

A csillagpont földelés gyakorlata, a földzárlati hibahely behatárolásának lehetőségei

Dr. Varjú György

Professzor emeritus

BME Villamos Energetika Tanszék

Villamos Művek és Környezet Csoport

MAGYAR MÉRNÖKI KAMARA



Tartalom

- 1) Csillagpont földelési módok (definíció szerint)
- 2) Kiesési statisztikák és a javításukra szolgáló módszerek
- 3) Csillagpont kezelés hazai és külföldi gyakorlata
- 4) Középfeszültségű hibahely meghatározás jelenlegi gyakorlata (hazai és külföldi módszerek)
- 5) Újfajta hibahely behatárolási módszer és berendezés ismertetése



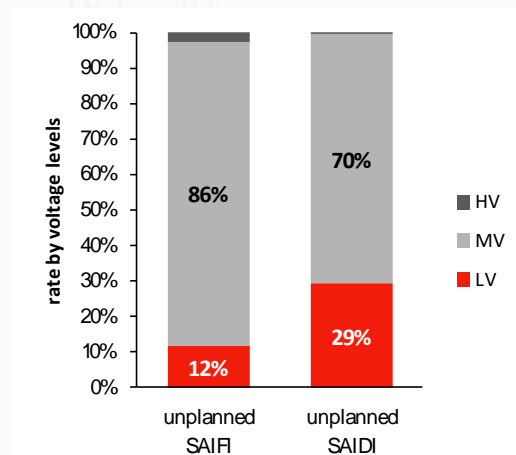
Kiesési statisztikák

Kiesési mutatók

- SAIDI (System Average Interruption Duration Index)
átlagos kiesési időtartam mutató, *perc/fogyasztó/év*
 - SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)
átlagos kiesési gyakoriság mutató,
kiesés db./fogyasztó/év
- + egyébek, pl.
- TIEPI (Time of Equivalent Interruption per Power Installed)
 - NIEPI (Number of Equivalent Interruptions per Power Installed)
 - MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index)

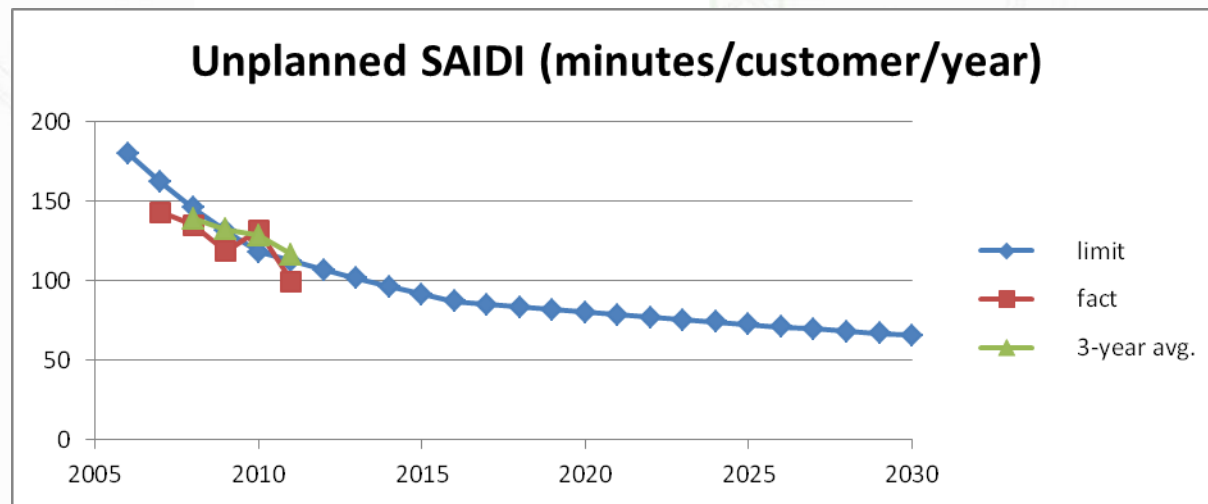
Egy hazai elosztó jellemzői

- 2009-2011 között:



Nem tervezett

- MEKH előírás:



Kiesési mutatók javítási lehetőségei

- Csillagpont földelés alkalmas megválasztása
- Táppontok sűrítése
- Kábelesítés
- Burkolt szabadvezetékek alkalmazása
- Hálózat redundanciájának növelése

- Hálózatautomatizálás (recloser-ek)
- Gyors hibahely meghatározás
- ...

Melyik a leggazdaságosabb???



Csillagpont földelési módok (MSZ EN 50522 definíció szerint)

MSZ EN 50 522:2011

(1)

1 kV-nál nagyobb váltakozó feszültségű energetikai létesítmények földelése

3.4.25.

szigetelt csillagpontú rendszer

3.4.26.

kompenzált rendszer

3.4.27.

kis impedancián keresztül földelt csillagpontú rendszer

MSZ EN 50 522:2011

(2)

1 kV-nál nagyobb váltakozó feszültségű energetikai létesítmények földelése

3.4.25. szigetelt csillagpontú rendszer

(system with isolated neutral)

Olyan rendszer, amelyben a transzformátorok és a generátorok csillagpontjai nincsenek szándékosan összekötve a földdel, kivéve a jelző, mérési vagy védelmi célú nagy impedanciájú összekötéseket.

[IEV 601-02-24, módosítva]

MSZ EN 50 522:2011

(3)

1 kV-nál nagyobb váltakozó feszültségű energetikai létesítmények földelése

3.4.26. kompenzált rendszer (system with resonant earthing)

Olyan rendszer, amelyben legalább egy transzformátornak vagy csillagpontképző transzformátornak a csillagpontja ívöltő tekercsen keresztül földelve van, és ahol az ívöltő tekercsek eredő induktivitása lényegében a rendszer földkapacitására van hangolva az üzemi frekvencián.

1. MEGJEGYZÉS: Tartós földzárlat esetén két különböző eljárás lehetséges:

- automatikus lekapcsolás;
- folyamatos üzemvitel a zárlati hely behatárolás alatt.

A zárlati hely behatárolása és az üzemvitel megkönnyítésére különböző támogató eljárások lehetségesek:

- rövididejű földelés zárlatmeghatározás céljából;
- rövididejű földelés lekapcsolás céljából;
- üzemviteli intézkedések, pl. csatolt gyűjtősínek leválasztása;
- fázis-földelés.

2. MEGJEGYZÉS: Az ívöltő tekercsekkel nagy ohmos ellenállást lehet párhuzamosan kapcsolni a hibahely-meghatározás megkönnyítésére.

MSZ EN 50 522:2011

(4)



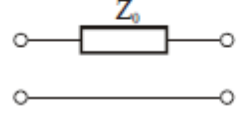





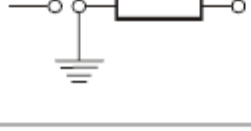


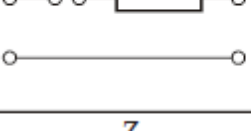


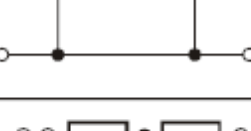
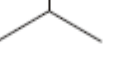


1 kV-nál nagyobb váltakozó feszültségű energetikai létesítmények földelése

3.4.27.

kis impedancián keresztül földelt csillagpontú rendszer (system with low-impedance neutral earthing)

Olyan rendszer, amelyben transzformátornak, földelő transzformátornak vagy generátornak **legalább egy csillagpontja földelve van közvetlenül** vagy olyan módon tervezett impedancián keresztül, amelyen a rendszer bármely pontjában fellépő földzárlat esetén akkora a zárlati áram, hogy hatására megbízható automatikus kioldás jöhet létre.

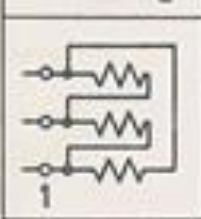
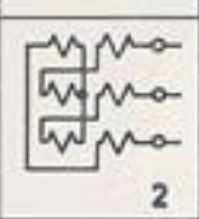
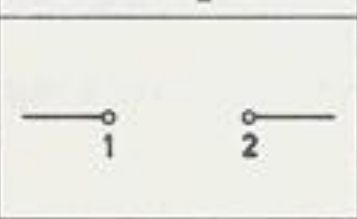
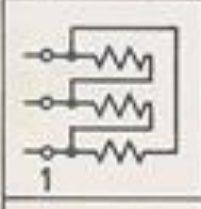
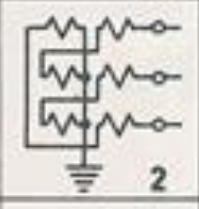
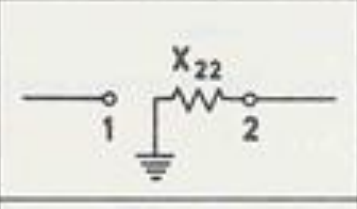
[IEV 601-02-25, 601-02-26]

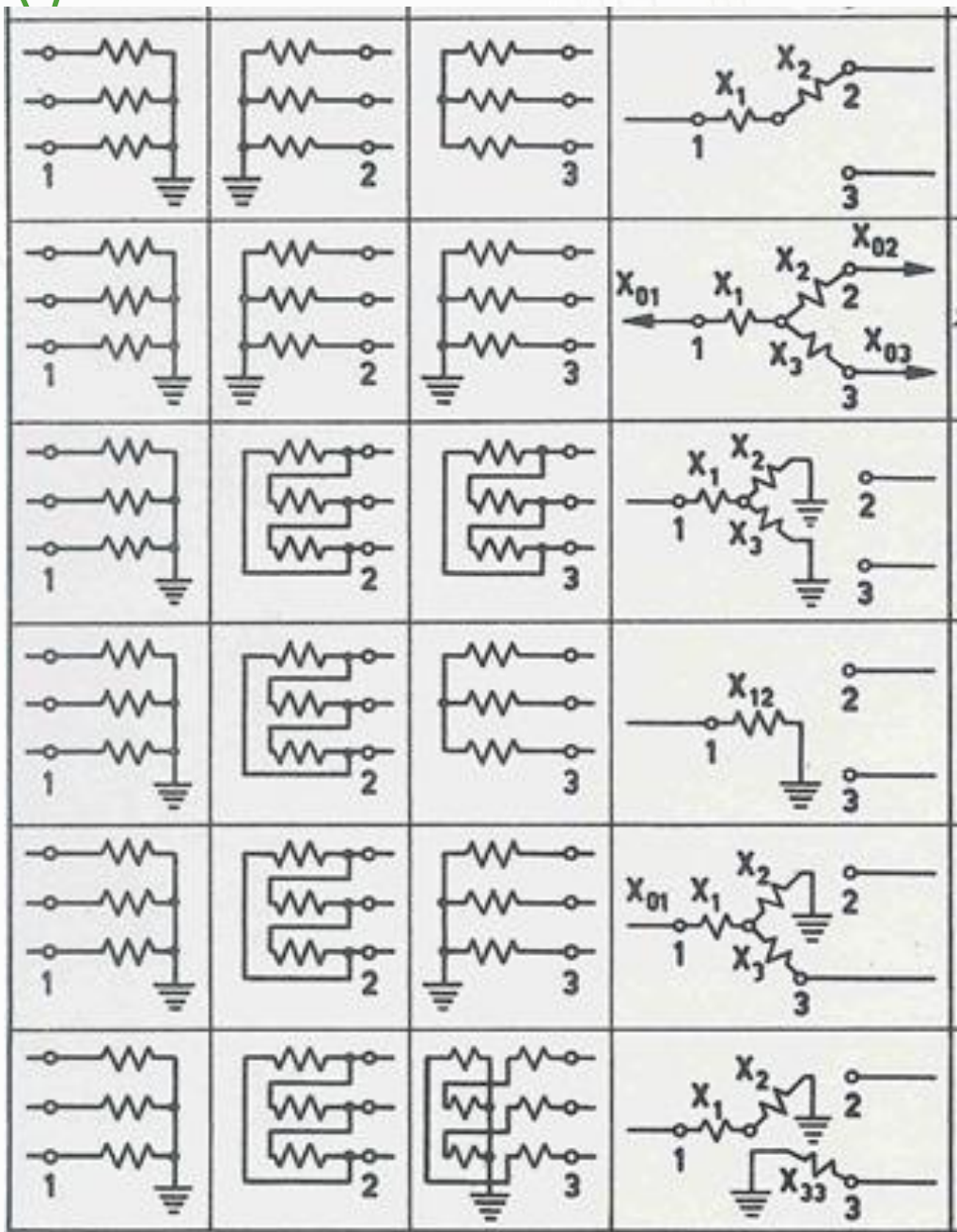
| Connexions of windings | | Representation (per phase) | Comments |
|---|---|---|--|
| primary | secondary | | |
|  |  |  | Zero-sequence currents free to flow in both primary and secondary circuits |
|  |  |  | No path for zero-sequence currents in primary circuits |
|  |  |  | Zero-sequence currents can circulate in the delta but not outside it |
|  |  |  | No flow of zero-sequence currents possible |
|  |  |  | No flow of zero-sequence currents possible |
|  |  |  | Tertiary winding provides path for zero-sequence currents |

DIR-V_LFB-2

Két-tekerceselésű transzformátor zérus sorrendű helyettesítése

Két-tekercselésű zeg-zug transzformátor zérus sorrendű helyettesítése

| | | | | | | |
|---|---|--|--|----------|-----------------------------------|--|
|  |  | |  | infinite | infinite | |
|  |  | |  | infinite | $X_{22} = 1 \text{ p.u. at } S_x$ | |



Három-tekerceselű
transzformátor zérus
sorrendű
helyettesítése



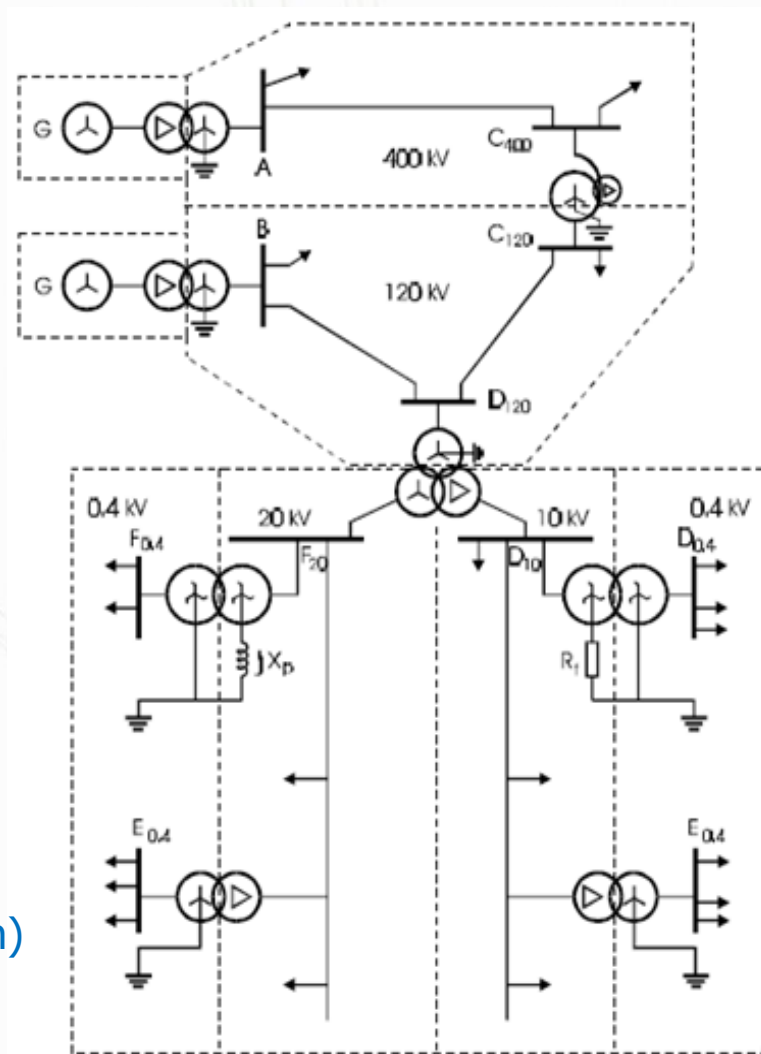
Csillagpont földelés gyakorlata

Csillagpont földelési módok:

A csillagpont kezelése a csillagpont és a föld közti kapcsolat szempontjából lehet:

- Közvetlen földelés, és itt a földelés hatásosságának szempontjából:
 - Mereven földelt (kerülendő)
 - Hatásosan földelt csillagpont,
 - Nem hatásosan földelt csillagpont.
- Közvetett földelés
 - Ellenálláson át földelt csillagpont,
 - KompENZÁLÓ tekerccsen át földelt csillagpont.
- Szigetelt csillagpont

Magyarországi csillagpont földelési módok



Hatásosan földelt

Ellenálláson át földelt
(hosszan földelt)

Közvetlenül földelt
(több ponton, mereven)

Kompenzált
ívoltó tekercsen

Közvetlenül földelt
(több ponton, mereven)

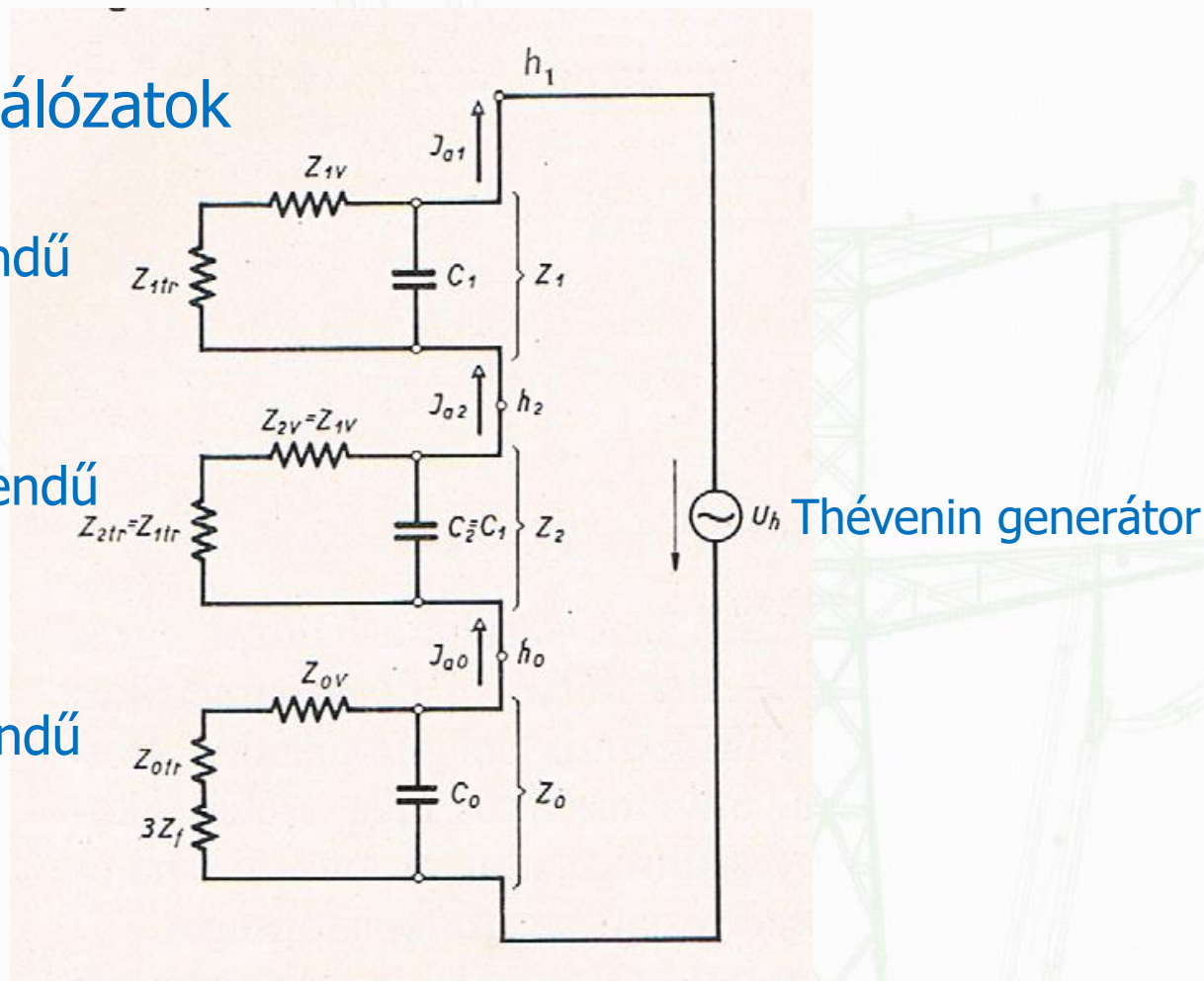
Egyfázisú földzárlat leképezése sorrendi hálózatokkal Z_f impedancián földelt csillagpontú hálózat esetén

Hálózatok

Pozitív sorrendű

Negatív sorrendű

Zérus sorrendű





Közvetlenül földelt csillagpont

-
- Mereven földelt helyzet elkerülése (csillagpont lazítás)
 - Hatásos földelés feltétele

Közvetlenül földelt csillagpontú hálózat földrövidzárlati árama

A nagy földrövidzárlati áram (I_{FN})

- ❖ Előnye egyszerű szelektív védelmi érzékelés
- ❖ Hátrány a nagy igénybevételek
(termikus, dinamikus, földpotenciál emelkedés, érintési feszültség, indukáló hatás)

A **mereven földelt helyzet elkerülése** ha: $I_{FN} < I_{3F}$

Az FN zárlati áram: szimmetrikus összetevői $I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{U_h}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$

$$\text{eredő FN zárlati áram } I_{aFN} = 3I_{a0} = 3 \frac{U_h}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{U_h}{\frac{Z_1 + Z_2 + Z_0}{3}} = \frac{U_h}{\frac{2Z_1 + Z_0}{3}}$$

A 3 fázisú, 3F zárlati áram: $I_{3F} = \frac{U_h}{Z_1}$

A $Z_1 = Z_2$ közelítéssel $I_{FN} < I_{3F}$ ha $\frac{2Z_1 + Z_0}{3} > Z_1$ azaz $Z_0 > Z_1$

Csillagpont lazítás



Egyes csillagpontok
nem földeltek

Csillagponti fojtó
alkalmazása

A hatásos csillagpont földelés feltétele

A hatásos földelés feltétele: az ép fázisok (U_b és U_c) feszültsége ne haladja meg: a vonali feszültség 80 %-át
vagy a fázisfeszültség 138 %-át.

$$U_b/U_V < 0.8$$

A hibahelyi feszültség szimmetrikus összetevői:

$$\begin{aligned} U_{a1} &= U_h - Z_1 I_{a1} = U_h \frac{Z_2 + Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0}, \\ U_{a2} &= -Z_2 I_{a2} = -U_h \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_0}, \\ U_{a0} &= -Z_0 I_{a0} = -U_h \frac{Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0}. \end{aligned}$$

A hibahelyi ép fázis feszültség:

$$\begin{aligned} U_b &= \frac{U_h [(a^2 - a)(R_1 + jX_1) + (a^2 - 1)(R_0 + jX_0)]}{2R_1 + R_0 + j(2X_1 + X_0)} = \\ &= U_h \frac{(a^2 - a) \left(\frac{R_1}{X_1} + j \right) + (a^2 - 1) \left(\frac{R_0}{X_1} + j \frac{X_0}{X_1} \right)}{2 \frac{R_1}{X_1} + 2j + \frac{R_0}{X_1} + j \frac{X_0}{X_1}}, \end{aligned}$$

Feltételek: $Z_1 = Z_2$

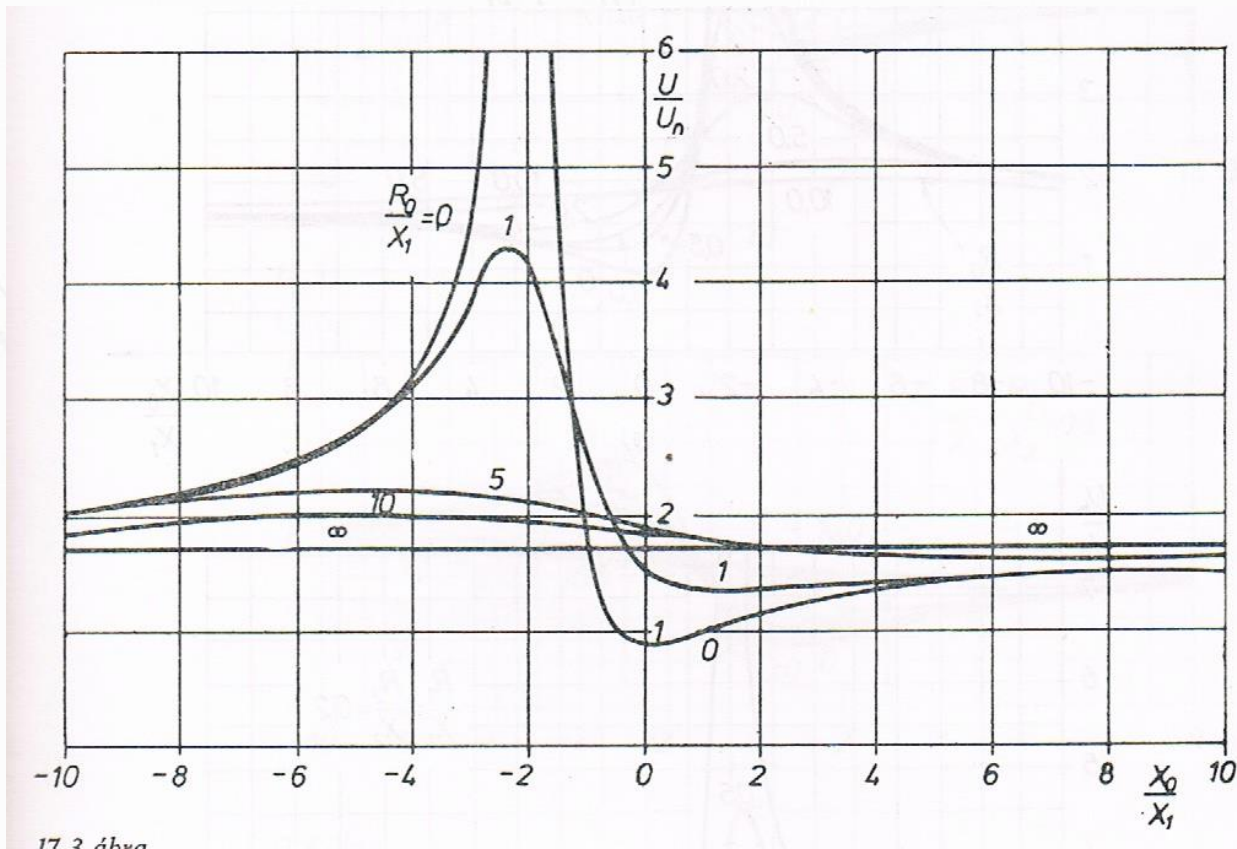
$$Z_1 = R_1 + jX_1$$

$$Z_0 = R_0 + jX_0$$

Az függvény a következő fólián!

$$U_b = U_h \cdot f \left(\frac{R_1}{X_1}, \frac{R_0}{X_1}, \frac{X_0}{X_1} \right),$$

Az épfázisú feszültség viszony $f=U/U_v$



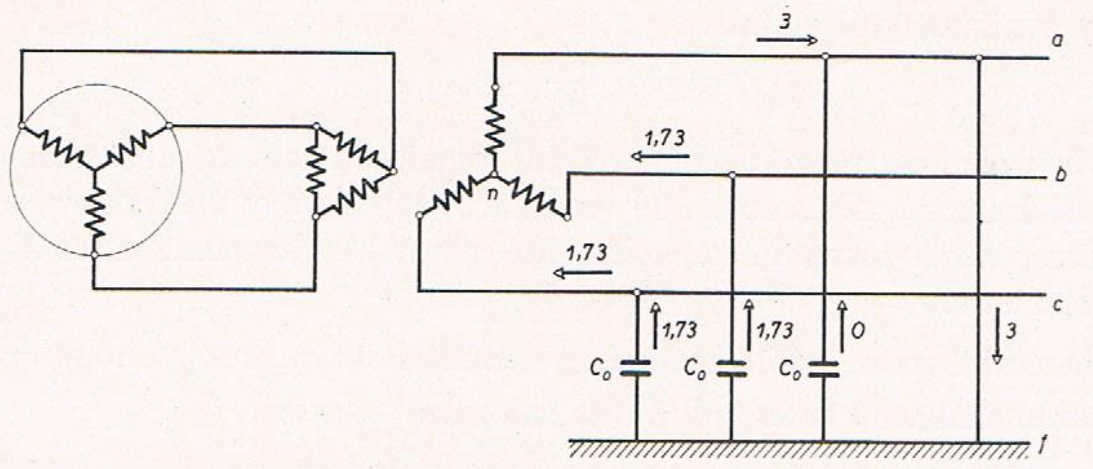
Ha $R_0/X_1 \leq 1$ és $X_0/X_1 \leq 3$ akkor $U/U_v < 0.8$



Szigetelt csillagpont

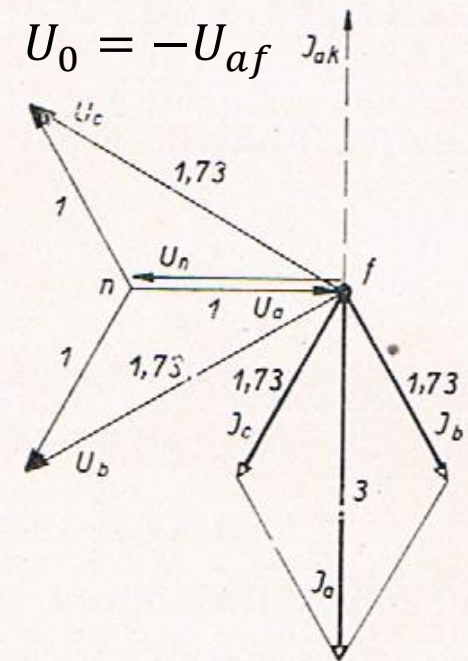
- Kapacitív földzárlati áram
- Épfázisú feszültség
- Ívelő földzárlat

Épfázisú feszültség, földzárlati áram:



$$U_b = U_c = 1,73U_f$$

$$U_0 = -U_{af}$$



$$I_{cf} = 3I_{c0} = j\omega C_0 U_0$$

Zérus sorrendű jellemző értékek:

Kapacitás, C_0 $\mu\text{F}/\text{km}$: - szabadvezeték $6 \cdot 10^{-3}$ (6 nF/km)

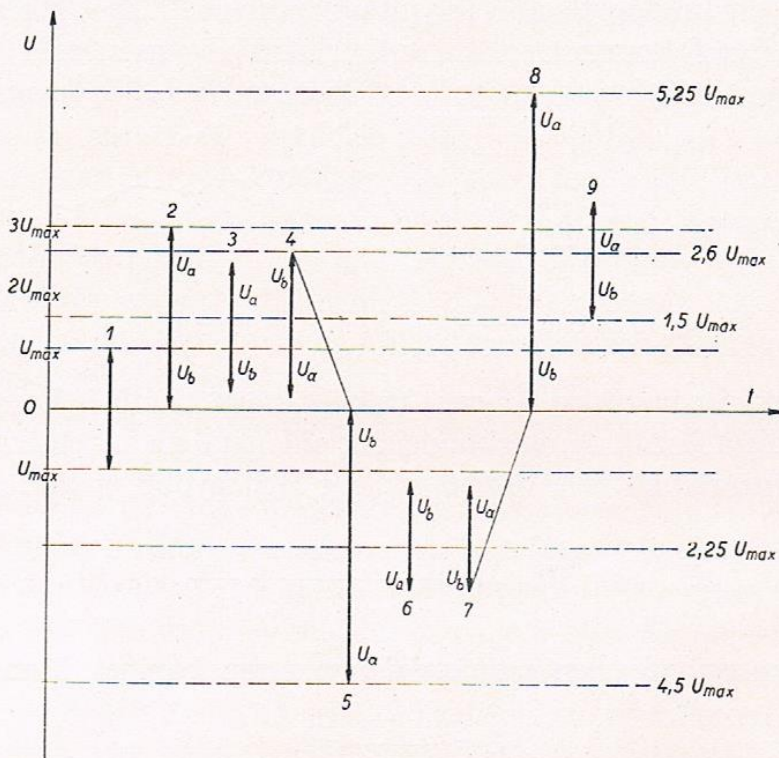
- kábel 0,2 (200 nF/km)

kábel / szabadvezeték viszony: 30 ~ 50

100 A kapacitív áramot létrehozó hosszak:

szabadvezeték: 1500-2000 km, kábel: 40-60 km

Ívelő földzárlati tranziens túlfeszültség



Feszültség „feltornászás” egymást követő visszagyújtásokkor (kétfázisú hálózatban)

Elvi feszültség maximum:

- Kétfázisú hálózatban $6U_f$
- Háromfázisú hálózatban $7U_f$

Kialakulás feltételei:

- Legyen gyenge szigetelési hely;
- Fél periódus alatt ne csillapodjék a középponti feszültség;
- Legyen ismételt ív visszagyulladás

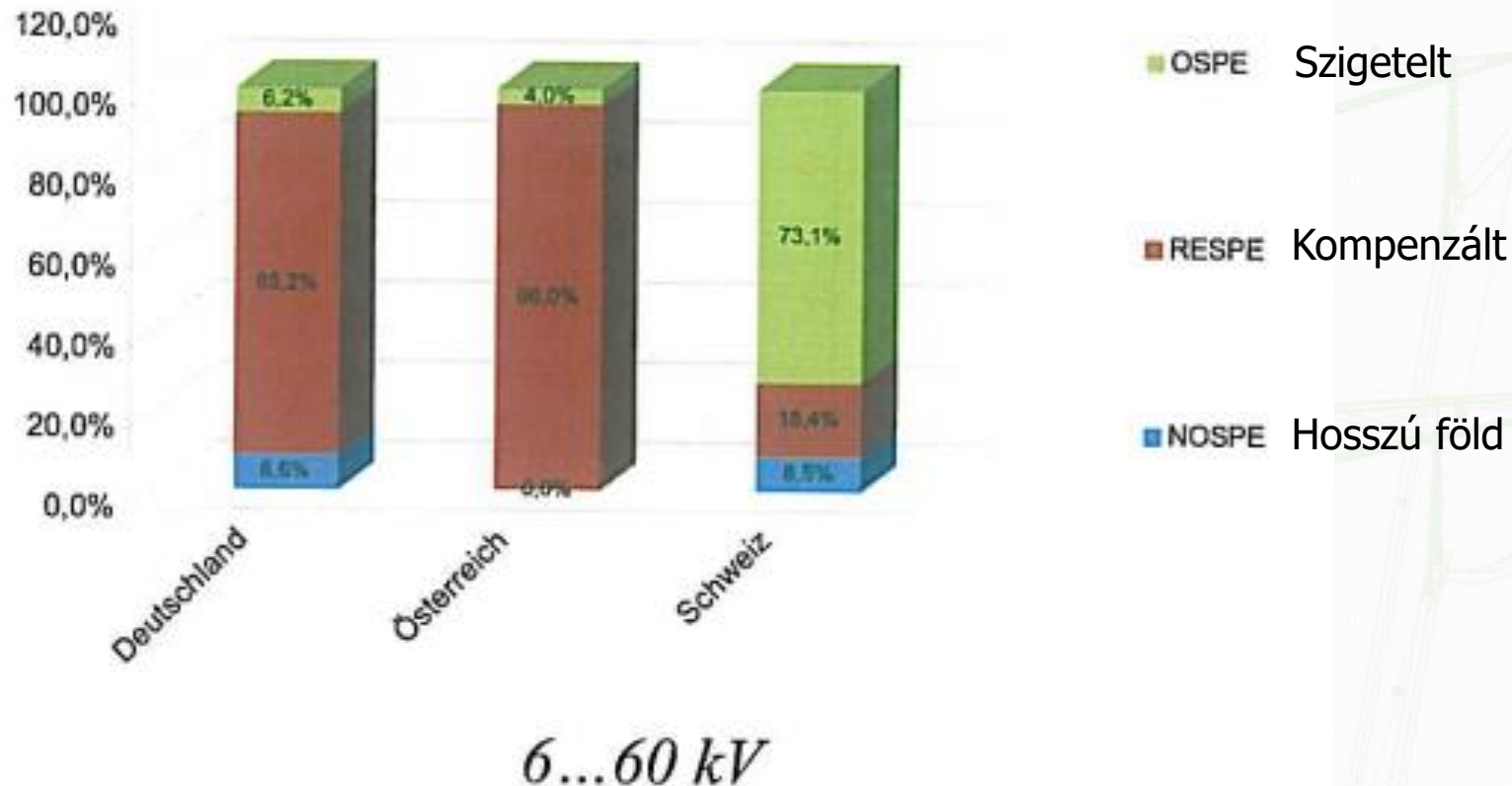
Elkerülési lehetőségei:

- Csillagpont földelés ellenálláson
- Csillagpont földelés ívöltő tekercsen (kompenzálás)

Földelő ellenállásra vonatkozó követelmény 10 ms kisebb időállandóból:

$$R_n < 0,8 \cdot X_{C0} = 0,8 \cdot \frac{1}{\omega C_0}$$

A német nyelvterületen található hálózatok csillagpont-kezelésének eloszlása



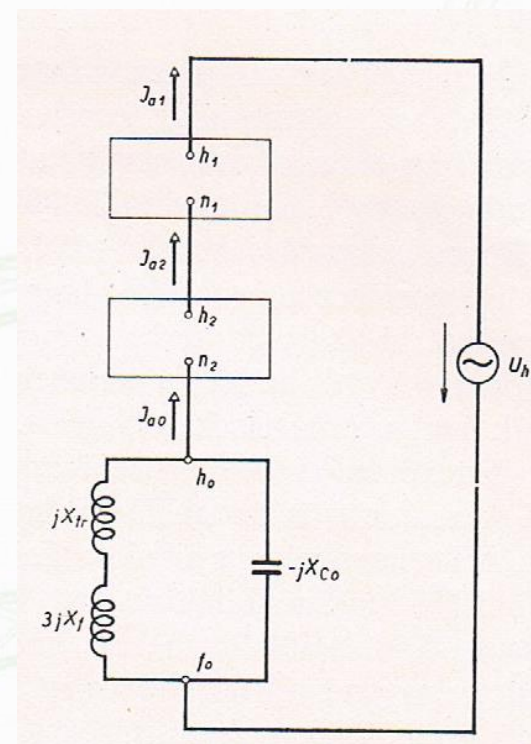
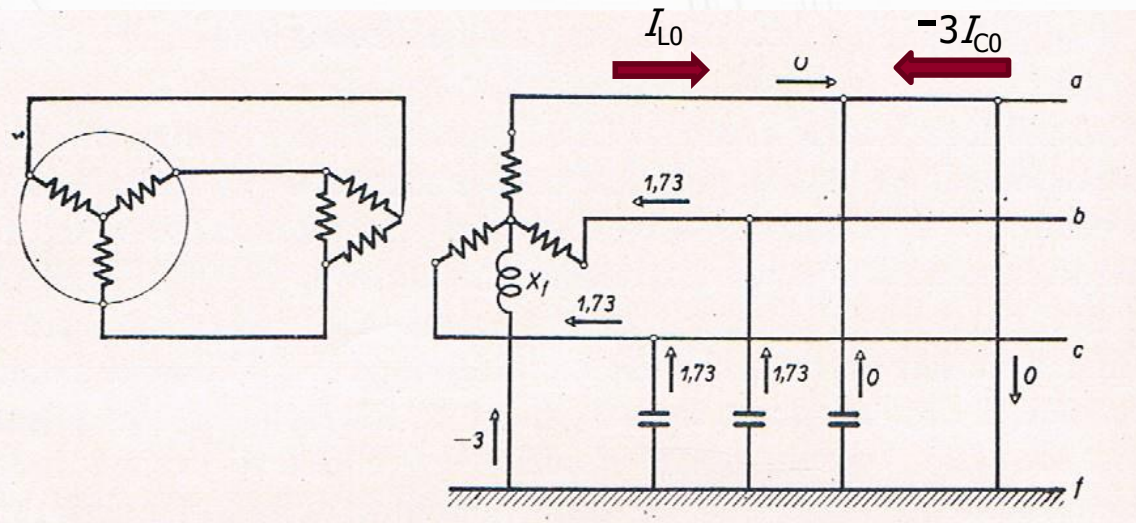


Kompenzált hálózat

Hosszan ellenálláson földelt hálózat (Földelés ívöltő (Petersen) tekercsen át)

- Pontos kompenzálás feltétele
 - Kompenzált hálózat sajátosságai
-
- Hosszúföldeléses csillagpont
 - FÁNOE alkalmazás

Pontos kompenzáció feltétele



$$3X_f = X_{C0}$$

$$2\pi \cdot 50 \cdot L_0 = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot C_0}$$

$$50 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_0 C_0}} = f_0$$

A zérus sorrendű hálózat
önfrekvenciája 50 Hz!

$$Z_{0er} = \frac{(-jX_{C0})(jX_{tr} + j3X_f)}{j(X_{tr} + 3X_f - X_{C0})}$$

X_f értéke a nevező = 0 alapján: $3X_f = X_{C0} - X_{tr}$

Kompenzált hálózat sajátosságai

A pontos kompenzáció (elvi) **előnyei**:

- A hibahelyi áram nulla (kicsi) > ív magától kialszik azaz múló zárlat;
- Önfrekvencia 50 Hz > feszültség lassan (több periódus alatt) tér vissza, van idő a hibahelyen a regenerálódásra.

A pontos kompenzáció **korlátai**:

- A kompenzációt 5-10 %-al el kell hangolni a soros rezonancia veszély elkerülésére;
- Maradékáram van (wattos veszteségi, felharmonikus, elhangolási);
Előírás szerinti korlát: 12,5 A, ebből 10 A wattos rész
- Hangolás körvezés korlátozott (nagyságban, időbeli késés)>
- A hibás leágazás szelektív kiválasztása, különleges megoldást kíván (FÁNOE vagy más).

Hosszúföldeléses csillagpont

Szemponatok:

Elosztói szabályzat - Az elosztó hálózathoz való hozzáférés együttműködési szabályai; MELLÉKLETEK, 9. számú módosítás, Budapest, 2015. május 10.

Kábelhálózat vagy vegyes hálózat esetén a leggyakoribb csillagpontrögzési mód a **hosszúföldelés**, de előfordulhat a szigetelt és kompenzált megoldás is.

Megjegyzés: A hosszúföldeléses csillagpont-rögzés az üzemviteli igényeket legjobban teljesítő megoldás. A földzárlatos üzem nem tartható, így a meghibásodás közvetlen kiesést jelent.

Üzemszerűen fémesen összefüggő hálózaton, ha a **kompenzálandó áramszükséglet 10 A alatt van, a csillagpont szigetelt** is lehet. 120 A alatti kompenzálandó áramszükségletig a kompenzált üzemmód javasolt. **120 A feletti** kompenzálandó áramszükséglet esetén a csillagpontot **hosszúföldelten kell rögzíteni**.

FÁNOE alkalmazása

FÁNOE célja: zárlatos leágazás szelektív kiválasztásának biztosítása zérus sorrendű túláram ($I_0 >$) védelemmel.

FÁNOE ellenállás tipikus értékei: 25 Ω , 50 Ω és 100 Ω

Bővebben lásd a hazai alkalmazási példákban!

Útmutató a nagyfeszültségű hálózatokra vonatkozó új szabványok alkalmazására, Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 2015.03.30

Kompenzált hálózatok esetében a hibahelyi **földáram nagysága** – a FÁNOE ellenállás értékétől függően – maximálisan **100 – 253 A is lehet**. Ennek következtében a potenciálemelkedés értéke, kiegészítő intézkedések nélkül, jelentősen meghaladhatja az új nagyfeszültségű szabványokban engedélyezett értékeket.

Ezen kockázatok további minimalizálása érdekében **javasoljuk** a FÁNOE alkalmazást - a földzárlati áram növelést - **helyettesítő korszerű földzárlat kiválasztási eljárások bevezetését**, melyet már számos országban alkalmaznak.

Elosztói engedélyesek adatai

- ELMŰ hálózati adatok
 - ÉMÁSZ Hálózati Kft. adatok
 - EDF DÉMÁSZ adatok
 - E.ON EDE hálózati adatok
 - E.ON EED hálózati adatok
 - E.ON ETI hálózati adatok
-

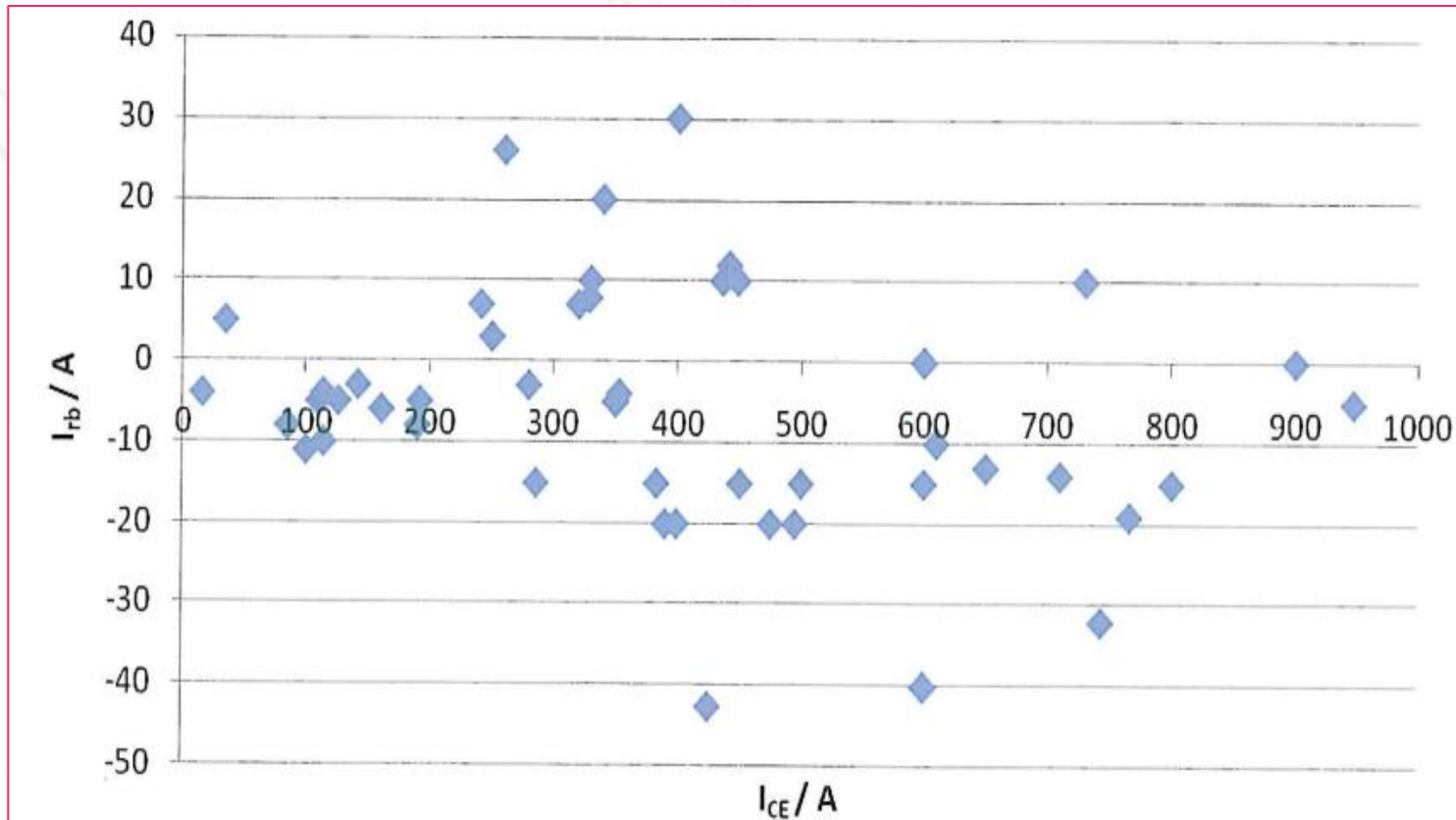
ELMŰ hálózati adatok

| ELMŰ Hálózati Kft. vizsgált hálózati adatok | Ívoldón kezelt | | Hosszúföld kezeléssel csp. | |
|--|--|------------|----------------------------------|------------|
| | földkábel | légvezeték | földkábel | légvezeték |
| 8910 km vezeték hossz | | | | |
| Hálózathossz % | 50,40% | | 49,60% | |
| Hálózathossz % | 22% | 78% | 100% | 0% |
| Földzárlattartás: | 11 helyen részben, egyes vonalakon engedélyezett | | nincs | |
| FÁNOE / Hosszúföld ellenállás jellemző értéke | 22 kV-on, 42 eset: 50 Ω , 6 eset: 100 Ω | | 25 Ω , 11 kV feszültségen | |
| Átlagos mért maradékáram: | 5A- 25 A, átlag: 13 A | | | |



Csillagpont kezelés külföldi gyakorlata

A német 20 kV-os kompenzált hálózatokon alkalmazott meddő maradékáramok nagysága



A maradékáram nagysága a német 20 kV-os hálózatok 68%-ában 60 A és 19%-ában 40 A.

Oszloppotenciállal kapcsolatos kiegészítő intézkedések

Német kollégákkal konzultálva kiderült, hogy a német elosztók – ahol lehet – az érintési feszültség megengedett értékeire megadott görbesereg közül a lehető legnagyobb érintési feszültséget tartalmazót használják. Másrészt a szabadvezeték **oszlopaikat csoportosítják oszlop típus és megközelíthetőség alapján**, és ezután eldöntik (sok esetben méréssel), hogy a **kiegészítő intézkedések** közül (pl. oszlopföldelés javítása, potenciálvezérlés, kezelőhely elszigetelése stb.) melyeket kell alkalmazni. A konzultáció során hivatkoztak egy elosztóra, amelynek **15.000 oszlopa közül** az első csoportosítás után már csak 800-at kellett alaposabban megvizsgálnia, és **csupán 400 oszlop esetén** volt szükség kiegészítő intézkedésre.



Kettős földzárlat kérdése, $2F_f$ Hiba statisztika

Kettős (és többszörös) földzárlatok gyakorisága (1)

- Helsinkiben az egyfázisú földzárlatok 24%-a többfázisú földzárlatba megy át [10] ;
- Drezdában ez az arány 35%;

A STE 2010 [8] felmérés a következőket közli:

- Szigetelt csillagpontú KÖF kábelhálózatokon (ahol a zárlati gyakoriság 1,5 földzárlat / 100 km/év) a kettős földzárlattá alakulás valószínűsége 11%,
- Szigetelt csillagpontú KÖF vegyes hálózatokon (ahol a zárlati gyakoriság 5,5 földzárlat / 100 km/év) ez a valószínűség mindössze 3%.

A STE 2014 konferencián bemutatott [21] cikk a következő fólia táblázata szerinti adatokat tartalmazza középfeszültségű hálózatokra:

Kettős (és többszörös) földzárlatok gyakorisága (2)

| | Kettős (és többszörös) földzárlatok száma 100 km-enként |
|------|---|
| 2007 | 0,146 |
| 2008 | 0,172 |
| 2009 | 0,141 |
| 2010 | 0,185 |
| 2011 | 0,132 |
| 2012 | 0,140 |

Következtetés:

a kettős földzárlatokból eredő személyi és vagyoni károk kockázata lényegesen alatta marad egyéb, társadalmilag elfogadott kockázatú események (pl. közlekedési baleset vagy villámcsapásból eredő kár) kockázatának

Állítás:

az EN 50522-es szabványban a földzárlatos üzem tartására vonatkozó alábbi előírás:

„Ha nincs automatikus földzárlat megszakítás, akkor a kettős földzárlatok figyelembevételének szükségessége az üzemviteli tapasztalatoktól függ”

teljesíthető, ha a cikkben [21] leírt vizsgálati módszert az adott elosztóhálózatra alkalmazzák, és így egyértelműen eldönthető, hogy a megszokott üzemvitel tovább folytatható-e vagy sem (az ő esetükben igen).

Átépítések okai

A (már megvalósult vagy tervezett) átépítések okaiként a következőket nevezték meg az elosztók:

- újabb kábelszakaszok vagy kábelhálózatok létesítése
- **megnövekedett kettős földzárlati gyakoriság**
- nem kielégítő földzárlat-érzékelés
- túl hosszú földzárlati idők
- egyfázisú földzárlatok definitív kioldásának igénye
- intermittens viselkedés.



Kivitt (transzfer) potenciál KÖF/KIF állomásból nullavezetőre

Határértékek MSZ EN 50522 szerint

| A kisfeszültségű rendszer típusa ^{a, b} | | EPR – követelmények | | |
|--|-------------------------------------|---|---|--|
| | | Érintési feszültség | Igénybevételi feszültség ^c | |
| | | | Zárlati időtartam $t_f \leq 5 \text{ s}$ | Zárlati időtartam $t_f > 5 \text{ s}$ |
| TT | | Nem alkalmazható | $EPR \leq 1200 \text{ V}$ | $EPR \leq 250 \text{ V}$ |
| TN | | $E_{PR} \leq F \times U_{Tp}$ ^{d, e} | $EPR \leq 1200 \text{ V}$ | $EPR \leq 250 \text{ V}$ |
| IT | A védőföldelő-vezető ki van építve | Mint a TN-rendszerben | $EPR \leq 1200 \text{ V}$ | $EPR \leq 250 \text{ V}$ |
| | A védőföldelő-vezető nincs kiépítve | Nem alkalmazható | $EPR \leq 1200 \text{ V}$ | $EPR \leq 250 \text{ V}$ |

^a A kisfeszültségű rendszerek típusainak meghatározásait lásd a **HD 60364-1**-ben.
^b A távközlési rendszerek esetében az **ITU-irányelveket** ajánlatos alkalmazni.
^c A határérték megemelhető megfelelő kisfeszültségű szerkezetek alkalmazása esetén vagy az EPR helyettesíthető méréssel vagy számítással meghatározott potenciálkülönbségekkel.
^d Ha a kisfeszültségű rendszer PEN-vezetője vagy nullavezetője csak a nagyfeszültségű földelőrendszerrel van összekötve, akkor az F értékét 1-nek kell venni.
^e U_{Tp} a 4. ábra szerinti.

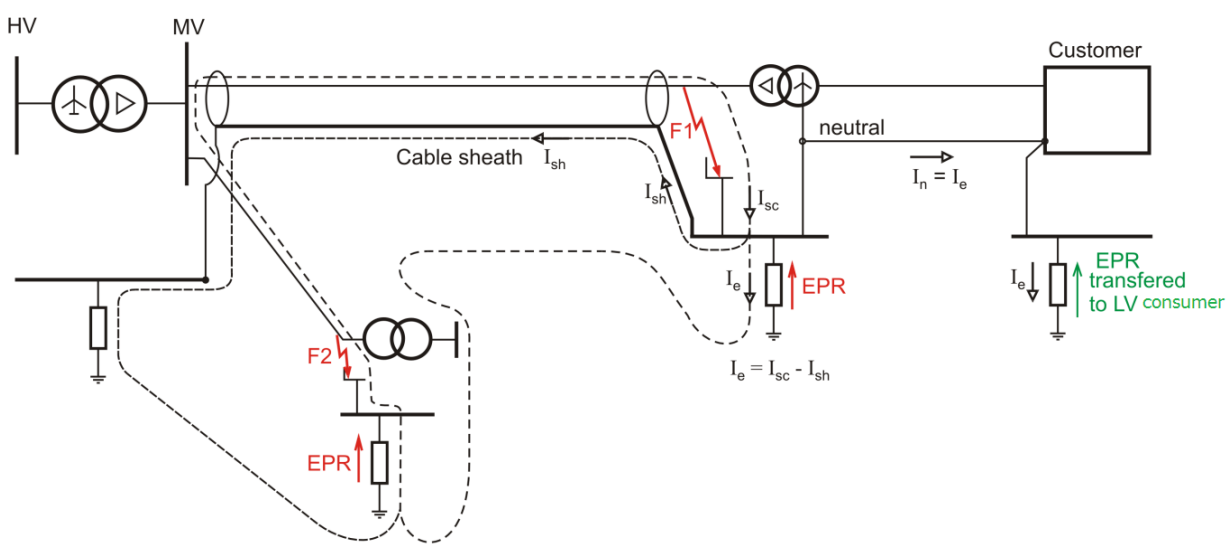
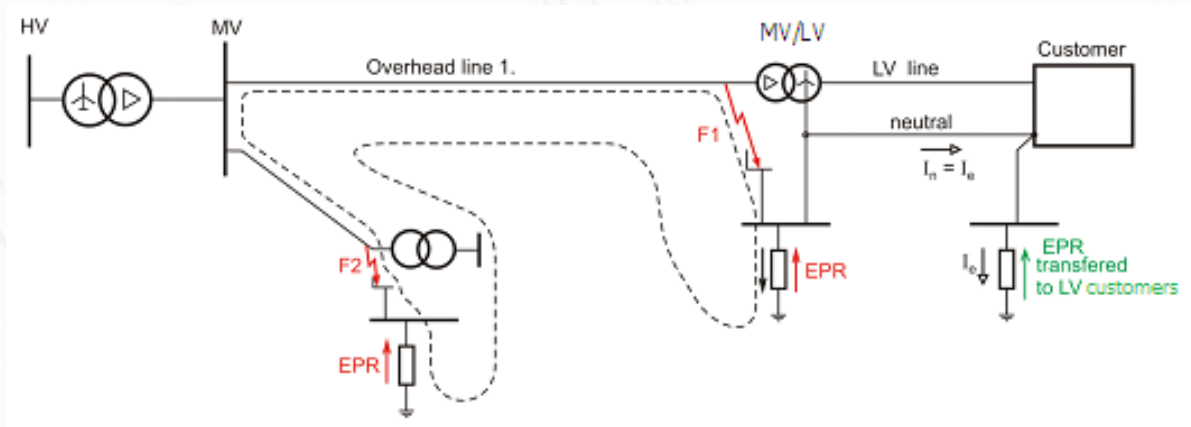
A nagy- (NAF) és kiefeszültségű (KIF) földelések összeköthetőségének feltétele

A megengedett érintési feszültség U_{Tp} számított értékei a hiba fennállásának t_f időtartama függvényében a (MSZ EN 50522 B.3 táblázata szerint)

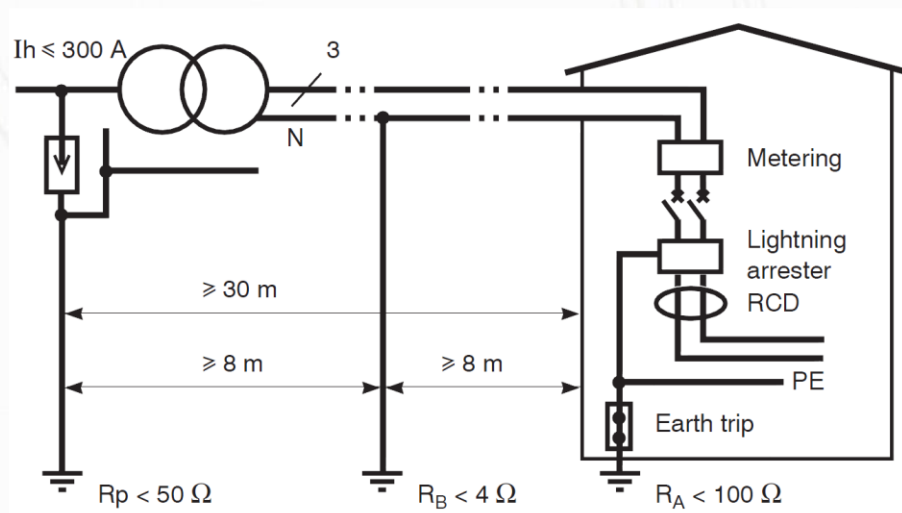
| Hiba fennállásának időtartama t_f [s] | Megengedett érintési feszültség U_{Tp} [V] | Megengedett EPR $EPR \leq 2U_{Tp}$ határ ¹⁾ [V] |
|---|--|--|
| 0.05 | 716 | 1432 |
| 0.10 | 654 | 1308 |
| 0.20 | 537 | 1074 |
| 0.50 | 220 | 440 |
| 1.00 | 117 | 234 |
| 2.00 | 96 | 192 |
| 5.00 | 86 | 172 |
| 10.00 ²⁾ | 85 | 170 |

F értéke TN rendszerű KIF hálózat esetén általában: **F=2**, ami arra alapozott, hogy a személyen (a testimpedancián) létrejövő tényleges érintési feszültség nem nagyobb mint az U_{VT} független érintési feszültség

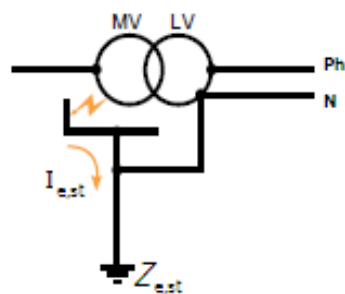
KÖF/KIF tr. állomásban fellépő földpotenciál-emelkedés kettős földzárlat hatására



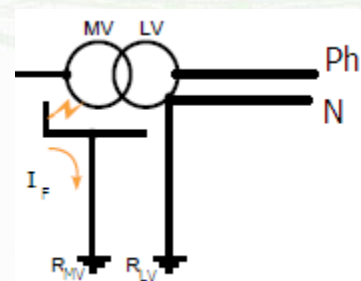
Földelők különválasztása



A nullavezető
különválasztásának
francia (EdF) előírása



Összekötött
 $R_{eredő} < 0,5$



Különválasztott
 $R_{eredő} > 0,5$



Köszönöm a figyelmet!

Dr. Varjú György,
varju.gyorgy@vet.bme.hu