a földelő rúd átmérője $d = 3,2 \text{ cm}$?

2. feladat

Mennyi egy 8m átmérőjű gyűrű földelő szétterjedési ellenállása, ha azt a $\rho = 103 \Omega\text{m}$ fajlagos ellenállású talajba $m = 1,5 \text{ m}$ mélyre fektetjük. A gyűrű acélcső anyagának átmérője $d = 2,8 \text{ cm}$.

3. feladat

3. Számítsa ki az ábra szerinti két szalag földelőből és két rúd földelőből összetett földelő földelési szétterjedési ellenállását!

Adatok:



Rúd földelők száma: $n_r = 2 \text{ db}$;
Rúd földelők hossza: $l_r = 2,5 \text{ m}$;
Rúd földelők átmérője: $d_r = 0,025 \text{ m}$;
Szalag földelők száma: $n_{sz} = 2 \text{ db}$;
Szalag földelők hossza: $l_{sz} = 5 \text{ m}$;
Szalag földelő mérete: $3 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$;
Szalag földelő mélysége: $m_{sz} = 0,8 \text{ m}$;

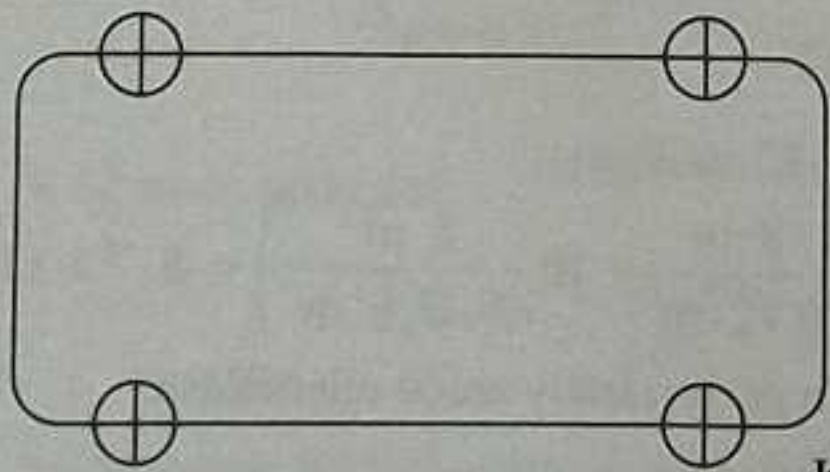
A talaj fajlagos ellenállása mérés alapján (július, nedves): $\rho_M = 25 \Omega\text{m}$.

Megjegyzés: A két szalag földelőt egyetlen hosszú szalag földelőnek lehet tekinteni.

4. feladat

Számítsa ki a keret földelőből és négy rúd földelőből összetett földelő földelési szétterjedési ellenállását!

Adatok:



Rúd földelők száma: $n_r = 4 \text{ db}$;
Rúd földelők hossza: $l_r = 4 \text{ m}$;
Rúd földelők átmérője: $d_r = 0,025 \text{ m}$;
Keret földelő mérete: $12,5 \text{ m} \times 7,5 \text{ m}$;
Keret földelő lapos acél egyenértékű átmérője: $d_k = 0,018 \text{ m}$;

Keret földelő mélysége: $m_k = 0,8 \text{ m}$;

A talaj fajlagos ellenállása mérés alapján (július, nedves): $\rho_M = 40 \Omega\text{m}$.

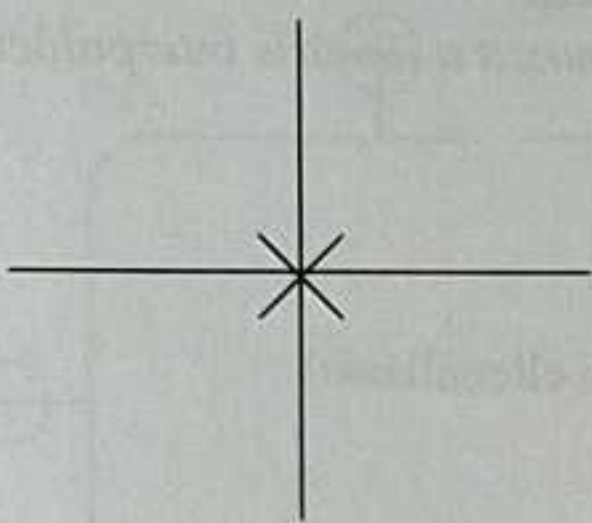
5. feladat

Számítsa ki az ábra szerinti, négyirányú sugaras földelő földelési szétterjedési ellenállását!

Adatok:

Sugarak száma: $n_s = 4$ db
Egy sugár hossza: $l_s = 20$ m
A köracél átmérője: $d_s = 0,025$ m
A sugaras földelő mélysége: $m_s = 0,8$ m

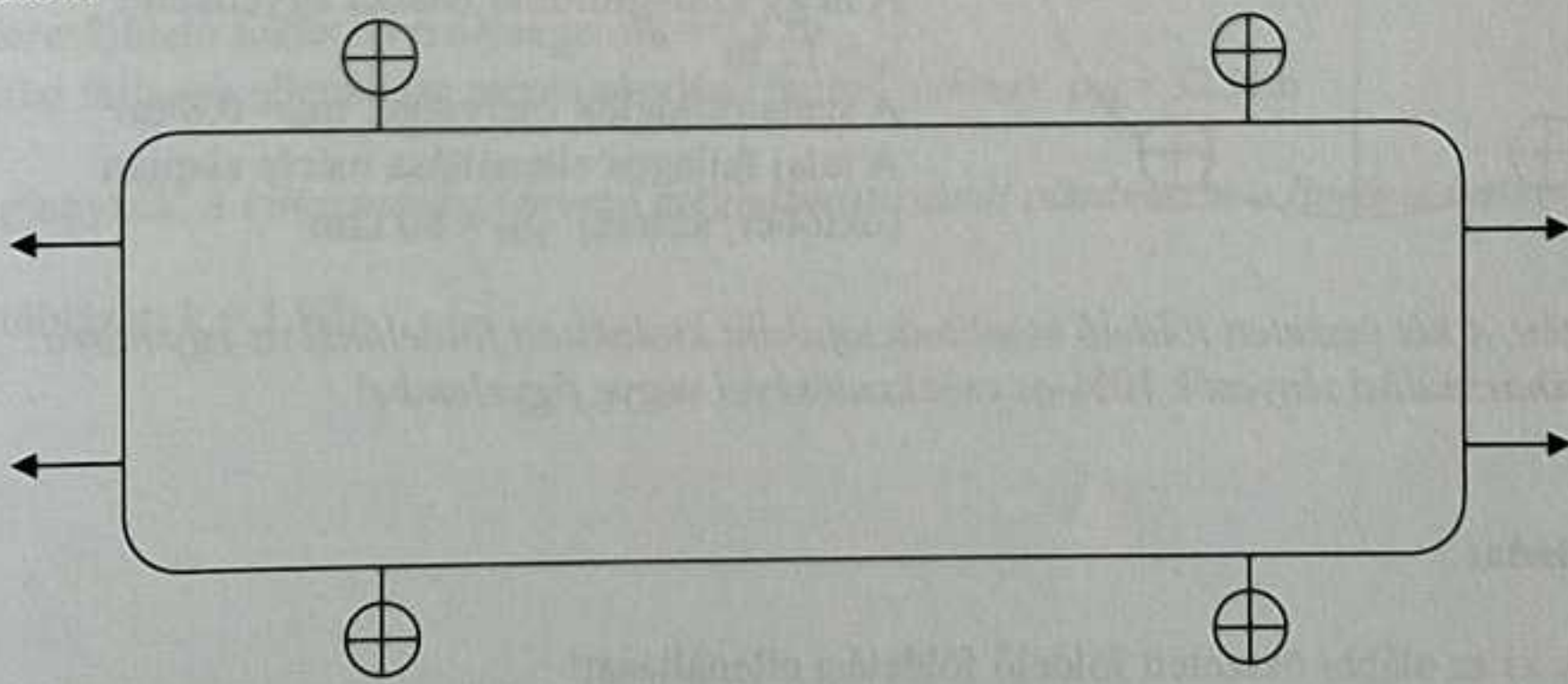
A talaj fajlagos ellenállása mérés alapján (június, száraz): $\rho_M = 50 \Omega\text{m}$.



6. feladat

Számítsuk ki egy transzformátorállomás körül telepített összetett földelő földelési szétterjedési ellenállását!

Adatok:



Rúdföldelők száma: $n_r = 4$ db;
A rúdföldelők hossza: $l_r = 5$ m;
A rúdföldelők átmérője: $d_r = 0,02$ m;
A keretföldelő mérete: $16 \text{ m} \times 8 \text{ m}$;
A keretföldelő köracél átmérője: $d_k = 0,02$ m;
A keretföldelő mélysége: $m_k = 0,8$ m;
A szalagföldelők köracéljának átmérője: $d_{sz} = 0,02$ m;
Egy szalagföldelő hossza: $l_{sz} = 5$ m;
A szalagföldelők mélysége: $m_{sz} = 0,8$ m;
A talaj fajlagos ellenállása mérés alapján (június, száraz): $\rho_M = 60 \Omega\text{m}$.
Megjegyzés: A kihasználási tényező számításnál a körgyűrű hat rúddal közelítést alkalmazza!

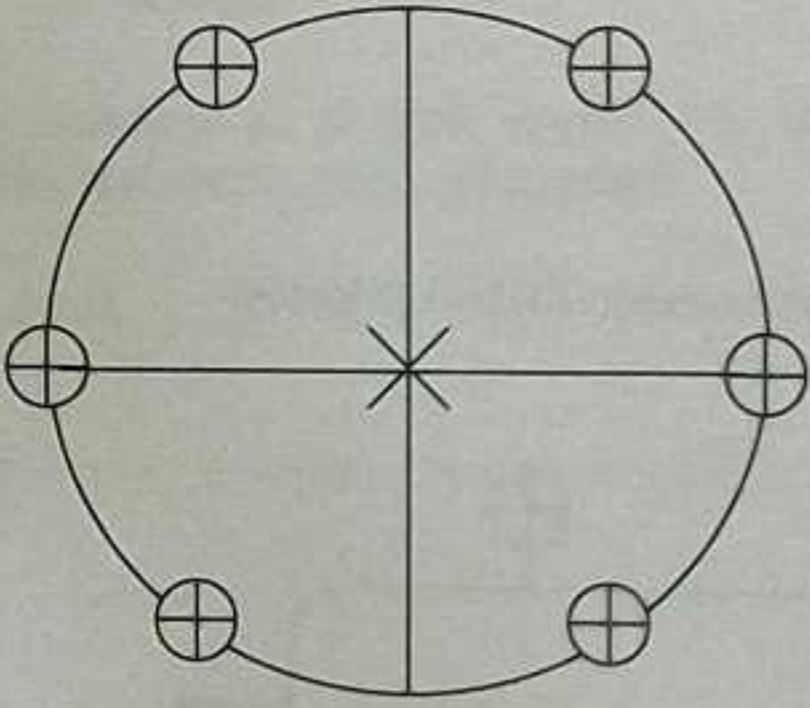
7. feladat

Mekkora egy 7 m sugarú körgyűrűből és hat 4 m hosszú rúd földelőből álló összetett földelő szétterjedési ellenállása, ha a gyűrűt $\rho = 84 \Omega\text{m}$ fajlagos ellenállású talajba $m = 1 \text{ m}$ mélyre fektetjük? A földelők $d = 3 \text{ cm}$ átmérőjű rúdanyagból készülnek.

Megjegyzés: A kihasználási tényező meghatározásánál alkalmazza a lineáris interpolációt!

8. feladat

Számítsuk ki az alábbi összetett földelő földelési szétterjedési ellenállását!

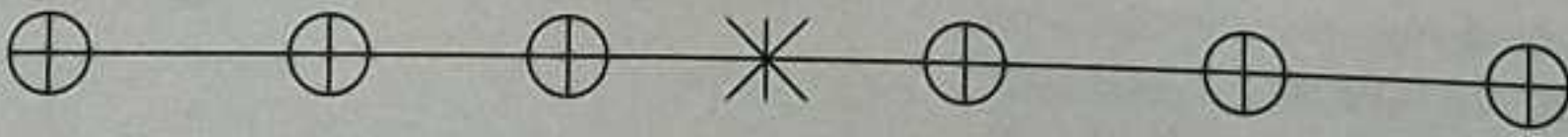


- Rúd földelők száma: $n_r = 6$ db;
- A rúd földelők hossza: $l_r = 4 \text{ m}$;
- A rúd földelők átmérője: $d_r = 0,02 \text{ m}$
- A kör alakú keret földelő átmérője $D_k = 24 \text{ m}$
- A keret földelő köracél átmérője: $d_k = 0,032 \text{ m}$
- A keret földelő mélysége: $m_k = 0,8 \text{ m}$
- A szalag földelők köracél átmérője: $d_{sz} = 0,032 \text{ m}$
- A négy szalag földelő hossza egyenként: $l_{sz} = 12 \text{ m}$
- A szalag földelők mélysége: $m_{sz} = 0,8 \text{ m}$
- A talaj fajlagos ellenállása mérés alapján (október, száraz): $\rho_M = 80 \Omega\text{m}$

Megjegyzés: A két összetett földelő kombinációjaként kialakított földelőnél az egymásra hatást a kihasználási tényezők 10%-os csökkentésével vegye figyelembe!

9. feladat

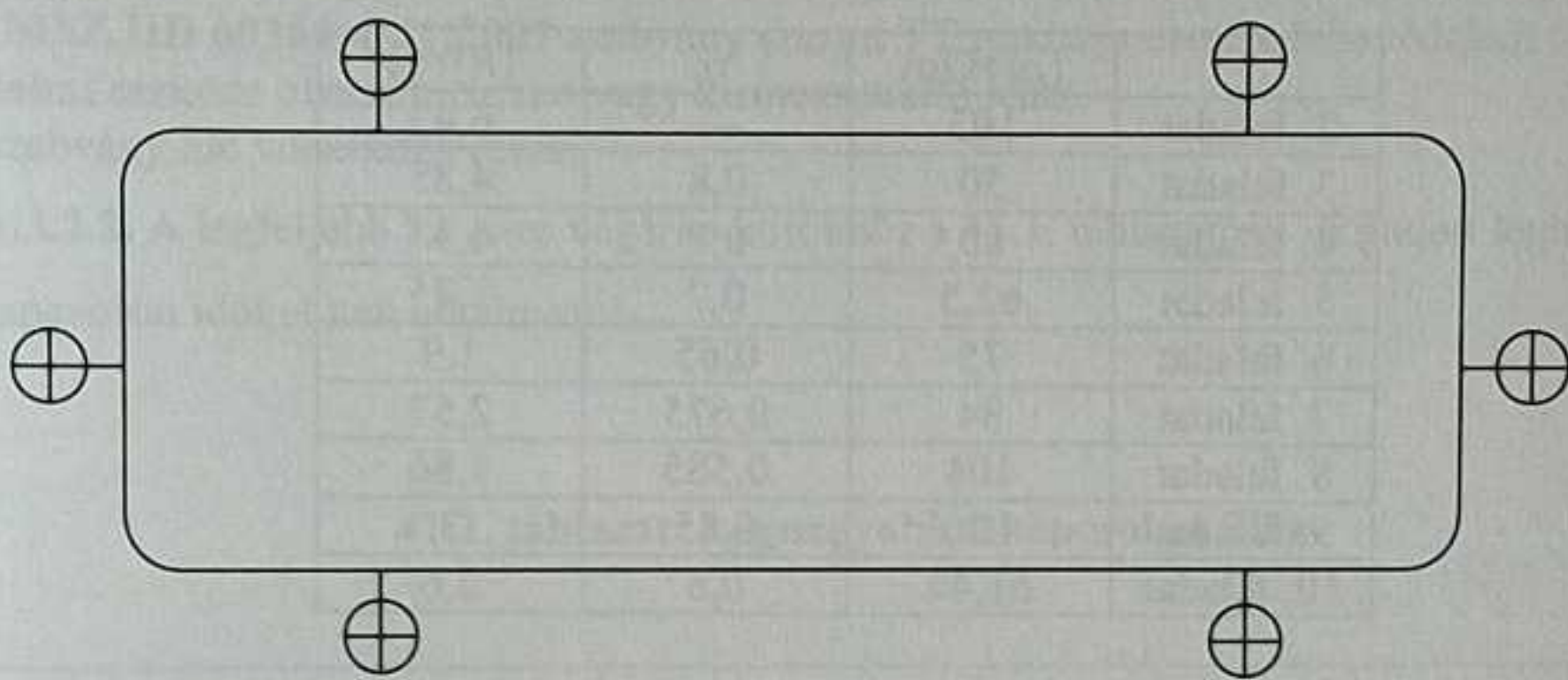
Számítsuk ki az alábbi összetett földelő földelési ellenállását!



- Rúd földelők száma: $n_r = 6$ db
- Rúd földelők hossza: $l_r = 2 \text{ m}$
- Rúd földelők átmérője: $d_r = 0,03 \text{ m}$
- Szalag földelők (sugár) hossza: $l_{sz} = 3 \times 10 \text{ m} = 30 \text{ m}$;
- Lapos szalag földelő egyenértékű átmérője: $d_{sz} = 0,02 \text{ m}$
- Szalag földelő fektetési mélysége: $m_{sz} = 0,8 \text{ m}$
- A talaj fajlagos ellenállása mérés alapján (július, nedves): $\rho_M = 63 \Omega\text{m}$ (július, nedves): (1. táblázat: $k = 2$)

10. feladat

Számítsuk ki az ábra szerinti, transzformátorállomás körül telepített összetett földelő földelési szétterjedési ellenállását!



Rúdföldelők száma: $n_r = 6$ db

A rúdföldelők hossza: $l_r = 4$ m

A rúdföldelők és a keretföldelő anyagának átmérője: $d_r = 0,025$ m

A keretföldelő hossza: $l_k = (9+4) \times 2$ m = 26 m

A keretföldelő fektetési mélysége: $m_k = 0,8$ m

A talaj fajlagos ellenállása mérés alapján (június, száraz): $\rho_M = 32 \Omega\text{m}$

Megjegyzés: A kihasználási tényező meghatározásánál alkalmazza a lineáris interpolációt!

(1. táblázat: $k = 1,92$)

Földelés, eredmények:

	$[R_{sz}]=\Omega$	$[l]=m$	db* $[l]=m$
1. feladat	6,11	12	pl.:4*3

	$[\rho]=\Omega m$	η	$[R]=\Omega$
2. feladat	103	—	6,43
3. feladat	50	0,8	4,85
4. feladat	80	0,7	4,37
5. feladat	62,5	0,7	1,75
6. feladat	75	0,65	1,9
7. feladat	84	0,675	2,57
8. feladat	104	0,585	1,86
9. feladat	126	0,85	3
10. feladat	61,44	0,6	2,6

2.2.1. TT-rendszerekben)

Az MSZ HD 60364-4-41.3.2.2. A legfeljebb...

Rendszer	$50 V < U_0 \leq$	s
	a.c.	d
TN	0,8	megj
TT	0,3	megj

Ha a TT-rendszerekben a...

1. MEGJEGYZÉS: A leka...

2. MEGJEGYZÉS: Ha a l...

411.2.4. A TT-rendszere...

2.2.1. TT-rendszer (Védőföldelés közvetlenül földelt rendszerben)

Az MSZ HD 60364-4-41:2007 szabvány szerint TT rendszer esetén, hibavédelem túláram védelmi eszköze olvadóbiztosító vagy kismegszakító lehet.

A szabvány ide vonatkozó része:

411.3.2.2. A legfeljebb 32 A-es végáramkörökhöz a 41.1. táblázatban megadott leghosszabb lekapcsolási időket kell alkalmazni.

41.1. táblázat: Legnagyobb lekapcsolási idők

Rendszer	50 V <math> < U_0 \leq 120 \text{ V}</math> s		120 V <math> < U_0 \leq 230 \text{ V}</math> s		230 V <math> < U_0 \leq 400 \text{ V}</math> s		$U_0 > 400 \text{ V}$ s	
	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.
TN	0,8	1. megjegyzés	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	1. megjegyzés	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

Ha a TT-rendszerekben a lekapcsolást túláramvédelmi eszköz végzi és a berendezésben lévő összes test össze van kötve a védő egyenpotenciálú összekötéssel, akkor a TN-rendszerekre alkalmazható legnagyobb lekapcsolási időket lehet használni.

U_0 a névleges, fázis-föld közötti váltakozó feszültség vagy a névleges egyenfeszültség.

1. MEGJEGYZÉS: A lekapcsolásra az áramütés elleni védelmen kívül más okokból is szükség lehet.

2. MEGJEGYZÉS: Ha a lekapcsolást ÁVK végzi, akkor lásd a 411.4.4. szakasz megjegyzését, a 411.5.3. szakasz 4. megjegyzését és a 411.6.4. szakasz b) pontjának megjegyzését.

411.3.2.4. A TT-rendszerekben az elosztóáramkörökre és a 411.3.2.2. szakaszhoz nem tartozó áramkörökre a megengedett lekapcsolási idő legfeljebb 1 s.

TT rendszer esetén a kioldási áramot a kioldási jelleggörbéről kell leolvasni „AC” esetén 0,2s-os kioldási időhöz, míg „DC” esetén a kioldási idő 0,4s. Jelleggörbe hiánya esetén az F5 táblázatban feltüntetett értékek alkalmazhatók (0,2s-hoz a 0,4s-hoz tartozó érték olvasandó le!

Az **MSZ HD 60364-4-41:2007** szabvány szerint TT rendszerben, ha a kikapcsoló eszköz túláramvédelmi eszköz, akkor Z_s földhurok-impedancia méretezése a feladat:

$$Z_s \leq U_0 / I_a$$

De tervezésnél, illetve a példatár példa és feladat megoldásaiban a védőföldelési ellenállás értékét határozzuk meg a Villamosenergia-ellátás II jegyzet 2.3a képlete szerint:

$$R_A \leq U_L / I_a$$

Ennek indoka, hogy a tápoldali adatoka legtöbb esetben nem ismertek. A védőföldelési ellenállás képlet szerinti meghatározását írja elő a szabvány áram-védőkapcsoló alkalmazása esetére is.

TT-rendszer, kidolgozott példák:

1. példa

Egy kertészeti telephelyen 100 W világítási és 500 W szivattyú teljesítményigényt kell kielégíteni. Hány darab és milyen hosszú függőleges rúd földelőt vagy milyen hosszú szalagföldelőt kell készíteni ahhoz, hogy a telephely öntöttvas lámpatestének és a szivattyú házának TT-rendszerű érintésvédelme megfelelő legyen? (Minimális költségre törekvés érdekében a túláramvédelem olvadó biztosító)

Megoldás

A fogyasztót egy fázisú váltakozó árammal ellátva a közcélú hálózatról vételezett áram hatásos összetevője:

$$I_w = \frac{P}{U} = \frac{600 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 2,6 \text{ A}$$

A szivattyú meddőáram felvételét is figyelembe véve a test hibavédelem egy 4 A-es (Gg) olvadó biztosítóval megoldható.

A védőföldelés szükséges ellenállásértékének meghatározása

Az olvadó biztosító kiolvadási szorzója ezen, TT típusú rendszer figyelembe vételével az 5. táblázat alapján: $\alpha = 5$ így

$$R_A \leq \frac{U_L}{\alpha * I_n} = \frac{50 \text{ V}}{5 * 4 \text{ A}} = 2,5 \Omega$$

A rúd földelő szükséges hossza

A kertészet talaja: termőföld, mely esetben egy közepes fajlagos talajellenállás értéket választva a 2. táblázat alapján: $\rho = 35 \Omega\text{m}$, ezen esetben:

$$l \geq \frac{\rho}{R_{sz}} = \frac{35 \Omega\text{m}}{2,5 \Omega} = 14 \text{ m}$$

Ez a hossz 4 db 3,5m-es összekötött rúd földelővel megvalósítható, ha egy 20 m-es négyzet négy sarkába mélyítjük le a rúd földelőt.

A szalagföldelő szükséges hossza

$$l \geq \frac{2 \cdot \rho}{R_{sz}} = \frac{2 \cdot 35 \Omega \text{m}}{2,5 \Omega} = 28 \text{ m}$$

Ha épületalapozás előtt állunk talán egyszerűbb az betonlap alá elhelyezni egy ennél hosszabb szalagföldelőt.

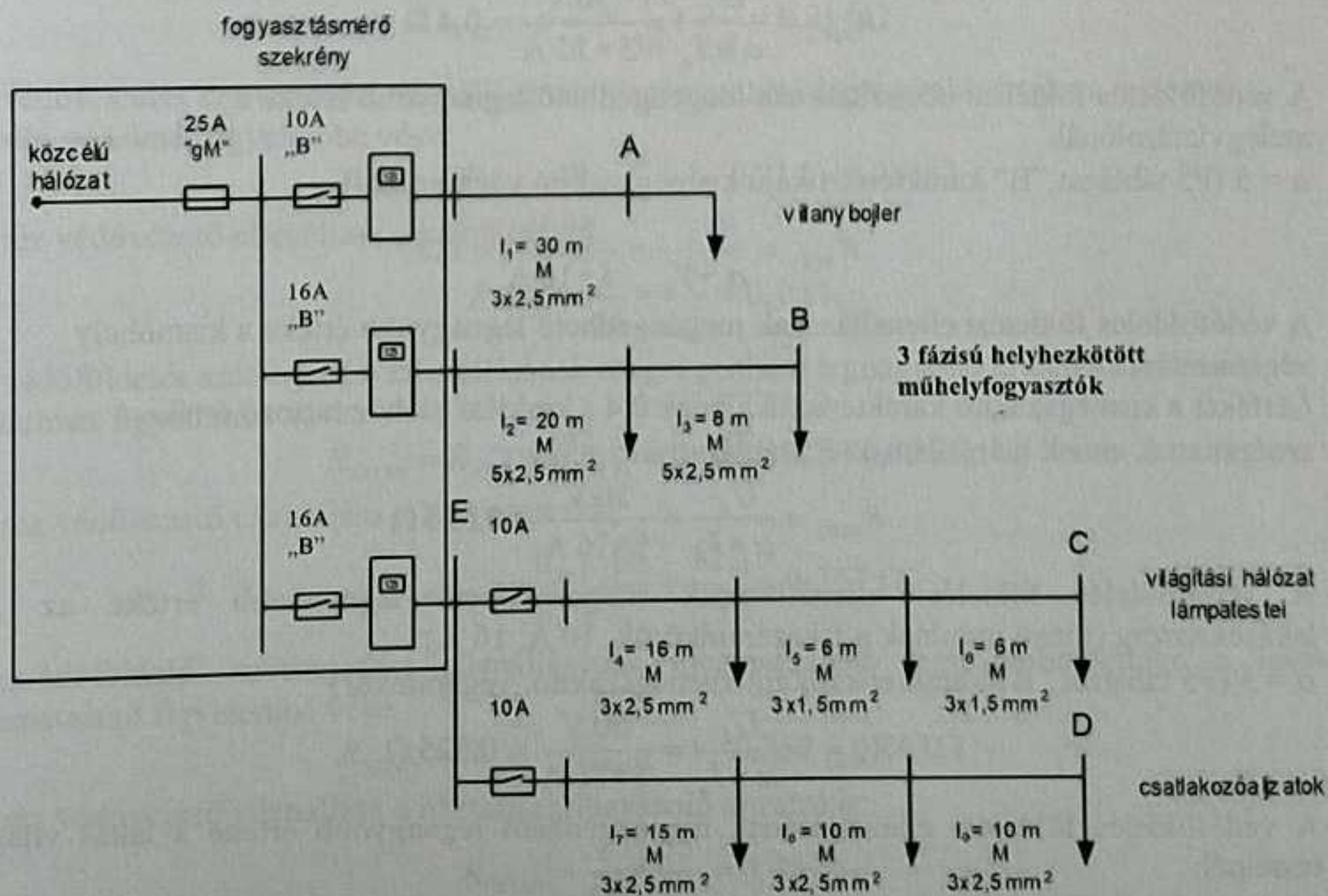
2. példa

Hány darab és milyen hosszú függőleges rúd földelőre van szükség ahhoz, hogy a családi ház TT rendszerű érintésvédelme megfelelő legyen?

Adatok

Egy ház villamos energia ellátó hálózata a 4. ábrán látható. (A családi ház a közcélú hálózat mindhárom fázisára csatlakozik. A melegvíztároló éjszakai árammal ellátott, a kisműhely csatlakozó aljzatai háromfázisúak. Egyetlen központi földelő van.) A talaj fajlagos ellenállása $\rho = 100 \Omega \text{m}$, a földelő rúd átmérője $d = 3,2 \text{ cm}$.

Megjegyzés: A földelő hosszának meghatározásakor megengedett a közelítő számítás használata.



4. ábra

Megoldás

A védőföldelés szükséges ellenállásértékének meghatározása

A védőföldelés értékét, minden kritikus helyen meg kell határozni! Mi tekintendő kritikus helynek? Minden védőföldeléssel ellátandó fogyasztói hely, valamint a védőcsatlakozó kapocscsal ellátott elosztók.

A védőföldelés (R_A) szükséges értéke, ha a test hibavédelmi eszközének érintésvédelmi szempontból meghatározott lekapcsolási időhöz tartozó kioldó árama (I_a):

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_a}$$

Megjegyzés: Ha a testárlat hártására szolgáló hibavédelmi eszköz kioldóáramának meghatározására nem áll rendelkezésre katalógus, az F5 táblázat szerinti α kioldási (kioldási) szorzó alkalmazható! Segítségével a hibavédelmi eszköz névleges áramából a kioldóáram számítása:

$$I_a = \alpha * I_n$$

A védőföldelés földelési ellenállásának megengedhető legnagyobb értéke a főbiztosító által védett fogyasztásmérő szekrényénél:

$\alpha = 5$ (F5 táblázat elosztó áramköri méretlen hálózat)

$$R_{A(F)} = \frac{U_L}{\alpha * I_n} = \frac{50 \text{ V}}{5 * 25 \text{ A}} = 0,4 \Omega$$

A védőföldelés földelési ellenállásának megengedhető legnagyobb értéke a melegvíztárolónál:

$\alpha = 5$ (F5 táblázat, "B" karakterisztikájú kismegszakító, végáramkör)

$$R_{A(A)} = \frac{U_L}{\alpha * I_n} = \frac{50 \text{ V}}{5 * 10 \text{ A}} = 1 \Omega$$

A védőföldelés földelési ellenállásának megengedhető legnagyobb értéke a kisműhely végáramköreinél:

I_a értékét a kismegszakító karakterisztikájának 0,4 s kioldási időhöz tartozó értéke szolgáltatná, ennek hiányában az F5 táblázatból $\alpha = 5$, így:

$$R_{A(B)} = \frac{U_L}{\alpha * I_n} = \frac{50 \text{ V}}{5 * 16 \text{ A}} = 0,625 \Omega$$

A védőföldelés földelési ellenállásának megengedhető legnagyobb értéke az „E” lakáselosztóig (innen indulnak a lakásáramkörök, 10 A; 16 A):

$\alpha = 5$ (F5 táblázat, "B" karakterisztikájú kismegszakító, végáramkör)

$$R_{A(E)} = \frac{U_L}{\alpha * I_n} = \frac{50 \text{ V}}{5 * 16 \text{ A}} = 0,625 \Omega$$

A védőföldelés földelési ellenállásának megengedhető legnagyobb értéke a lakás világító testeinél:

$\alpha = 5$ (F5 táblázat, "B" karakterisztikájú kismegszakító, végáramkör)

$$R_{A(C)} = \frac{U_L}{\alpha * I_n} = \frac{50 \text{ V}}{5 * 10 \text{ A}} = 1 \Omega$$

A védőföldelés földelési ellenállásának megengedhető legnagyobb értéke háztartási dugaszoló aljzatvégáramköröknél):

Az MSZ HD 60364-4-41 szabvány szerint képzetlen személyek által használt legfeljebb 20 A névleges áramú csatlakozóaljzatok számára, kiegészítő védelemként legfeljebb 30 mA kioldóáramú áram-védőkapcsolót kell alkalmazni. A működéséhez szükséges védőföldelési ellenállásérték:

$$R_{A(D)} = \frac{U_L}{I_{\Delta n}} = \frac{50 \text{ V}}{30 \text{ mA}} = 1,67 \text{ k}\Omega$$

Ez az érték, mint követelmény figyelmen kívül hagyható!

A védőföldelés ellenállása (R_A) a földelő szétterjedési ellenállásából (R_{SZ}); a földelő ellenállásából (R_f); a földelő vezető ellenállásából (R_{fv}); és a védővezető ellenállásából (R_{PE}) áll:

$$R_A = R_{SZ} + R_f + R_{fv} + R_{PE}$$

A gyakorlatban a földelő ellenállását (kiterjedt nagy keresztmetszetű vasanyag), sokszor a földelő vezető ellenállását is (a földelőtől az EPH csomópontig, sínig menő rövid nagy keresztmetszetű vas szalag, vagy réz vezeték) el szokták hanyagolni.

Miután a védőföldelés ellenállásának értékére számítottunk ki feltételeket, azok értékéből a védővezető ellenállásának értékét levonva megkapjuk a **földelési szétterjedési ellenállás lehető legnagyobb értékét**.

A példa hat vizsgált helyéből a négy legtávolabbi fogyasztói helyre elvégezve a számítást: A réz védővezető ellenállása a melegvítárolóig:

$$R_{PE(A)} = \rho \frac{l}{A} = \frac{1}{56} * \frac{30}{2,5} = 0,214 \Omega$$

A védőföldelés szétterjedési ellenállásának megengedhető legnagyobb értéke a melegvítároló védelmét figyelembe véve:

$$R_{SZ(A)} = R_{A(A)} - R_{PE(A)} = 1 - 0,214 = 0,786 \Omega$$

A réz védővezető ellenállása a kisműhelyig.

$$R_{PE(B)} = \frac{1}{56} * \frac{28}{2,5} = 0,2 \Omega$$

A védőföldelés szétterjedési ellenállásának megengedhető legnagyobb értéke a kisműhely védelmét figyelembe véve:

$$R_{SZ(B)} = R_{A(B)} - R_{PE(B)} = 0,625 - 0,2 = 0,425 \Omega$$

A réz védővezető ellenállása a lámpatestekig:

$$R_{PE(C)} = \frac{1}{56} * \left(\frac{16}{2,5} + \frac{12}{1,5} \right) = 0,257 \Omega$$

A védőföldelés szétterjedési ellenállásának megengedhető legnagyobb értéke a lakás lámpatesteit figyelembe véve:

$$R_{SZ(C)} = R_{A(C)} - R_{PE(C)} = 1 - 0,257 = 0,743 \Omega$$

A réz védővezető ellenállása a háztartási dugaszoló aljzatokig:

$$R_{PE(D)} = \frac{1}{56} * \frac{35}{2,5} = 0,25 \Omega$$

A védőföldelés szétterjedési ellenállásának megengedhető legnagyobb értéke a hordozható berendezéseknél (háztartási dugaszoló aljzatoknál):

$$R_{SZ(D)} = R_{A(D)} - R_{PE(D)} = 1670 - 0,25 \approx 1670 \Omega$$

Azaz áram védőkapcsoló alkalmazása esetében elegendő a földelést szabványosan elkészíteni, a földelési szétterjedési ellenállás értéke biztos megfelelő!

A fogyasztásmérő és elosztó szekrény esetében a védőföldelés ellenállásértékét tekintjük azonosnak a szétterjedési ellenállással (helyben telepített földelés).

Így a földelési szétterjedési ellenállásnak kisebbnek kell lennie, mint a hat érték legkisebbike, azaz

$$R_{SZ} \leq R_{SZ(B)} = 0,425 \Omega$$

A függőleges rúd földelő szükséges hossza:

$$l \approx \frac{\rho}{R_{SZ}} = \frac{100 \Omega m}{0,425 \Omega} = 235,3 \text{ m}$$

Vízszintes szalag földelő szükséges hossza:

$$l \approx \frac{2 * \rho}{R_{SZ}} = \frac{2 * 100 \Omega m}{0,425 \Omega} = 470,6 \text{ m}$$

Ilyen hosszúságú földelők kivitelezése mind műszakilag, mind gazdaságilag irreális!

Megoldást jelenthet, ha a hibavédelmi célú lekapcsolást áram-védőkapcsolókra (ÁVK) bízunk. A betáplálásba 300 mA-es kioldó áramú, „S”-típusú ÁVK-t célszerű beépíteni. Az „S” késleltetett típus után a másodlagos túlfeszültség-védelem túlfeszültség-korlátozójának beépítésére is sort keríthetünk. Amennyiben a leágazások szelektív testzárlatvédelmi lekapcsolása is követelmény, mód van a kívánt leágazásba egy további pillanatműködésű $I_{\Delta} = 30 \text{ mA}$ -es kioldó áramú ÁVK beépítésére.

Abetáplálási ÁVK védőföldeléssel szemben támasztott követelménye:

$$R_{A(300)} \leq \frac{U_L}{I_{\Delta}} = \frac{50 \text{ V}}{300 \text{ mA}} = 166,7 \Omega$$

Amennyiben a csatlakozóaljzat áramkörökön kívül — csatlakozóaljzat áramkörökben előírás az ÁVK alkalmazása — a többi leágazásban is $I_{\Delta} = 30 \text{ mA}$ -es ÁVK-t is alkalmazunk a védőföldeléssel szemben választott követelmény:

$$R_{A(30)} \leq \frac{U_L}{I_{\Delta}} = \frac{50 \text{ V}}{30 \text{ mA}} = 1667 \Omega$$

Azaz a védőföldelésnek kisebbnek kell lennie, mint $166,7 \Omega$ -nak. Az előző számításoknál láttuk, hogy a védővezető ellenállása tizedohm nagyságrendű, a száz ohm nagyságrendű szétterjedési ellenállás mellett elhanyagolható. Legyen pl. $R_{SZ} < 165 \Omega$,

- A rúd földelő szükséges hossza ezen esetben:

$$l \geq \frac{\rho}{R_{SZ}} = \frac{100 \Omega m}{165 \Omega} = 0,6 \text{ m}$$

A gyakorlati kivitelezés megkövetelte minimális hossz két-három méter (miután 0,6 m mechanikai tartósság szempontjából nem megbízható). Az adott feladatban a 2 m hosszúság bőven megfelel!

Természetesen szalag földelőnek a beton alap-földelő is megfelel:

$$l \geq \frac{2 * \rho}{R_{SZ}} = \frac{2 * 100 \Omega m}{165 \Omega} = 1,2 \text{ m}$$

TT-rendszer, feladatok:

Megjegyzés: A földelők hossz-számításához elegendő a közelítő összefüggést alkalmazni.

1. feladat

Egy összközműves családi ház villamosenergiaigénye $P = 3,5 \text{ kW}$. Az egyfázisú ellátás lakás áramkörét „B” karakterisztikájú kismegszakítók védik. Milyen hosszúságú szalagföldelő (betonalap-földelő) készítenő, hogy megfelelő legyen a háztartási fogyasztó- készülékek TT rendszerű hibavédelme. Az agyagos talaj fajlagos talajellenállása $\rho = 40 \Omega\text{m}$? A fogyasztásmérő szekrénytől legtávolabbi fogyasztó villamos távolsága 14 m, és a kivitelezés $1,5 \text{ mm}^2$ keresztmetszetű réz huzallal készül.

2. feladat

Milyen hosszúságú szalagföldelő lenne elegendő az 1. feladatban, ha egy 300 mA-es kioldóáramú késleltetett ÁVK-t alkalmaznak közvetlenül a fogyasztásmérő után?

3. feladat

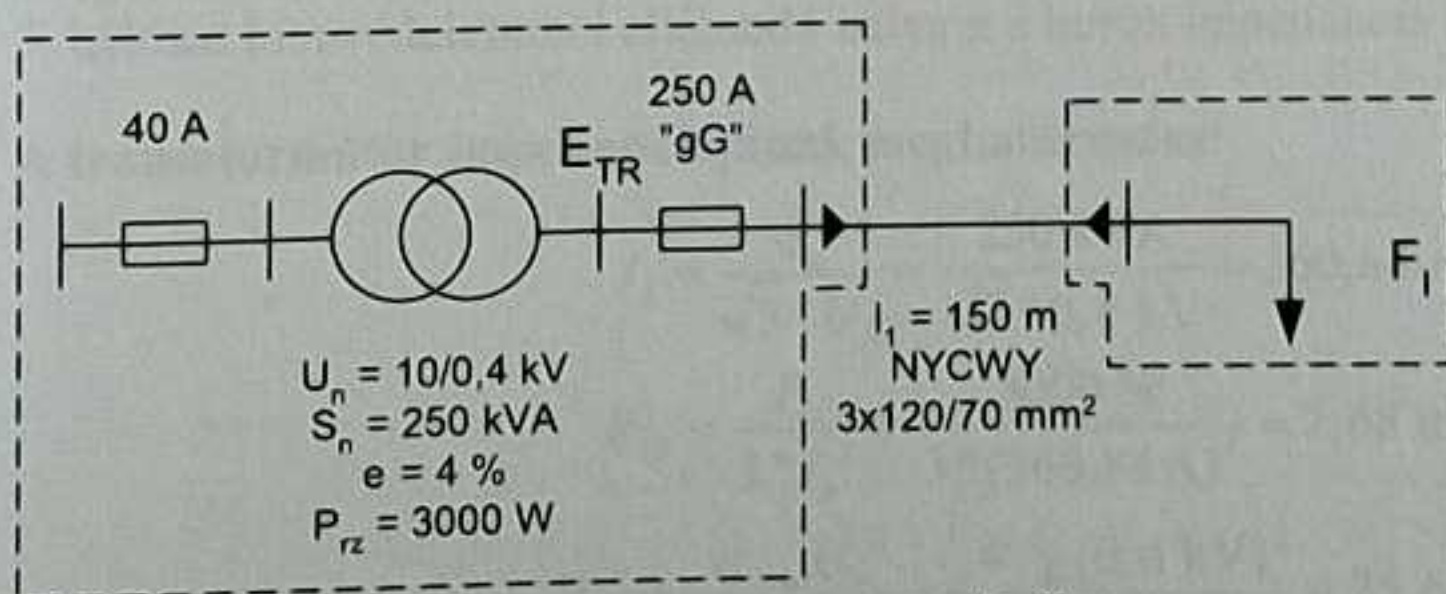
Egy helyhez kötött fogyasztót 6 A névleges áramú (Gg) biztosító véd. Milyen messze lehet a fogyasztó az elosztótól, ha a $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ alapterületű épület négy sarkában, a $25 \Omega\text{m}$ fajlagos ellenállású talajba 4 db. 4m hosszú rúd földelő van telepítve a TT-rendszerű hibavédelem számára? A három eres bekötő réz vezeték $1,5 \text{ mm}^2$ keresztmetszetű.

4. feladat

A 3. feladatban a földelő szétterjedésiellenállását talajcserével, és adalékanyag (bentonit) alkalmazásával $20 \Omega\text{m}$ -re sikerül lecsökkenteni. Milyen távol lehet így a fogyasztó az elosztótól?

5. feladat

Milyen hosszú függőleges rúd földelővel oldható meg az 5. ábra transzformátorsínről közvetlenül ellátott, csak helyhez kötött berendezést használó kisfogyasztó (F_1) TT rendszerű hibavédelme, ha a talaj fajlagos ellenállása $\rho = 75 \Omega\text{m}$? (Kábeladatok az F6 táblázatban található.) Véleményezze az eredményt a gyakorlati megvalósíthatóság szempontjából!



5. ábra

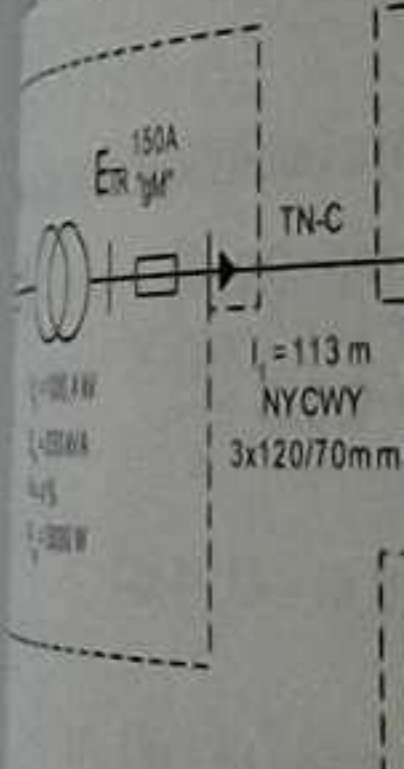
6. feladat

Hogyan módosul az 5. példa rúd földelőjével szembeni követelmény, ha az érintésvédelmi célú lekapcsolást egy $I_{\Delta} = 300 \text{ mA}$ kioldó áramú ÁVK-ra bizzuk?

TT-rendszer, eredmények:

	α	$[R_A] = \Omega$	$[R_{SZ}] = \Omega$	$[I] = \text{mA}$
1. feladat	5	0,625	0,458	175
2. feladat	ÁVK	166,7	166,5	0,48
3. feladat	6	1,39	1,56	nem megoldható
3. feladat	ÁVK	166,7	1,56	
4. feladat	6	1,39	1,25	11,8
5. feladat	5	0,625	0,518	144 kivitelezhetetlen
6. feladat	ÁVK	166,7	166,6	0,45

TT-rendszerek (N...)
 kidolgozott példák
 nem dugaszoz...
 dugaszolóaljzat...
 hogy megfelelő-e a 6. át...
 rendszerű hibavédelmé...
 5s-os kioldó áram...
 adatai a függelék F...



TT-rendszerekkel ellátandó h...
 impedanciájának

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U}$$

$$R_{TR} = \frac{P_{TR}}{3 \cdot I_n^2}$$

$$Z_{TR} = \frac{\epsilon \cdot U}{100 \cdot S}$$

$$X_{TR} = \sqrt{Z_{TR}^2 - R_{TR}^2}$$
 impedanciájának meghat...
 természetesen célszer...

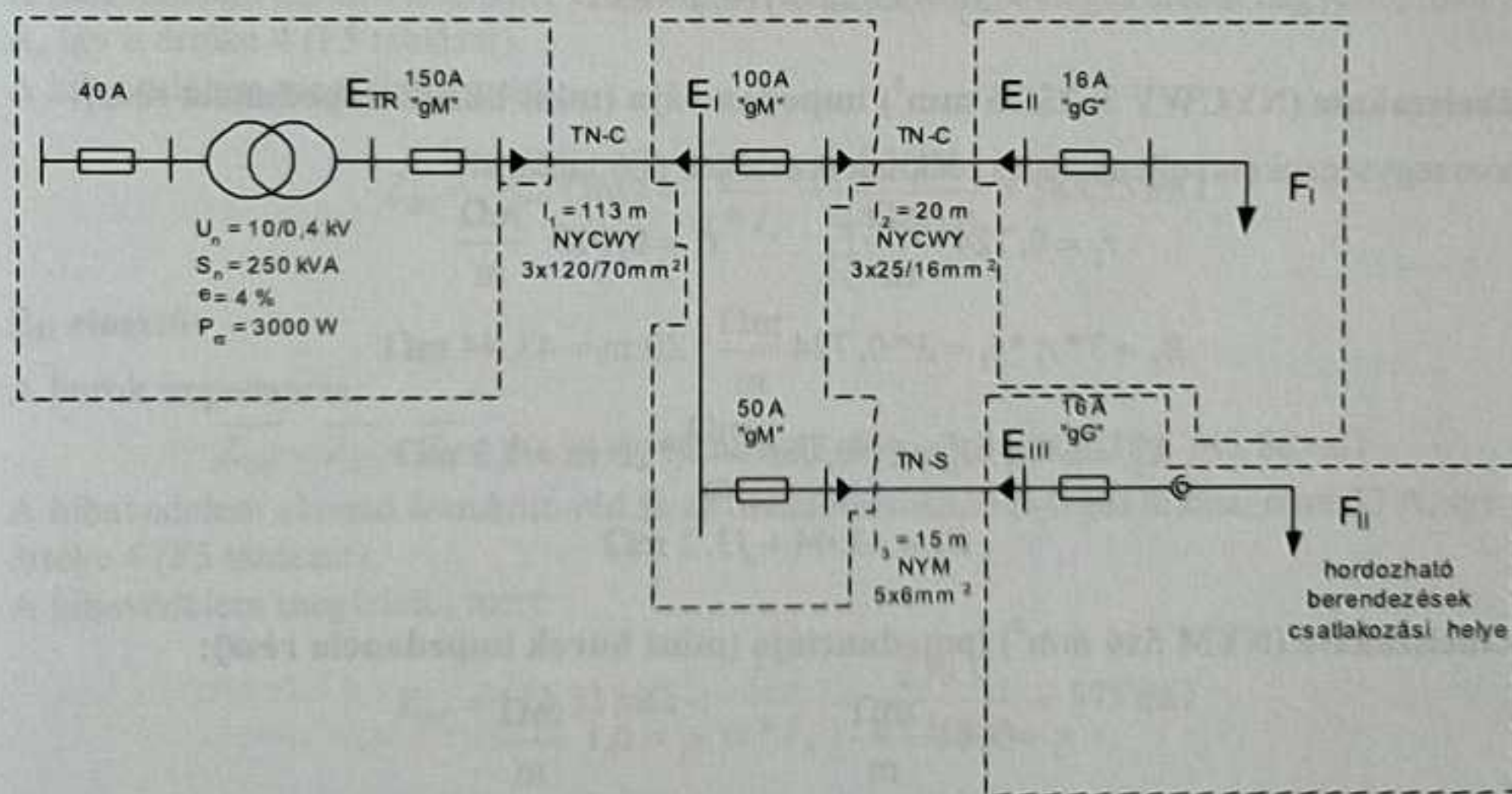
2.2.2. TN-rendszerek (Nullázás)

TN-rendszer, kidolgozott példák:

Fixen bekötött berendezés: nem dugaszolóaljzattal ellátott (végáramkörü)fogyasztókészülék.
Hordozható berendezés: dugaszolóaljzathoz csatlakozó (végáramkörü) berendezés

1. példa

Vizsgálja meg, hogy megfelelő-e a 6. ábrán az E-vel jelölt elosztók, illetve az F-fel jelölt fogyasztók TN-rendszerű hibavédelme, ha a villamosenergia-ellátás a 6. ábra szerinti! A 10 kV-os olvadóbiztosító 5s-os kioldó árama 180A.
(A kábelek villamos adatai a függelék F6. táblázatában találhatóak.)



6. ábra

Megoldás

A hálózat hibavédelemmel ellátandó helyein a hurok impedancia meghatározása:

A transzformátor impedanciájának meghatározása:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{250 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 360,84 \text{ A}$$

$$R_{TR} = \frac{P_{tr}}{3 \cdot I_n^2} = \frac{3000 \text{ W}}{3 \cdot (360,84 \text{ A})^2} = 7,68 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{4}{100} \cdot \frac{(0,4 \text{ kV})^2}{250 \text{ kVA}} = 25,6 \text{ m}\Omega$$

$$X_{TR} = \sqrt{(Z_{TR}^2 - R_{TR}^2)} = \sqrt{(25,6^2 - 7,68^2)} \text{ m}\Omega = 24,42 \text{ m}\Omega$$

$$\overline{Z}_{TR} = 7,68 + j24,42 \text{ m}\Omega$$

A vezetékek impedanciájának meghatározásakor a mérnöki gyakorlatban a katalógusadatokra támaszkodunk, természetesen célszerű a tanultak alapján az adatok ellenőrzése!

I_1 kábelszakasz (NYCWY 3x120/70 mm²) impedanciája (mint hurok impedancia rész):

A hosszegységenkénti ellenállás és reaktancia értékek (F6. táblázat):

$$r_1 = 0,157 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}}; \quad x_1 = 0,072 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}}$$

A hurok impedancia része a fázisvezető és a védővezető ellenállása. (Ha a védővezető keresztmetszete fele a fázisvezető keresztmetszetének, akkor az ellenállás számításakor a hossz miatti 2-szeres szorzó helyett – a védővezető fél keresztmetszete miatt – az ellenállást egy közelítő 3-mal lehet számolni.)

$$R_1 = 3 * r_1 * l_1 = 3 * 0,157 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} * 113 \text{ m} = 53,22 \text{ m}\Omega$$
$$X_1 = 2 * x_1 * l_1 = 2 * 0,072 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} * 113 \text{ m} = 16,27 \text{ m}\Omega$$
$$\bar{Z}_1 = 53,22 + j16,27 \text{ m}\Omega$$

I_2 kábelszakasz (NYCWY 3x25/16 mm²) impedanciája (mint hurok impedancia rész):

A hosszegységenkénti ellenállás és reaktancia értékek (F6. táblázat):

$$r_2 = 0,724 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}}; \quad x_2 = 0,080 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}}$$

$$R_2 = 3 * r_2 * l_2 = 3 * 0,724 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} * 20 \text{ m} = 43,44 \text{ m}\Omega$$
$$X_2 = 2 * x_2 * l_2 = 2 * 0,080 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} * 20 \text{ m} = 3,2 \text{ m}\Omega$$
$$\bar{Z}_2 = 43,44 + j3,2 \text{ m}\Omega$$

I_3 kábelszakasz (NYM 5x6 mm²) impedanciája (mint hurok impedancia rész):

$$r_3 = 3,03 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}}; \quad x_3 = 0,1 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}}$$

$$R_3 = 2 * r_3 * l_3 = 2 * 3,03 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} * 15 \text{ m} = 90,9 \text{ m}\Omega$$
$$X_3 = 2 * x_3 * l_3 = 2 * 0,1 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} * 15 \text{ m} = 3 \text{ m}\Omega$$
$$\bar{Z}_3 = 90,9 + j3 \text{ m}\Omega$$

A hibavédelem vizsgálata a kritikus pontokban (E_{TR} , E_I , E_{II} , E_{III} , F_I , F_{II})

E_{TR} elosztó

A transzformátor szekunder oldalán lévő elosztóban (E_{TR}) az első hibavédelmi elem előtti testzárlatra csak a primer oldali olvadóbiztosító tud védelmet biztosítani. Miután a számításokat a transzformátor kiefeszültségű oldalán végezzük — számítási feszültség szint 0,4 kV — az 5s-os kioldó áramot, mely 160 A, át kell számolni a szekunder oldalra.

$I_a^{0,4 \text{ kV}} = \frac{10 \text{ kV}}{0,4 \text{ kV}} * 160 \text{ A} = 4000 \text{ A}$. Az érintésvédelem az E_{TR} elosztóban a 150 A-es biztosító előtti testzárlatra megfelelő, ha:

$$Z_S^{E_{TR}} \leq \frac{U_0}{I_a} = \frac{230}{4000} = 0,0575 \Omega$$

A vizsgált esetben a testzárlati áramot csak a transzformátor impedanciája korlátozza (a mögöttes hálózat zárlati teljesítménye végtelen nagyra tekinthető), azaz:

$$Z_S^{E_{Tr}} = Z_{TR} = 25,6 \text{ m}\Omega,$$

amely érték kisebb, mint 57,5 m Ω , tehát a TN rendszerű hibavédelem megfelelő.

Megjegyzés: A feleslegesen sok indexpelés elkerülése érdekében hurokimpedanciára utaló S indexet elhagyjuk, és továbbiakban csak a helyre utaló jelölést tartjuk meg! Azaz:

$$Z_S^{E_I} = Z_{EI}$$

E_I elosztó

A hurok impedancia:

$$\overline{Z_{EI}} = \overline{Z_{TR}} + \overline{Z_1} = 7,68 + j24,41 + 53,22 + j16,27 = 60,90 + j40,68 \text{ m}\Omega$$

A hibavédelem elosztó áramkört véd és az olvadóbiztosító névleges árama nagyobb, mint 32 A, így α értéke 4 (F5 táblázat).

A hibavédelem megfelelő, mert:

$$Z_{EI} = 73,24 \text{ m}\Omega < \frac{U_0}{\alpha * I_n} = \frac{230 \text{ V}}{4 * 150 \text{ A}} = 383,33 \text{ m}\Omega$$

E_{II} elosztó

A hurok impedancia:

$$\overline{Z_{EII}} = \overline{Z_{EI}} + \overline{Z_2} = 60,94 + j40,68 + 43,44 + j3,2 = 104,38 + j43,88 \text{ m}\Omega$$

A hibavédelem elosztó áramkört véd és az olvadóbiztosító névleges árama, mint 32 A, így α értéke 4 (F5 táblázat).

A hibavédelem megfelelő, mert:

$$Z_{EI} = 113,23 \text{ m}\Omega < \frac{U_0}{\alpha * I_n} = \frac{230 \text{ V}}{4 * 100 \text{ A}} = 575 \text{ m}\Omega$$

F_I fogyasztó

Az E_{II} elosztó közvetlenül a fogyasztónál van, a rövid bekötő vezeték nincs megadva, így:

$$Z_{FI} = Z_{EII}$$

A hibavédelem végáramkört véd és az olvadóbiztosító névleges árama kisebb, mint 25 A, így α értéke 6 (F5 táblázat).

A hibavédelem megfelelő, mert:

$$Z_{EI} = 113,23 \text{ m}\Omega < \frac{U_0}{\alpha * I_n} = \frac{230 \text{ V}}{6 * 16 \text{ A}} = 2,4 \Omega$$

E_{III} elosztó

A hurok impedancia:

$$\overline{Z_{EIII}} = \overline{Z_{EI}} + \overline{Z_3} = 60,9 + j40,68 + 90,9 + j3 = 151,8 + j43,68 \text{ m}\Omega$$

A hibavédelem elosztó áramkört véd és az olvadóbiztosító névleges árama nagyobb, mint 32 A, így α értéke 4 (F5 táblázat).

A hibavédelem megfelelő, mert:

$$Z_{EI} = 0,158 \Omega < \frac{U_0}{\alpha * I_n} = \frac{230 \text{ V}}{4 * 50 \text{ A}} = 1.15 \Omega$$

F_{II} fogyasztó

Az E_{III} elosztó közvetlenül a fogyasztónál van, a rövid bekötő vezeték nincs megadva, így:

$$Z_{FII} = Z_{EIII}$$

A hurok impedancia:

$$\overline{Z}_{FII} = \overline{Z}_{EI} + \overline{Z}_3 = 60,9 + j40,68 + 90,9 + j3 = 151,8 + j43,68 \text{ m}\Omega$$

A hibavédelem hordozható berendezést véd, ez dugaszoló aljzathoz való csatlakozást jelent, kiegészítő védelemként 30 mA névleges különbozeti kioldóáramú ÁVK-t kell beépíteni!

$$Z_{FII} = 158 \text{ m}\Omega < \frac{U_0}{I_{\Delta n}} = \frac{230 \text{ V}}{0,03 \text{ A}} = 7667 \Omega$$

a hibavédelem megfelelő!

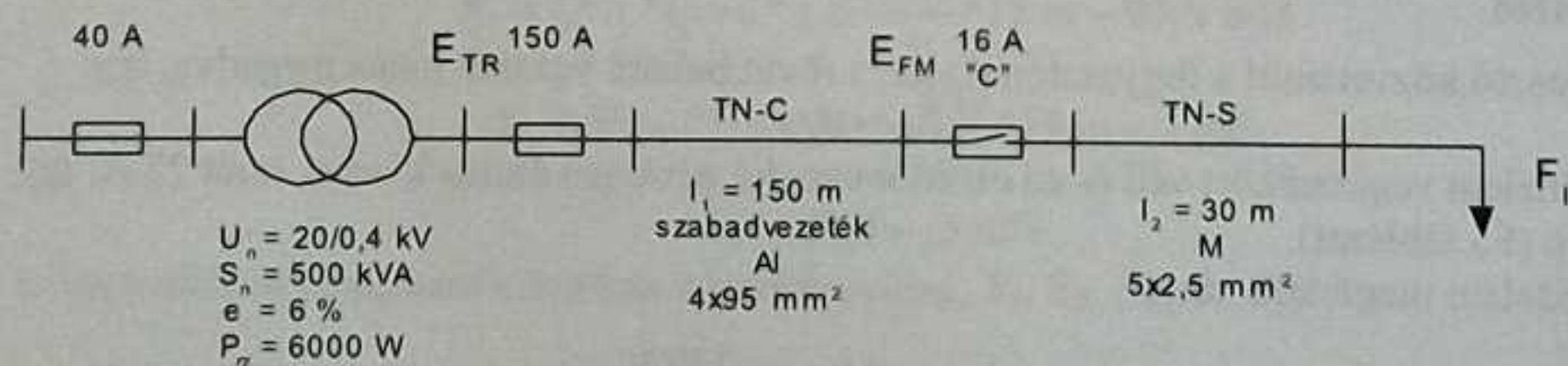
Ha a fogyasztót fixen bekötjük (végáramkör), akkor miután az olvadóbiztosító névleges árama kisebb, mint 25 A, így α értéke 6 (F5 táblázat).

$$Z_{FII} = 158 \text{ m}\Omega < \frac{U_0}{\alpha * I_n} = \frac{230 \text{ V}}{6 * 16 \text{ A}} = 2,4 \Omega. \text{ A hibavédelem így is megfelelő.}$$

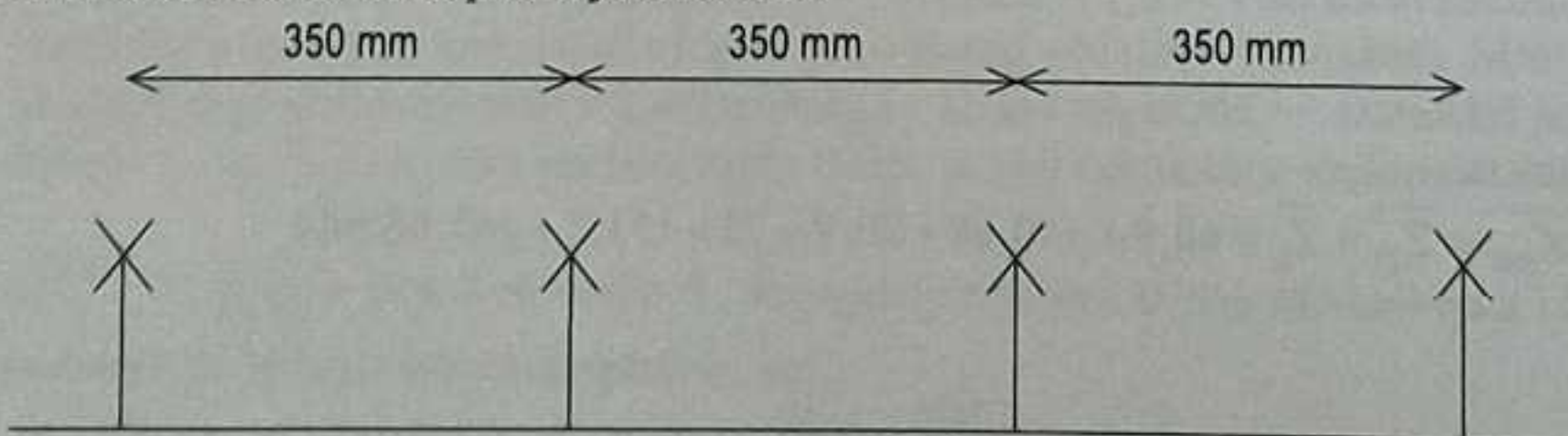
Megjegyzés: A vezeték adatokból látható hogy 25 mm² alatt a kábel impedanciájának reaktancia része elhanyagolható, elég lenne az ellenállással számolni.

2. példa

Vizsgáljuk meg a 7. ábra csupasz-szabadvezetékes villamos energia ellátó hálózatánál, hogy a csak fogyasztói hálózatot figyelembe vevő francia módszer alkalmazható-e!



A szabadvezeték oszlopok fejszerkezete:



7. ábra

Megjegyzés

Családi házak érintésvédelmi felülvizsgálatánál gyakran adódik az a probléma, hogy a fogyasztásmérő szekrény előtti áramszolgáltatói hálózatrész adatai nem ismertek, így a hurokimpedanciák nagyságát nem lehet meghatározni.

A francia gyakorlatban ezt úgy oldják meg, hogy — nagyszámú statisztikai adathalmaz alapján — a hurokimpedancián eső feszültséget 20% / 80% arányban felosztják az áramszolgáltatói és a fogyasztói hálózat között. Így a fogyasztói hálózatra, mint hurokrészre eső feszültség a hálózati fázisfeszültség 0,8 szorososa.

A módszernek az a járulékos előnye, hogy a fogyasztói hálózatrészen hurok impedancia helyett elegendő hurokellenállással számolni, mert kábel illetve szigetelt vezeték esetében a reaktancia értéke az ellenállás értékéhez képest elhanyagolható.

Megoldás:

A transzformátor impedanciája

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 0,4 \text{ kV}} = 721,69 \text{ A}$$

$$R_{TR} = \frac{P_r}{3 * I_n^2} = \frac{6000 \text{ W}}{3 * (721,69 \text{ A})^2} = 3,84 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{TR} = \frac{\epsilon}{100} * \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{6}{100} * \frac{(0,4 \text{ kV})^2}{500 \text{ kVA}} = 19,2 \text{ m}\Omega$$

$$X_{TR} = \sqrt{(Z_{TR}^2 - R_{TR}^2)} = \sqrt{(19,2^2 - 3,84^2)} \text{ m}\Omega = 18,81 \text{ m}\Omega$$

$$\overline{Z}_{TR} = 3,84 + j18,81 \text{ m}\Omega$$

A szabadvezeték impedanciája

A fázistávolság a 7. ábra alapján $D = 350 \text{ mm}$. A szabadvezetékek közül a vizsgált fogyasztó felé haladó 95 mm^2 keresztmetszetű alumínium sodrony GMR értéke a VEL1 példatárban található táblázat szerint $4,74 \text{ mm}$. Kisfeszültségen a legnagyobb hurok az L_1 fázisvezető és a nullavezető közötti, ezt figyelembe véve a mértékadó távolság $D = 700 \text{ mm}$, így:

$$x_{1=l_1} * 0,145 * \lg \frac{D}{\text{GMR}} = 0,15 \text{ km} * \left(0,145 * \lg \frac{700 \text{ mm}}{4,74 \text{ mm}} \right) \frac{\Omega}{\text{km}} = 0,047$$

$$R_1 = \rho_{Al} * \frac{l_1}{A_1} = \frac{1}{35} \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} * \frac{150 \text{ m}}{95 \text{ mm}^2} = 0,045 \Omega$$

$$Z_1 = 45 + j31 \text{ m}\Omega$$

A fogyasztó szigetelt vezetékének ellenállása

Megjegyzés:

Mivel a szigetelt vezetékek egymás mellett haladnak a reaktancia értéke elhanyagolható!

$$R_2 = \rho_{Cu} * \frac{l_2}{A_2} = \frac{1}{56} \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} * \frac{30 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 0,214 \Omega$$

A fogyasztónál fellépő testzárlatot figyelembe véve a két hurok impedancia rész

$$\overline{Z}_S^{ASZ} = \overline{Z}_{TR} + 2\overline{Z}_1 = 3,84 + j18,81 + 2(45 + j31) = 94 + j81 \text{ m}\Omega \quad Z_S^{ASZ} = 124 \text{ m}\Omega$$

$$Z_S^F = R_h^F = 2R_2 = 2 \cdot 214 = 428 \text{ m}\Omega$$

$$\overline{Z}_S = \overline{Z}_S^{ASZ} + \overline{Z}_S^F = 94 + j81 + 428 = 522 + j81 \Omega \quad Z_S = 528 \Omega$$

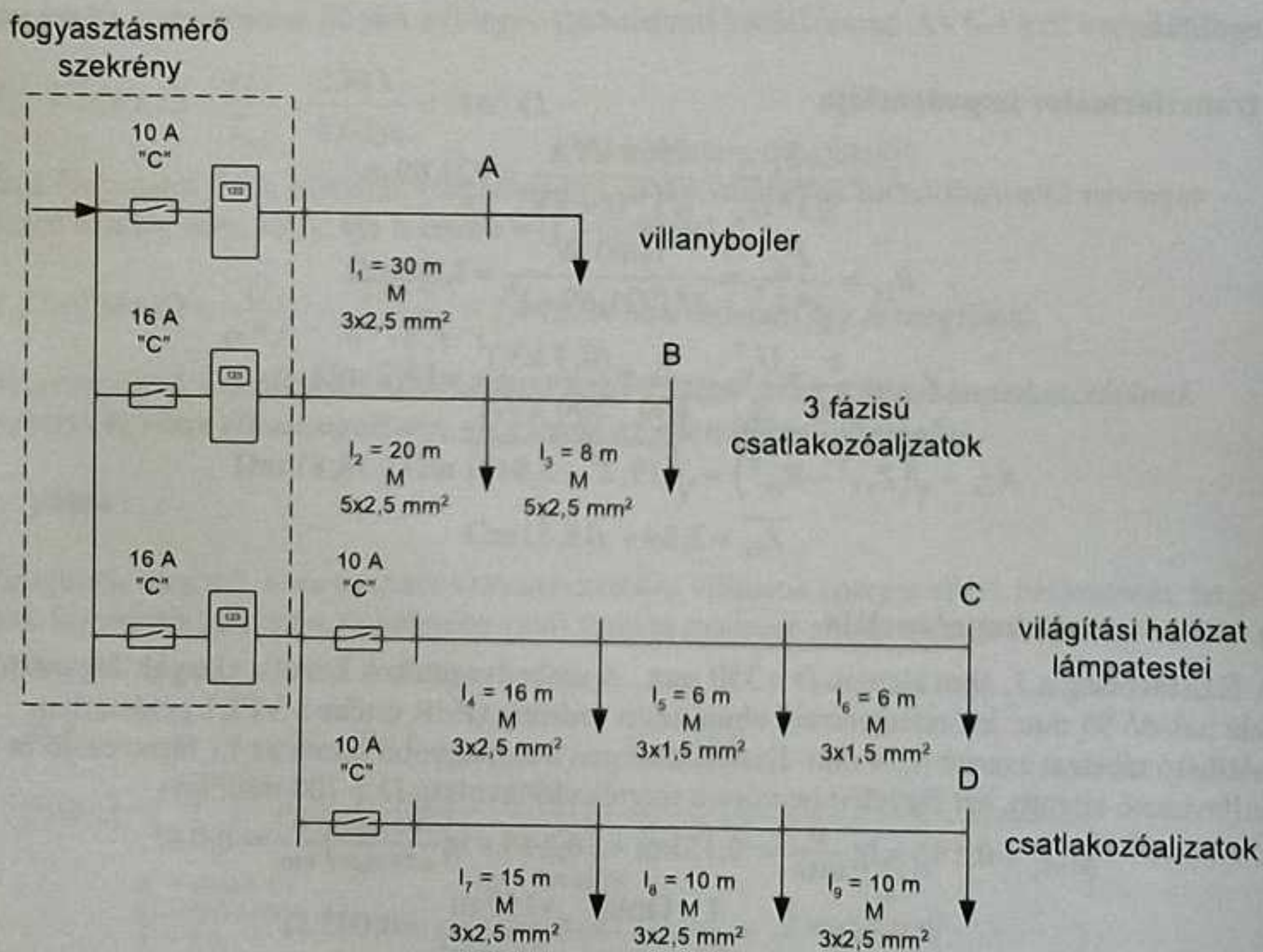
Durva közelítéssel a fogyasztói hurokimpedancia-részre eső feszültség százalékos értéke

$$\frac{U_F}{U_0} \approx \frac{Z_S^F}{Z_S} \cdot 100\% = \frac{428}{528} \cdot 100\% = 81\%$$

Tehát a francia közelítés — a fogyasztói hálózatra felvett 80%-os közelítés — elfogadható.

3. példa

A 8. ábra egy családi ház villamos hálózatát modellezi. Megfelelő-e a tervezett TN-S rendszerű hibavédelem, ha a villanybojler és a világítás áramkörök megszakítóit „B” típusúra cserélték?



8. ábra

Megoldás

Lakások, családi házak villamos hálózatának létesítése kis keresztmetszetű szigetelt vezetékkel készül, így az épületen belül elegendő a hurokellenállással számolni ($X/R < 0,05$), és a francia módszer szerinti fogyasztói hálózati hurokellenállás részre eső feszültségként $0,8U_0$ értéket figyelembe venni.

Az egyes vezetékszakaszok, mint hurokellenállás részek (oda-vissza vezetés) ellenállásának kiszámítása

$$R_1 = 2 * \rho_{\text{rész}} * \frac{l_1}{A_1} = 2 * \frac{1}{56} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{30 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 428,57 \text{ m}\Omega$$

$$R_2 = 2 * \rho_{\text{rész}} * \frac{l_2}{A_2} = 2 * \frac{1}{56} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{20 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 285,71 \text{ m}\Omega$$

$$R_3 = 2 * \rho_{\text{rész}} * \frac{l_3}{A_3} = 2 * \frac{1}{56} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{8 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 114,29 \text{ m}\Omega$$

$$R_4 = 2 * \rho_{\text{rész}} * \frac{l_4}{A_4} = 2 * \frac{1}{56} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{16 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 228,57 \text{ m}\Omega$$

$$R_5 = 2 * \rho_{\text{rész}} * \frac{l_5}{A_5} = 2 * \frac{1}{56} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{6 \text{ m}}{1,5 \text{ mm}^2} = 142,86 \text{ m}\Omega$$

$$R_6 = 2 * \rho_{\text{rész}} * \frac{l_6}{A_6} = 2 * \frac{1}{56} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{6 \text{ m}}{1,5 \text{ mm}^2} = 142,86 \text{ m}\Omega$$

$$R_7 = 2 * \rho_{\text{rész}} * \frac{l_7}{A_7} = 2 * \frac{1}{56} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{15 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 214,29 \text{ m}\Omega$$

$$R_8 = 2 * \rho_{\text{rész}} * \frac{l_8}{A_8} = 2 * \frac{1}{56} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{10 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 142,86 \text{ m}\Omega$$

$$R_9 = 2 * \rho_{\text{rész}} * \frac{l_9}{A_9} = 2 * \frac{1}{56} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{10 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 142,86 \text{ m}\Omega$$

A hibavédelem vizsgálata a kritikus pontokban (A, B, C, D, E)

A hurokimpedancia vizsgálatánál egy-egy hibavédelmi készülék utáni hálózatrészen a villamosan legtávolabbi fogyasztó vizsgálata elegendő, azaz nem kell minden egyes fogyasztót egyesével végigszámolni. Elegendő csak az azonos hibavédelmi készülékről ellátott legnagyobb hurok impedancia kiszámolása. Ez a láncba fűzött fogyasztók esetén az utolsó, párhuzamosan kapcsolt fogyasztók esetén pedig a hosszabb vezetékkel ellátott lesz. Az ábrán ezek a kritikus pontok az ábécé nagybetűivel vannak megjelölve.

Villanybojler (A)

A hibavédelem fixen bekötött berendezést véd (végáramkör), és a kismegszakítót „B” karakterisztikájú cserélték ezért α értéke 5 (F5 táblázat).

$$R_A = R_1 = 228,57 \text{ m}\Omega < \frac{0,8U_0}{\alpha * I_n} = \frac{0,8 * 230 \text{ V}}{5 * 10 \text{ A}} = 3680 \text{ m}\Omega, \text{ azaz az érintésvédelem megfelelő.}$$

Műhely (B)

A hibavédelem csatlakozó aljzatokat is véd (végáramkör), ezért kiegészítő védelemként 30 mA kioldóáramú ÁVK alkalmazása előírás, ezért kétféle képen járhatunk el: Vagy ÁVK-val védjük az összes fogyasztót, vagy a dugaszolóaljzatok számára külön áramkört létesítünk. A gyakorlás érdekében válasszuk az utóbbit. Akkor a helyhez kötött fogyasztók védelmére a „C” karakterisztikájú kismegszakító szolgál, végáramkör így α értéke 10 (F5 táblázat).
A legtávolabbi fogyasztóhurokellenállás-része:

$$R_B = R_2 + R_3 = 285,71 \text{ m}\Omega + 114,29 \text{ m}\Omega = 400 \text{ m}\Omega$$

$$R_B = 400 \text{ m}\Omega < \frac{0,8U_0}{\alpha * I_n} = \frac{0,8 * 230 \text{ V}}{10 * 16 \text{ A}} = 1150 \text{ m}\Omega, \quad \text{azaz a hibavédelem megfelelő.}$$

A csatlakozóaljzatok áramköri adatait az előzővel azonosnak feltételezve

$$R_B = 400 \text{ m}\Omega < \frac{0,8U_0}{I_\Delta} = \frac{0,8 * 230 \text{ V}}{0,03 \text{ A}} = 6133 \Omega$$

azaz a hibavédelem megfelelő.

Lámpatestek (C)

A hibavédelem fixen bekötött berendezést véd (végáramkör) és akismegszakítót „C”-ről „B” karakterisztikájúra cserélték ezért α értéke 5 (F5 táblázat).

A legtávolabbi lámpatest érintésvédelme:

$$R_C = R_4 + R_5 + R_6 = 228,57 \text{ m}\Omega + 142,86 \text{ m}\Omega + 142,86 \text{ m}\Omega = 514,29 \text{ m}\Omega$$

$$R_C = 514,29 \text{ m}\Omega < \frac{0,8U_0}{\alpha * I_n} = \frac{0,8 * 230 \text{ V}}{5 * 10 \text{ A}} = 3680 \text{ m}\Omega, \quad \text{azaz a hibavédelem megfelelő.}$$

Egyfázisú csatlakozóaljzatok (D)

A hibavédelem céljára 30 mA kioldóáramú ÁVK építendő be.

A legtávolabbi csatlakozóaljzat hibavédelme:

$$R_D = R_7 + R_8 + R_9 = 214,29 \text{ m}\Omega + 142,86 \text{ m}\Omega + 142,86 \text{ m}\Omega = 500 \text{ m}\Omega$$

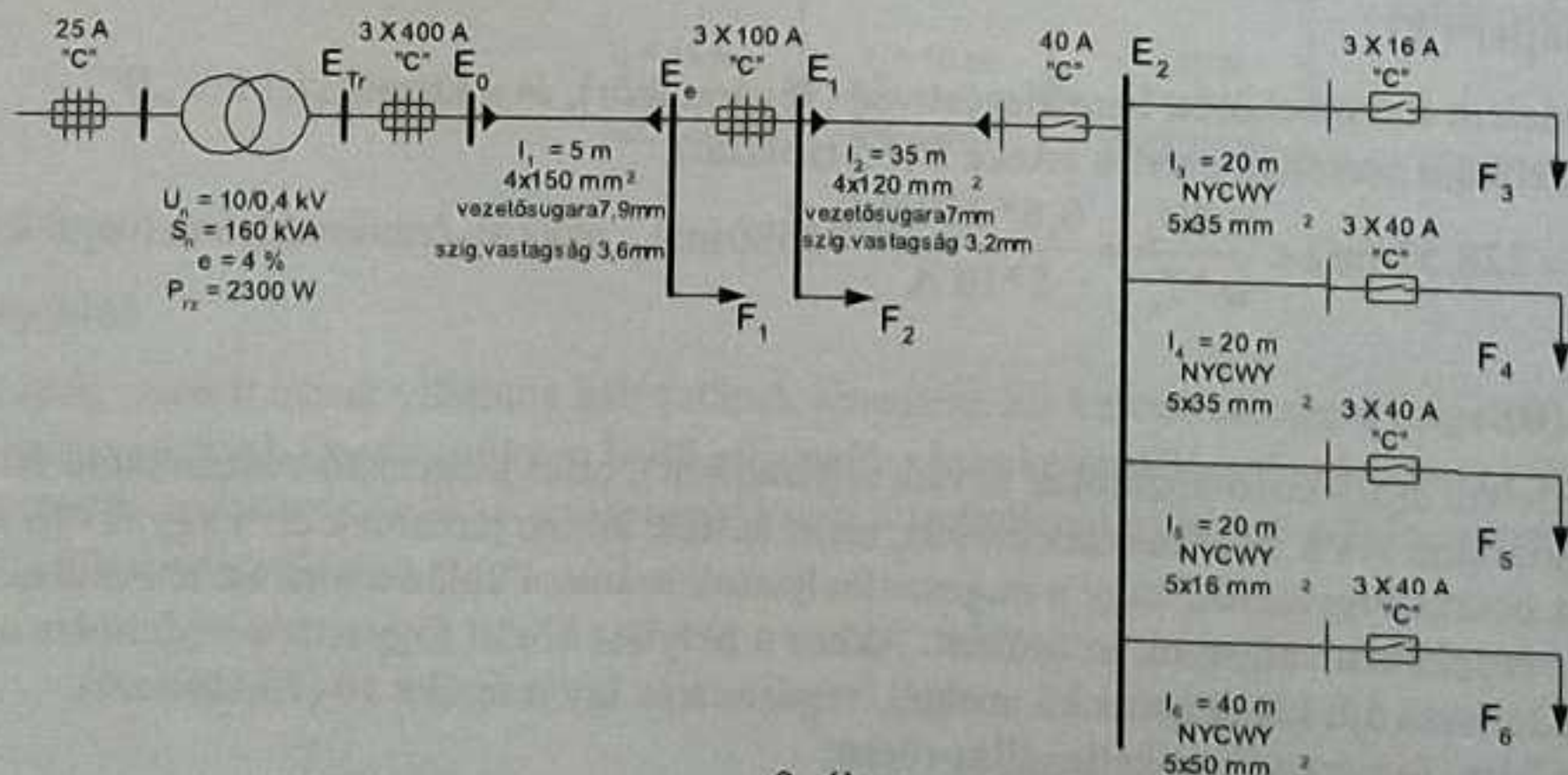
$$R_D = 500 \text{ m}\Omega < \frac{0,8 * U_0}{I_\Delta} = \frac{0,8 * 230 \text{ V}}{0,03 \text{ A}} = 6133 \Omega$$

azaz a hibavédelem megfelelő.

4. példa

Ellenőrizzük a 9. ábra villamos energia ellátó hálózatának TN-rendszerű hibavédelmét!

Adatok: Az E_0 ; E_1 elosztók áramszolgáltatói tulajdonban vannak, a méretlen hálózat részei. A kábelek típusa nem ismert, villamos paramétereit méretadatokból kell számítani. F_1 ; F_2 tervezett fogyasztás, az áramkör és vele annak védelme később épül ki. F_3 ; F_4 ; F_5 ; F_6 fogyasztók helyhez kötöttek, míg F_6 hordozható fogyasztó.



9. ábra

Megoldás

A hálózat hibavédelemmel ellátandó helyein a hurokimpedancia meghatározása.

A transzformátor impedanciája

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{160 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 0,4 \text{ kV}} = 230,95 \text{ A.}$$

$$R_{TR} = \frac{P_r}{3 * I_n^2} = \frac{2300 \text{ W}}{3 * (230,95 \text{ A})^2} = 14,3 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{TR} = \frac{\epsilon}{100} * \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{4}{100} * \frac{(0,4 \text{ kV})^2}{160 \text{ kVA}} = 40 \text{ m}\Omega$$

$$X_{Tr} = \sqrt{Z_{Tr}^2 - R_{Tr}^2} = \sqrt{0,04^2 - 0,014^2} = j37,5 \text{ m}\Omega$$

$$\overline{Z_{TR}} = 14,3 + j37,5 \text{ m}\Omega$$

l_1 kábelszakasz ($4 \times 150 \text{ mm}^2$) impedanciája (mint hurokimpedancia-rész):

A hosszegységenkénti ellenállás értéke (F7 táblázat):

$$R_1 = l_1 * R_l = 0,005 * 0,124 = 0,62 * 10^{-3} \Omega$$

A reaktancia számítása:

Az adott kábel paraméterei:

$$l_1 = 5 \text{ m}$$

$$d = 15,8 \text{ mm}$$

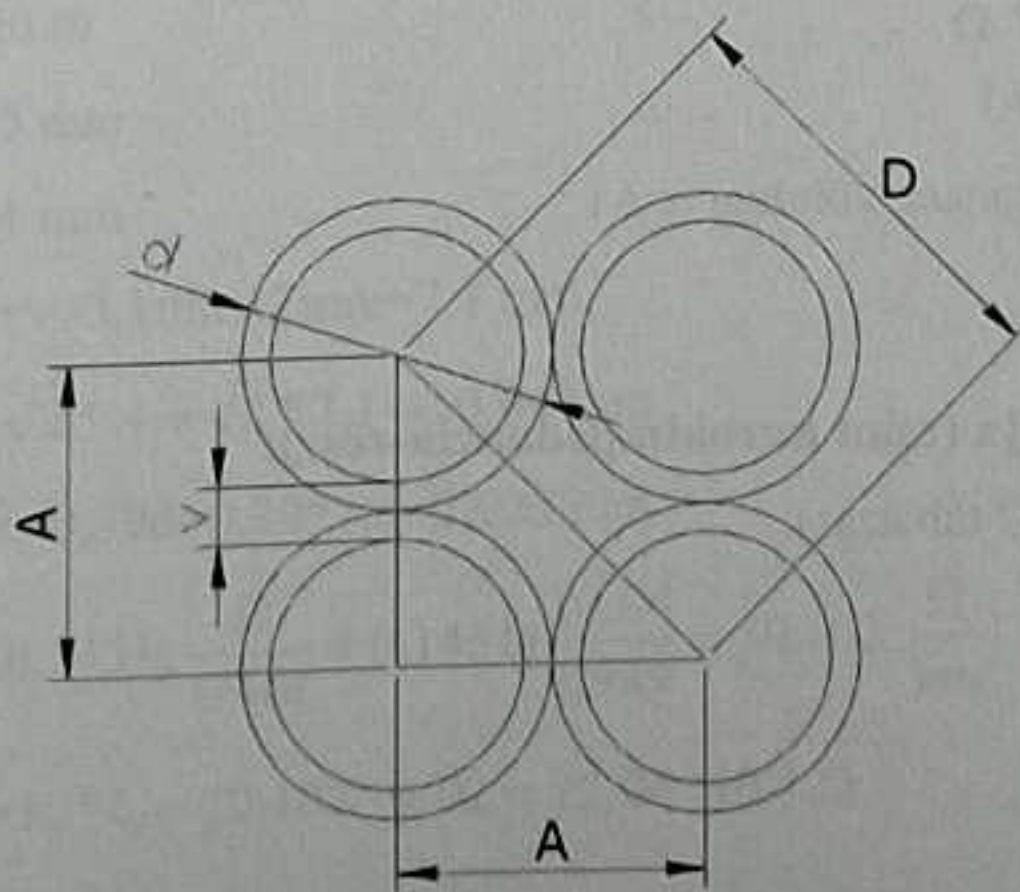
(A vezető átmérője)

$$v = 3,6 \text{ mm}$$

(A szigetelők vastagsága az erek közt)

$$A = d + v = 15,8 \text{ mm} + 3,6 \text{ mm} = 19,4 \text{ mm}$$

A fázis nulla hurok legnagyobb távolságért vizsgálva:



$$D = \sqrt{2} * A = \sqrt{2} * 19,4 = 27,44 \text{ mm}$$

$$GMR = re^{\frac{1}{4}} = d \frac{e^{\frac{1}{4}}}{2} = 0,39d$$

$$GMR = 0,39d = 0,39 * 15,8 = 6,162 \text{ mm}$$

$$x_1 = 0,145 \lg \frac{D}{GMR} = 0,145 \lg \frac{27,44}{6,162} = j0,094 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$X_1 = x_1 * l_1 = j0,094 * 0,005 = j0,47 * 10^{-3} \Omega$$

Az impedancia

$$\bar{Z}_1 = (0,62 * 10^{-3} + j0,47 * 10^{-3}) \Omega$$

L₂ kábelszakasz (4x120mm²) impedanciája (mint hurokimpedancia-rész)

A hosszegységenkénti ellenállás értéke (F7 táblázat):

$$R_2 = l_2 * R_2 = 0,035 * 0,153 = 5,3 * 10^{-3} \Omega$$

A reaktancia számítása

Az adott kábel paraméterei:

$$L_2 = 35 \text{ m}$$

$$d = 13 \text{ mm} \quad (\text{A vezető átmérője})$$

$$v = 3,2 \text{ mm} \quad (\text{A szigetelők vastagsága az erek közt})$$

$$A = d + v = 13 \text{ mm} + 3,2 \text{ mm} = 16,2 \text{ mm}$$

$$D = \sqrt{2} * A = \sqrt{2} * 17,2 = 23,32 \text{ mm}$$

$$GMR = 0,39d = 0,39 * 14 = 5,46 \text{ mm}$$

$$x_2 = 0,145 \lg \frac{D}{GMR} = 0,145 \lg \frac{23,32}{5,46} = j0,094 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$X_2 = x_2 * l_2 = j0,094 * 0,035 = j3,29 * 10^{-3} \Omega$$

Az impedancia

$$\bar{Z}_2 = (5,3 * 10^{-3} + j3,29 * 10^{-3}) \Omega$$

L₃ kábelszakasz (5x35mm²) impedanciája (mint hurokimpedancia-rész):

A hosszegységenkénti ellenállás értéke (F7 táblázat):

$$R_3 = l_3 * R_3 = 0,02 * 0,524 = 10,4 * 10^{-3} \Omega$$

A reaktancia számítása

Az adott kábel paraméterei:

$$L_3 = 20 \text{ m}$$

$$d = 7,5 \text{ mm}$$

(A vezető átmérője)

$$v = 2,4 \text{ mm}$$

(A szigetelők vastagsága az erek közt)

$$A = d + v = 7,5 \text{ mm} + 2,4 \text{ mm} = 9,9 \text{ mm}$$

$$D = \sqrt{2} * A = \sqrt{2} * 9,9 = 14 \text{ mm}$$

$$GMR = 0,39d = 0,39 * 7,5 = 2,925 \text{ mm}$$

$$x_3 = 0,145 \lg \frac{D}{GMR} = 0,145 \lg \frac{14}{2,925} = j0,098 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$X_3 = x_3 * l_3 = j0,098 * 0,02 = j1,96 * 10^{-3} \Omega$$

Az impedancia

$$\bar{Z}_3 = (10,4 * 10^{-3} + j1,96 * 10^{-3}) \Omega$$

L_3 kábelszakasz megegyezik az L_4 kábelszakasszal ezért az impedanciájuk is, megegyezik:

Az impedancia

$$\bar{Z}_4 = \bar{Z}_3 = (10,4 * 10^{-3} + j1,96 * 10^{-3}) \Omega$$

L_5 kábelszakasz ($5 \times 16 \text{ mm}^2$) impedanciája (mint hurokimpedancia-rész):

A hosszegységenkénti ellenállás értéke (F7 táblázat):

$$R_5 = l_5 * R_5 = 0,02 * 1,15 = 23 * 10^{-3} \Omega$$

A reaktancia számítása

Az adott kábel paraméterei:

$$L_5 = 20 \text{ m}$$

$$d = 7,5 \text{ mm}$$

(A vezető átmérője)

$$v = 2,4 \text{ mm}$$

(A szigetelők vastagsága az erek közt)

$$A = d + v = 5,1 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 7,1 \text{ mm}$$

$$D = \sqrt{2} * A = \sqrt{2} * 7,1 = 10,04 \text{ mm}$$

$$GMR = 0,39d = 0,39 * 7,5 = 2,925 \text{ mm}$$

$$x_5 = 0,145 \lg \frac{D}{GMR} = 0,145 \lg \frac{10,04}{1,989} = j0,102 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$X_5 = x_5 * l_5 = j0,102 * 0,02 = j2,04 * 10^{-3} \Omega$$

Az impedancia

$$\bar{Z}_5 = (23 * 10^{-3} + j2,04 * 10^{-3}) \Omega$$

L_6 kábelszakasz ($5 \times 50 \text{ mm}^2$) impedanciája (mint hurokimpedancia-rész):

A hosszegységenkénti ellenállás értéke (F7 táblázat):

$$R_6 = l_6 \cdot R_6 = 0,02 \cdot 1,15 = 23 \cdot 10^{-3} \Omega$$

A reaktancia számítása

Az adott kábel paraméterei:

$$L_6 = 40 \text{ m}$$

$$d = 9 \text{ mm} \quad (\text{A vezető átmérője})$$

$$v = 2,8 \text{ mm} \quad (\text{A szigetelők vastagsága az erek közt})$$

$$A = d + v = 9 \text{ mm} + 2,8 \text{ mm} = 11,8 \text{ mm}$$

$$D = \sqrt{2} \cdot A = \sqrt{2} \cdot 11,8 = 16,68 \text{ mm}$$

$$\text{GMR} = 0,39d = 0,39 \cdot 9 = 3,51 \text{ mm}$$

$$x_6 = 0,145 \lg \frac{D}{\text{GMR}} = 0,145 \lg \frac{16,68}{3,51} = j0,098 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$X_6 = x_6 \cdot l_6 = j0,098 \cdot 0,02 = j1,96 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Az impedancia

$$\bar{Z}_6 = (23 \cdot 10^{-3} + j1,96 \cdot 10^{-3}) \Omega$$

Hurokimpedancia meghatározása a kültéri E_1 elosztó-berendezésig:

Az α kioldadási (kioldási) szorzó értéke: 4 (F5 táblázat):

$$\bar{Z}_{S1} = \bar{Z}_r + 2\bar{Z}_1 = (14 \cdot 10^{-3} + j37 \cdot 10^{-3}) + 2(0,62 \cdot 10^{-3} + j0,47 \cdot 10^{-3}) = (15,24 \cdot 10^{-3} + j37,94) \Omega$$

Hurokimpedancia értéke:

$$|Z_{s1}| = \sqrt{15,24^2 + 37,94^2} \cdot 10^{-3} = 0,04 \Omega$$

A megengedhető legnagyobb hurokimpedancia:

$$Z_{s1m} = \frac{U_0}{\alpha \cdot I_n} = \frac{230 \text{ V}}{4 \cdot 100 \text{ A}} = 0,575 \Omega$$

$Z_{s1} \leq Z_{s1m}$ így a hibavédelem megfelelő.

Hurokimpedancia meghatározása az E_2 jelű elosztó-berendezésig:

$$\bar{Z}_{S2} = \bar{Z}_r + 2\bar{Z}_1 + 2\bar{Z}_2 = \bar{Z}_{S1} + 2\bar{Z}_2 = (15,24 \cdot 10^{-3} + j37,94) + 2(5,3 \cdot 10^{-3} + j3,29 \cdot 10^{-3}) = (25,84 \cdot 10^{-3} + j44,52 \cdot 10^{-3}) \Omega$$

Hurokimpedancia értéke:

$$|Z_{s2}| = \sqrt{25,84^2 + 44,52^2} \cdot 10^{-3} = 0,051 \Omega$$

A megengedhető legnagyobb hurokimpedancia /aza kiolvadási (kioldási) szorzó értéke: 4 (F5 táblázat)/:

$$Z_{s2m} = \frac{U_0}{\alpha * I_n} = \frac{230V}{4 * 100A} = 0,575 \Omega$$

$Z_{s2} \leq Z_{s2m}$ így a hibavédelem megfelelő.

Hurokimpedancia meghatározása az F₃ jelű fogyasztóig (végáramkör):

$$\bar{Z}_{s3} = \bar{Z}_{rr} + 2\bar{Z}_1 + 2\bar{Z}_2 + 2\bar{Z}_3 = \bar{Z}_{s2} + 2\bar{Z}_3 = (25,84 * 10^{-3} + j44,52 * 10^{-3}) +$$

$$+ 2(10,4 * 10^{-3} + j1,96 * 10^{-3}) = (46,64 * 10^{-3} + j48,44 * 10^{-3}) \Omega$$

Hurokimpedancia értéke:

$$|Z_{s3}| = \sqrt{46,64^2 + 48,44^2} * 10^{-3} = 0,067 \Omega$$

A megengedhető legnagyobb hurokimpedancia /aza kiolvadási (kioldási) szorzó értéke (végáramkör): 6 (F5 táblázat)/:

$$Z_{s3m} \leq \frac{U_0}{\alpha * I_n} = \frac{230V}{6 * 16A} = 2,39 \Omega$$

$Z_{s3} \leq Z_{s3m}$ így a hibavédelem megfelelő.

Hurokimpedancia meghatározása az F₄ jelű fogyasztóig:

Az α kiolvadási (kioldási) szorzó értéke: 8(F5 táblázat):

$$\bar{Z}_{s4} = \bar{Z}_{rr} + 2\bar{Z}_1 + 2\bar{Z}_2 + 2\bar{Z}_4 = \bar{Z}_{s2} + 2\bar{Z}_4 =$$

$$(25,84 + j44,52) * 10^{-3} + 2(10,4 * 10^{-3} + j1,96 * 10^{-3}) =$$

$$= (46,64 + j48,4) * 10^{-3} \Omega$$

Hurokimpedancia értéke:

$$|Z_{s4}| = \sqrt{46,64^2 + 48,4^2} * 10^{-3} = 0,067 \Omega$$

A megengedhető legnagyobb hurokimpedancia /aza kiolvadási (kioldási) szorzó értéke (végáramkör): 8 (F5 táblázat)/:

$$Z_{s4m} \leq \frac{U_0}{\alpha * I_n} = \frac{230V}{8 * 40A} = 0,63 \Omega$$

$Z_{s4} \leq Z_{s4m}$ így a hibavédelem megfelelő.

Hurokimpedancia meghatározása az F₅ jelű fogyasztóig:

$$\bar{Z}_{s4} = \bar{Z}_{rr} + 2\bar{Z}_1 + 2\bar{Z}_2 + 2\bar{Z}_4 = \bar{Z}_{s2} + 2\bar{Z}_5 = (25,84 + j44,52) + 2(23 * 10^{-3} + j2,04 * 10^{-3}) =$$

$$= (71,84 + j48,6) * 10^{-3} \Omega$$

Hurokimpedancia értéke:

$$|Z_{s5}| = \sqrt{71,84^2 + 48,6^2} * 10^{-3} = 0,087 \Omega$$

A megengedhető legnagyobb hurokimpedancia /aza kiolvadási (kioldási) szorzó értéke (végáramkör): 8 (F5 táblázat)/:

$$Z_{s5m} \leq \frac{U_0}{\alpha * I_n} = \frac{230V}{8 * 40A} = 0,63 \Omega$$

$Z_{s5} \leq Z_{s5m}$ így a hibavédelem megfelelő.

Hurokimpedancia meghatározása az F₆ jelű fogyasztóig:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{s6} &= \bar{Z}_{tr} + 2\bar{Z}_1 + 2\bar{Z}_2 + 2\bar{Z}_6 = \bar{Z}_{s2} + 2\bar{Z}_6 = \\ &= (25,84 + j44,52) \cdot 10^{-3} + 2(23 \cdot 10^{-3} + j1,96 \cdot 10^{-3}) = \\ &= (71,84 + j48,6) \cdot 10^{-3} \Omega\end{aligned}$$

Hurokimpedancia értéke:

$$|Z_{s6}| = \sqrt{71,84^2 + 47,5^2} \cdot 10^{-3} = 0,087 \Omega$$

A megengedhető legnagyobb hurokimpedancia /A fogyasztó dugaszolóaljzathoz csatlakozik, 30 mA névleges különbözeti kioldóáramú ÁVK a kiegészítő védelem/:

$$Z_{s6m} \leq \frac{U_0}{I_{\Delta n}} = \frac{230V}{0,03A} = 7667 \Omega$$

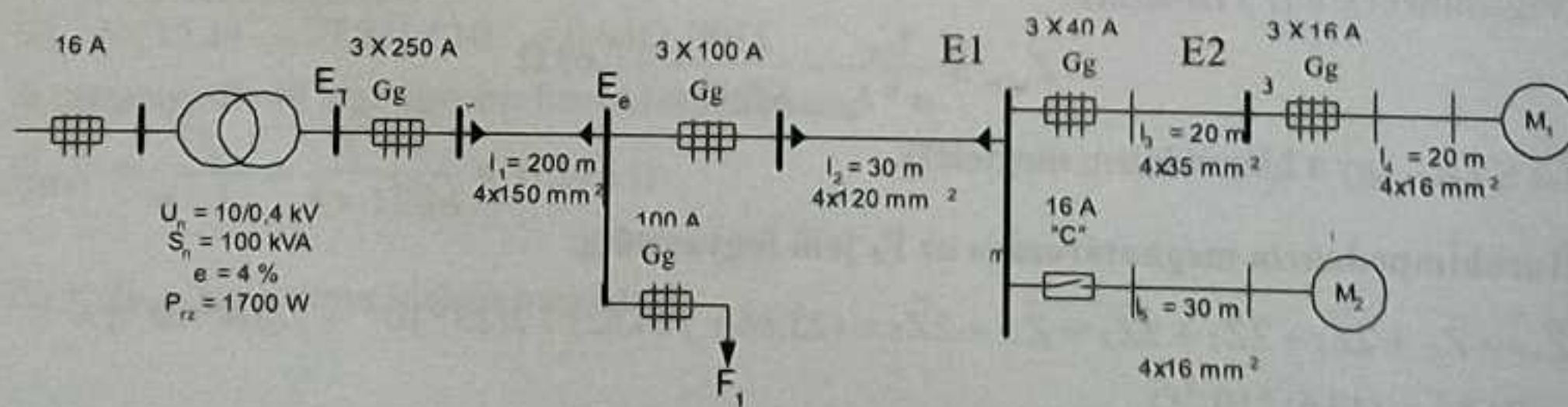
$Z_{s6} \leq Z_{s6m}$ így a hibavédelem megfelelő.

TN-rendszer, feladatok:

1. feladat

Ellenőrizzük a 10. ábra kisfeszültségű villamosenergia-ellátást biztosító hálózatának TN-rendszerű hibavédelmét! Ahol kell, javasoljunk vezető cserét!

Adatok: Az E_T elosztó hibavédelmét az áramszolgáltató biztosítja. A kábelek típusa nem ismert, villamos paramétereit az érszám és a keresztmetszet ismeretében a függelék F6 táblázatának adatait felhasználva kell közelítő módon számítani. M₁, M₂ fogyasztók helyhez kötöttek, míg F₁ fogyasztó később létesül. Vezetékanyag alumínium.

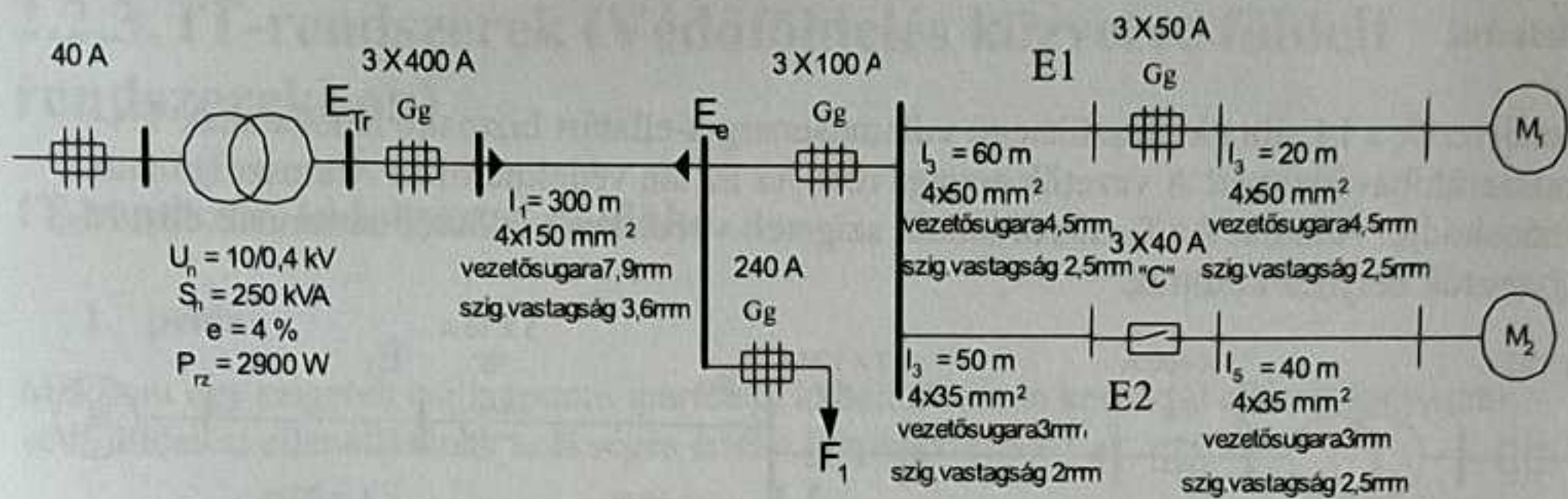


10. ábra

2. feladat

Ellenőrizzük a 13. ábra kisfeszültségű villamosenergia-ellátást biztosító hálózatának TN-rendszerű hibavédelmét! Ahol kell, javasoljunk vezető cserét!

Adatok: Az E_T elosztó hibavédelmét az 11 áramszolgáltató biztosítja. A kábelek típusa nem ismert, villamos paramétereit az érszám és a keresztmetszet ismeretében a függelék F6 táblázatának adatait felhasználva kell közelítő módon számítani. M₁, M₂ fogyasztók helyhez kötöttek, míg F₁ fogyasztó később létesül. Vezetékanyag alumínium.

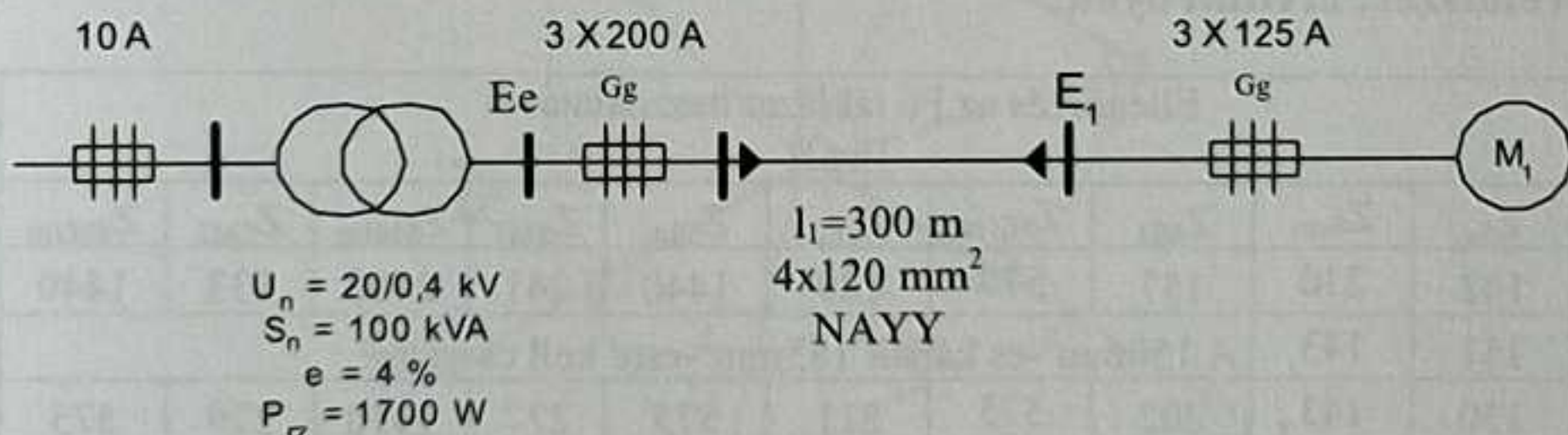


11 ábra

3. feladat

Ellenőrizzük a 12. ábra kisfeszültségű villamosenergia-ellátást biztosító hálózatának TN-rendszerű hibavédelmét! Ahol kell, javasoljunk vezető cserét!

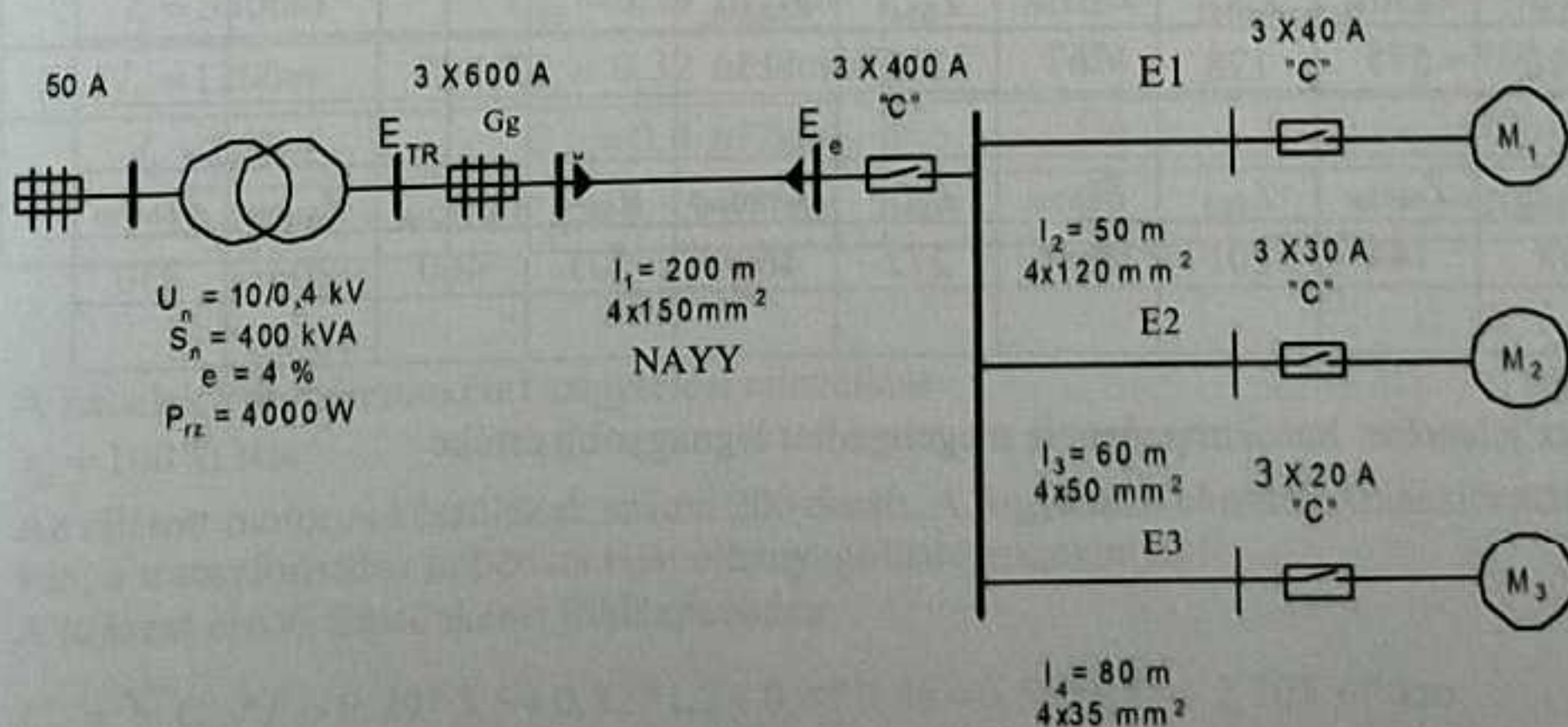
Adatok: A 10 kV-os olvadóbiztosító 5s-os kioldó árama 100A. A kábel villamos paramétereit a függelék F6 táblázatának adatait felhasználva kell számítani. M_1 fogyasztó helyhez kötött. Vezetékanyag alumínium.



12 ábra

4. feladat

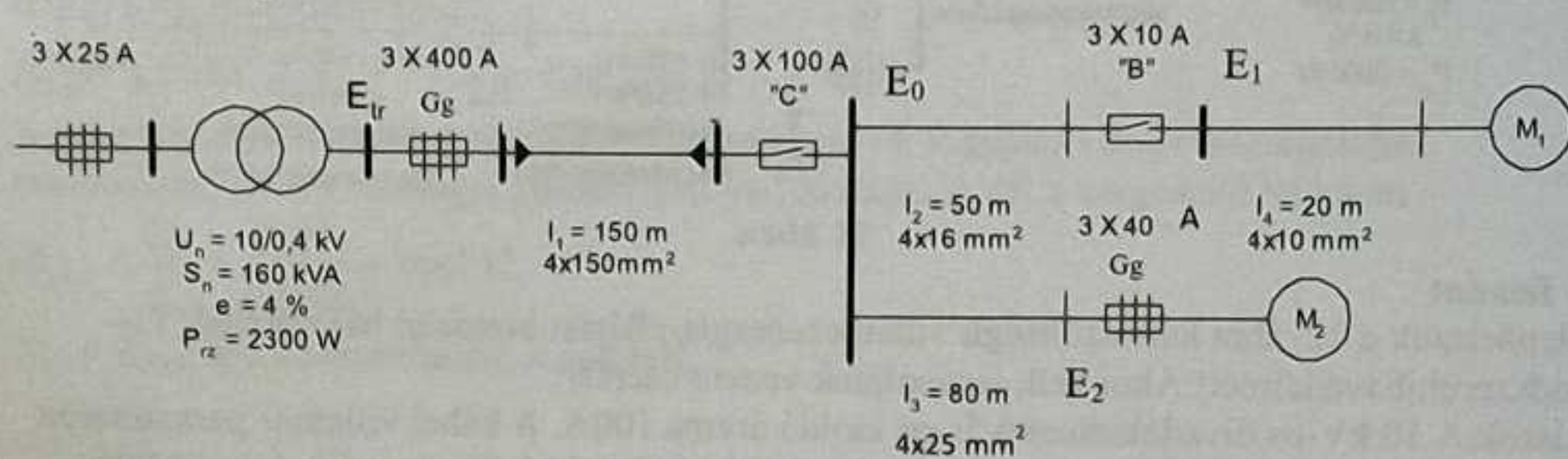
Ellenőrizzük a 13. ábra kisfeszültségű villamosenergia-ellátást biztosító hálózatának TN-rendszerű hibavédelmét! Vezető anyaga alumínium. Adatok: Az E_{Tr} sín védelméről az Áramszolgáltató gondoskodik! A 13. ábrán a 400 A-es túláramvédelem rajza téves, nem kismegszakító, hanem Gg karakterisztikájú olvadóbiztosító. Az $M_1; M_2; M_3$ helyhez kötött motorok elosztóit is kábelben látjuk el.



13 ábra

5. feladat

Ellenőrizzük a 14. ábra kisfeszültségű villamosenergia-ellátást biztosító hálózatának TN-rendszerű hibavédelmét! A vezetők anyaga réz! Az E_{tr} sín védelméről az Áramszolgáltató gondoskodik! Adatok: Az E_0 sínről induló szigetelt vezetékek védőcsőben vannak. M_1, M_2 ; fogyasztók helyhez kötöttek.



14 ábra

TN-rendszer, eredmények:

Ellenőrzés az F6 táblázat használatával										
[mΩ]										
	Z_{Se}	Z_{Sem}	Z_{SE1}	Z_{SE1m}	Z_{SE2}	Z_{SEm}	Z_{SM1}	Z_{SM1m}	Z_{SM2}	Z_{SM2m}
1	142	230	157	575	189	1440	241	2400	233	1440
2	151	143	A 150mm ² -es kábelt 185mm ² -esre kell cserélni!							
2	130	143	202	575	211	575	227	1150	279	575
3	58	46	A 10 kV-os olvadóbiztosítót kell cserélni: $I_n(5s) \leq 79$ A							
3	58	≥ 58	205	287			205	368 (5s mert $I_n \geq 32$ A)		
	Z_{Se}	Z_{Sem}	Z_{SE1}	Z_{SE1m}	Z_{SE2}	Z_{SE2m}	Z_{SE3}	Z_{SE3m}		
4	99	96	126	115	178	144	biztosító csere 100 A-esre			
4	99	96	126	575	178	575	235	575		
4	Z_{SM1}	Z_{SM1m}	Z_{SM2}	Z_{SM2m}	Z_{SM3}	Z_{SM3m}				
4	126	575	178	767	235	1150				
	Z_{SE0}	Z_{SE0m}	Z_{SE1}	Z_{SE1m}	Z_{SM1}	Z_{SM1m}	Z_{SE2}	Z_{SE2m}	Z_{SM2}	Z_{SM2m}
5	98	144	201	460	272	4600	203	460	203	230

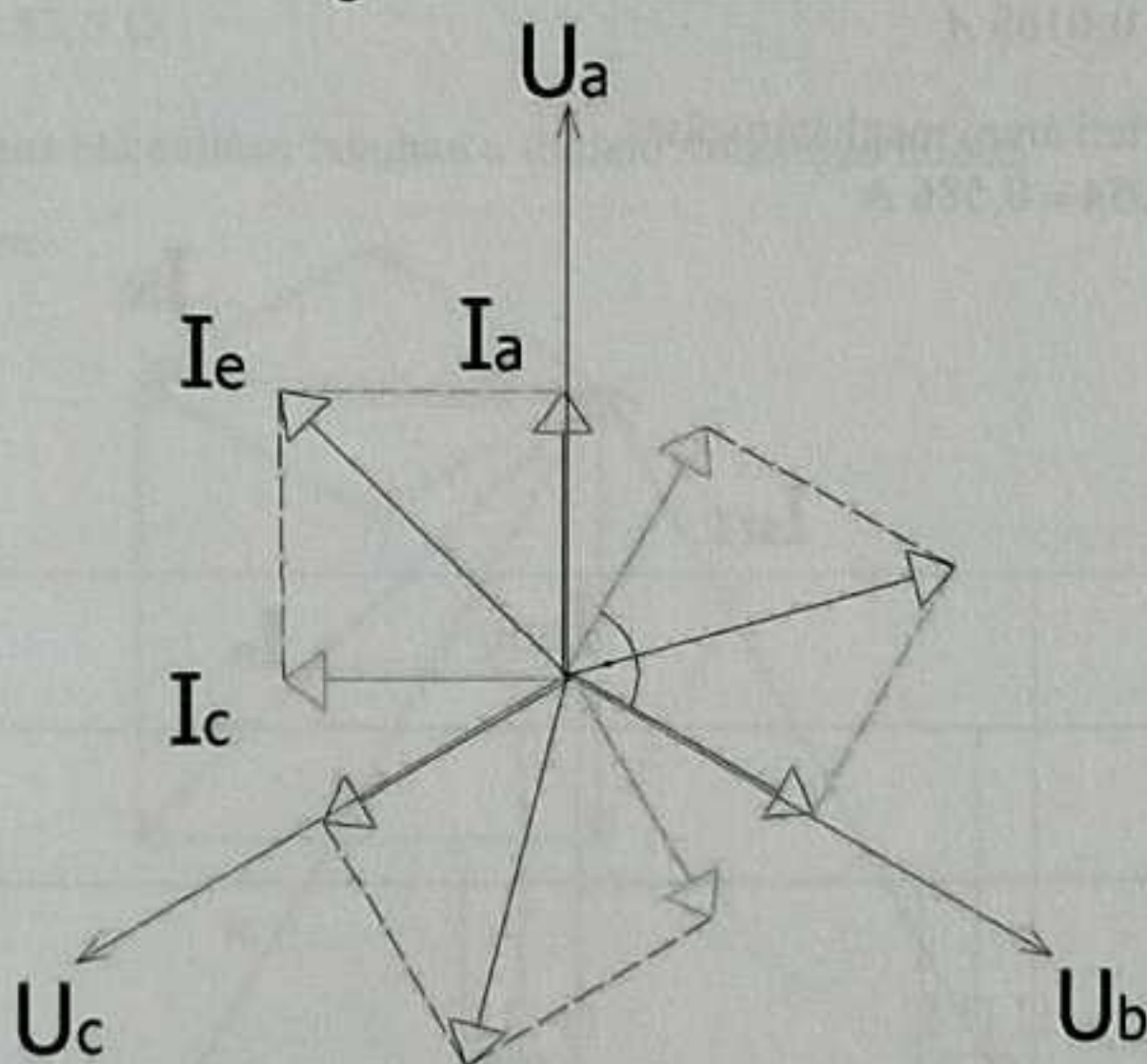
„m” index jelentése: hurokimpedancia megengedett legnagyobb értéke

2.2.3. IT-rendszerek (Védőföldelés közvetve földelt rendszerekben)

IT-rendszer, kidolgozott példák:

1. példa

Mekkora egy szigetelt csillagpontú ipartelepi kábelhálózaton keresztül ellátott fogyasztó védőföldelési ellenállásának szükséges értéke IT-rendszerben?



19 ábra

Adatok:

A fémesen összefüggő kábelhálózat hosszadatai üresjárású (fázis-földelt köpeny között) és kapacitásai:

Hossza	Földkapacitása	Vezetőanyaga	Szigetelési ellenállása
$l_1 = 3500m$	$C_{01} = 0,29 \mu F/km$	Cu	$r_{sz} = 100 k\Omega km$
$l_2 = 1200m$	$C_{02} = 0,32 \mu F/km$	Cu	$r_{sz} = 100 k\Omega km$
$l_3 = 860m$	$C_{03} = 0,4 \mu F/km$	Cu	$r_{sz} = 100 k\Omega km$
$l_4 = 1750m$	$C_{04} = 0,55 \mu F/km$	Cu	$r_{sz} = 100 k\Omega km$

A kábelek kilométerenkénti szigetelési ellenállása

$$r_{sz} = 100 k\Omega km$$

Az ellátott motoros készülékek száma 200 darab. A fogyasztói elosztó a transzformátornál van, a transzformátor impedanciáját elhanyagolhatónak tekintjük!

A hálózat eredő fázisonkénti földkapacitása:

$$C_0 = \sum_{i=1}^4 C_{0i} * l_i = 0,29 * 3,5 + 0,32 * 1,2 + 0,4 * 0,86 + 0,55 * 1,85 = 2,705 \mu F/km$$

Az üres járású kapacitív töltő áram:

$$I_c = \omega * C_0 * U_f * 10^{-6} = 314 * 2,705 * 230 * 10^{-6} = 0,1954 \text{ A}$$

A hálózat üres járási szivárgási áram meghatározása:

$$r_{sz} = 100 \text{ k}\Omega\text{km}$$

$$l = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 = 7,31 \text{ km}$$

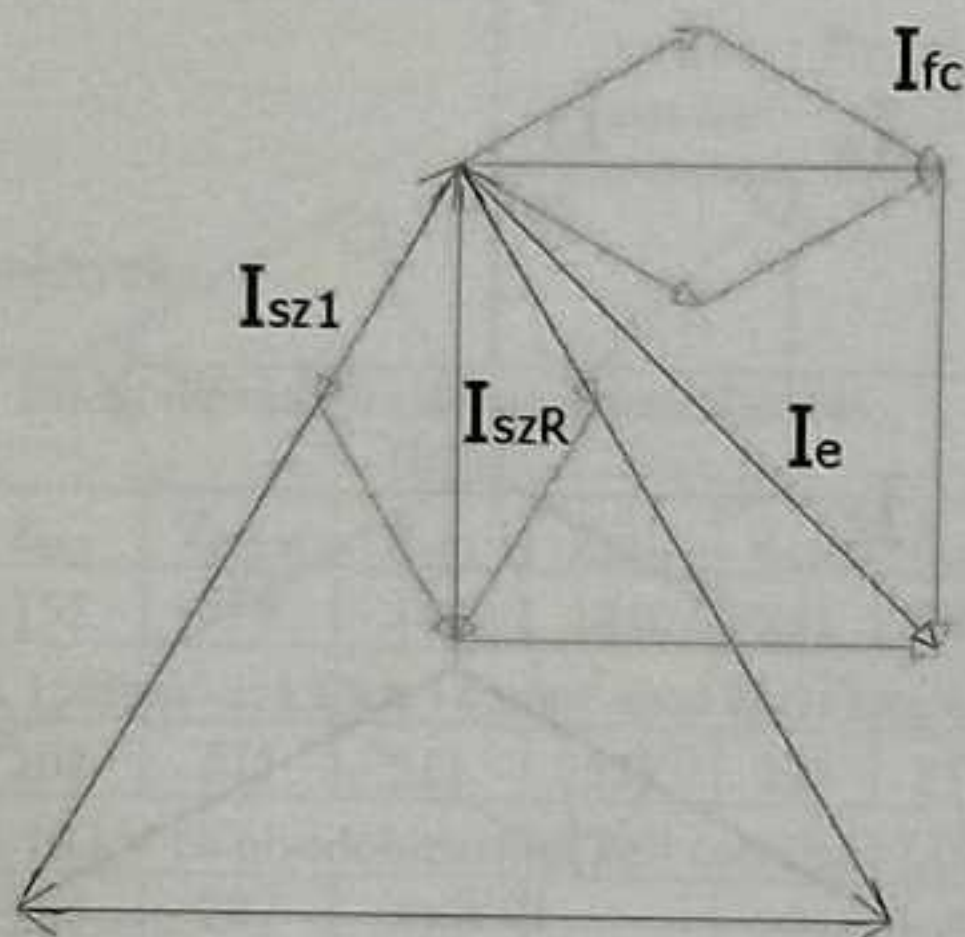
A kábelhálózat egy fázisának földelt köpenyhez képesti szigetelési ellenállásai

$$R_{sz} = \frac{r}{l} = \frac{100}{7,31} = 13679 \Omega$$

$$I_{sz} = \frac{U_f}{R_{sz}} = \frac{230}{13679} = 0,0168 \text{ A}$$

A kapacitív földzárlati áram meghatározása:

$$I_{fc} = 3 * I_c = 3 * 0,1954 = 0,586 \text{ A}$$



20. ábra

A kábelhálózat földzárlati áramának hatásos összetevője:

$$I_{sz1} = \frac{U_f}{R_{sz}} = \frac{400}{13679} = 0,029 \text{ A}$$

$$I_{szR} = \sqrt{3} * I_{sz1} = 0,050 \text{ A}$$

A kábelhálózat eredő földzárlati árama (A fogyasztók nincsenek bekapcsolva)

$$I_e = \sqrt{I_{szR}^2 + I_{fc}^2} = \sqrt{0,050^2 + 0,586^2} = 0,588 \text{ A}$$

A fogyasztó készülékek, gépek szivárgó áramainak a nagyságrendjébe esnek a földzárlati áram, ezért értéküket a földelő ellenállás méretezésekor figyelembe kell venni!

A terhelt hálózat földzárlati árama.

A kábelek földzárlati áramához ez esetben hozzá kell még adni a fogyasztók szivárgó áramát. Példánkba 200 kismotor és fogyasztó készülék van a (8-as táblázat) alapján szivárgó áramukat

$$I_{SZFJ} = 200 * 3,5 \text{ mA} = 700 \text{ mA}$$

700 mA-val vesszük figyelembe.

A földzárlati áram hatásos összetevője a kábel és a fogyasztó együttes szivárgási árama:

$$I_w = I_{sz} + I_{szFO} = 50 + 700 = 750 \text{ mA}$$

A terhelt hálózat földzárlati árama:

$$I_{fz} = \sqrt{I_w^2 + I_{dc}^2} = \sqrt{750^2 + 586^2} = 951,8 \text{ mA}$$

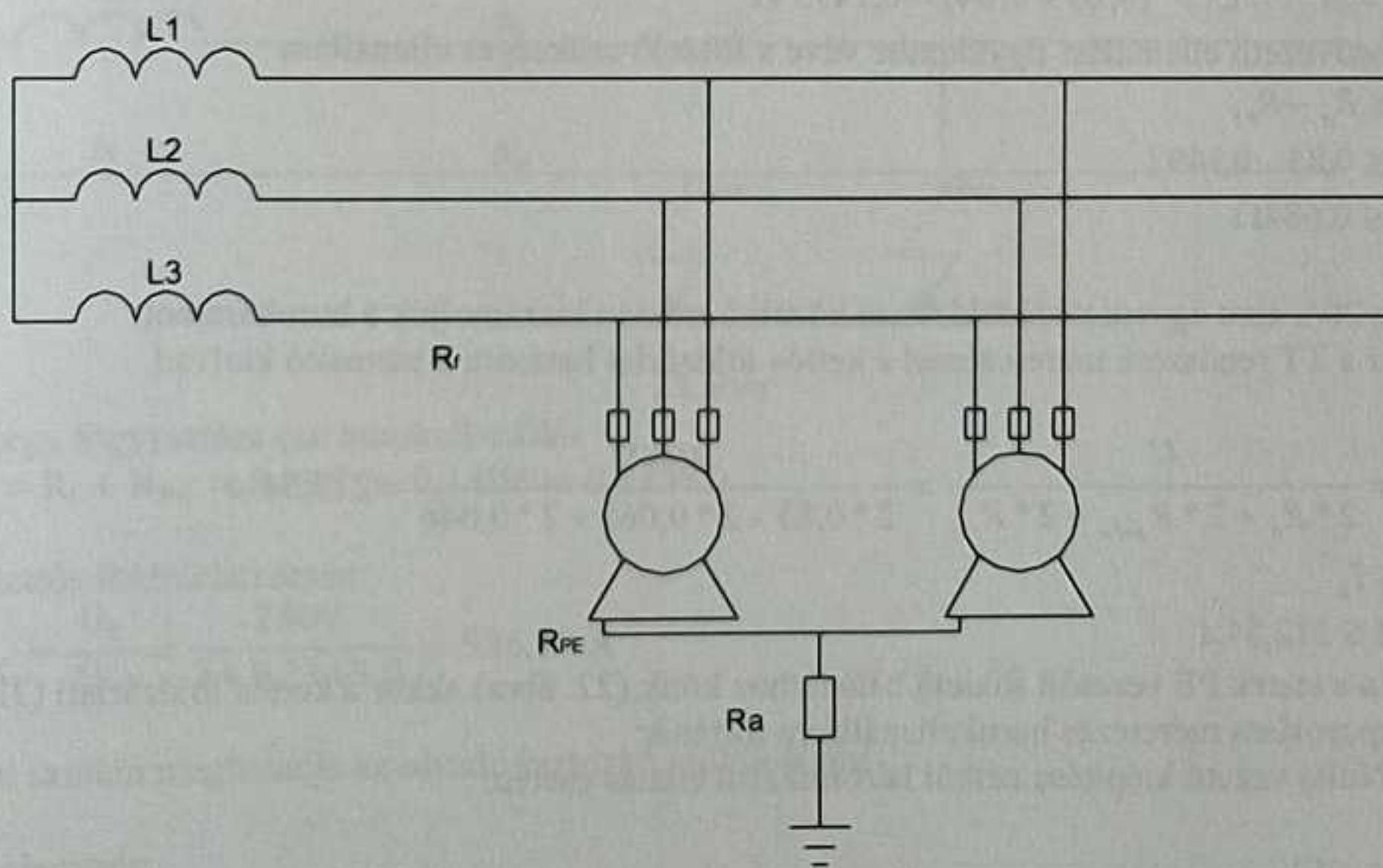
A védőföldelés szükséges értéke:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_{fz}} = \frac{50}{0,952} = 52,5 \Omega$$

A 100 Ω m-es fajlagos ellenállású talajban a földelő szükséges hossza:

$$l = \frac{\sigma}{R_A} = \frac{100}{5,2} = 1,9 \text{ m}$$

2. példa



21 ábra

Vizsgálja meg, hogy ha az első példában meghatározott védőföldelési ellenállás $R=50 \Omega$ értékű földelővel valósították meg, teljesül-e a kettős földzárlatra lekapcsolási követelményei, különböző földelő kialakítás esetre.

Adatok:

Az első példa ipartelepi hálózatán az elosztótól két legtávolabbi motoros fogyasztót ellátó kábelhossza az elosztótól az M1 motorig 60 m az M2-es motorig pedig 90 m. Az elosztó a motorvédő olvadóbiztosító 10 A-es lomha karakterisztikájú hogy indító áramok hatására se olvadjon ki a biztosító. A motorok $3 \times 25/16 \text{ mm}^2$ keresztmetszetű kábelekkel vannak bekötve. A PE vezető hossza az elosztótól 40 m, keresztmetszete azonos a nulla vezetőjével.

- Szigetelt csillagpontú hálózat, fogyasztó egyedi földelése.
- Szigetelt csillagpontú hálózat, fogyasztó csoportos földelése.

Megoldás:

a, Ha a testek egyedileg vagy csoportosan vannak földelve (21. ábra) akkor a kettős földzárlatra való méretezés a TT rendszer szerint kell, hogy történjen, /Nem megengedett a hurokimpedanciát esetlegesen meghatározó két földelési ellenállás okozta kiolvadásra méretezni.

$$R_A \leq U_L / I_a$$

Csoportos földelést bemutató 21. ábra alapján a védőföldelési ellenállás:

$$R_a = R_f + R_{PE}$$

TT méretezést figyelembe véve, a kioldóáram 10A, az F5 táblázatból a kiolvadási szorzó $\alpha=6$.

$$I_a = \alpha * I_{BN} = 6 * 10A = 60A$$

A kábel hosszegységének ellenállása 7-es táblázat alapján. A biztonság irányába tévedünk kiolvadási szorzóját.

$$R_a \leq \frac{U_L}{I_a} = \frac{50V}{60A} = 0,83 \Omega$$

$$R_{fázis} = \rho * l = 0,727 * 0,09 = 0,065 \Omega$$

$$R_{PE} = \rho * l = 1,15 * (0,09 + 0,04) = 0,1495 \Omega$$

A védővezető ellenállást figyelembe véve a földelő szükséges ellenállása

$$R_f \leq R_a - R_{PE}$$

$$R_f \leq 0,83 - 0,1492$$

$$R_f \leq 0,684 \Omega$$

Ha a 20/a ábra egyedi védőföldelésre közelítő módon kiszámoljuk a hurokáramot: Azaz a TT rendszerű méretezéssel a kettős földzárlat hatására a biztosító kiolvad.

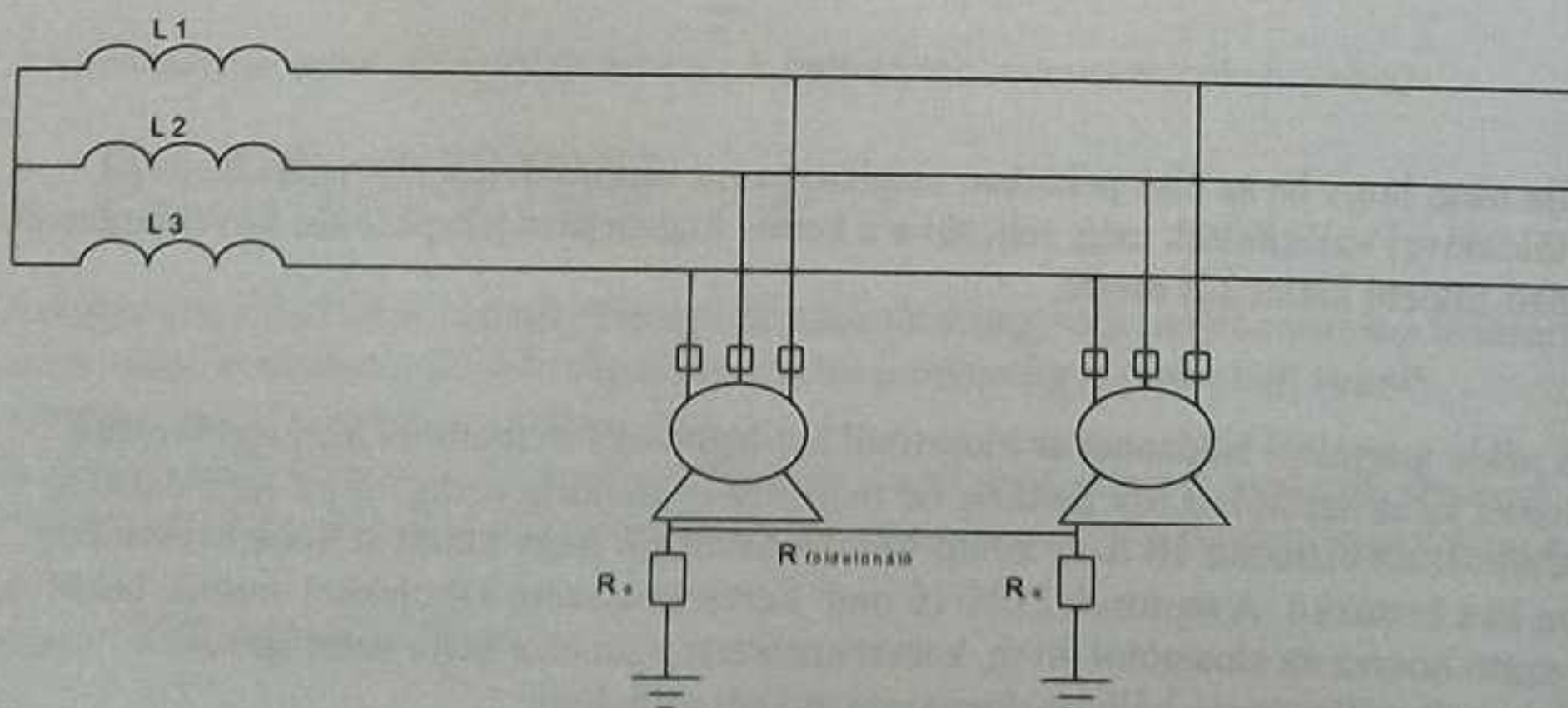
$$I_h = \frac{U}{2 * R_a + 2 * R_{fázis} + 2 * R_{PE}} = \frac{400V}{2 * 0,83 + 2 * 0,065 + 2 * 0,046} = 212,54A$$

$$I_a \leq I_h$$

$$30A \leq 212,54A$$

b, Ha a testek PE vezetőit földelő hálózathoz kötik (22. ábra) akkor a kettős földzárlati (2Ff) kikapcsolásra méretezés hurokellenállásra történik:

b1, Nulla vezető kiépítése nélkül háromfázisú ellátás esetén:



22 ábra

Az egy fogyasztóra eső hurokellenállás

$$R_s = R_f + R_{PE} = 0,065 + 0,1495 = 0,2145 \Omega$$

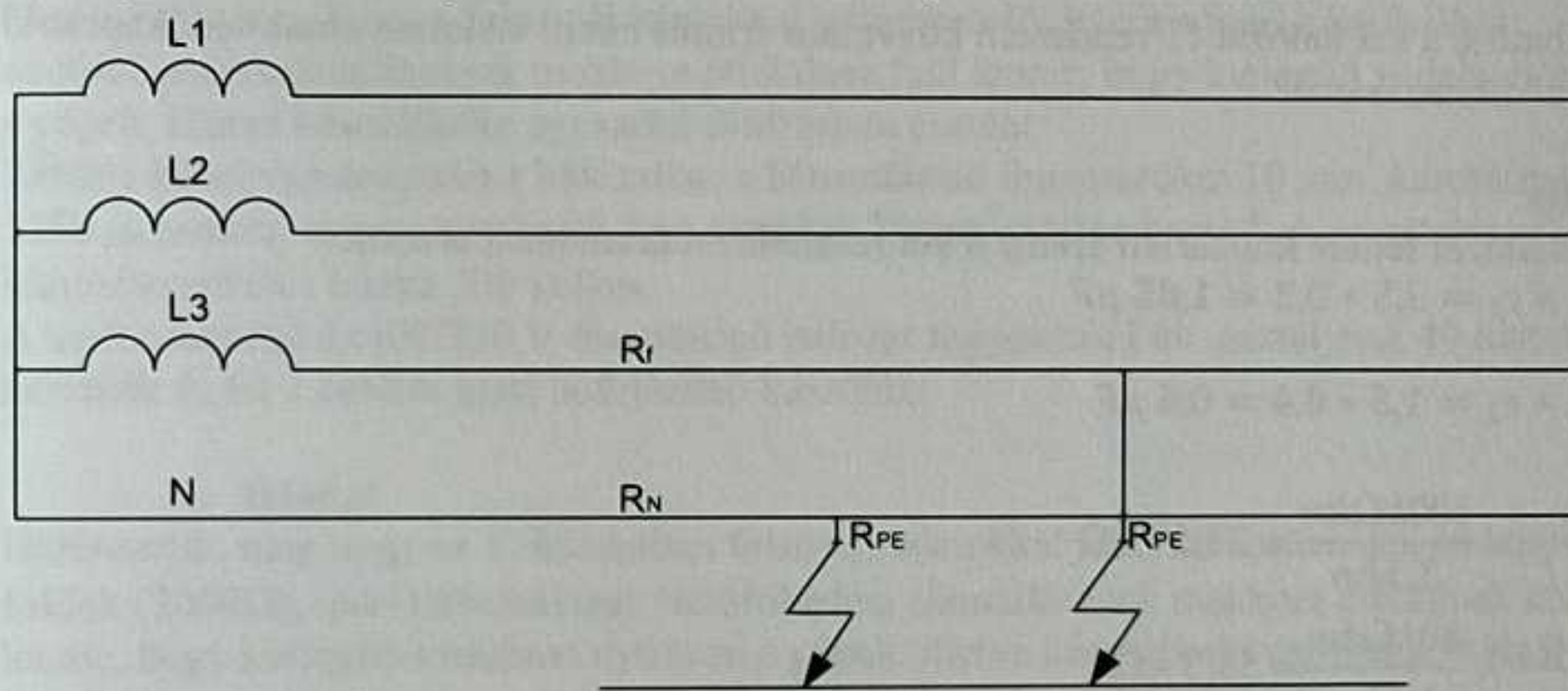
A kettős földzárlati áram:

$$I_{2Ff} = \frac{\sqrt{3} * U_0}{2R_s} = \frac{400}{2 * 0,2145} = 932 \text{ A}$$

Ami bőven meghaladja az olvadó biztosító kioldó áramát:

$$I_a = 30 \text{ A} \leq I_{2Ff} = 932 \text{ A}$$

b2, kiépített nullavezetőjű hálózat a 2Ff zárlat kikapcsolásra méretezése:



23 ábra

Az egy fogyasztóra eső hurokellenállás

$$R'_s = R_f + R_{PE} = 0,065 + 0,1495 = 0,2145 \Omega$$

A kettős földzárlati áram:

$$I_{2Ff} = \frac{U_0}{2R_s} = \frac{230 \text{ V}}{2 * 0,2145 \Omega} = 536,13 \text{ A}$$

Ami szintén meghaladja az olvadó biztosító kioldó áramát:

Megjegyzés:

Annak indoklására, hogy a kábel illetve szigetelt vezeték esetében az impedancia helyett elegendő az ohmos ellenállást figyelembe venni hasonlítsuk össze az impedanciát annak ohmos részével.

$$X_{fázis} = x_l * l = 0,086 * 0,09 = 0,0077 \Omega$$

$$X_{PE} = x_l * l = 0,09 * 0,13 = 0,0117 \Omega$$

$$X_s = X_{fázis} + X_{PE} = 0,0077 + 0,0117 = 0,0194 \Omega$$

$$Z_s = \sqrt{R_s + X_s} = \sqrt{0,2145^2 + 0,0194^2} = 0,2145 \Omega$$

A hiba:

$$h = \frac{R_s - Z_s}{Z_s} = \frac{0,2145 - 0,2145}{0,2145} * 100 = 4 \%$$

3. példa

Egy kisfeszültségű háromfázisú szigetelt csillagpontú ipartelepi hálózat két gerinckábelben két különálló gyártócsarnokot lát el. A fémesen összefüggő kábelhálózat:

Hossza	Földkapacitása	Vezetőanyaga	Szigetelési ellenállása
$l_1 = 3500 \text{ m}$	$C_{01} = 0,3 \text{ } \mu\text{F/km}$	Cu	$r_{sz} = 100 \text{ k}\Omega\text{km}$
$l_2 = 1500 \text{ m}$	$C_{01} = 0,4 \text{ } \mu\text{F/km}$	Cu	$r_{sz} = 80 \text{ k}\Omega\text{km}$

Megoldható-e a két hálózat IT rendszerű közvetlen érintés elleni védelme áram-védőkapcsoló (ÁVK) alkalmazásával?

Megoldás:

A kábelhálózat fémes földzárlati árama a két részhálózat áramainak eredője:

$$C_1 = l_1 * c_1 = 3,5 * 0,3 = 1,05 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_2 = l_2 * c_2 = 1,5 * 0,4 = 0,6 \text{ } \mu\text{F}$$

$$R_{1sz} = \frac{r_{1sz}}{l_1} = \frac{100 \text{ k}\Omega\text{km}}{3,5 \text{ km}} = 28,57 \text{ k}\Omega$$

$$R_{2sz} = \frac{r_{2sz}}{l_2} = \frac{80 \text{ k}\Omega\text{km}}{1,5 \text{ km}} = 53,3 \text{ k}\Omega$$

$$I_{C1} = 3 * \varpi * C_1 * U_f * 10^{-6} = 3 * 314 * 1,05 * 230 * 10^{-6} = 0,23 \text{ A}$$

$$I_{C2} = 3 * \varpi * C_2 * U_f * 10^{-6} = 3 * 314 * 0,6 * 230 * 10^{-6} = 0,13 \text{ A}$$

$$I_{SZ1} = 3 * \frac{U_f}{R_{1sz}} = 3 * \frac{230}{28,57} * 10^{-3} = 0,024 \text{ A}$$

$$I_{SZ2} = 3 * \frac{U_f}{R_{2sz}} = 3 * \frac{230}{53,3} * 10^{-3} = 0,013 \text{ A}$$

A fémes földzárlati áram:

$$I_d = \sqrt{(I_{C1} + I_{C2})^2 + (I_{SZ1} + I_{SZ2})^2} = \sqrt{0,2145^2 + 0,0194^2} = 0,215 \text{ A}$$

Mivel a kapacitív áramok egy nagyságrenddel nagyobb, mint az ohmos összetevő, az eredő számításnál megfelelő közelítés csak a kapacitív árammal való számolás:

$$I_d = I_{C1} + I_{C2} = 0,23 + 0,13 = 0,36 \text{ A}$$

Az 1. Üzemcsarnok védelmét ellátó ÁVK beállítási összefüggései:

$$I_{\square n} < (I_d - I_{C1}) \text{ azaz } I_{\square n} < I_{C2}$$

és

$$2I_{C1} < I_{\square n}$$

Számértékekkel:

$$0,46 < I_{\square n} < 0,13$$

Ez lehetetlen tehát az 1. Üzemcsarnoknak ÁVK-val nem védhető. (Ha a védőföldelés nem megfelelő ÁSZE alkalmazható).

Az 2. Üzemcsarnok védelme ÁVK-val:

$$2I_{C2} < I_{2In} < I_{C1}$$

$$0,26 < I_{2n} < 0,46$$

A 2. üzemcsarnok egy 300 mA-es kioldó áramú ÁVK alkalmazható

IT-rendszer, feladatok:

1. feladat

Határozzuk meg, hogy a felsorolt adatokkal jellemzett földeletlen ipari kábelhálózat védőföldelési ellenállásának mekkora értékűnek kell lennie, hogy kielégítő védelmet nyújtson a gépek, illetve készülékekre egyszakú földzárata esetén!

Kétféle kábel van beépítve a hálózatba: a háromfázisú fogyasztókat 10 mm^2 keresztmetszetű 1250 m hosszú, míg az egyfázisú fogyasztókat 25 mm^2 850 m hosszú. A szigetelési ellenállás kilométerenkénti értéke $200 \text{ k}\Omega\text{km}$.

A kisfeszültségű $3 \times 400/230 \text{ V}$ feszültségű hálózat fogyasztói I. év. osztályúak 40 motoros készülék és 60 2 betétes ipari hőfejlesztő készülék.

2. feladat

Határozzuk meg, hogy az 1. feladatban felsorolt adatokkal jellemzett, ellenálláson keresztül földelt (2000Ω), ipari kábelhálózat védőföldelési ellenállásának mekkora értékűnek kell lennie, hogy kielégítő védelmet nyújtson a gépek, illetve készülékekre egyszakú földzárata esetén!

A védelmet 16 A névleges áramú kismegszakító látja el. A fogyasztó bekötése háromfázisú négyerű kábellel történik, bekötési hossz 120 m .

3. feladat

Határozzuk meg, hogy a következő adatokkal jellemzett kisfeszültségű földeletlen hálózat milyen értékű védőföldelése nyújt kielégítő hibavédelmet a gépek, illetve készülékek testzárata esetén! Kétféle kábel típus van beépítve a rendszerbe az egyik $5 \times 70 \text{ mm}^2$ Alumíniumból, ebből összesen 2450 m került beépítésre, míg a másik $3 \times 120 \text{ mm}^2$ Alumíniumból, ebből pedig 1300 m . A kábelek szigetelési ellenállás értéke pedig $400 \text{ k}\Omega\text{km}$. A gépek és készülékek együttes szivárgási árama $I_{sz} = 300 \text{ mA}$

4. feladat

A harmadik feladat védőföldelését 30Ω nagyságú földelési ellenállással készítették el. A két legtávolabbi fogyasztó a táptranszformátortól 220 m -re van és mindkettő egyfázisú fogyasztó.

A túláramvédelmet 125 A -es megszakító látja el, amelynek kioldási árama 400 A . Megfelel-e a hálózat kettős testzárata kötelezően előírt lekapcsolás szempontjából?

5. feladat

A háromfázisú, kisfeszültségű, földeletlen hálózatról táplált fogyasztók milyen értékű védőföldelése nyújt kielégítő hibavédelmet a gépek, illetve készülékekre egyszakú testzárata esetén?

A létesítést kétféle kábeltípussal végezték az egyik $5 \times 10 \text{ mm}^2$ rézerű, ebből összesen 245 m került beépítésre, míg a másik $3 \times 16 \text{ mm}^2$ szintén réz ebből pedig 130 m . A kábelek szigetelési

ellenállásának értéke pedig $250 \text{ k}\Omega\text{km}$. A háromfázisú fogyasztókhöz nincs kiépítve nullavezető. A fogyasztók szivárgási árama $I_{sz}=500 \text{ mA}$

6. feladat

Az 5. feladat védőföldelését egy $10 \text{ }\Omega$ eredő földelési ellenállású földelőhálóval valósították meg. Az elosztótól legtávolabbi egyfázisú fogyasztó 10 m -re van, túláramvédelmét 40 A -es kismegszakító látja el. Megfelelő-e a vezeték keresztmetszete a kettős testzárlatra előírt kötelező lekapcsolás szempontjából?

A fogyasztói elosztó a tápponttól 25 m -re van. Az elosztóig $4 \times 16 \text{ mm}^2$ -es rézkábel van bekötve. A földelőháló földelővezetője 16 mm^2 rézvető, és 12 m hosszan vezet az elosztóban kialakított PE sínig, ahova a fogyasztók védővezetője is csatlakozik.

7. feladat

Határozzuk meg hogy a következő adatokkal jellemzett háromfázisú kiefeszültségű földeletlen hálózatról táplált fogyasztók mekkora védőföldelése nyújt kielégítő hibavédelmet a gépek, illetve készülékeke egysarkú testzárlat esetén.

A létesítést kétféle kábeltípussal végezték az egyik $5 \times 10 \text{ mm}^2$ rézrű, ebből összesen 2250 m került beépítésre, míg a másik $3 \times 16 \text{ mm}^2$ szintén réz ebből pedig 1870 m . A kábelek szigetelési ellenállásának értéke pedig $500 \text{ k}\Omega\text{km}$. A háromfázisú fogyasztókhöz nincs kiépítve nullavezető. A fogyasztók szivárgási árama $I_{sz}=350 \text{ mA}$

8. feladat

Az 7. feladat védőföldelését egy $20 \text{ }\Omega$ eredő földelési ellenállású földelőhálóval valósították meg. Az elosztótól legtávolabbi egyfázisú fogyasztó 70 m -re van, túláramvédelmét 63 A -es kismegszakító látja el. Megfelelő-e a vezeték keresztmetszete a kettős testzárlatra előírt kötelező lekapcsolás szempontjából?

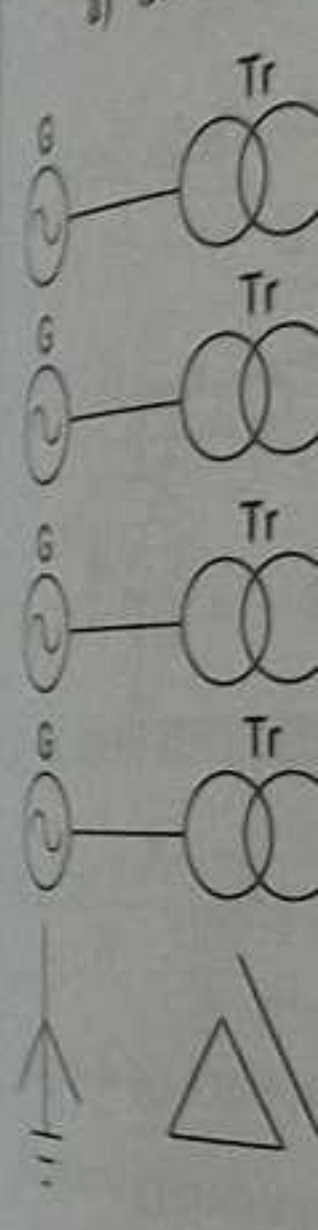
A fogyasztói elosztó a tápponttól 40 m -re van. Az elosztóig $4 \times 16 \text{ mm}^2$ -es rézkábel van bekötve. A földelőháló földelővezetője 16 mm^2 rézvető, 32 m hosszan vezet az elosztóban kialakított PE sínig, ahova a fogyasztók védővezetője is csatlakozik.

9. feladat

Egy üzemcsarnok gépeinek ellátására 4 km tápkábel van beépítve. A kiefeszültségű $3 \times 400 \text{ V}$ -os hálózatról egy gerinckábelén keresztül sugarasan elkülönül egy gyártósor ellátása, amely a 4 km -ből 1 km összhosszúságú. Megoldható-e a gyártósor hibavédelme az IT rendszerben ÁVK alkalmazásával. A kábel kapacitása az ér és az árnyékolás között $0,35 \text{ }\mu\text{F/km}$ (az ÁVK kioldóárama: 200 mA)

IT-rendszer, megoldások:

	α	$[R_A] = \Omega$	$[I_b] = \text{kA}$
1. feladat	-	210	-
2. feladat	5	-	0,16
3. feladat	-	100,16	-
4. feladat	-	-	1,03
5. feladat	-	94	-
6. feladat	5	-	2,2
7. feladat	-	262,3	-
8. feladat	5	-	0,8
9. feladat	nem javasolt		

A villamosenergia
 2.1 Természetes
 Természetes statikus
 Péllda:
 a) Statikus st

 táblák:

	$U_n [\text{kV}]$
G	15,75
Tr	420/15,75

A két távvezeték egy
 A távvezeték adatai:
 Az erőmű a „J”
 teljesítményt táplál
 Határozzuk meg
 -pólust
 -az „A”
 -terhel
 -statiku
 -rajzol

9. A villamosenergia-rendszer stabilitási viszonyai.

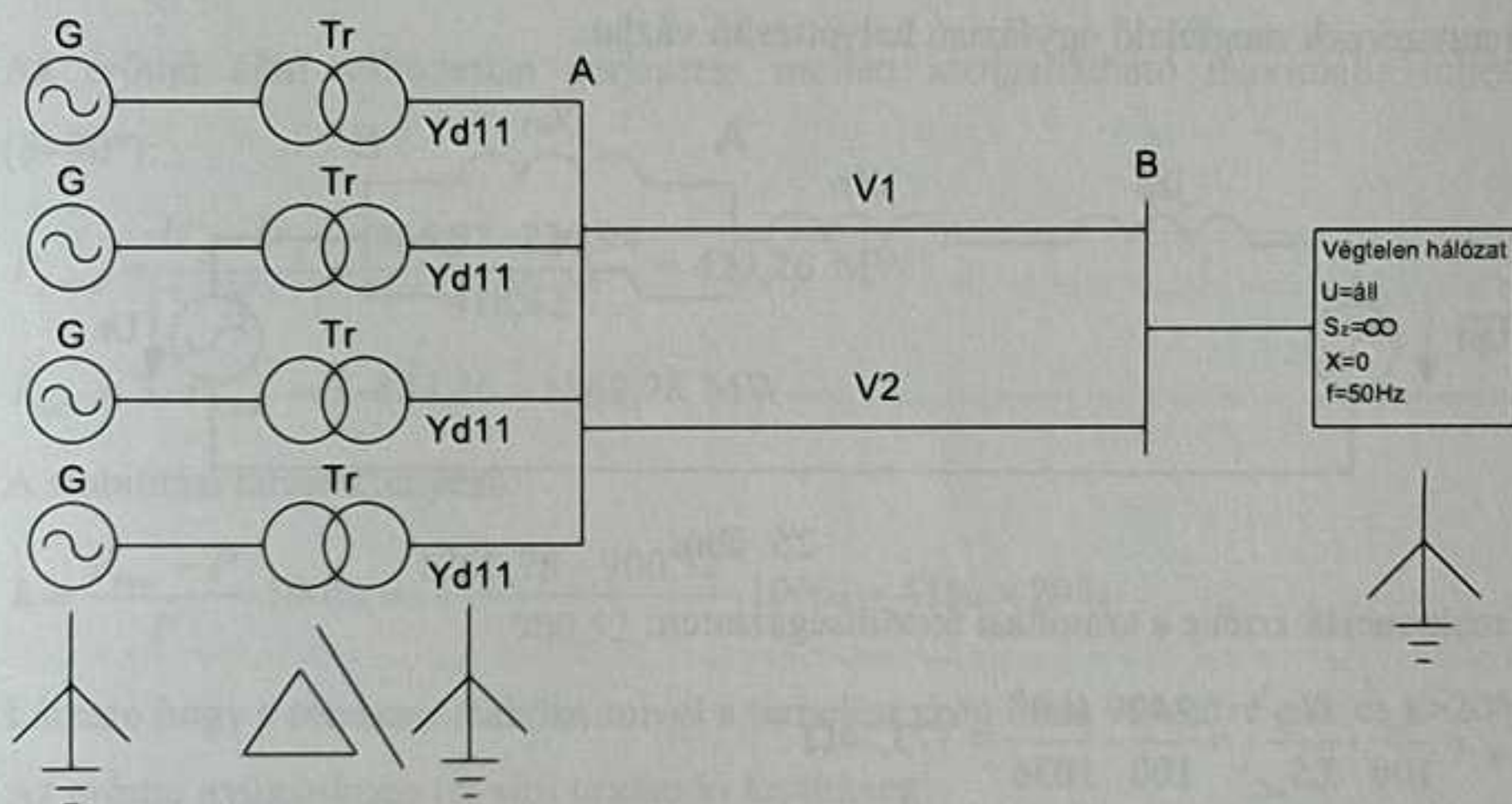
9.2.1 Természetes statikus stabilitás

Természetes statikus stabilitás, kidolgozott példák:

1. Példa:

A vizsgált rendszer elvi sémáját a 23. ábrán adtuk meg.

a) Statikus stabilitás vizsgálata ép kettős távvezeték esetére:



24. ábra

adatok:

	U_n [kV]	S_n [MVA]	ϵ_d [%]	ϵ_d' [%]	ϵ_d'' [%]	ϵ [%]
G	15,75	259	242	22,5	15,5	
Tr	420/15,75	270				12

A két távvezeték egyforma

A távvezeték adatai: $l=134,5$ km

$x=0,4$ Ω /km

Az erőmű a „B” gyűjtősín feszültsége 400 kV végtelen hálózatba $P=900$ MW teljesítményt táplál be.

Határozzuk meg a kiinduló üzemállapothoz tartozó:

- pólusfeszültséget
- az „A” gyűjtősín feszültségét
- terhelési szöveget
- statikus stabilitási tartaléktényezőt
- rajzoljuk meg a viszonyokra jellemző görbéket

Megoldás:

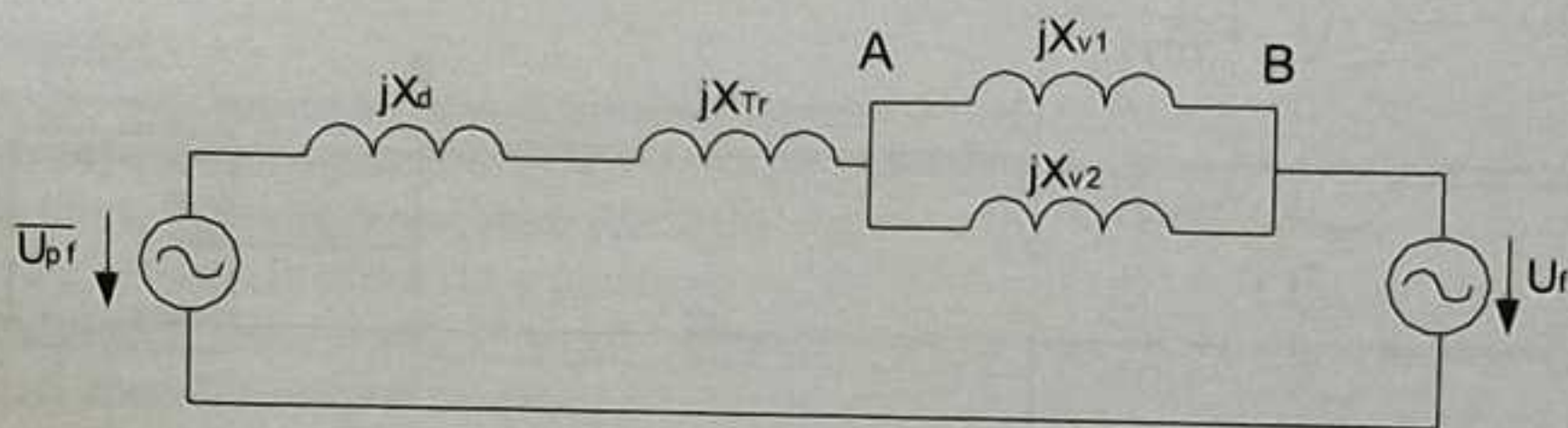
Számítási feszültségként $U_{sz}=400$ kV-ot választunk.

$\Sigma S_{nG}=4 \cdot 259=1036$ MVA és $\Sigma P=900$ MW akkor $Q = \sqrt{1036^2 - 900^2} = 513,12$

Mvar $S_{nG}=900+j513,12$ MVA.

$\Sigma S_{nTr} = 4 \cdot 270 = 1080$ MVA

A rendszernek megfelelő egyfázisú helyettesítő vázlat:



25. ábra

A reaktanciák értéke a számítási feszültség szinten:

$$X_d = \frac{\varepsilon_d}{100} \cdot \frac{U_{sz}^2}{\Sigma S_{nG}} = \frac{242}{100} \cdot \frac{400^2}{1036} = 373,74 \Omega$$

$$X_{Tr} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_{sz}^2}{\Sigma S_{nTr}} = \frac{12}{100} \cdot \frac{400^2}{1080} = 17,77 \Omega$$

$$X_v = X \cdot I = 0,4 \cdot 134,5 = 53,8 \Omega$$

Az átviteli reaktancia:

$$X = X_d + X_{Tr} + X_{v1} \otimes X_{v2} = 373,74 + 17,77 + 53,8 \otimes 53,8 = 418,42 \Omega$$

A végtelen hálózatba betáplált teljesítménynek megfelelő áram és fázisszög:

$$I_w = \frac{\Sigma P}{\sqrt{3} \cdot U_{sz}} = \frac{900}{\sqrt{3} \cdot 400} = 1,3 \text{ kA} \quad I_m = \frac{\Sigma Q}{\sqrt{3} \cdot U_{sz}} = \frac{513,12}{\sqrt{3} \cdot 400} = 0,74 \text{ kA}$$

$$\bar{I} = I_w - jI_m = 1,3 - j0,74 \text{ kA} \Rightarrow I = 1,94 \text{ kA}$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{I_m}{I_w} = \frac{0,74}{1,3} = 0,569 \Rightarrow \varphi = 29,64^\circ$$

A pólusfeszültség értéke a számítási feszültség szinten:

$$\bar{U}_{pf} = U_f + \bar{I} \cdot jX = 230,94 + (1,3 - j0,74) \cdot j418,42 = 540,57 + j543,94 \text{ kV}$$

$$U_{pf} = 766,87 \text{ kV} \quad U_p = \sqrt{3} \cdot U_{pf} = \sqrt{3} \cdot 766,87 = 1328,25 \text{ kV}$$

A terhelési szög:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_w \cdot X}{U_f + I_m X} = \frac{1,3 \cdot 418,42}{230,94 + 0,74 \cdot 418,42} = 1,0062 \Rightarrow \delta = 45,17^\circ$$

Ehhez a szöghöz tartozik az erőmű, szolgáltatott wattos teljesítmény:

$$P_f = \frac{U_{pf} \cdot U_f}{X} \cdot \sin \delta = \frac{766,87 \cdot 230,94}{418,42} \cdot \sin 45,17^\circ = 300,17 \text{ MW}$$

$$P = 3 \cdot P_f = 3 \cdot 300,17 = 900,52 \text{ MW}$$

Az erőmű által változatlan gerjesztés mellett szolgáltatható maximális teljesítmény ($\delta=90^\circ$):

$$P_{f \max} = \frac{U_{pf} \cdot U_f}{X} = \frac{766,87 \cdot 230,94}{418,42} = 423,26 \text{ MW}$$

$$P_{\max} = 3 \cdot P_{f \max} = 3 \cdot 423,26 = 1269,78 \text{ MW}$$

A stabilitási tartaléktényező:

$$k = \frac{P_{\max} - P}{P} \cdot 100\% = \frac{1269,78 - 900,52}{900,52} \cdot 100\% = 41\% > 20\%$$

Látható hogy a rendszer stabilis, mivel a terhelési szög 0° és 90° közé esik és $k > 20\%$.

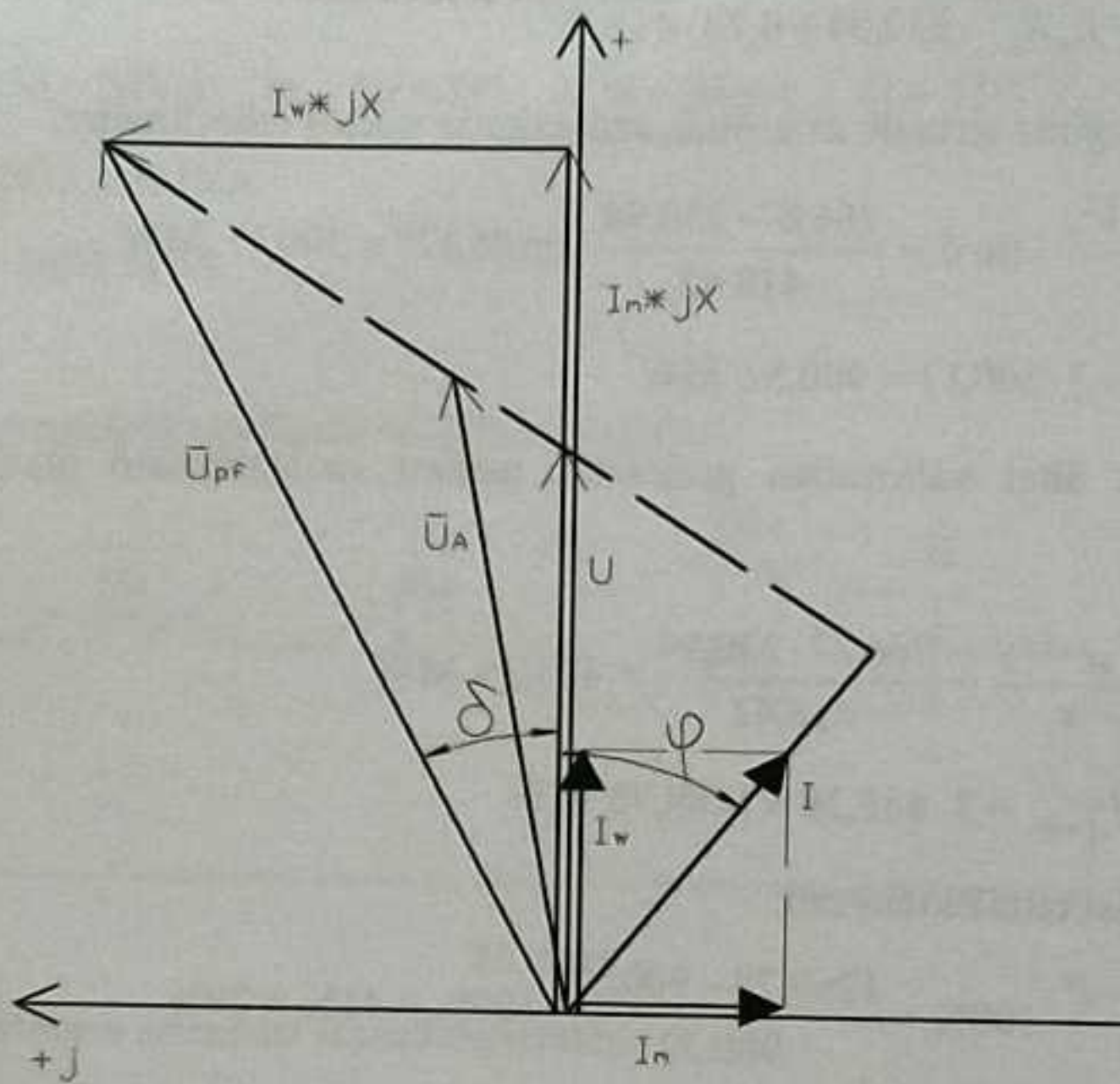
Az erőmű gyűjtősínjén (A sín) uralkodó feszültség:

$$\bar{U}_{Af} = U_f + \bar{I} \cdot j(X_{v1} \otimes X_{v2}) = 230,94 + (1,3 - j0,74) \cdot j26,91 = 250,85 + j34,98 \text{ kV}$$

$$U_{Af} = 253,28 \text{ kV} \quad U_A = \sqrt{3} \cdot U_{Af} = \sqrt{3} \cdot 253,28 = 438,69 \text{ kV}$$

A viszonyokra jellemző görbék:

Fazorábra:



25.a ábra

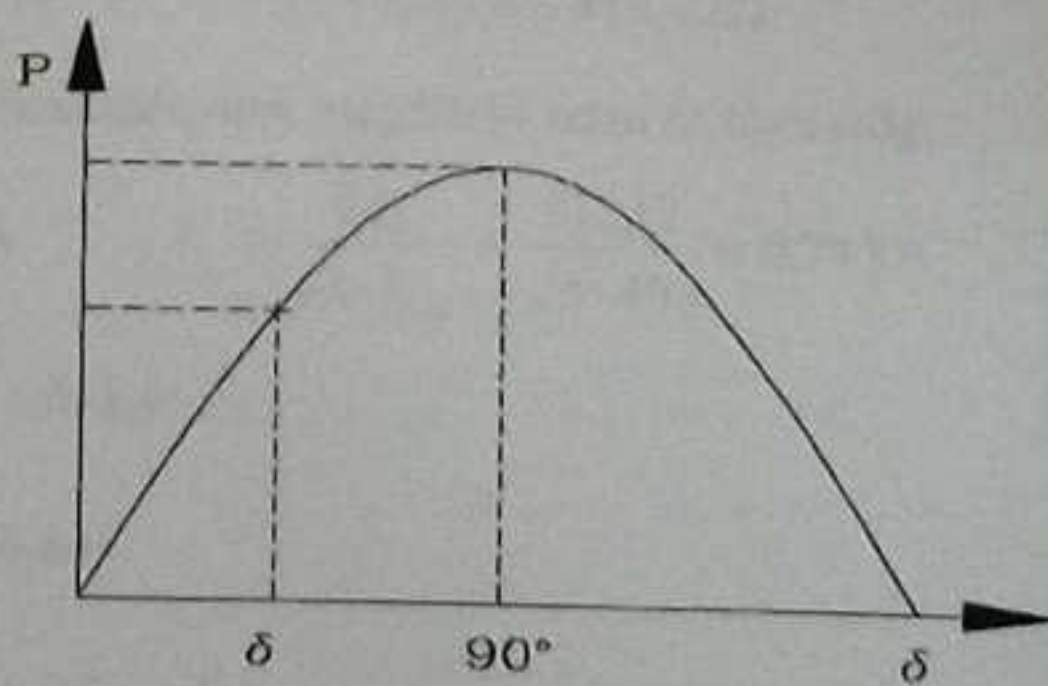
$$I_w \cdot jX = 1,3 \cdot j418,42 = j543,94 \text{ kV}$$

$$-jI_m \cdot jX = -j0,74 \cdot j418,42 = 309,63 \text{ kV}$$

Az átvihető teljesítmény a terhelési szög függvényében:

$$P_{\max} = 1269,78 \text{ MW}$$

$$P = 900,52 \text{ MW}$$



$$45,92^\circ$$

25.b ábra

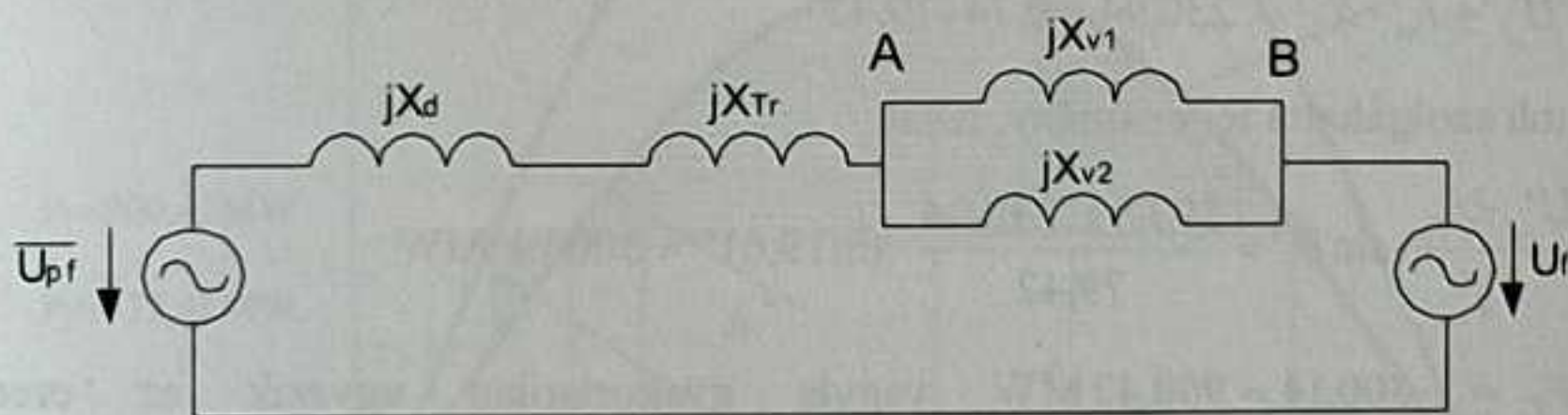
9.3 Tranziens stabilitás

Tranziens stabilitás, kidolgozott példák:

b) Tranziens stabilitás vizsgálata a kettős távvezeték egyik vezetékének kikapcsolásakor:

A 3.1. ábrán lévő rendszert vizsgáljuk tranziens stabilitás szempontjából. Tételezzük fel, hogy a két párhuzamosan kapcsolt távvezeték közül az egyik kikapcsolódik. A turbinákba beömlő gőz mennyisége változatlan. A vizsgálathoz a szinkron generátorokat tranziens reaktanciájukkal (X_d') és tranziens reaktancia mögötti feszültségekkel (U') helyettesítjük.

A rendszer kikapcsolás előtti — (az átmeneti állapot számítására alkalmas) — egyfázisú helyettesítő kapcsolási vázlat:



26. ábra

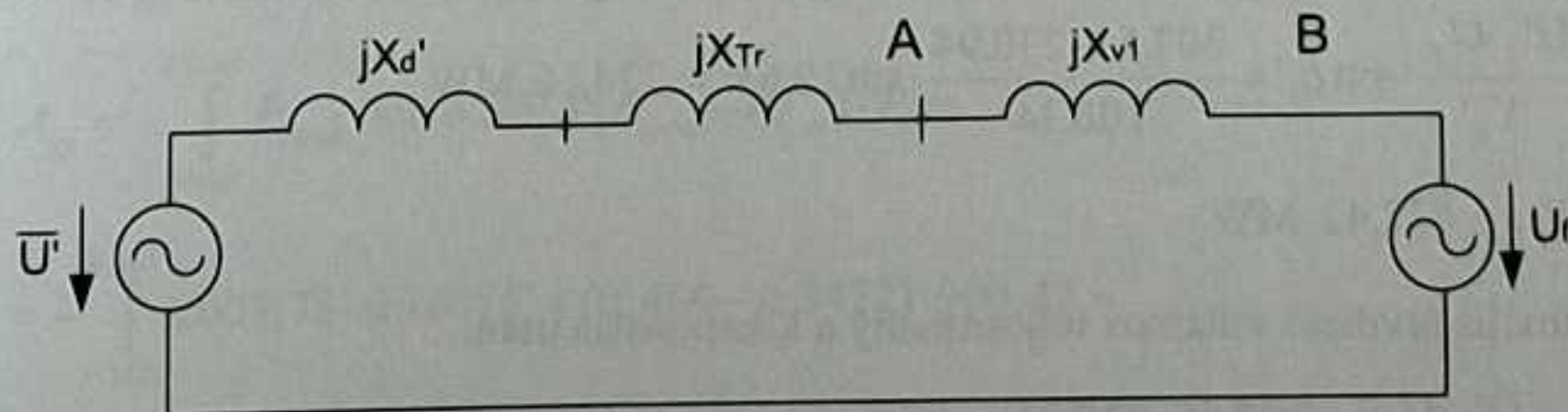
A reaktanciák értéke a számítási feszültségszinten:

$$X_d' = \frac{\varepsilon_d'}{100} \cdot \frac{U_{sz}^2}{\Sigma S_{nG}} = \frac{22,5}{100} \cdot \frac{400^2}{1036} = 34,74 \Omega$$

Az átviteli reaktancia a vezeték kikapcsolása előtt:

$$X_1' = X_d' + X_{Tr} + X_{v1} \otimes X_{v2} = 34,74 + 17,77 + 26,91 = 79,42 \Omega$$

A rendszernek a hirtelen változás 17°-utáni helyettesítő kapcsolása:



27. ábra

Az átviteli reaktancia a vezeték kikapcsolás után:

$$X_2' = X_d' + X_{Tr} + X_{v1} = 34,74 + 17,77 + 53,83 = 106,34 \Omega$$

Látható, hogy $X_2' > X_1'$ tehát az átviteli reaktancia a vezeték kikapcsolás után megnő.

Számításunkhoz feltesszük, hogy ugyanakkora teljesítményt kívánunk a végtelen hálózatba táplálni, mint a vezeték kikapcsolása előtti állapotban, a turbinák gőzbeömlésén nem változtattunk.

A tranziens reaktancia mögötti feszültség, amelyet a számítások során állandónak tekintünk:

$$\bar{U}'_f = U_f + \bar{I} \cdot jX_1' = 230,94 + (1,3 - j0,74) \cdot j79,42 = 289,71 + j103,24 \text{ kV}$$

$$U'_f = 307,55 \text{ kV}$$

$$U' = \sqrt{3} \cdot U'_f = \sqrt{3} \cdot 307,55 = 532,69 \text{ kV}$$

A terhelési szög:

$$\operatorname{tg} \delta_1' = \frac{I_w \cdot X_1'}{U_f + I_m \cdot X_1'} = \frac{1,3 \cdot 79,42}{230,94 + 0,74 \cdot 79,42} = 0,356 \Rightarrow \delta_1' = 19,61^\circ$$

Az erőmű szolgáltatja teljesítmény, tehát:

$$P_{f1} = \frac{U'_f \cdot U_f}{X_1'} \cdot \sin \delta_1' = \frac{307,55 \cdot 230,94}{79,42} \cdot \sin 19,61^\circ = 300,14 \text{ MW}$$

$P_1 = 3P_{f1} = 3 \cdot 300,14 = 900,42 \text{ MW}$ vagyis gyakorlatilag egyezik az eredetileg betáplálnak felvett teljesítménnyel.

A maximális teljesítmény:

$$P_{f1 \max} = \frac{U'_f \cdot U_f}{X_1'} = \frac{307,55 \cdot 230,94}{79,42} = 894,3 \text{ MW}$$

$$P_{1 \max} = 3P_{f1 \max} = 2682,9 \text{ MW}$$

A $\delta_1' = 19,61^\circ$ szöghöz tartozó átvihető villamos teljesítmény a „V₂” vezeték kikapcsolása után:

$$P_{f2} = \frac{U'_f \cdot U_f}{X_2'} \cdot \sin \delta_1' = \frac{307,55 \cdot 230,94}{106,34} \cdot \sin 19,61^\circ = 224,16 \text{ MW}$$

$$P_2 = 3P_{f2} = 672,42 \text{ MW}$$

A maximális átvihető villamos teljesítmény a kikapcsolás után:

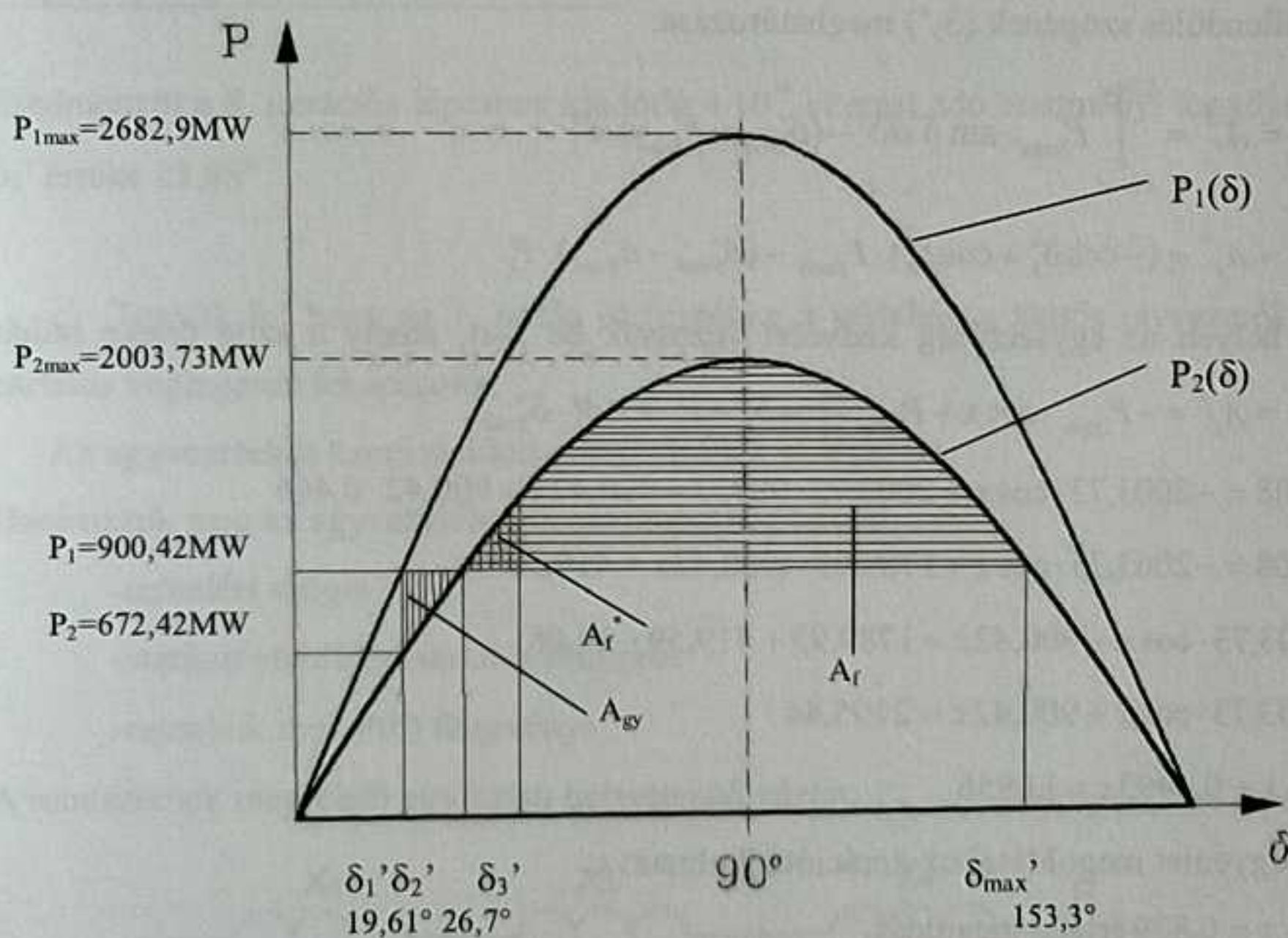
$$P_{f2 \max} = \frac{U'_f \cdot U_f}{X_2'} = \frac{307,55 \cdot 230,94}{106,34} = 667,91 \text{ MW}$$

$$P_{2 \max} = 3P_{f2 \max} = 2003,73 \text{ MW}$$

A két teljesítmény függvény ($P_1(\delta)$ és $P_2(\delta)$) két szinuszgörbével ábrázolható. A $P_2(\delta)$ teljesítménygörbén a P_1 -nek megfelelő δ_2' szög:

$$P_1 = P_{2\max} \cdot \sin \delta_2' \text{ amiből } \sin \delta_2' = \frac{P_1}{P_{2\max}} = \frac{900,42}{2003,73} = 0,4493 \Rightarrow \delta_2' = 26,7^\circ$$

A kikapcsolás előtti (kettős távvezeték) és a kikapcsolás utáni (egyetlen távvezeték) állapotokat leíró függvények:



28. ábra

A tranziens stabilitás kilendülési határszöge (elméleti érték):

$$\delta_{\max}' = 180^\circ - \delta_2' = 180 - 26,7 = 153,3^\circ$$

A gyorsító terület nagyságának meghatározása:

$$\begin{aligned} A_{gy} &= - \int_{\delta_{1rad}}^{\delta_{2rad}} P_{2\max} \cdot \sin \delta' d\delta' + (\delta_{2rad}' - \delta_{1rad}') \cdot P_1 = \\ &= - \int_{0,3422}^{0,466} 2003,73 \cdot \sin \delta' d\delta' + (0,466 - 0,3422) \cdot 900,42 = \\ &= -(-\cos 26,7^\circ + \cos 19,61^\circ) \cdot 2003,73 + (0,466 - 0,3422) \cdot 900,42 = 14,08 \end{aligned}$$

Az elméletileg rendelkezésre álló fékező terület nagysága:

$$A_f = \int_{\delta_{2rad}}^{\delta_{max rad}} P_{2max} \cdot \sin \delta' d\delta' - (\delta'_{max rad} - \delta'_{2rad}) \cdot P_1 =$$

$$= \int_{0,466}^{2,6755} 2003,73 \cdot \sin \delta' d\delta' - (2,6755 - 0,466) \cdot 900,42 =$$

$$= (-\cos 153,3^\circ + \cos 26,7^\circ) \cdot 2003,73 - (2,6755 - 0,466) \cdot 900,42 = 1590,68$$

Ebből következik, hogy a gép tranziensen stabilis a „V₂” kikapcsolásakor.

A túllendülés szögének (δ_3') meghatározása:

$$A_{gy} = A_f^* = \int_{\delta_{2rad}}^{\delta_{3rad}} P_{2max} \cdot \sin \delta' d\delta' - (\delta'_{3rad} - \delta'_{2rad}) \cdot P_1$$

$$A_{gy} = A_f^* = (-\cos \delta_3' + \cos \delta_2') \cdot P_{2max} - (\delta'_{3rad} - \delta'_{2rad}) \cdot P_1$$

δ_3' helyett az egyszerűség kedvéért vezessük be x -et, amely a szög értéke radiánban.

$$A_{gy} = A_f^* = -P_{2max} \cdot \cos x + P_{2max} \cdot \cos \delta_2' - P_1 \cdot x + P_1 \cdot \delta'_{2rad}$$

$$14,08 = -2003,73 \cdot \cos x + 2003,73 \cdot 0,8933 - 900,42x + 900,42 \cdot 0,466$$

$$14,08 = -2003,73 \cdot \cos x + 1789,93 - 900,42x + 419,59$$

$$2003,73 \cdot \cos x + 900,42x = 1789,93 + 419,59 - 14,08$$

$$2003,73 \cdot \cos x + 900,42x = 2195,44$$

$$\cos x + 0,4493x = 1,0956$$

Az egyenlet megoldásához iterációt alkalmazva:

$$\cos x = 0,829 \text{ értéka megoldás,}$$

$$\text{és } x = \arccos(0,829) = 0,5934 \text{ rad}$$

$$0,829 + 0,4493 \cdot 0,5934 = 1,0956$$

Azaz az iterációs megoldással a δ_3' szög értéke: 34°

A túllendülés szögének meghatározása intervallumfelezéses módszerrel:

$$\cos \delta_3 + 0,4493 \cdot \delta_{3rad} = 1,0956 \text{ egyenlet } \delta_3 \text{-ra kifejezve}$$

$$2,2253 \cdot \cos \delta_3 + \delta_{3rad} - 2,4382 = 0$$

Az egyenlet analitikusan nem oldható meg, ezért δ_3' értékét intervallum felezéses módszerrel oldjuk meg.

$$F(\delta) = 2,2253 \cdot \cos \delta_3 + \delta_{3rad} - 2,4382$$

	$\delta[^\circ]$	$F(\delta)$
1	$\delta_1=27^\circ$	0,0157
2	$\delta_2=90^\circ$	-0,8674
3	$\delta_3=0,5 \cdot (\delta_1+\delta_2)=58,5^\circ$	-0,2544
4	$\delta_4=0,5 \cdot (\delta_1+\delta_3)=42,75^\circ$	-0,058
5	$\delta_5=0,5 \cdot (\delta_1+\delta_4)=34,875^\circ$	-0,0039
6	$\delta_6=0,5 \cdot (\delta_1+\delta_5)=30,93^\circ$	0,0104
7	$\delta_7=0,5 \cdot (\delta_5+\delta_6)=32,9^\circ$	0,009
8	$\delta_8=0,5 \cdot (\delta_5+\delta_7)=33,88^\circ$	0,0004

Eredményül a 8. iterációs lépésben kiadódó $4 \cdot 10^{-4}$ eltérést adó eredményt fogadjuk el, így δ_3' értéke $33,88^\circ$.

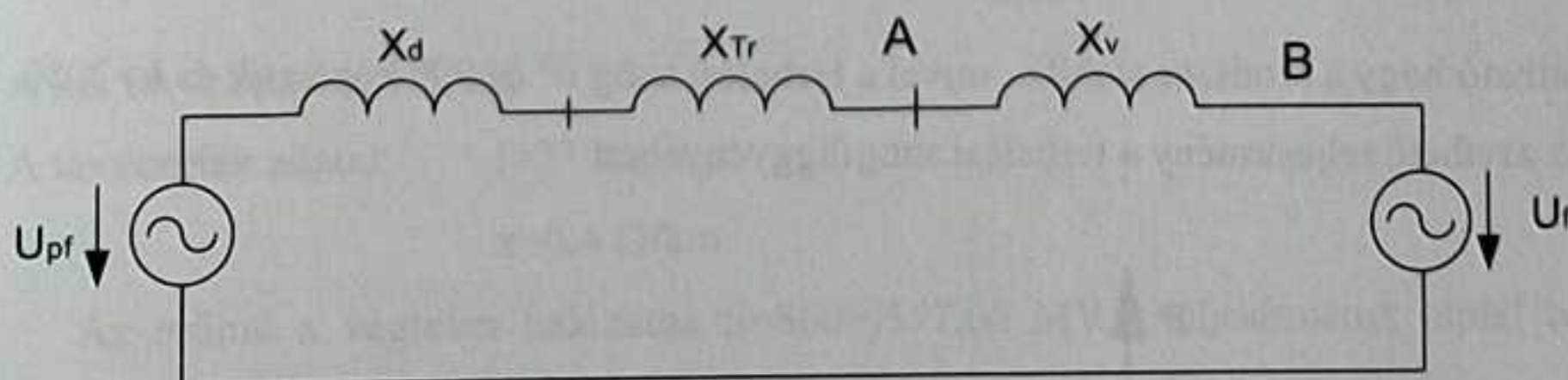
c) Tegyük fel hogy az 1. példa b) részében a védelem a kettős távvezeték közül a zárlatos véglegesen lekapcsolta.

Az egyvezetékes üzemi statikus stabilitásának számítása:

Határozzuk meg az egyvezetékes üzemiállapothoz tarozó:

- terhelési szöget
- statikus stabilitási tartalék tényezőt
- rajzoljuk meg $P(\delta)$ függvényt

A rendszernek megfelelő egyfázisú helyettesítő vázlat:



29. ábra

Az átviteli út eredő reaktanciája:

$$X = X_d + X_{Tr} + X_{v1} = 373,74 + 17,77 + 53,83 = 445,342 \Omega$$

A végtelen hálózatba betáplált teljesítménynek megfelelő áram és fázisszög:

$$I_w = \frac{\Sigma P}{\sqrt{3} \cdot U_{sz}} = \frac{900}{\sqrt{3} \cdot 400} = 1,3 \text{ kA} \quad I_m = \frac{\Sigma Q}{\sqrt{3} \cdot U_{sz}} = \frac{513,12}{\sqrt{3} \cdot 400} = 0,74 \text{ kA}$$

$$\bar{I} = I_w - jI_m = 1,3 - j0,74 \text{ kA} \Rightarrow I = 1,94 \text{ kA}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_m}{I_w} = \frac{0,74}{1,3} = 0,569 \Rightarrow \varphi = 29,64^\circ$$

A pólusfeszültség értéke a számítási feszültség szinten:

$$\bar{U}_{pf} = U_f + \bar{I} \cdot jX = 230,94 + (1,3 - j0,74) \cdot j445,34 = 560,49 + 578,94j \text{ kV}$$

$$U_{pf} = 805,8 \text{ kV} \quad U_p = \sqrt{3} \cdot U_{pf} = \sqrt{3} \cdot 805,8 = 1395,68 \text{ kV}$$

A terhelési szög:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_w \cdot X}{U_f + I_m X} = \frac{1,3 \cdot 445,34}{230,94 + 0,74 \cdot 445,34} = 1,0329 \Rightarrow \delta = 45,92^\circ$$

Ehhez a szöghöz tartozik az erőmű, szolgáltatott wattos teljesítmény:

$$P_f = \frac{U_{pf} \cdot U_f}{X} \cdot \sin \delta = \frac{805,8 \cdot 230,94}{445,34} \cdot \sin 45,92^\circ = 300,18 \text{ MW}$$

$$P = 3 \cdot P_f = 3 \cdot 300,18 = 900,54 \text{ MW}$$

Az erőmű által változatlan gerjesztés mellett szolgáltatható maximális teljesítmény ($\delta=90^\circ$):

$$P_{f \max} = \frac{U_{pf} \cdot U_f}{X} = \frac{805,8 \cdot 230,94}{445,34} = 417,86 \text{ MW}$$

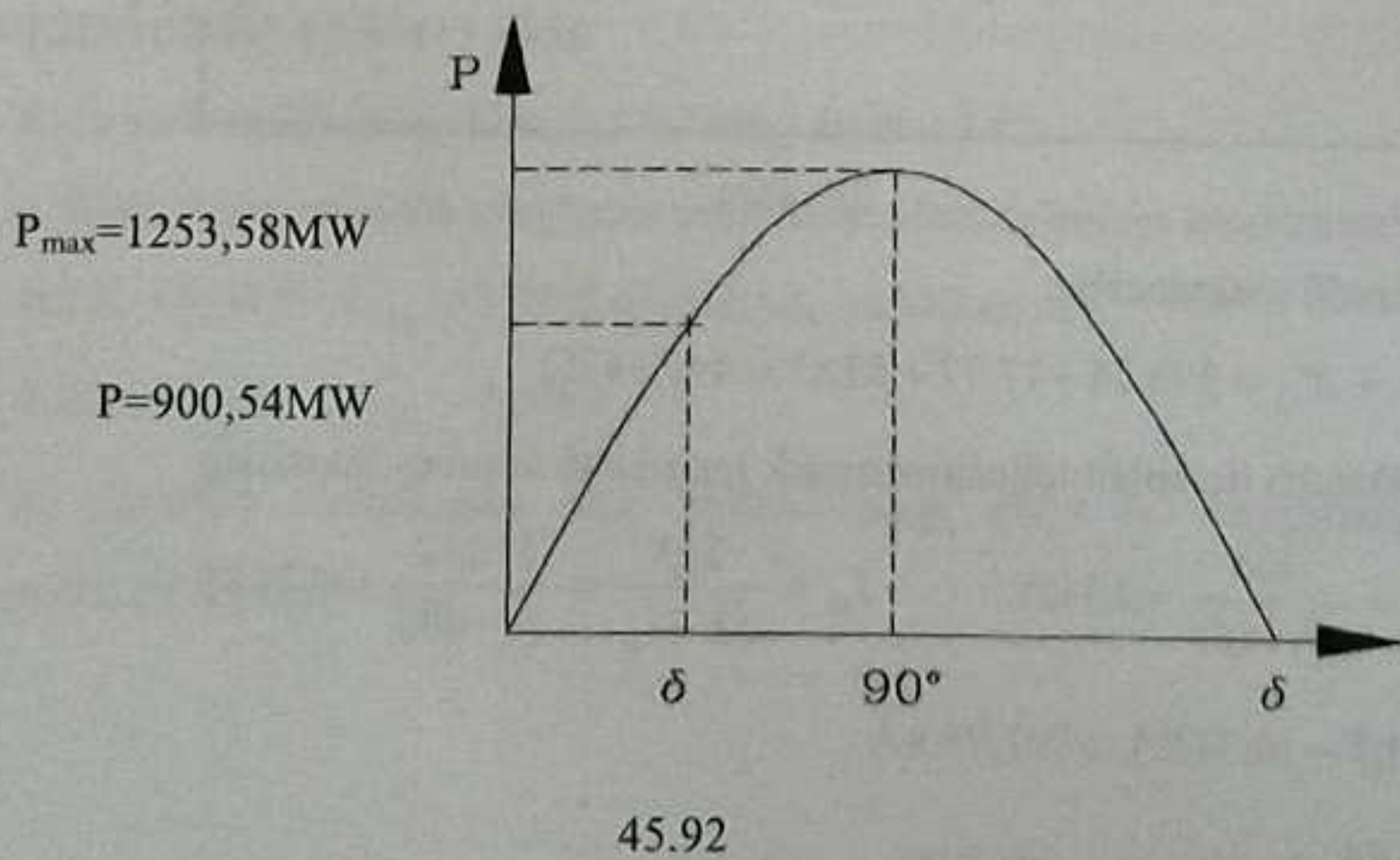
$$P_{\max} = 3 \cdot P_{f \max} = 3 \cdot 417,86 = 1253,58 \text{ MW}$$

A stabilitási tartaléktényező:

$$k = \frac{P_{\max} - P}{P} \cdot 100\% = \frac{1253,58 - 900,54}{900,54} \cdot 100\% = 39,2\% > 20\%$$

Látható hogy a rendszer stabilis, mivel a terhelési szög 0° és 90° közé esik és $k > 20\%$.

Az átvihető teljesítmény a terhelési szögfüggvényében:

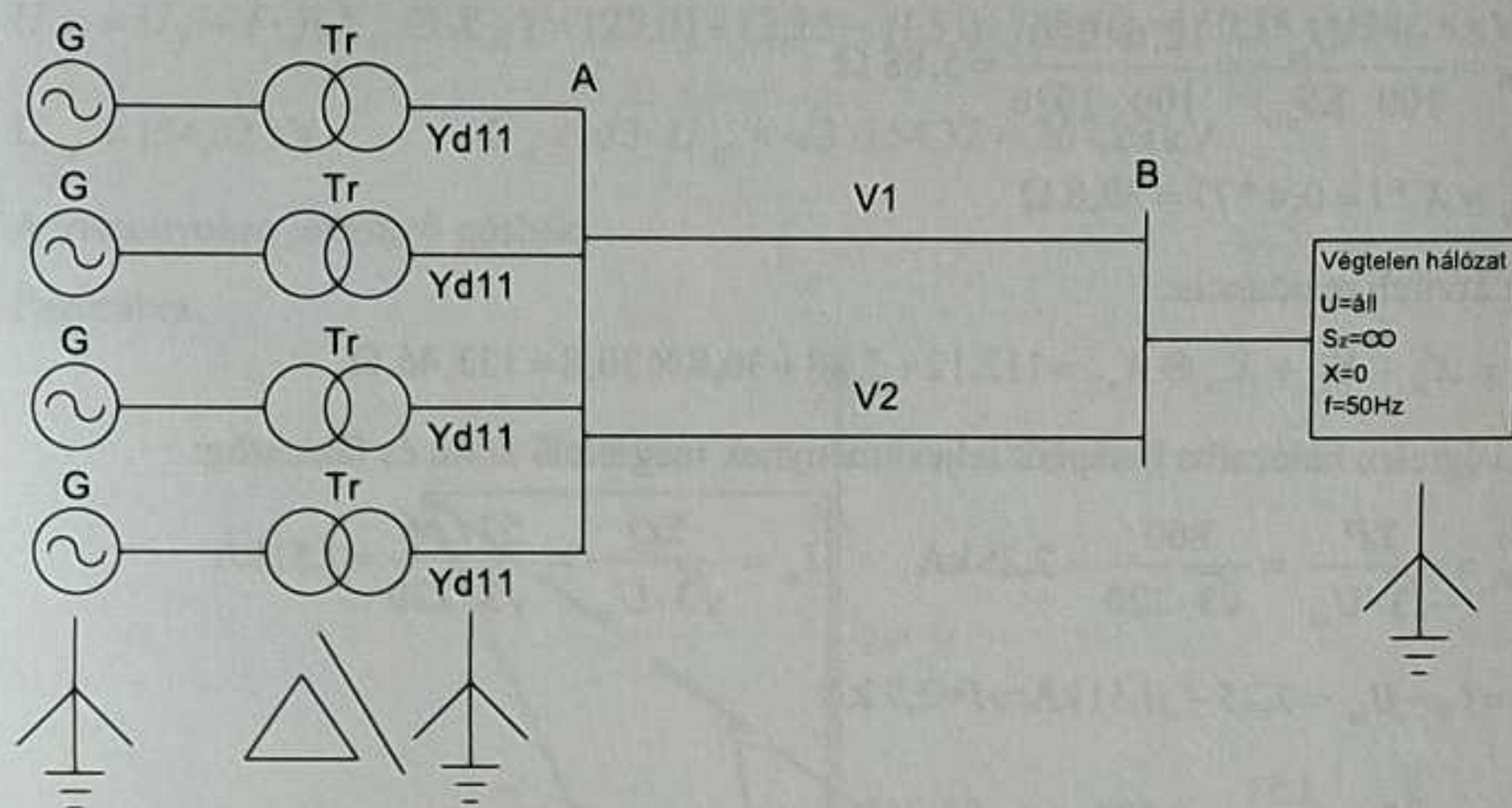


30. ábra

2. példa

A vizsgált rendszer elvi sémáját a 3.2. ábrán adtuk meg.

a) Statikus stabilitás vizsgálata ép kettős távvezeték esetére:



31. ábra

adatok:

	U_n [kV]	S_n [MVA]	ϵ_d [%]	ϵ_d' [%]	ϵ_d'' [%]	ϵ [%]
G	15,75	259	240	24	17	
Tr	242/15,75	259				12,6

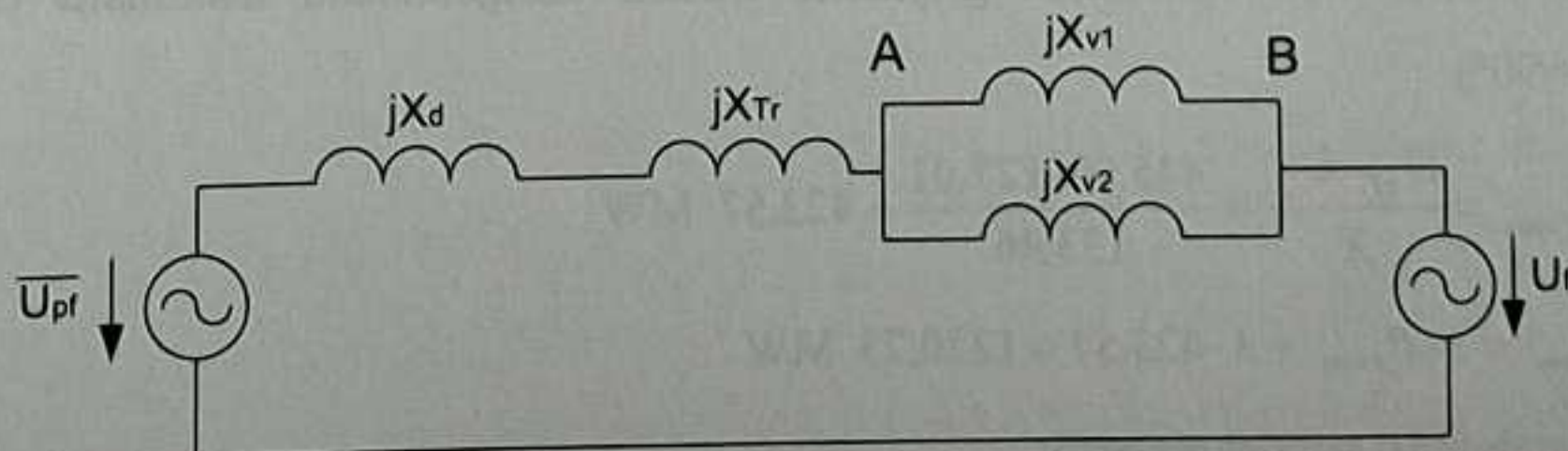
A két távvezeték egyforma

A távvezeték adatai: $l=77$ km

$x=0,4$ Ω /km

Az erőmű a végtelen hálózatba $S=860+j577,66$ MVA teljesítményt táplál be. „B” gyűjtősín, feszültsége 220 kV.

A rendszernek megfelelő egyfázisú helyettesítő vázlat:



32. ábra

A reaktanciák értéke a számítási feszültség szinten:

$$X_d = \frac{\varepsilon_d \cdot U_{sz}^2}{100 \cdot \Sigma S_{nG}} = \frac{240 \cdot 220^2}{100 \cdot 1036} = 112,12 \Omega$$

$$X_{Tr} = \frac{\varepsilon \cdot U_{sz}^2}{100 \cdot \Sigma S_{nTr}} = \frac{12,6 \cdot 220^2}{100 \cdot 1036} = 5,88 \Omega$$

$$X_v = X \cdot l = 0,4 \cdot 77 = 30,8 \Omega$$

Az átviteli reaktancia:

$$X = X_d + X_{Tr} + X_{v1} \otimes X_{v2} = 112,12 + 5,88 + 30,8 \otimes 30,8 = 133,46 \Omega$$

A végtelen hálózatba betáplált teljesítménynek megfelelő áram és fázisszög:

$$I_w = \frac{\Sigma P}{\sqrt{3} \cdot U_{sz}} = \frac{860}{\sqrt{3} \cdot 220} = 2,25 \text{ kA} \quad I_m = \frac{\Sigma Q}{\sqrt{3} \cdot U_{sz}} = \frac{577,66}{\sqrt{3} \cdot 220} = 1,51 \text{ kA}$$

$$\bar{I} = I_w - jI_m = 2,25 - j1,51 \text{ kA} \Rightarrow I = 2,7 \text{ kA}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_m}{I_w} = \frac{1,51}{2,25} = 0,671 \Rightarrow \varphi = 33,86^\circ$$

A pólusfeszültség értéke a számítási feszültség szinten:

$$\bar{U}_{pf} = U_f + \bar{I} \cdot jX = 127,01 + (2,25 - j1,51) \cdot j133,46 = 328,53 + j300,28 \text{ kV}$$

$$U_{pf} = 445,09 \text{ kV} \quad U_p = \sqrt{3} \cdot U_{pf} = \sqrt{3} \cdot 445,09 = 770,91 \text{ kV}$$

A terhelési szög:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_w \cdot X}{U_f + I_m X} = \frac{2,25 \cdot 133,46}{127,01 + 1,51 \cdot 133,46} = 0,914 \Rightarrow \delta = 42,42^\circ$$

Ehhez a szöghöz tartozik az erőmű szolgáltatott wattos teljesítmény:

$$P_f = \frac{U_{pf} \cdot U_f}{X} \cdot \sin \delta = \frac{445,09 \cdot 127,01}{133,46} \cdot \sin 42,42^\circ = 285,72 \text{ MW}$$

$$P = 3 \cdot P_f = 3 \cdot 285,72 = 857,16 \text{ MW}$$

Az erőmű által változatlan gerjesztés mellett szolgáltatható maximális teljesítmény ($\delta=90^\circ$):

$$P_{f \max} = \frac{U_{pf} \cdot U_f}{X} = \frac{445,09 \cdot 127,01}{133,46} = 423,57 \text{ MW}$$

$$P_{\max} = 3 \cdot P_{f \max} = 3 \cdot 423,57 = 1270,73 \text{ MW}$$

A stabilitási tartaléktényező:

$$k = \frac{P_{\max} - P}{P} \cdot 100\% = \frac{1270,73 - 857,16}{857,16} \cdot 100\% = 48,24\% > 20\%$$

Látható hogy a rendszer stabilis, mivel a terhelési szög 0° és 90° közé esik és $k > 20\%$.

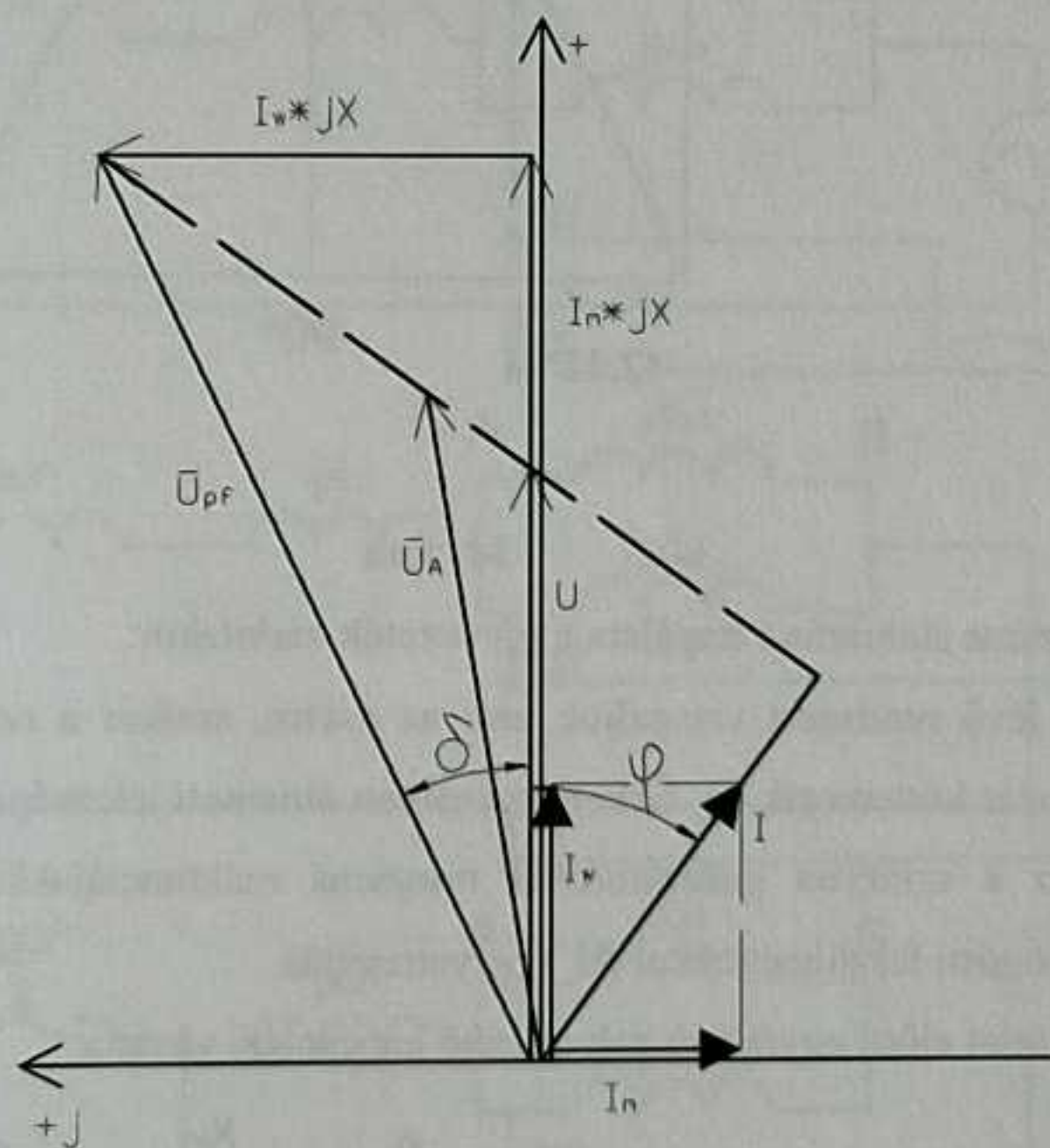
Az erőmű gyűjtősínjén (A sín) uralkodó feszültség:

$$\bar{U}_M = U_f + \bar{I} \cdot j(X_{v1} \otimes X_{v2}) = 127,01 + (2,25 - j1,51) \cdot j15,46 = 150,35 + j34,78 \text{ kV}$$

$$U_M = 154,32 \text{ kV} \quad U_A = \sqrt{3} \cdot U_M = \sqrt{3} \cdot 154,32 = 267,29 \text{ kV}$$

A viszonyokra jellemző görbék:

Fazorábra:

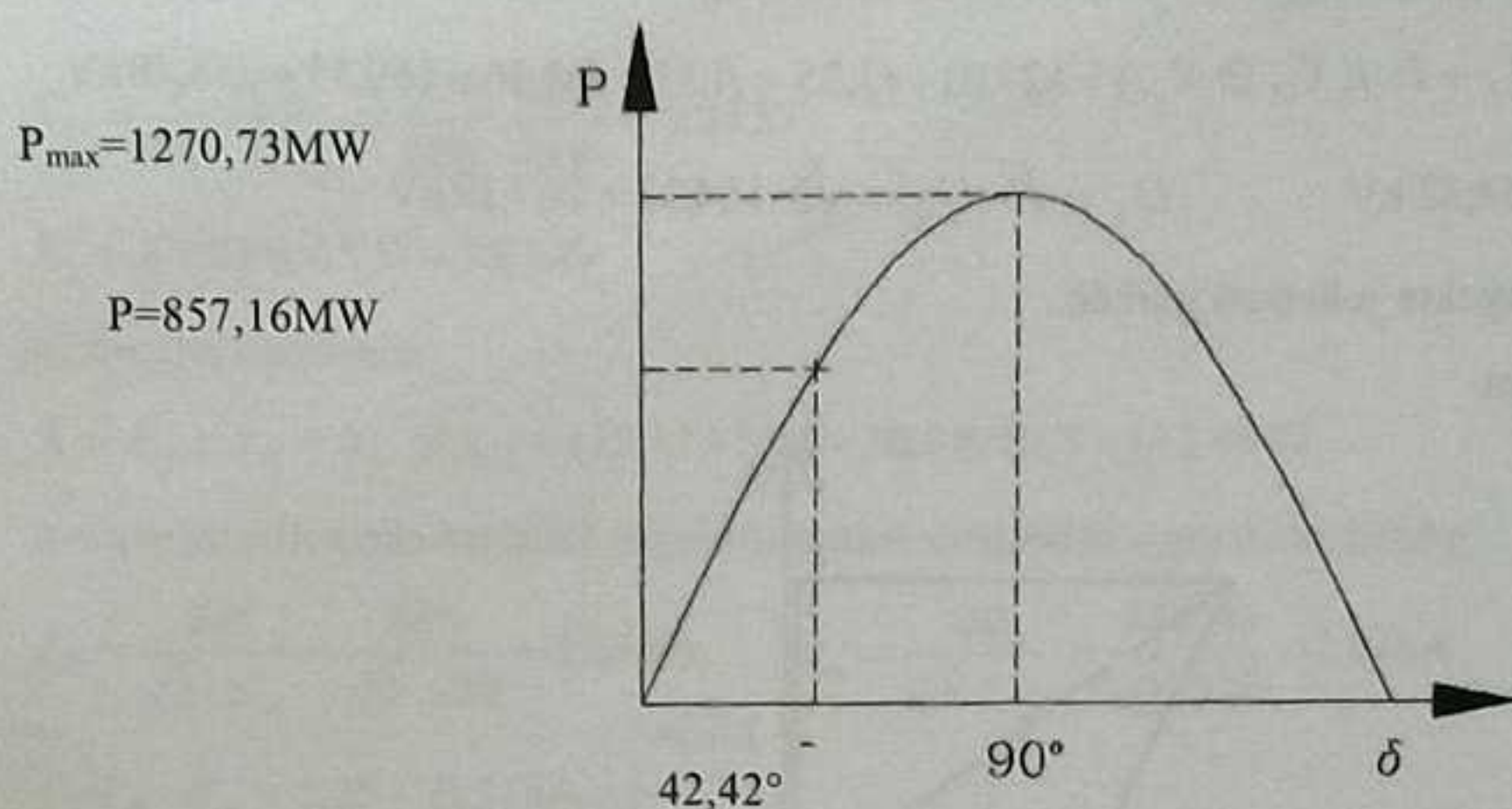


33. ábra

$$I_w \cdot jX = 2,25 \cdot j133,46 = j300,28 \text{ kV}$$

$$-jI_m \cdot jX = -j1,51 \cdot j133,46 = 201,52 \text{ kV}$$

Az átvihető teljesítmény a terhelési szög függvényében

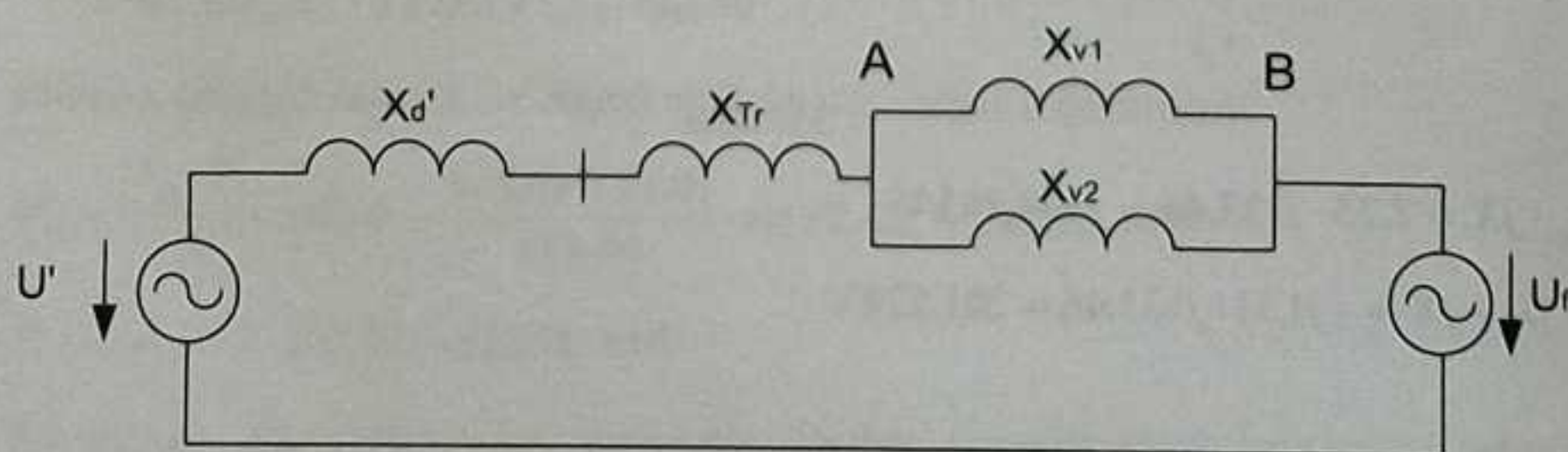


34. ábra

b) Tranziens stabilitás vizsgálata a távvezeték zárlatakor:

A 31 ábrán lévő rendszert vizsgáljuk arra az esetre, amikor a rendszerben valamilyen hirtelen változás következik be. Ebben az esetben átmeneti jelenségek lépnek fel, amelyek vizsgálatához a szinkron generátorokat tranziens reaktanciájukkal (X'_d) és tranziens reaktancia mögötti feszültségükkel (U') helyettesítjük.

A rendszer zárlat előtti egyfázisú helyettesítő kapcsolási vázlat:



35. ábra

A reaktanciák értéke a számítási feszültség szinten:

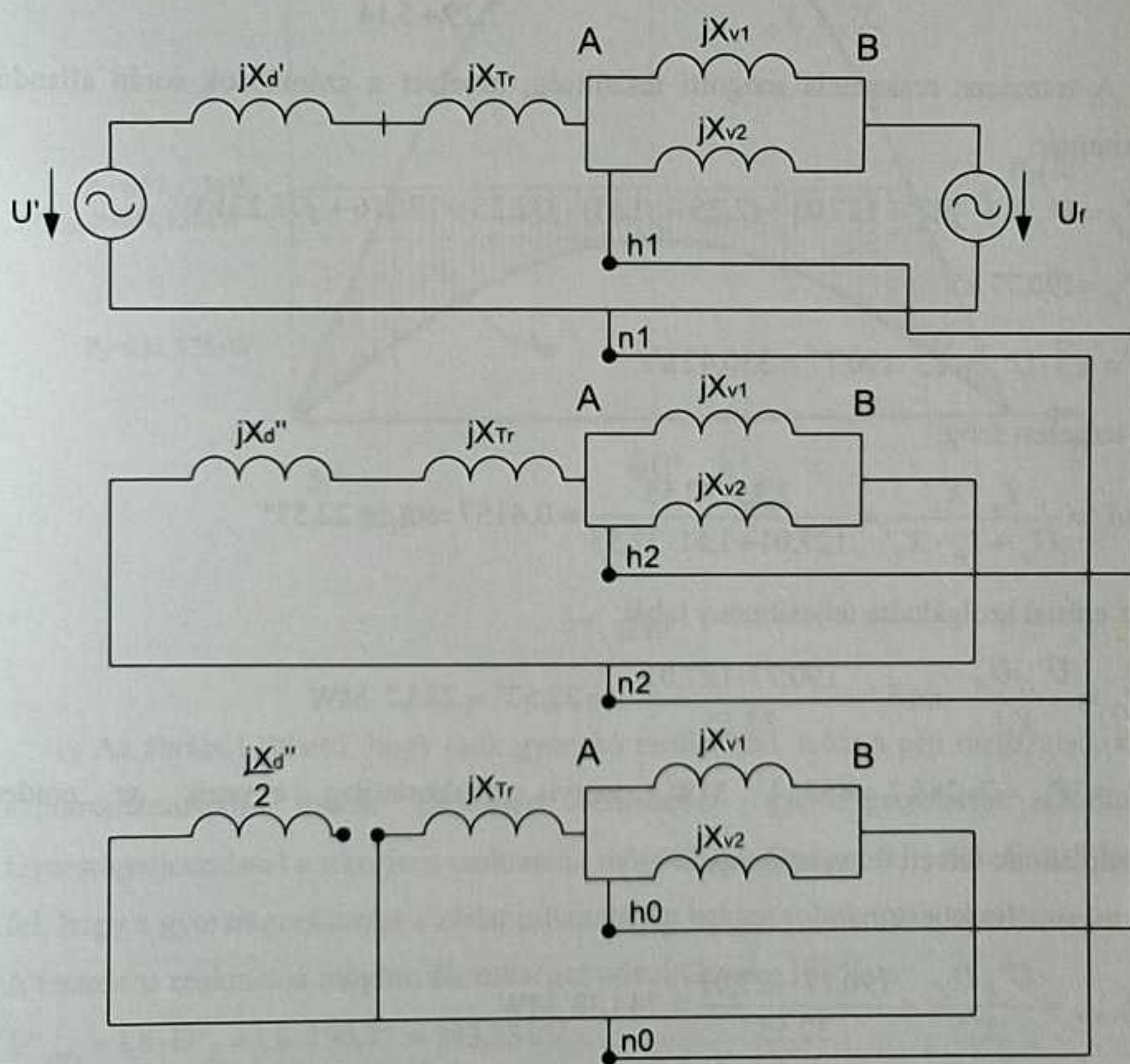
$$X'_d = \frac{\varepsilon'_d}{100} \cdot \frac{U_{sz}^2}{\Sigma S_{nG}} = \frac{24}{100} \cdot \frac{220^2}{1036} = 11,21 \Omega$$

Az átviteli út eredő reaktanciája a hirtelen változás előtt:

$$X_1 = X'_d + X_{Tr} + X_{v1} \otimes X_{v2} = 11,21 + 5,88 + 15,46 = 32,55 \Omega$$

Tételezzük fel, hogy a két párhuzamosan kapcsolt távvezeték közül a „V₂”vezetéken 2FN zárlat lép fel az „A” gyűjtősínhez közel közvetlenül a távvezeték elején a megszakító után.

A rendszer zárlat utáni helyettesítő kapcsolási vázlatai és azok a hibafajtának megfelelő összekötése:



36. ábra

A reaktanciák értéke a számítási feszültség szinten:

$$X_d'' = \frac{\varepsilon_d''}{100} \cdot \frac{U_{sz}^2}{\Sigma S_{nG}} = \frac{17}{100} \cdot \frac{220^2}{1036} = 7,94 \Omega$$

$$X_a = X_d' + X_{Tr} = 11,21 + 5,88 = 17,09 \Omega$$

$$X_b = X_{v1} \otimes X_{v2} = 30,92 \otimes 30,92 = 15,46 \Omega$$

A negatív sorrendű hálózat eredő reaktanciája:

$$X_2 = (X_d'' + X_{Tr}) \otimes (X_{v1} \otimes X_{v2}) = (7,94 + 5,88) \otimes (30,92 \otimes 30,92) = 7,29 \Omega$$

A zérus sorrendű hálózat eredő reaktanciája:

$$X_0 = X_{Tr} \otimes (X_{v01} \otimes X_{v02}) = 5,88 \otimes (82,6 \otimes 82,6) = 5,14 \Omega$$

A generátor és a hálózat közötti rövidzárási átviteli reaktancia:

$$X_{12}^{2FN} = X_a + X_b + \frac{X_a \cdot X_b}{X_2 \cdot X_0} = 17,09 + 15,46 + \frac{17,09 \cdot 15,46}{7,29 \cdot 5,14} = 120,32 \Omega$$

A tranziens reaktancia mögötti feszültség, amelyet a számítások során állandónak tekintünk:

$$\bar{U}'_f = U_f + \bar{I} \cdot jX_1' = 127,01 + (2,25 - j1,51) \cdot j32,55 = 176,16 + j73,23 \text{ kV}$$

$$U'_f = 190,77 \text{ kV}$$

$$U = \sqrt{3} \cdot U'_f = \sqrt{3} \cdot 190,77 = 330,42 \text{ kV}$$

A terhelési szög:

$$\operatorname{tg} \delta_1' = \frac{I_w \cdot X_1'}{U_f + I_m \cdot X_1'} = \frac{2,25 \cdot 32,55}{127,01 + 1,51 \cdot 32,55} = 0,4157 \Rightarrow \delta_1' = 22,57^\circ$$

Az erőmű szolgáltatja teljesítmény tehát:

$$P_{f1} = \frac{U'_f \cdot U_f}{X_1'} \cdot \sin \delta_1' = \frac{190,77 \cdot 127,01}{32,55} \cdot \sin 22,57^\circ = 285,7 \text{ MW}$$

$P_1 = 3P_{f1} = 3 \cdot 285,7 = 857,11 \text{ MW}$, vagyis gyakorlatilag egyezik az eredetileg betáplálnak felvett teljesítménnyel.

A maximális teljesítmény:

$$P_{f1 \max} = \frac{U'_f \cdot U_f}{X_1'} = \frac{190,77 \cdot 127,01}{32,55} = 744,38 \text{ MW}$$

$$P_{1 \max} = 3P_{f1 \max} = 2233,15 \text{ MW}$$

A $\delta_1' = 22,57^\circ$ szöghöz tartozó átvihető villamos teljesítmény a „V₂” vezeték zárlata után:

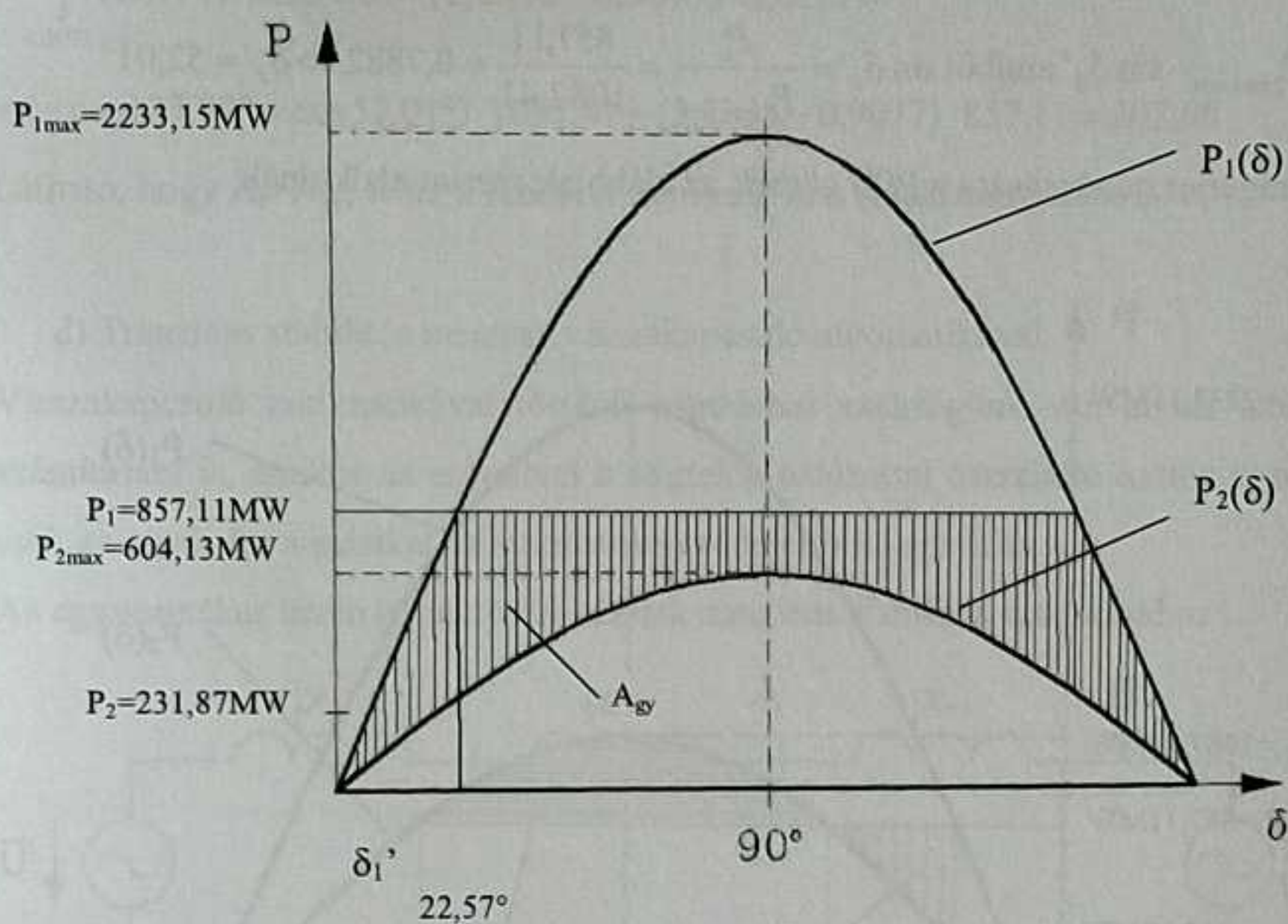
$$P_{f2} = \frac{U'_f \cdot U_f}{X_{12}^{2FN}} \cdot \sin \delta_1' = \frac{190,77 \cdot 127,01}{120,32} \cdot \sin 22,57^\circ = 77,29 \text{ MW}$$

$$P_2 = 3P_{f2} = 231,87 \text{ MW}$$

A maximális átvihető villamos teljesítmény a zárlat után:

$$P_{f2 \max} = \frac{U'_f \cdot U_f}{X_{12}^{2FN}} = \frac{190,77 \cdot 127,01}{120,32} = 201,37 \text{ MW}$$

$$P_{2 \max} = 3P_{f2 \max} = 604,11 \text{ MW}$$



37. ábra

c) Az ábrából látható, hogy csak gyorsító terület van, tehát a gép megszalad, kiesik a szinkronizmusból. Ennek elkerülése érdekében gyorsráerjesztést alkalmazunk. Gyorsráerjesztéssel a tranziens reaktancia mögötti feszültséget (U') növeljük. Tételezzük fel, hogy a gyorsráerjesztést a zárlat pillanatában bekapcsoljuk ($t=0$ s alatt).

A tranziens reaktancia mögötti feszültséget növeljük meg 180%-ra:

$$U'_{fn\acute{o}v} = 1,8 \cdot U'_f = 1,8 \cdot 190,77 = 343,38 \text{ kV}$$

$$U'_{n\acute{o}v} = \sqrt{3} \cdot U'_{fn\acute{o}v} = \sqrt{3} \cdot 343,38 = 594,75 \text{ kV}$$

tehát:

$$P_{f2n\acute{o}v} = \frac{U'_{fn\acute{o}v} \cdot U_f}{X_{12}^{2FN}} \cdot \sin \delta_1' = \frac{343,38 \cdot 127,01}{120,32} \cdot \sin 22,57^\circ = 139,12 \text{ MW}$$

$$P_{2n\acute{o}v} = 3P_{f2n\acute{o}v} = 417,37 \text{ MW}$$

A maximális átvihető villamos teljesítmény a zárlat után:

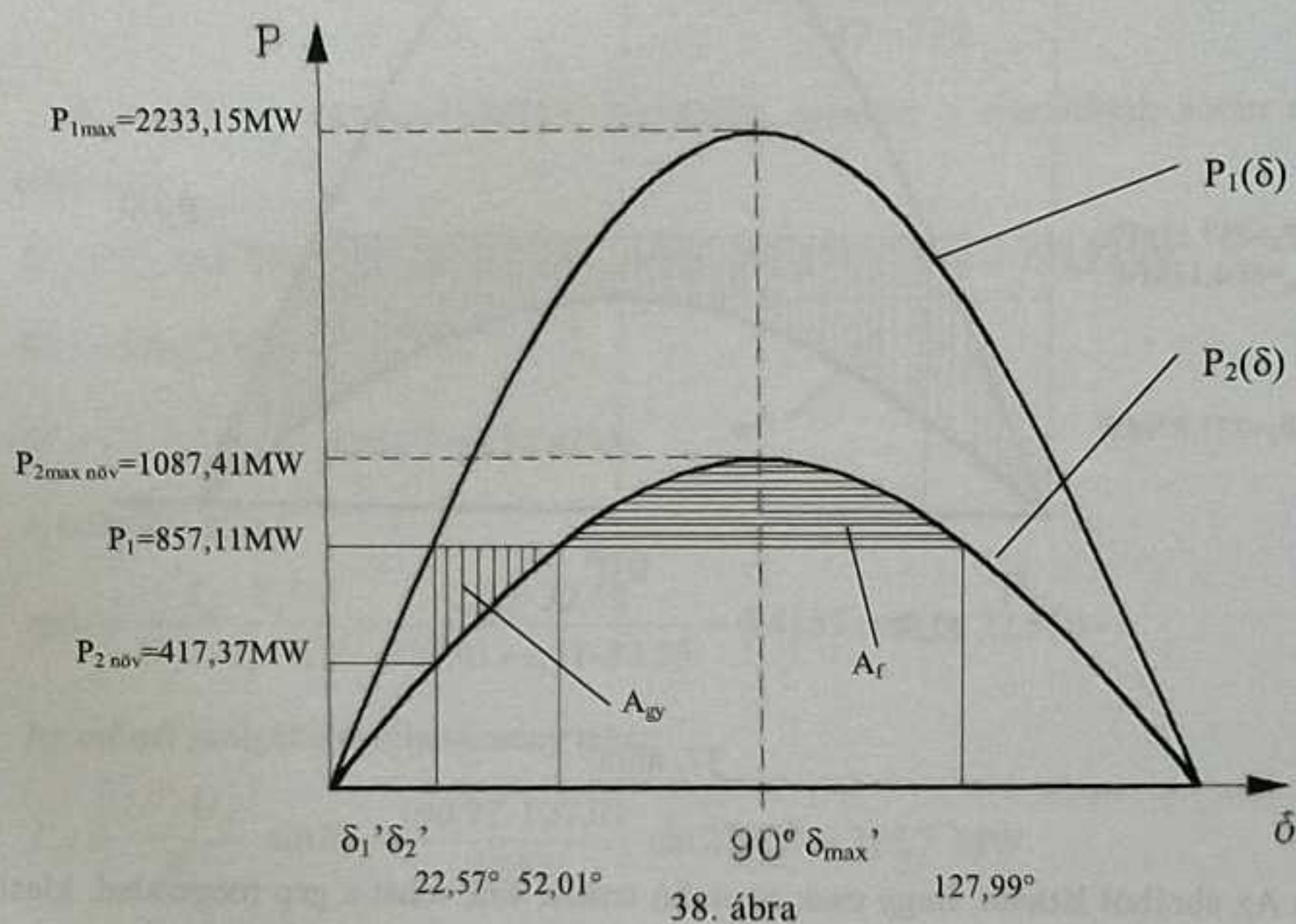
$$P_{f2\text{max}n\acute{o}v} = \frac{U'_{fn\acute{o}v} \cdot U_f}{X_{12}^{2FN}} = \frac{343,38 \cdot 127,01}{120,32} = 362,47 \text{ MW}$$

$$P_{2\text{max}n\acute{o}v} = 3P_{f2\text{max}n\acute{o}v} = 1087,41 \text{ MW}$$

A P_2 teljesítménygörbén a P_1 -nek megfelelő δ_2' szög:

$$P_1 = P_{2 \max \text{ növ}} \cdot \sin \delta_2' \text{ amiből } \sin \delta_2' = \frac{P_1}{P_{2 \max \text{ növ}}} = \frac{857,11}{1087,41} = 0,7882 \Rightarrow \delta_2' = 52,01^\circ$$

Gyorsrágérjesztés hatására a $P(\delta)$ görbék az alábbiak szerint alakulnak:



A tranziens stabilitás kilendülési határszöge (elméleti érték):

$$\delta_{\max}' = 180^\circ - \delta_2' = 180 - 52,01 = 127,99^\circ$$

A gyorsító terület nagyságának meghatározása:

$$\begin{aligned} A_{gy} &= - \int_{\delta_1 \text{ rad}}^{\delta_2 \text{ rad}} P_{2 \max} \cdot \sin \delta d\delta + (\delta_{2 \text{ rad}} - \delta_{1 \text{ rad}}) \cdot P_1 = \\ &= - \int_{0,3939}^{0,9077} 1087,41 \cdot \sin \delta' d\delta' + (0,9077 - 0,3939) \cdot 857,11 = \\ &= -(-\cos 52,01^\circ + \cos 22,57^\circ) \cdot 1087,41 + (0,9077 - 0,3939) \cdot 857,11 = 105,57 \end{aligned}$$

Az elméletileg rendelkezésre álló fékező terület nagysága:

$$A_f = \int_{\delta_2 \text{ rad}}^{\delta_{\max} \text{ rad}} P_{2 \max} \cdot \sin \delta' d\delta' - (\delta'_{\max \text{ rad}} - \delta'_{2 \text{ rad}}) \cdot P_1 =$$

$$= \int_{0,9077}^{2,2338} 1087,41 \cdot \sin \delta' d\delta' - (2,2338 - 0,9077) \cdot 857,11 =$$

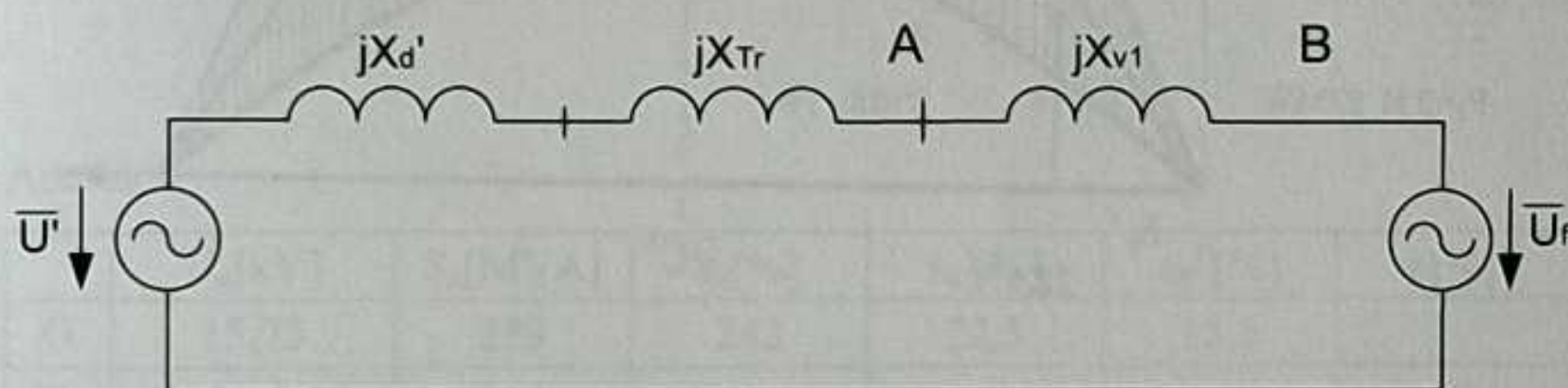
$$= (-\cos 127,99^\circ + \cos 52,01^\circ) \cdot 1087,41 - (2,2338 - 0,9077) \cdot 857,11 = 202,05$$

Látható, hogy $A_f > A_{gy}$, tehát a rendszer nem esik ki a szinkronizmusból.

d) Tranziens stabilitás mentése visszkapcsoló automatikával.

Visszkapcsoló automatikával történő mentéshez szükségünk van annak az esetnek a számítására is, amikor az erőművet a végtelen hálózattal összekötő kettős vezeték közül csak az egyik ép, a másikat az automatika (védelem) kikapcsolta.

Az egyvezetékes üzemi helyettesítő vázlata tranziens stabilitás számításához:



39. ábra

$$X_{\text{1vez}} = X_{d'} + X_{Tr} + X_{v1} = 11,21 + 5,88 + 30,92 = 48,01 \Omega$$

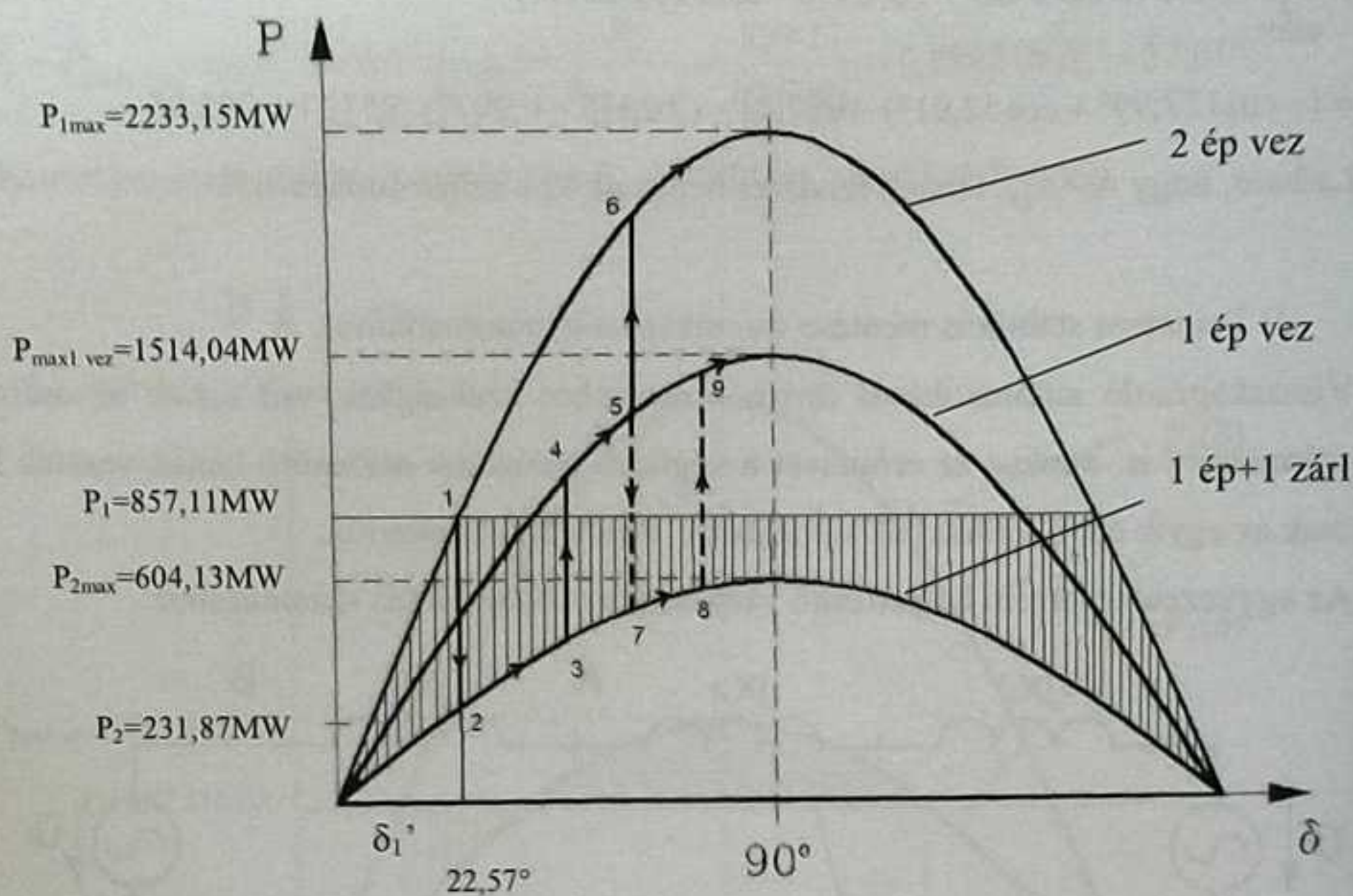
$$P_{f\text{1vez}} = \frac{U' \cdot U_f}{X_{\text{1vez}}} \cdot \sin \delta_1 = \frac{190,77 \cdot 127,01}{48,01} \cdot \sin 22,57^\circ = 193,7 \text{ MW}$$

$$P_{\text{1vez}} = 3P_{f\text{1vez}} = 3 \cdot 193,7 = 581,1 \text{ MW}$$

A maximális teljesítmény:

$$P_{f\text{max1vez}} = \frac{U' \cdot U_f}{X_{\text{1vez}}} = \frac{190,77 \cdot 127,01}{48,01} = 504,68 \text{ MW}$$

$$P_{\text{max1vez}} = 3P_{f\text{max1vez}} = 1514,04 \text{ MW}$$



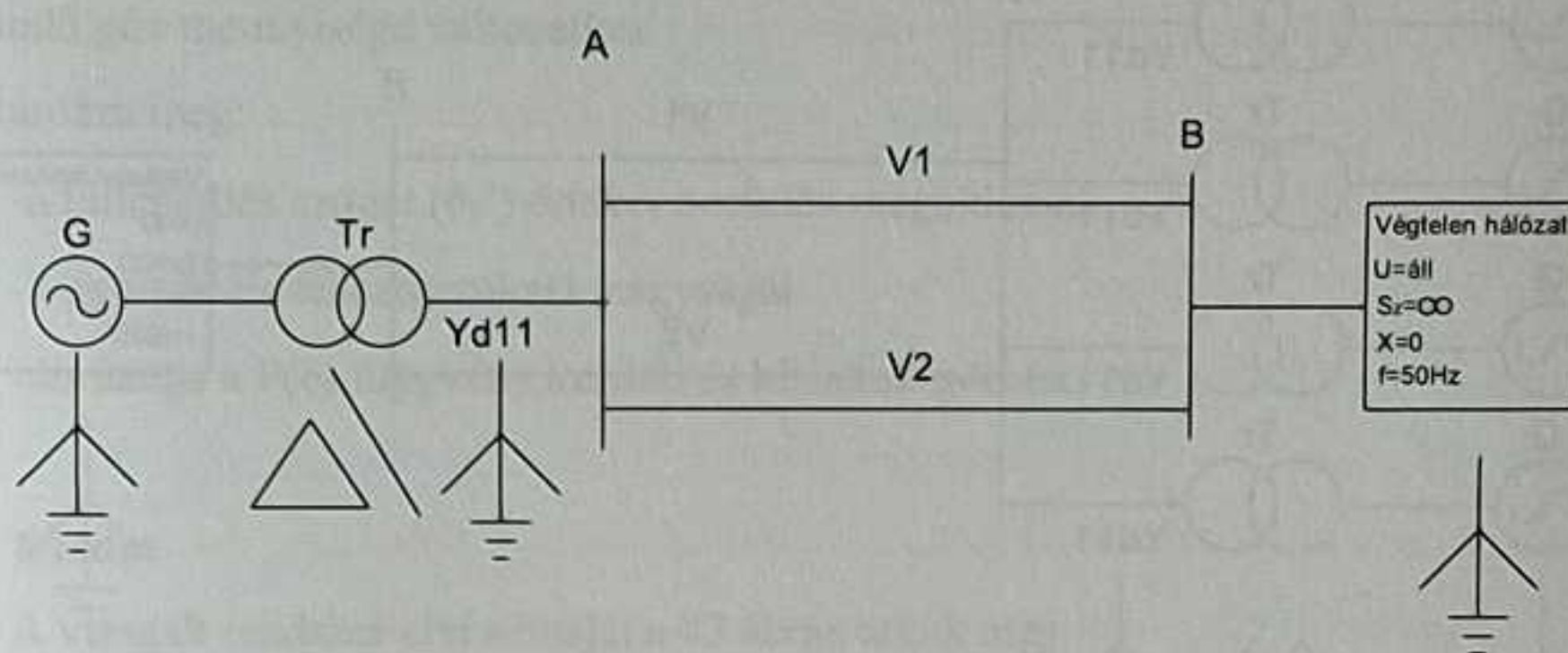
40. ábra

A zárlat fellépésének pillanatában (1. pont) az átvihető teljesítmény lecsökken a 2. pontra, a forgórész gyorsul. A védelem (a működési idejét követően) a 3. pontban fog megszólalni és kikapcsolja a hibás vezeték mindkét végét. Az átvihető teljesítmény az 1 lép vezetékes üzemre ugrik fel (4. pont) és a forgórész fékeződik. A 4. és 5. pont között eltelt időnek megfelelő szögelfordulás alatt az automatika arra vár, hogy a zárlati ív kialudjon (dezionizációs idő), majd a holtidót követően visszakapcsolja a „V₂” vezetékét. Ha a zárlathárítás sikeres volt, a teljesítmény újra felugrik a 2 lép vezetékes üzemre (6. pont) a gép tovább lassul, majd a lengések után beáll a stabil üzem. Ha a zárlathárítás sikertelen, akkor a teljesítmény újra leugrik az 1 lép+1 zárlatos üzemre (7. pont szaggatott vonal), a szinkrongép gyorsul. A 7. és 8. pont között a védelem érzékeli a zárlatot és a 8. pontban véglegesen kikapcsolja a hibás vezetékét. A teljesítmény átvitel az 1 lép vezetékes üzemnek megfelelő a gép fékeződik, ha van elég fékező terület, beáll a stabil egyvezetékes üzem (9. pont).

Stabilitás, feladatok:

1. feladat

A vizsgált rendszer elvi sémáját a 41 ábrán adtuk meg.



41. ábra

Adatok:

	U_n [kV]	S_n [MVA]	ϵ_d [%]	ϵ_d' [%]	ϵ_d'' [%]	ϵ [%]
G	15,75	259	242	22,5	15,5	
Tr	420/15,75	259				12

A két távvezeték egyforma

A távvezeték adatai: $l=134,5$ km

$x=0,4$ Ω /km

Az erőmű a „B” gyűjtősínre, azaz a (végtelen hálózatba) $P=225$ MW teljesítményt táplál be.

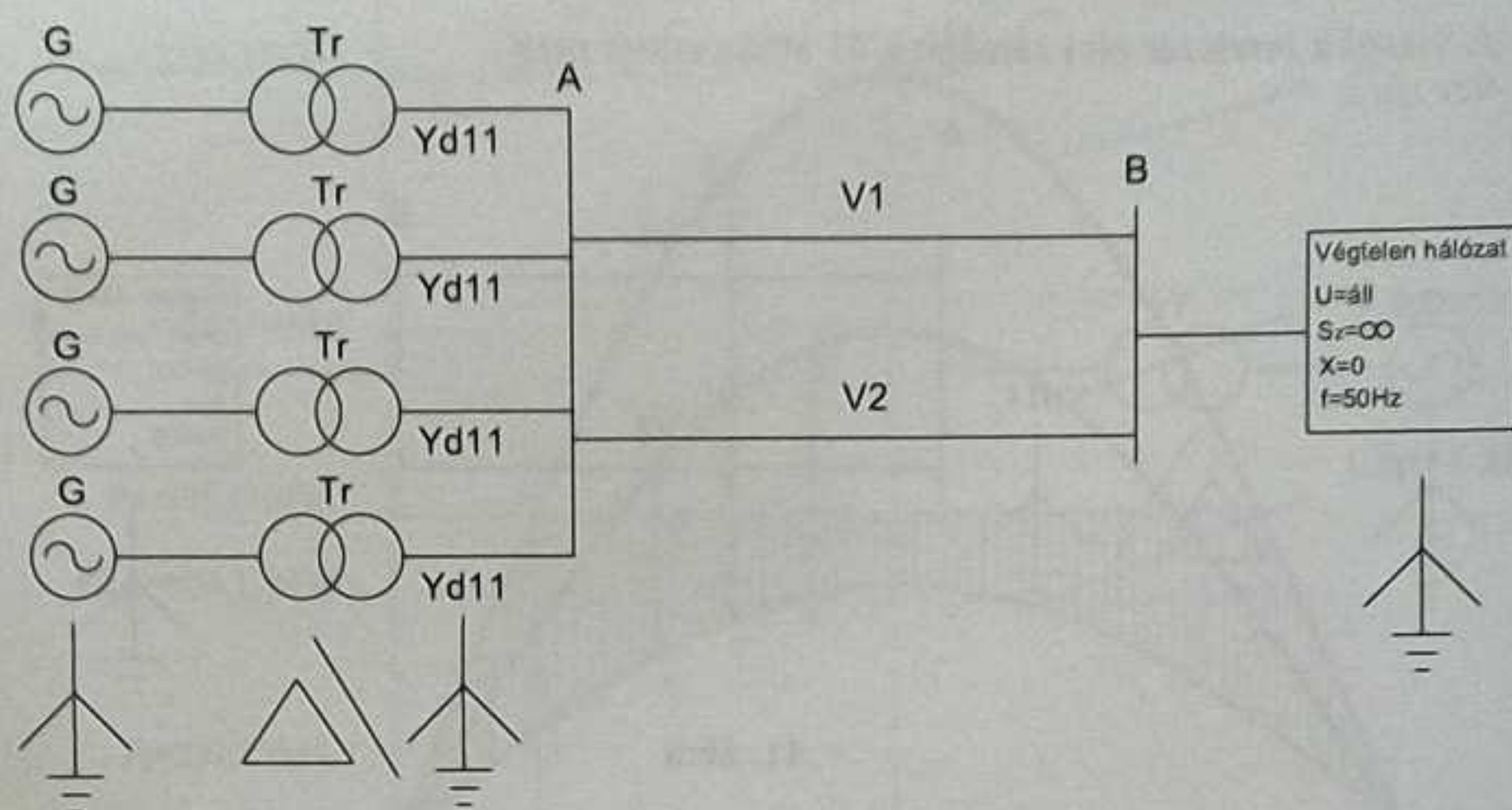
Statikus stabilitás vizsgálata ép kettős távvezeték esetére:

Határozza meg a kiinduló üzemállapothoz tartozó:

- pólusfeszültséget
- az „A” gyűjtősín feszültségét
- terhelési szögét
- statikus stabilitási tartaléktényezőt
- rajzolja meg a $P(\delta)$ függvényt az értékek feltüntetésével

2. feladat

A vizsgált rendszer elvi sémáját a 42 ábrán adtuk meg.



42. ábra

Adatok:

	U_n [kV]	S_n [MVA]	ϵ_d [%]	ϵ_d' [%]	ϵ_d'' [%]	ϵ [%]
G	11,5	118	210	24	16	
Tr	132/11,5	125				9,1

A két távvezeték egyforma

A távvezeték adatai: $l=70$ km
 $x=0,4 \Omega/\text{km}$

Az erőmű a „B” gyűjtősínre azaz a (végtelen hálózatba) $\Sigma S_{nG}=400+j250,56$ MVA teljesítményt táplál be.

a) Statikus stabilitás vizsgálata ép kettős távvezeték esetére:

Határozza meg:

- pólusfeszültséget
- az „A” gyűjtősín feszültségét
- terhelési szöget
- statikus stabilitási tartaléktényezőt
- rajzolja meg a végtelen hálózatba dolgozó erőmű teljesítménygörbéjét

b) Tranziens stabilitás vizsgálata:

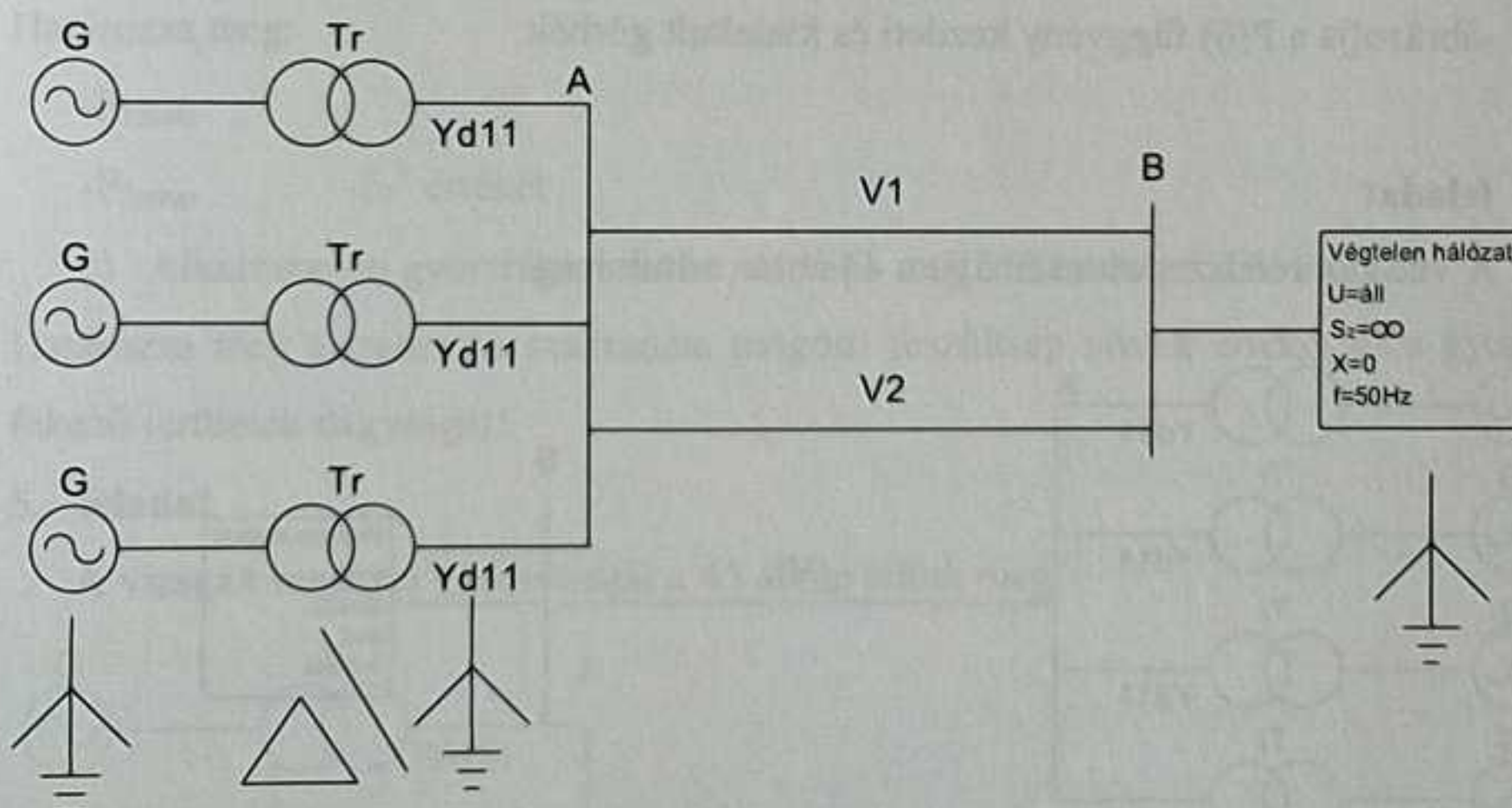
A 41 ábrán lévő rendszert vizsgáljuk tranziens stabilitás szempontjából. Tételezzük fel, hogy a két párhuzamosan kapcsolt távvezeték közül a „V₂” kikapcsolódik. A turbinákba beömlő gőz mennyisége változatlan.

Határozza meg:

- a túllendülés szögét (δ_3') értékét iterációs megoldással
- a gyorsító és fékezőterületek nagyságát
- ábrázolja a $P(\delta)$ függvény kezdeti és kialakult görbéit

3. feladat

A vizsgált rendszer elvi sémáját a 43 ábrán adtuk meg.



43. ábra

Adatok:

	U_n [kV]	S_n [MVA]	ϵ_d [%]	ϵ_d' [%]	ϵ_d'' [%]	ϵ [%]
G	15,75	259	250	24	17	
Tr	242/15,75	250				12,5

A két távvezeték egyforma

A távvezeték adatai: $l=68$ km
 $x=0,4 \Omega/\text{km}$

Az erőmű a „B” gyűjtősínre, azaz a (végtelen hálózatra) $\Sigma S_{nG}=700+j337,23$ MVA teljesítményt táplál be.

a. Statikus stabilitás vizsgálata ép kettős távvezeték esetére:

Határozza meg:

- terhelési szöget
- statikus stabilitási tartaléktényezőt
- rajzolja meg a végtelen hálózatba dolgozó erőmű teljesítménygörbéjét

b. Tranziens stabilitás vizsgálata:

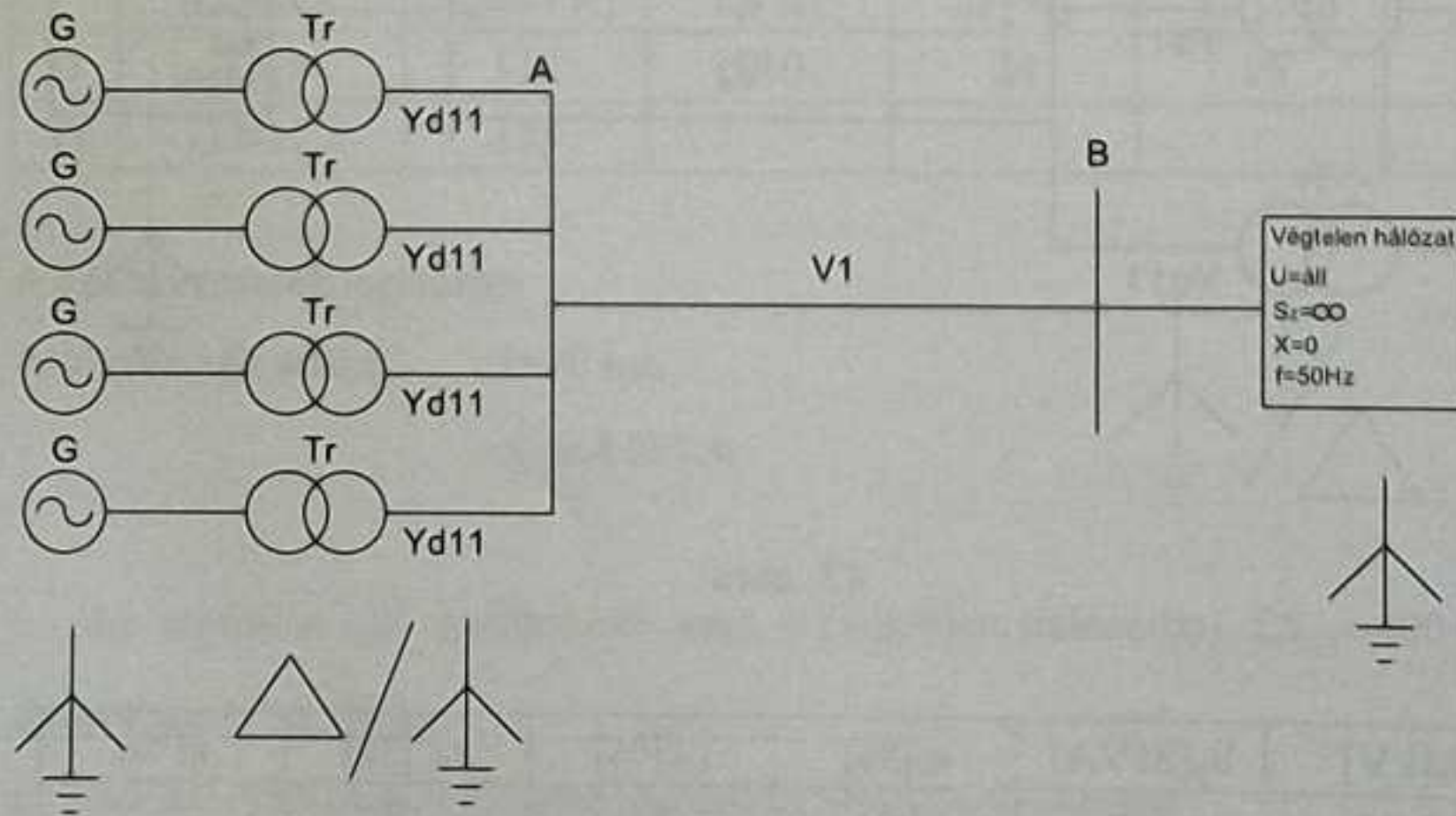
A 42 ábrán lévő rendszert vizsgáljuk tranziens stabilitás szempontjából. Tételezzük fel, hogy a V_2 vezetéken FN zárlat lépett fel a vezeték 40%-nál.

Határozza meg:

- a forgórész túllendülési szögét (δ_3') iterációs megoldással
- a gyorsító és fékezőterületek nagyságát
- ábrázolja a $P(\delta)$ függvény kezdeti és kialakult görbéit

4. feladat

A vizsgált rendszer elvi sémáját a 44 ábrán adtuk meg.



44. ábra

Adatok:

	U_n [kV]	S_n [MVA]	ϵ_d [%]	ϵ_d' [%]	ϵ_d'' [%]	ϵ [%]
G	15,75	259	242	22,5	15,5	
Tr	420/15,75	270				12

A két távvezeték egyforma

A távvezeték adatai: $l=72$ km
 $x=0,4 \Omega/\text{km}$

Az erőmű a „B” gyűjtősínre, azaz a (végtelen hálózatna) $P=960$ MW teljesítményt táplál be.

a) Statikus stabilitás vizsgálata:

Határozza meg a kiinduló üzemállapothoz tartozó:

- pólusfeszültséget
- az „A” gyűjtősín feszültségét
- terhelési szöget
- statikus stabilitási tartaléktényezőt
- rajzolja meg a $P(\delta)$ függvényt az értékek feltüntetésével

b) tranziens stabilitás vizsgálata:

A „V” távvezetéken 2FN zárlat lép fel a vezeték 30%-nál.

Határozza meg:

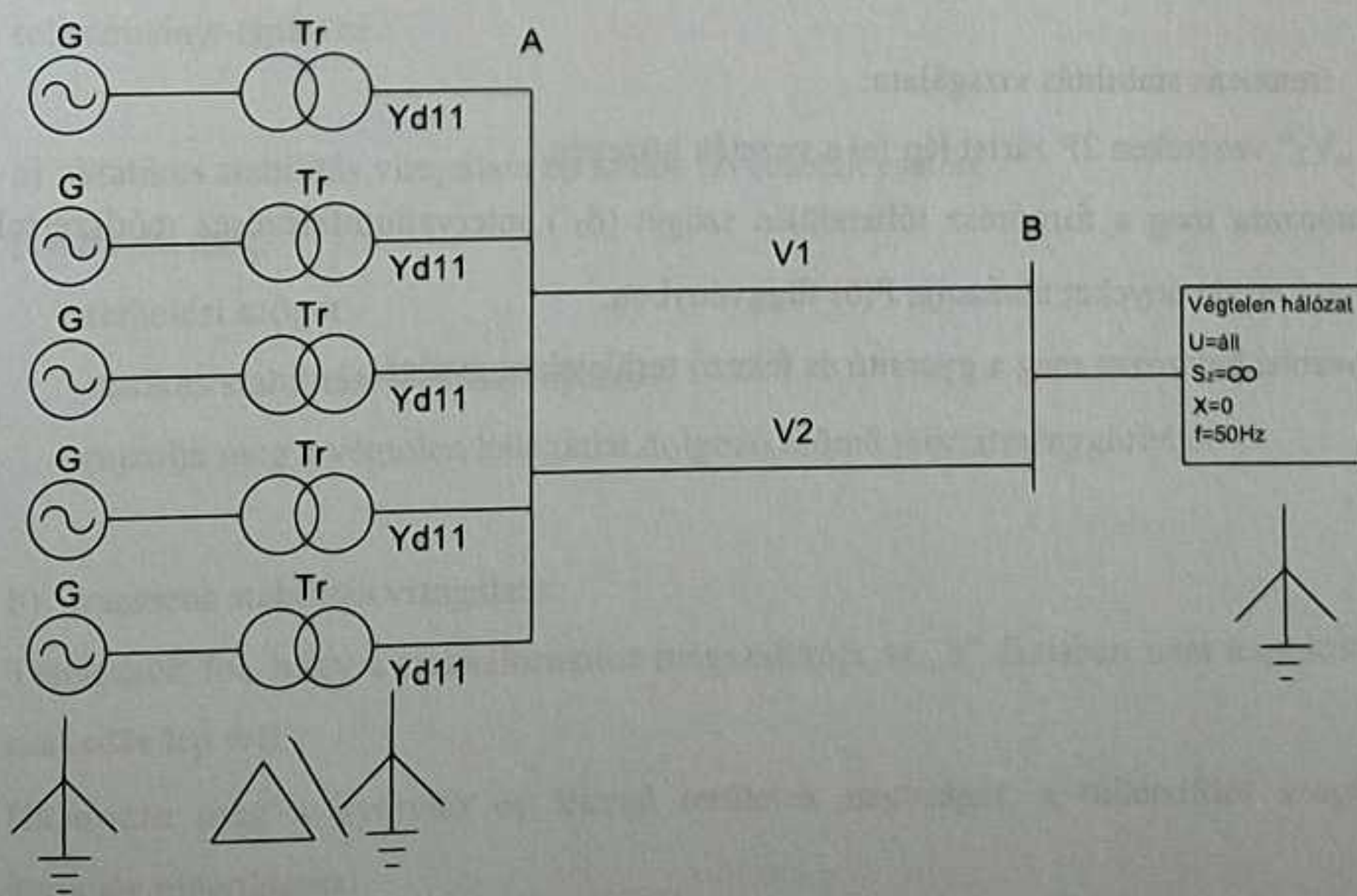
- P_{1max} ,
- P_{2max} , $-\delta_1'$ értékét

c) Alkalmazzon gyorsrágérjesztést, növelje meg U'_f értékét 150%-ra!

Határozza meg a tranziens reaktancia mögötti feszültség növelt értékét és a gyorsító és fékező területek nagyságát!

5. feladat

A vizsgált rendszer elvi sémáját a 45 ábrán adtuk meg.



45. ábra

Adatok:

	U_n [kV]	S_n [MVA]	ϵ_d [%]	$\epsilon_d^{(1)}$ [%]	$\epsilon_d^{(2)}$ [%]	ϵ [%]
G	15,75	259	240	24	17	
Tr	242/15,75	250				12,6

A két távvezeték egyforma

A távvezeték adatai: $l=50$ km
 $x=0,4 \Omega/\text{km}$

Az erőmű a „B” gyűjtősínre, azaz a (végtelen hálózatra) $\Sigma S_{nG}=1200+j486,85$ MVA teljesítményt táplál be.

a) Statikus stabilitás vizsgálata ép kettős távvezeték esetére:

Határozza meg a kiinduló üzemállapothoz tartozó:

- pólusfeszültséget
- az „A” gyűjtősín feszültségét
- terhelési szöget
- statikus stabilitási tartaléktényezőt
- rajzolja meg a $P(\delta)$ függvényt az értékek feltüntetésével

b) tranziens stabilitás vizsgálata:

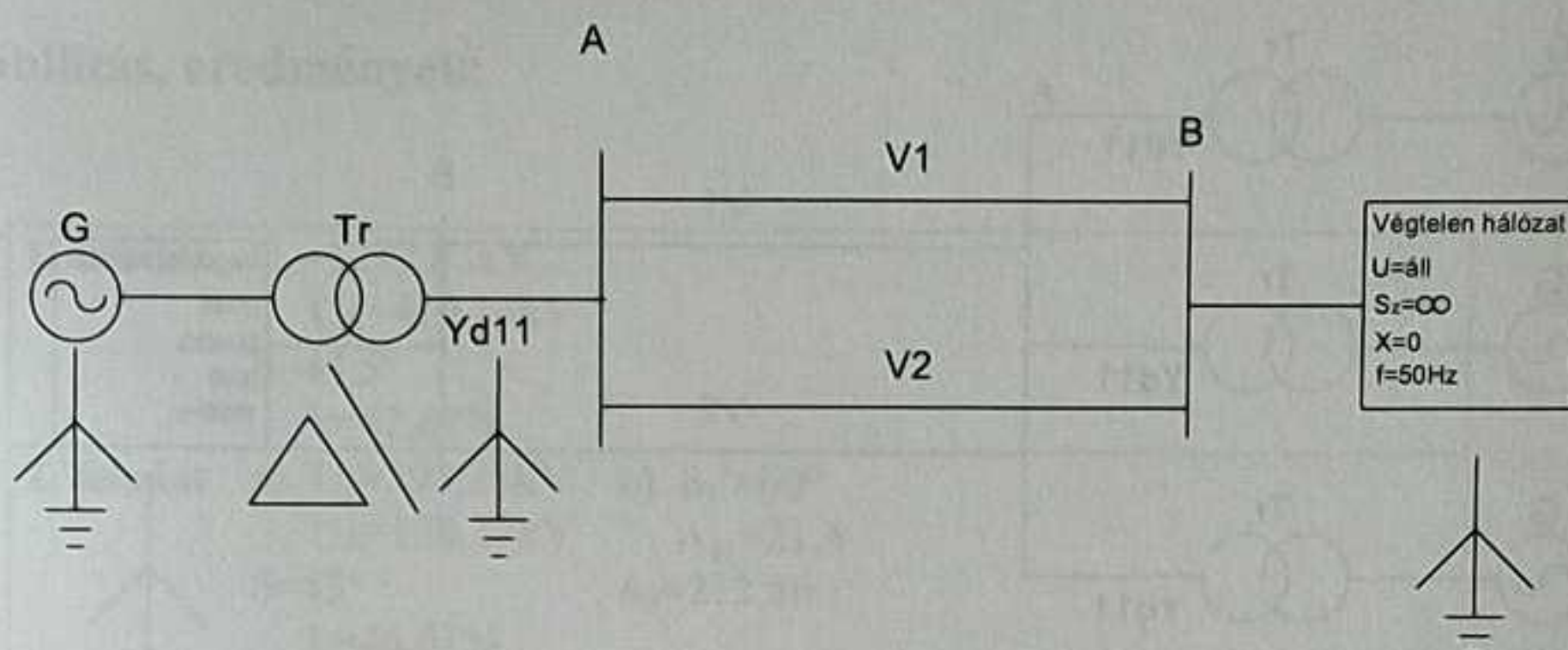
A „V₂” vezetéken 2F zárlat lép fel a vezeték közepén.

Határozza meg a forgórész túllendülés szögét (δ_3') intervallumfelezéses módszerrel. A kapott eredményeket ábrázolja $P(\delta)$ függvényben.

Továbbá határozza meg a gyorsító és fékező területek nagyságát.

6. feladat

A vizsgált rendszer elvi sémáját a 46. ábrán adtuk meg.



46. ábra

Adatok:

	U_n [kV]	S_n [MVA]	ϵ_d [%]	ϵ_d' [%]	ϵ_d'' [%]	ϵ [%]
G	15,75	518	250	24	17	
Tr	242/15,75	500				12,5

A két távvezeték egyforma

A távvezeték adatai: $l=13$ km
 $x=0,4$ Ω /km

Az erőmű a „B” pontra, azaz végtelen hálózatba $\Sigma S_{nG}=480+j197,74$ MVA teljesítményt táplál be.

a) Statikus stabilitás vizsgálata ép kettős távvezeték esetére:

Határozza meg:

- terhelési szög
- statikus stabilitási tartaléktényezőt
- rajzolja meg a végtelen hálózatba dolgozó erőmű teljesítménygörbéjét

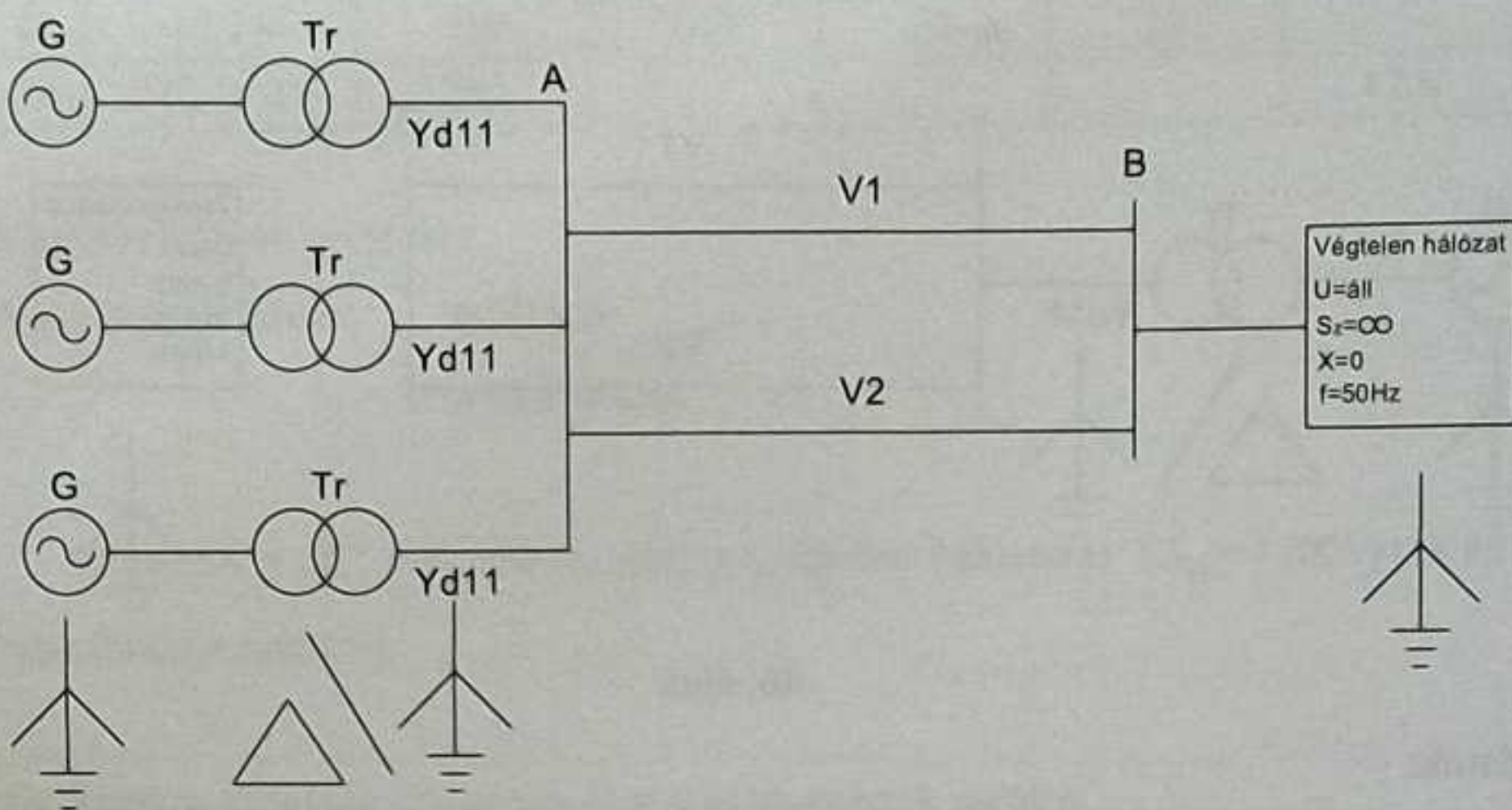
b) tranziens stabilitás vizsgálata:

Tételezzük fel, hogy a transzformátor megszakítója az „a” fázisban nem kapcsolt be (1f szakadás lép fel).

Határozza meg a gyorsító és fékező területek nagyságát, a túllendülés szögét (δ_3') iterációs megoldással.

7. feladat

A vizsgált rendszer elvi sémáját a 47 ábrán adtuk meg.



47. ábra

Adatok:

	U_n [kV]	S_n [MVA]	ϵ_d [%]	ϵ_d' [%]	ϵ_d'' [%]	ϵ [%]
G	15,75	259	242	22,5	15,5	
Tr	420/15,75	270				12

A két távvezeték egyforma

A távvezeték adatai: $l=105,5$ km

$x=0,4$ Ω /km

Az erőmű a „B” pontra, azaz végtelen hálózatba $P=700$ MW teljesítményt táplál be
Vizsgáljuk a megadott hálózatot tranziens stabilitás szempontjából!

A „V” távvezetéken 2FN zárlat lép fel a vezeték 20%-nál.

Határozza meg a gyorsító és fékező területek nagyságát, a túllendülés szögét (δ_3') iterációs megoldással.

Stabilitás, eredmények:

1. feladat	$U_p=1277,83\text{kV}$ $U_A=410,14\text{kV}$ $\delta=44,5^\circ$ $k=42,67\%$		
2. feladat	a) $U_p=393,38\text{kV}$ $U_A=156,17\text{kV}$ $\delta=43^\circ$ $k=46,61\%$	b) $\delta_3'=60^\circ$ $A_{gy}=21,4$ $A_f=212,86$	
3. feladat	a) $U_p=745,82\text{kV}$ $U_A=244,4\text{kV}$ $\delta=48,9^\circ$ $k=32,69\%$	b) $\delta_3'=34^\circ$ $A_{gy}=6,15$ $A_f=1085,88$	
4. feladat	a) $U_p=1289\text{kV}$ $U_A=433,54\text{kV}$ $\delta=51,2^\circ$ $k=28,31\%$	b) $P_{1\max}=2540,04\text{MW}$ $P_{2\max}=888,36\text{MW}$ $\delta_1'=22,11^\circ$	c) $U'_{\text{nov}}=775,44\text{kV}$ $A_{gy}=89,69$ $A_f=382,92$
5. feladat	a) $U_p=724,93\text{kV}$ $U_A=247,89\text{kV}$ $\delta=51,63^\circ$ $k=27,54\%$	b) $\delta_3'=52,14^\circ$ $A_{gy}=40,93$ $A_f=863,74$	
6. feladat	a) $U_p=694,34\text{kV}$ $U_A=222,39\text{kV}$ $\delta=50,74^\circ$ $k=29,14\%$	b) $\delta_3'=29^\circ$ $A_{gy}=5,19$ $A_f=1112,84$	
7. feladat	$\delta_3'=62^\circ$ $A_{gy}=62,68$ $A_f=488,78$		

A talaj

Hónapja	január
	február
	március
	április
	május
	június
	július
	augusztus
	szeptember
	október
	november
	december

	Nedves
	Kavics
	Nedves
	Száraz
	Száraz
	Száraz

FÜGGELÉK

F1 táblázat

A talaj fajlagos ellenállás mért értékeinek „k” korrekciós tényezői

Hónapja	A mérés	
	nedves	száraz
	időben történt	
január	1,30	1,00
február	1,30	1,00
március	1,35	1,05
április	1,50	1,10
május	1,60	1,20
június	1,80	1,25
július	2,00	1,40
augusztus	2,05	1,40
szeptember	1,90	1,35
október	1,75	1,30
november	1,60	1,15
december	1,45	1,10

F2 táblázat

Különféle talajfajták fajlagos ellenállása

Talajfajta	Fajlagos ellenállás [ρ] = Ωm
Tőzeges talaj	10...50
Termőföld	20...40
Talajvíz	20...35
Agyag	30...50
Nedves, homokos talaj	60...200
Kavicsos, agyagos talaj	200...300
Nedves, kavicsos talaj	130...300
Mészke	200...650
Száraz, homokos talaj	500...1000
Száraz, kavicsos talaj	1000...4000
Sziklás talajok	6000...10000

Egyszerű földelők szétterjedési ellenállása

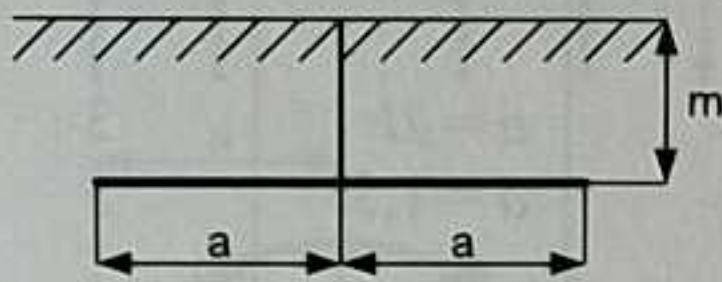
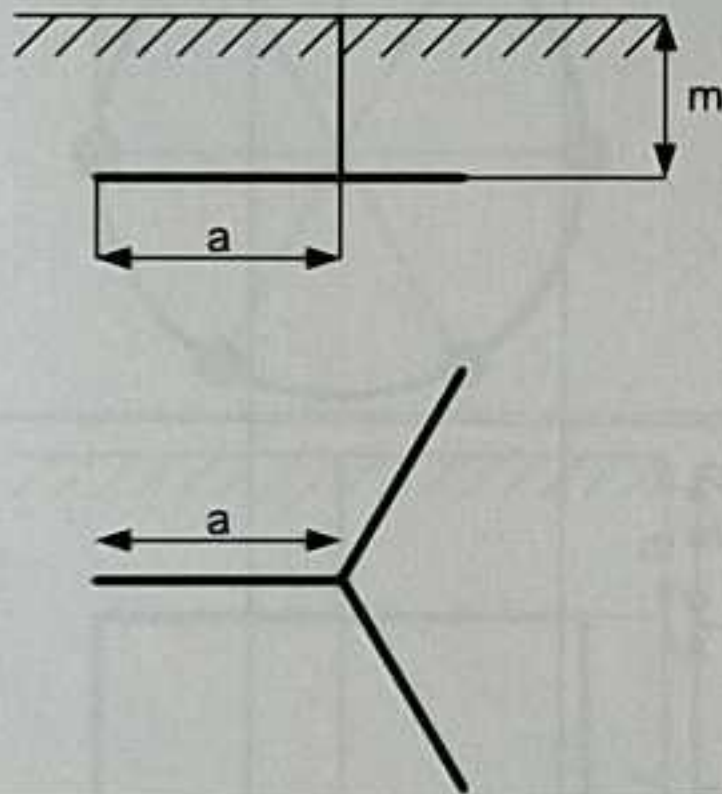
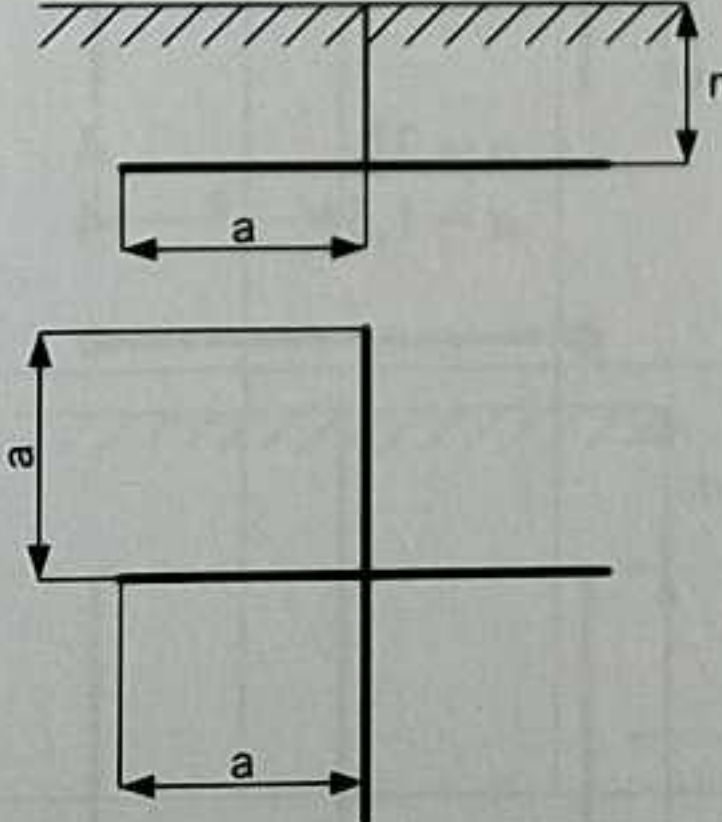
	Elhelyezés	Képlet	Megjegyzés
Lemez földelők		$R = \frac{\rho}{4r}$	
		$R = \frac{\rho}{8r} \left(1 + \frac{2}{\pi} + \arcsin \frac{r}{\sqrt{4m^2 + r^2}} \right)$	
		$R = \frac{\rho}{8r} \left(1 + \frac{r}{\pi m} \right)$	$m > r$
Szalagföldelők		$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$	$l \gg d$
		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2m} \right)$ (Gyors számításhoz $R \approx \frac{2\rho}{l}$)	$l \gg d$

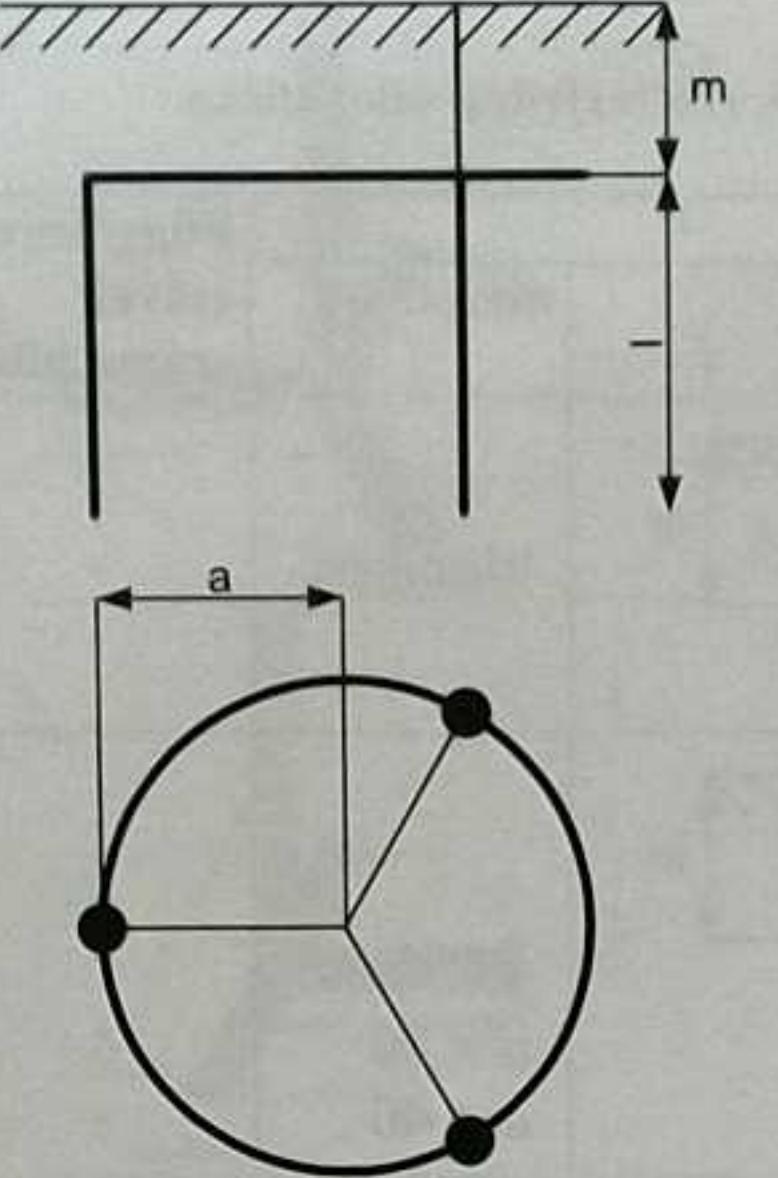
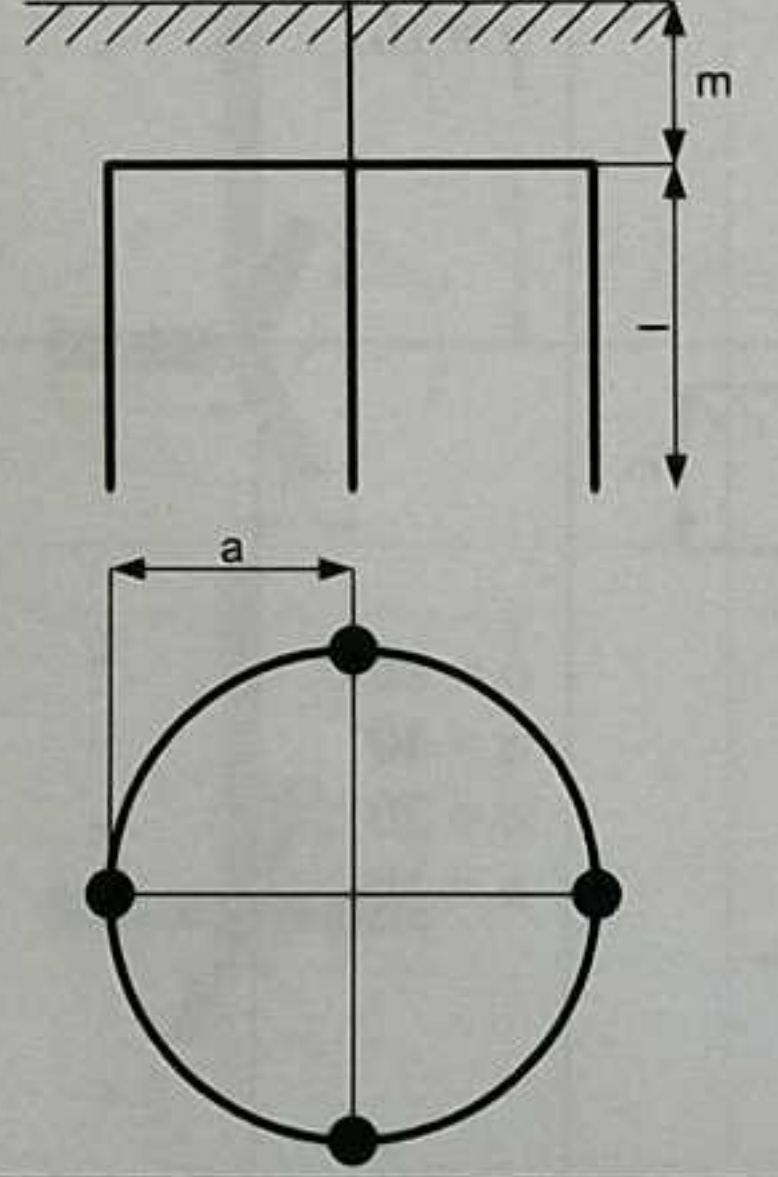
		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$ (Gyors számításhoz: $R \approx \frac{\rho}{l}$)	$l \gg d$
		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4m+l}{m-l} \right)$	$l \gg d$ és $m \gg \frac{l}{2}$
	Elhelyezés	Képlet	Megjegyzés
		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d}$	$D \gg d$
Gyűrűföldelők		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{\pi D}{2m} \right)$	$D \gg d$ $m \gg d$
		$R = \frac{l}{n\eta} \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2m} \right)$	$M \gg d$ és $l \gg m$

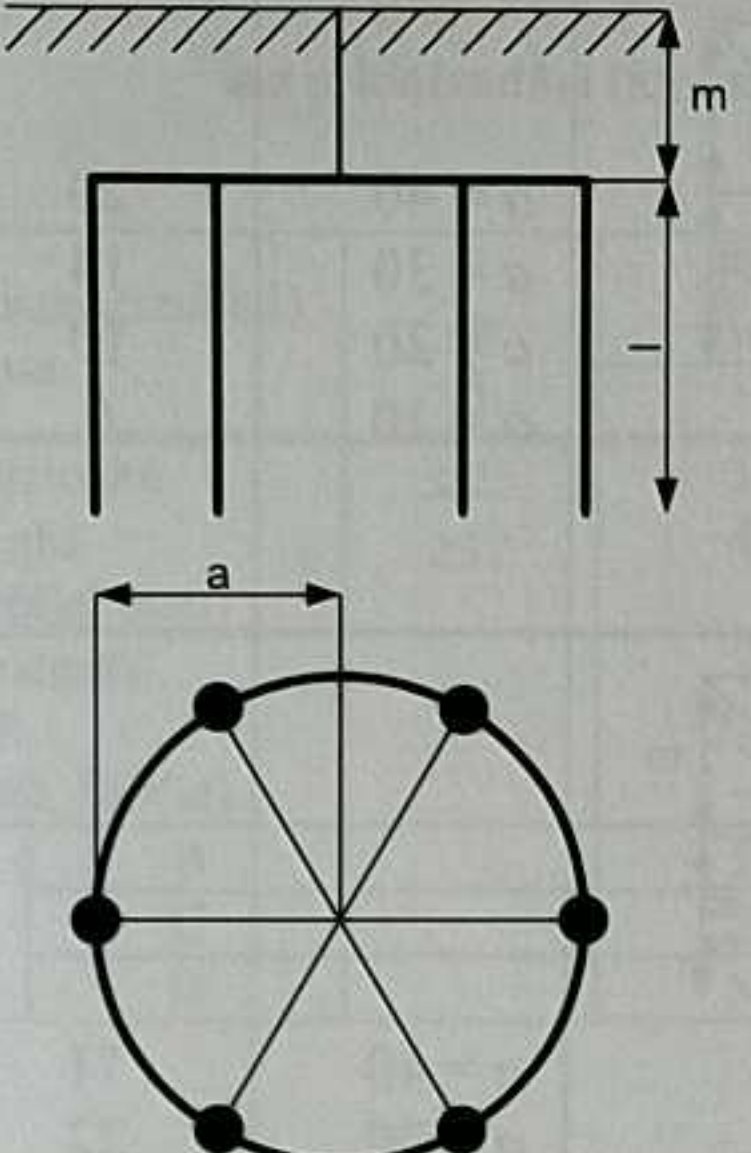
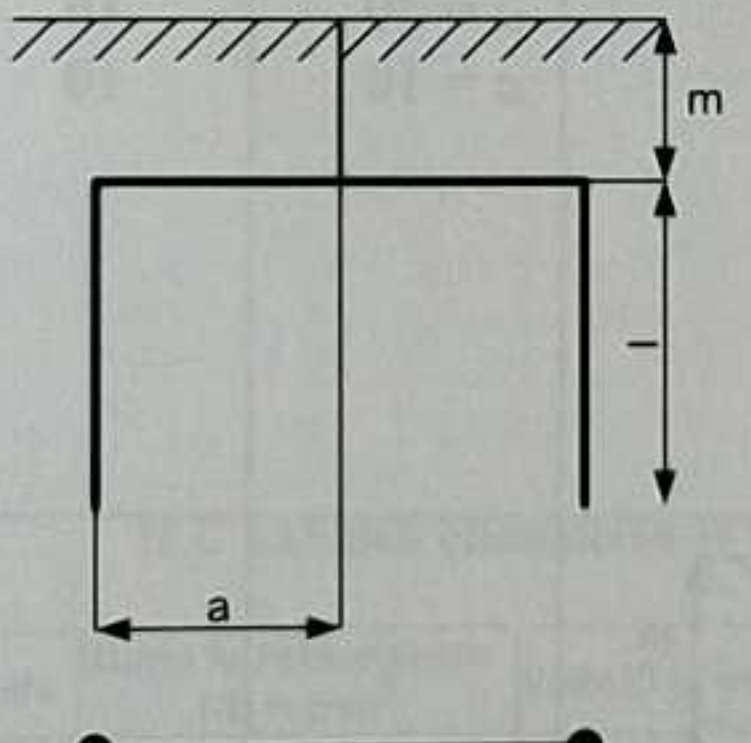
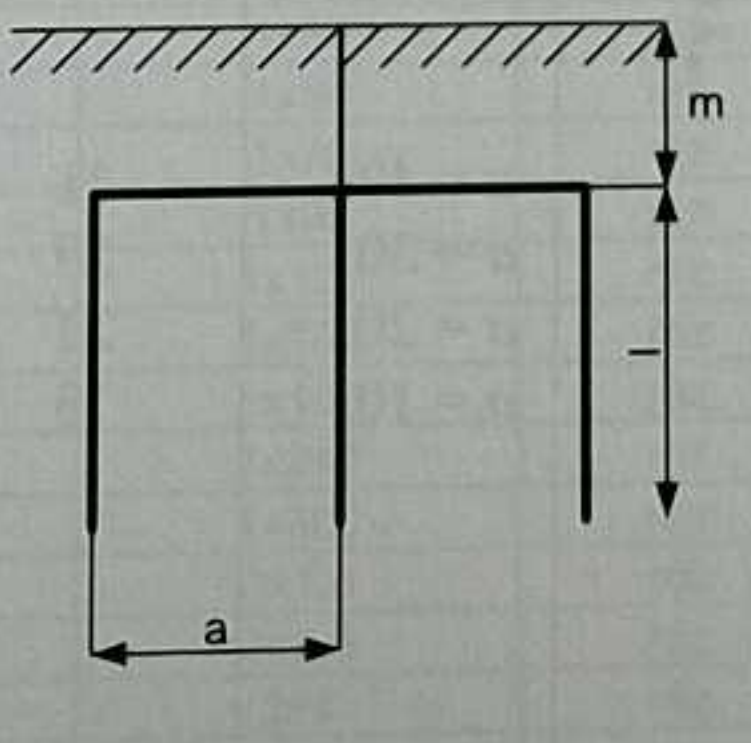
Sugaras földelők n=2		$R = \frac{l}{n\eta} \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2m} \right)$	$M \gg d$ és $l \gg m$
Sugaras földelők n=3			
Sugaras földelők n=3		$R = \frac{l}{n\eta} \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2m} \right)$	$M \gg d$ és $l \gg m$
Sugaras földelők n=4			

*A képletekbe a geometriai méreteket m-ben, a talaj ρ fajlagos ellenállását Ωm -ben kell be helyettesíteni.

Összetett földelők szétterjedési ellenállása

A földelő		mérete [m]	Függőleges csövek száma [db]	Kihhasználási tényező $[\eta]$
	alakja			
2 irányú sugár		bármilyen	-	1
3 irányú sugár		$a = 80$ $a = 40$ $a = 20$ $a = 10$	- - - -	0,90 0,85 0,80 0,75
4 irányú sugár		$a = 80$ $a = 40$ $a = 20$ $a = 10$	- - - -	0,80 0,75 0,70 0,65

<p>Körgyűrű és 3 rúd</p>		<p>$a = 2l$ $a = 1,5l$</p>	<p>3 3</p>	<p>0,78 0,75</p>
<p>Körgyűrű és 4 rúd</p>		<p>$a = 2l$ $a = 1,5l$</p>	<p>4 4</p>	<p>0,75 0,70</p>

<p>Körgyűrű és 6 rúd</p>		$a = 2l$ $a = 1,5l$	<p>6 6</p>	<p>0,70 0,65</p>
<p>2 irányú sugár és 2 rúd</p>		$a = 3l$ $a = 2l$	<p>2 2</p>	<p>0,85 0,80</p>
<p>2 irányú sugár és 2 rúd</p>		$a = 3l$ $a = 2l$	<p>3 3</p>	<p>0,80 0,75</p>

F5 táblázat

Az α kioldási (kioldási) szorzó értékei

A biztosító, (kismegszakító) típusa	I_n A	TN (5s)	TT (1s)	Végáramkörök 32 A-ig (0,4 s)
		α		
olvadóbiztosító gG, gM (gyors és késleltetett)	≤ 25	3	5	6
	≥ 32	4	7	8
olvadóbiztosító gR (NOR, NOSi, NOGe)		2,5	4	6
kismegszakító	B	5	5	5
	C	5	5	10
	D	5	5	20

F6 táblázat

IEC kábelek ellenállása és induktív reaktanciája

Kábel jele	Kábel keretmetszete [S] = mm ²	Vezető anyaga	I_{max} = A	[R] = m Ω /m	[X] = m Ω /m
NY Y	1x25	réz	114	0,7270	0,1100
NY Y	1x35	réz	143	0,5240	0,1040
NY Y	1x50	réz	174	0,3870	0,1020
NY Y	1x70	réz	225	0,2680	0,0970
NY Y	1x95	réz	275	0,1930	0,0950
NY Y	1x120	réz	320	0,1530	0,0920
NY Y	1x150	réz	371	0,1240	0,0910
NY Y	1x185	réz	426	0,0990	0,0900
NY Y	1x240	réz	504	0,0750	0,0880
NY Y	1x300	réz	582	0,0600	0,0870
NY M	3x1,5	réz	22	12,1000	0,1160
NY M	3x2,5	réz	30	7,2800	0,1110
NY M	3x4	réz	40	4,5600	0,1070
NY M	3x6	réz	51	3,0300	0,1000
NY CWY	3x25/16	réz	101	0,7240	0,0800
NY CWY	3x35/16	réz	126	0,5260	0,0770
NY CWY	3x50/25	réz	153	0,3890	0,0770
NY CWY	3x70/35	réz	196	0,2710	0,0740
NY CWY	3x95/50	réz	238	0,1970	0,0740
NY CWY	3x120/70	réz	276	0,1570	0,0720

Kábel jele	Kábel keretszete [S] = mm ²	Vezető anyaga	[I _{max}] = A	[R] = mΩ/m	[X] = mΩ/m
NYCWY	3x150/70	réz	319	0,1250	0,0720
NYCWY	3x185/95	réz	364	0,1010	0,0720
NYCWY	3x240/120	réz	430	0,0770	0,1040
NYCWY	3x300/150	réz	497	0,0630	0,0720
NYY	3x25/16	réz	101	0,7270	0,0860
NYY	3x35/16	réz	126	0,5240	0,0820
NYY	3x50/25	réz	153	0,3870	0,0830
NYY	3x70/35	réz	196	0,2680	0,0800
NYY	3x95/50	réz	238	0,1930	0,0790
NYY	3x120/70	réz	276	0,1530	0,0790
NYY	3x150/70	réz	319	0,1240	0,0780
NYY	3x185/95	réz	364	0,0990	0,0780
NYY	3x240/120	réz	430	0,0750	0,0770
NAYCWY	3x35/16	alumínium	96	0,8760	0,0770
NAYCWY	3x50/25	alumínium	117	0,6420	0,0770
NAYCWY	3x70/35	alumínium	150	0,4440	0,0740
NAYCWY	3x95/50	alumínium	182	0,3210	0,0740
NAYCWY	3x120/70	alumínium	212	0,2550	0,0720
NAYCWY	3x150/70	alumínium	245	0,2080	0,0720
NAYCWY	3x185/95	alumínium	280	0,1670	0,0720
NYM	4x1,5	réz	19	12,1000	0,1160
NYM	4x2,5	réz	25	7,2800	0,1110
NYM	4x4	réz	34	4,5600	0,1070
NYM	4x6	réz	43	3,0300	0,1000
NYM	4x10	réz	60	1,8100	0,0940
NYM	4x16	réz	80	1,4100	0,0900
NYM	4x25	réz	101	0,7240	0,0860
NYM	4x35	réz	126	0,5260	0,0830
NYY	4x1,5	réz	19	12,1000	0,1160
NYY	4x2,5	réz	25	7,2800	0,1110
NYY	4x4	réz	34	4,5600	0,1070
NYY	4x6	réz	43	3,0300	0,1000
NYY	4x10	réz	60	1,8100	0,0940
NYY	4x16	réz	80	1,4100	0,0900
NYY	4x25	réz	101	0,7240	0,0860
NYY	4x35	réz	126	0,5260	0,0830
NYY	4x50	réz	153	0,3890	0,0830
NYY	4x70	réz	196	0,2710	0,0820
NYY	4x95	réz	238	0,1970	0,0820
NYY	4x120	réz	276	0,1570	0,0800
NYY	4x150	réz	319	0,1250	0,0800
NYY	4x185	réz	364	0,1010	0,0800
NYY	4x240	réz	430	0,0700	0,0790
NYY	4x300	réz	497	0,0630	0,0790
NAYY	4x25	alumínium	78	1,2010	0,0860
NAYY	4x35	alumínium	96	0,8760	0,0830
NAYY	4x50	alumínium	117	0,6420	0,0830
NAYY	4x70	alumínium	150	0,4440	0,0820
NAYY	4x95	alumínium	182	0,3210	0,0820
NAYY	4x120	alumínium	212	0,2550	0,0800
NAYY	4x150	alumínium	245	0,2080	0,0800

Kábel jele	Kábel keretmetszete [S] = mm ²	Vezető anyaga	[I _{max}] = A	[R] = mΩ/m	[X] = mΩ/m
NAYY	4x185	aluminium	280	0,1670	0,0800
NYM	5x1,5	réz	19	12,1000	0,1160
NYM	5x2,5	réz	25	7,2800	0,1110
NYM	5x5	réz	35	5,5600	0,1070
NYM	5x6	réz	53	3,0300	0,1000
NYM	5x10	réz	60	1,8100	0,0940
NYM	5x16	réz	80	1,5100	0,0900
NYM	5x25	réz	101	0,7240	0,0860
NYM	5x35	réz	126	0,5260	0,0830
NYY	5x1,5	réz	19	12,1000	0,1160
NYY	5x2,5	réz	25	7,2800	0,1110
NYY	5x5	réz	35	5,5600	0,1070
NYY	5x6	réz	53	3,0300	0,1000
NYY	5x10	réz	60	1,8100	0,0940
NYY	5x16	réz	80	1,5100	0,0900
NYY	5x25	réz	101	0,7240	0,0860
NYY	5x35	réz	126	0,5260	0,0830
NYY	5x50	réz	153	0,3890	0,0830
NYY	5x70	réz	196	0,2710	0,0820
NYY	5x95	réz	238	0,1970	0,0820
NYY	5x120	réz	276	0,1570	0,0800
NYY	5x150	réz	319	0,1250	0,0800
NYY	5x185	réz	365	0,1010	0,0800
NYY	5x250	réz	530	0,0770	0,0790
NYY	5x300	réz	597	0,0630	0,0790
NYCWY	4x4/4	réz	34	4,5600	0,1070
NYCWY	4x6/6	réz	43	3,0300	0,1000
NYCWY	4x10/10	réz	60	1,8100	0,0940
NYCWY	4x16/16	réz	80	1,1410	0,0900
NYCWY	4x25/16	réz	101	0,7240	0,0900
NYCWY	4x35/16	réz	126	0,5260	0,0830
NYCWY	4x50/25	réz	153	0,3890	0,0830
NYCWY	4x70/35	réz	196	0,2710	0,0820
NYCWY	4x95/50	réz	238	0,1970	0,0820
NYCWY	4x120/70	réz	276	0,1570	0,0800
NYCWY	4x150/70	réz	319	0,1250	0,0800
NYCWY	4x185/95	réz	364	0,1010	0,0800
NYCWY	4x240/120	réz	430	0,0770	0,0790
NAYCWY	4x35/16	aluminium	96	0,8760	0,0830
NAYCWY	4x50/25	aluminium	117	0,6420	0,0830
NAYCWY	4x70/35	aluminium	150	0,4440	0,0820
NAYCWY	4x95/50	aluminium	182	0,3210	0,0820
NAYCWY	4x120/70	aluminium	212	0,2550	0,0800
NAYCWY	4x150/70	aluminium	245	0,2080	0,0800
NAYCWY	4x185/95	aluminium	280	0,1670	0,0800

F7 táblázat

Vezetők hosszegységre eső ellenállása
A táblázat adatai az MSZ1167/1 a DIN VDE 0295 és a DIN VDE 0276 szerint

Vezető névleges keresztmetszete	Réz vezető Ω/km	Alumínium vezető Ω/km
10	1,83	3,08
16	1,15	1,91
25	0,727	1,2
35	0,524	0,868
50	0,387	0,641
70	0,268	0,443
95	0,193	0,32
120	0,153	0,253
150	0,124	0,206
185	0,0991	0,164
240	0,0754	0,125
300	0,0601	0,1
400	0,047	0,0778
500	0,0366	0,0605
630	0,0283	0,0469
800	0,0221	0,0367
1000	0,0176	0,0291

F8 táblázat

Szivárgó áramokra figyelembe vehető értékek

Mérés	Készülékfajta	Szivárgó áram (mA)
Az üzemszerűen feszültség alatt álló és a megérinthető részek között	0, III. év. Osztályú készülék	0,5
	I év. Osztályú hordozható készülék	0,75
	I év. Osztályú helyhez kötött készülékek	
	Motoros készülék	3,5
	Hő készülék (betétszerűen vagy önállóan kikapcsolható elemenként, ill. kW-onként (amelyik nagyobb))	
	ipari készülék	0,5
	Háztartási	0,75
	De az egész készülékre legfeljebb	0,5
	Asztali vagy konyhai tűzhely, sütő, roston sütő	
	Hő készülék (betétszerűen vagy önállóan kikapcsolható elemenként, ill. kW-onként (amelyik nagyobb))	1
	De az egész készülékre legfeljebb	10
	II év. Osztályú készülékek	
	Háztartási motoros készülék	0,25
	minden egyéb készülék	0,5

F9 táblázat

Szabványos ólomkábelek kapacitása

Szabványos ólomkábelek		
Névleges kereszt metszet (mm ²)	Egy erű kábel $X_c(\mu\text{FKm})$	Három erű kábel $X_c(\mu\text{FKm})$
1,50		0,103
2,50		0,114
4,00	0,240	0,129
6,00	0,270	0,145
10,00	0,366	0,181
16,00	0,429	0,204
25,00	0,494	0,232
35,00	0,576	0,235
50,00	0,618	0,267
70,00	0,707	0,287
95,00	0,834	0,318
120,00	0,872	0,331
150,00	0,955	0,347
185,00	1,083	0,353
240,00	1,110	0,376
300,00	1,252	0,385
400,00	1,385	0,446