



# Transzformátor a hálózatban

---

*Villamos energetika / Villamosenergia-rendszerek gyakorlat*

Gyakorlatvezető: Dr. Divényi Dániel

Az anyagot összeállították: Dr. Csatár János, Mohos András,  
Sinkovics Bálint, Sütő Bence, Táci István



Villamos Művek és Energiaátalakítók Csoport



# Tartalom

## Távoktatott gyakorlat menete

**Ötvenes felkészítés**

- A szükséges elméleti témákat röviden ismertetjük.
- Kérdések, feladatok, és a gyakorlati munka.

**A gyakorlat 1. része: vezetés, feladatmegoldás**

- A gyakorlati munka, az elméleti témák ismertetése.
- A feladatok megoldása, a kérdések megválaszolása.
- Az egyes feladatok után a gyakorlati munka folytatódik.

**A gyakorlat 2. része: konzultáció, interakció**

- A feladatok megoldása, a kérdések megválaszolása.
- A feladatok megoldása, a kérdések megválaszolása.
- A feladatok megoldása, a kérdések megválaszolása.

## 4. feladat

Számítsuk ki ugyanennek a transzformátornak az éves veszteségét! Ehhez értelmezzük a transzformátor terhelésének tartandó áramját! A számításokhoz a táblázatban megadott értékeket használjuk.

**Terhelés tartandó áram**

- Olvassa le az áramértékeket!
- Határozzon meg egy veszteséggel egyenértékű áramot!
- Számítsa ki az éves energiaveszteséget!
- Vonatkoztassa a teljes átvitt energiamegnyiségre!

## 8. feladat

Számítsuk ki egy 120 kV / 20 kV VpD1 kapcsolási csoportú transzformátor középfeszültségű oldalán a fázisfeszültségeket viszonylagos egységben, amennyiben a 120 kV oldalon a sorrendi összetevők:

- Csak  $u_1^+ = 1$  pozitív sorrendű feszültség van,
- Eredett  $u_2^+ = 0,1$  zérus sorrendű feszültség is van,
- Mindkettőt  $u_2^+ = 0,1e^{-j135^\circ}$  negatív sorrendű mennyiség is van,

Mindkettőt esetre:

- Határozzuk meg a szigetelt csillag oldali sorrendi összetevőket!
- Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

## 1. feladat

Egy 20/0,4 kV, 400 kVA névleges paraméterekkel rendelkező transzformátor kisfeszültségű oldalát rövidre zárjuk. A KÖF oldalt gerjesztését fokozatosan addig növeljük, amíg a szekunder oldal fázisain a névleges áram folyik. Ekkor a középfeszültségű oldalán a fázisfeszültségek effektív értéke 692,8 V. Mekkora a transzformátor dropja?

- Rajzoljuk fel a modellt!
- Számítsuk ki az impedancia értékét!
- Számítsuk ki a drop értékét!

## 5. feladat

Határozzuk meg, hogy mekkora transzformátor tekercsének hőmérséklete a következő, szélsőséges esetekben!

- Minimális, 10%-os, hajnali terhelés (üresjárás) esetén télen (-20°C) és nyáron (25°C)!
- Maximális, 100%-os terhelés esetén télen (-20°C) és nyáron (40°C)!
- Korrigálja a 65°C-ra adott részvesztés értékeket a fenti esetekre!

A tekercsellenállás hőmérsékleti  $\alpha$  együtthatója 0,004 1/°C.

## 9. feladat

Számítsuk ki egy 11 kV / 0,4 kV Dy5 kapcsolási csoportú transzformátor középfeszültségű oldalán a fázisfeszültségeket viszonylagos egységben, amennyiben a 0,4 kV oldalon a sorrendi összetevők  $u_2^+ = 0,9e^{-j110^\circ}$ ,  $u_2^- = 0,3$ ,  $u_2^0 = 0,2e^{-j150^\circ}$ .

- Határozzuk meg a delta oldali sorrendi összetevőket!
- Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

## 2. feladat

Az alábbi táblázat szerint adottak egy NAF/KÖF transzformátor névleges paraméterei. Határozzuk meg a transzformátor helyettesítőegységben szereplő elemek értékeit, viszonylagos egységben!

|                        |       |           |                       |       |        |
|------------------------|-------|-----------|-----------------------|-------|--------|
| Névleges feszültség    | $U_N$ | 120/11 kV | Üresjárási áram       | $I_0$ | 0,5%   |
| Névleges teljesítmény  | $S_N$ | 40 MVA    | Üresjárási veszteség  | $P_0$ | 30 kW  |
| Rövidzárási feszültség | $u$   | 11%       | Rövidzárási veszteség | $P_k$ | 185 kW |

- Rajzoljuk fel a teljes transzformátor modellt, és a viszonylagos egységben számításokhoz válasszuk meg az alapokat!
- Számítsuk ki a soros ellenállást a részvesztés felhasználásával!
- Számítsuk ki a soros reaktanciát a drop felhasználásával!
- Számítsuk ki a szét ellenállást a veszteség felhasználásával!
- Számítsuk ki a szét ág reaktanciáját az üresjárási áramból!

## 6. feladat

Tegyük fel, hogy az alábbi hálózaton a „C” szin egy 1FN zárt, követünk be, és a zárt áram erőssége 240 A. Határozzuk meg a transzformátor csillagpont feszültségeit értékeit, ha a csillagpontba kötött ellenállások átvitt áram értékeit, ha az ellenállás 25 Ω!

- Rajzoljuk fel a fázismodellt!
- Adja meg a csillagpont ellenállásain átvitt áram értékeit!
- Adja meg a csillagpont feszültség értékeit!
- Rajzoljuk fel a sorrendi helyettesítőegységet, s így számítsuk ki a csillagpont feszültségeit!

## 10. feladat

Egy 132/22 kV-os transzformátor középfeszültségű oldaláról az alábbi adatokból határozzuk meg a fázisfeszültségeket viszonylagos egységben, amennyiben a 22 kV oldalon a sorrendi összetevők:

1. legjelölés:  $u_1 = 40$  kV,  $u_1^{(0)} = 0,001 \frac{\text{p.u.}}{\text{kV}}$
2. legjelölés:  $u_2 = 30$  kV,  $u_2^{(0)} = 0,002 \frac{\text{p.u.}}{\text{kV}}$
3. legjelölés:  $u_3 = 50$  kV,  $u_3^{(0)} = 0,003 \frac{\text{p.u.}}{\text{kV}}$

- Rajzoljuk fel a sorrendi helyettesítőegységet a középfeszültségű hálózaton bekötve (1FN) zárt esetre!
- Határozzuk meg a Petersen tekercs nélküli zárt áramot!
- Határozzuk meg a Petersen tekercs indukciósárait úgy, hogy a maradék áram 5 A értékű legyen (Δ/0-konfiguráció)!

## 3. feladat

Számítsuk ki egy 20/0,4 kV-os, 160 kVA-es, 60%-os terhelésű transzformátor réz és vasvesztésait! A transzformátor névleges üresjárási veszteség 300 W, névleges rövidzárási vesztesége 2000 W.

- Számítsuk ki a vasvesztés értékét!
- Számítsuk ki a tekercsvesztés értékét!

## 7. feladat

Számítsuk ki egy 120 kV / 11 kV VpD1 kapcsolási csoportú transzformátor középfeszültségű oldalán a fázisfeszültségeket viszonylagos egységben, amennyiben a 120 kV oldalon a sorrendi összetevők:

- Csak  $u_1^+ = 1$  pozitív sorrendű feszültség van,
- Eredett  $u_2^+ = 0,1$  zérus sorrendű feszültség is van,
- Mindkettőt  $u_2^+ = 0,05$  negatív sorrendű mennyiség is van,
- Számítsa ki az eredmények  $u_2^+ = -0,05$  esetre is!

Mindkettőt esetre:

- Határozzuk meg a delta oldali sorrendi összetevőket!
- Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

## 11. feladat

Egy 132/22 kV-os transzformátor középfeszültségű oldaláról az alábbi adatokból határozzuk meg a fázisfeszültségeket viszonylagos egységben, amennyiben a 22 kV oldalon a sorrendi összetevők:

1. legjelölés:  $u_1 = 40$  kV,  $u_1^{(0)} = 0,001 \frac{\text{p.u.}}{\text{kV}}$
2. legjelölés:  $u_2 = 30$  kV,  $u_2^{(0)} = 0,002 \frac{\text{p.u.}}{\text{kV}}$
3. legjelölés:  $u_3 = 50$  kV,  $u_3^{(0)} = 0,003 \frac{\text{p.u.}}{\text{kV}}$

- Határozzuk meg a Petersen tekercs nélküli zárt áramot!
- Határozzuk meg a Petersen tekercs indukciósárait úgy, hogy a maradék áram 5 A értékű legyen (Δ/0-konfiguráció)!
- Határozzuk meg a kompenzációs fokát erre az esetre!

# Tartalom

## Távoktatott gyakorlat menete

**1. Otthoni felkészülés**

- A szükséges elméleti részleírati rövid videós ábrák megtekintése
- Kérdések gyűjtése a zavaró részleírati

**2. A gyakorlat 1. részének feladatmegoldása**

- 40 perc a MS Teams szobában megbeszélésre
- A feladatot apró lépésekre bontjuk fel
- Az egyes kérdések után pár másodperces időt hagyunk a válaszra
- A feladatcsoporton belül rövid videókat készítenek

**3. A gyakorlat 2. részének konzultáció, interakció**

- Ötven felkészülés és vezetett feladat megoldása
- Online teszt, melyben minden hallgató önállóan oldja meg a gyakorlati feladatokat

2020. 04. 10.

## 4. feladat

Számítsuk ki ugyanennek a transzformátornak az éves veszteséget! Ehhez értelmezzük a transzformátor terhelésének tartandó áramait! A számításokhoz a képzett közelítést alkalmazhatunk!

**Terhelési tartomány**

- Chússza le az áramértékeket!
- Határozzon meg egy veszteséget egységnyi áramot!
- Számítsa ki az éves energiaszükségletet!
- Választassza a teljes évi energiamennyiséget!

2020. 04. 10.

## 8. feladat

Számítsuk ki egy 120 kV / 20 kV Yy0 kapcsolási csoportú transzformátor közepesfeszültségű oldalán a fázisokhoz viszonylagos egyensúlyban, amennyiben a 120 kV oldalon a sorrendi összetevők:

- Csak  $a_1^0 = 1$  pozitív sorrendű feszültség van,
- Elnévelt  $a_2^0 = 0.1$  zérus sorrendű feszültség is van,
- Mindenkell  $a_3^0 = 0.1e^{-j120^\circ}$  negatív sorrendű mennyiség is van,

Mindig esetre:

- Határozzuk meg a szigetelt csillag oldali sorrendi összetevőket!
- Számítsuk ki a fázisfeszültségeket!

2020. 04. 10.

## 1. feladat

Egy 20/0.4 kV, 400 kVA névleges paraméterekkel rendelkező transzformátor kisméretű oldalát rövidre zárjuk. A KÖF oldalát gerjesztését fokozatosan addig növeljük, amíg a szekunder oldali fázisain a névleges áram folyik. Ekkor a közepesfeszültségű oldalán a fázisfeszültségek effektív értéke 692.8 V. Mekkora a transzformátor dropja?

- Rajzoljuk fel a modellt!
- Számítsuk ki az impedancia értékeit!
- Számítsuk ki a drop értékeit!

2020. 04. 10.

## 5. feladat

Határozzuk meg, hogy mekkora transzformátor tekercsének hőmérséklete a következő, szélsőséges esetekben!

- Minimális, hűtési terhelés (üresjárás) esetén télen ( $-20^\circ\text{C}$ ) és nyáron ( $25^\circ\text{C}$ )!
- Maximális, 90%-os terhelés esetén télen ( $-20^\circ\text{C}$ ) és nyáron ( $40^\circ\text{C}$ )!
- Korrigálja a  $65^\circ\text{C}$ -ra adott veszteség értékeket a fenti esetekre!

A tekercsellenállás hőmérsékleti  $\alpha$  együtthatója 0,004  $1/^\circ\text{C}$ .

2020. 04. 10.

## 9. feladat

Számítsuk ki egy 11 kV / 0.4 kV Dy5 kapcsolási csoportú transzformátor közepesfeszültségű oldalán a fázisokhoz viszonylagos egyensúlyban, amennyiben a 0.4 kV oldalon a sorrendi összetevők  $i_1^0 = 0.04e^{j120^\circ}$ ,  $i_2^0 = 0.3$ ,  $i_3^0 = 0.2e^{-j120^\circ}$ .

- Határozzuk meg a delta oldali sorrendi összetevőket!
- Számítsuk ki a fázisfeszültségeket!

2020. 04. 10.

## 2. feladat

Az alábbi táblázat szerint adottak egy NAF/KÖF transzformátor névleges paraméterei. Határozzuk meg a transzformátor helyettesítőképeiben szereplő elemek értékeit, viszonylagos egyensúlyban!

|                        |       |           |                       |       |        |
|------------------------|-------|-----------|-----------------------|-------|--------|
| Névleges feszültség    | $U_N$ | 120/11 kV | Üresjárási áram       | $I_0$ | 0.5%   |
| Névleges teljesítmény  | $S_N$ | 40 MVA    | Üresjárási veszteség  | $P_0$ | 36 kW  |
| Rövidzárási feszültség | $U_k$ | 11%       | Rövidzárási veszteség | $P_k$ | 185 kW |

- Rajzoljuk fel a teljes transzformátor modellt, és a viszonylagos egyenlőre számításokhoz válasszuk meg az alapokat!
- Számítsuk ki a soros ellenállást a rövidzárási veszteségből!
- Számítsuk ki a soros reaktanciát a drop felhasználásával!
- Számítsuk ki a szét ellenállást az üresjárási veszteségből!
- Számítsuk ki a szét ág reaktanciáját az üresjárási áramból!

2020. 04. 10.

## 6. feladat

Tegyük fel, hogy az alábbi hálózaton a „C” szin egy 1FN zárt. Következők be, és a zárt áram erőssége 240 A. Határozzuk meg a transzformátor csillagpont feszültségeinek értékeit, ha a csillagpont kitöltött ellenállása átlósan áram értékeit, ha az ellenállás 25  $\Omega$ !

- Rajzoljuk fel a fázismodellt!
- Adjuk meg a csillagpont ellenállásos átlós áram értékeit!
- Adjuk meg a csillagpont feszültség értékeit!
- Rajzoljuk fel a sorrendi helyettesítő hálózatot, s így számítsuk ki a csillagpont feszültségeit!

2020. 04. 10.

## 10. feladat

Egy 132/22 kV-os transzformátor közepesfeszültségű oldaláról az alábbi szabványosított kábelkapcsoló indukciók, amelyekről követelményeket tudjuk:

- 1. kábelkapcsoló:  $l_1 = 40$  km,  $c_1^{pot} = 0.007 \frac{\text{pF}}{\text{km}}$
- 2. kábelkapcsoló:  $l_2 = 30$  km,  $c_2^{pot} = 0.008 \frac{\text{pF}}{\text{km}}$
- 3. kábelkapcsoló:  $l_3 = 50$  km,  $c_3^{pot} = 0.008 \frac{\text{pF}}{\text{km}}$

- Rajzoljuk fel a sorrendi helyettesítőhálózatot a közepesfeszültségű hálózaton bekötve 1FN(0) zárt esetre!
- Határozzuk meg a Petersen tekercs nélküli zárt áramot!
- Határozzuk meg a Petersen tekercs indukciósértékét úgy, hogy a maradék áram 5 A értékű legyen (Δ/0 kompenzáció)?

2020. 04. 10.

## 3. feladat

Számítsuk ki egy 20/0.4 kV-os, 100 kVA-es, 60%-os terhelésű transzformátor néz és veszteségeit! A transzformátor névleges üresjárási vesztesége 300 W, névleges rövidzárási vesztesége 2000 W.

- Számítsuk ki a veszteség értékeit!
- Számítsuk ki a tekercsvesztés értékeit!

2020. 04. 10.

## 7. feladat

Számítsuk ki egy 120 kV / 11 kV Yy0(1) kapcsolási csoportú transzformátor közepesfeszültségű oldalán a fázisokhoz viszonylagos egyensúlyban, amennyiben a 120 kV oldalon a sorrendi összetevők:

- Csak  $a_1^0 = 1$  pozitív sorrendű feszültség van,
- Elnévelt  $a_2^0 = 0.1$  zérus sorrendű feszültség is van,
- Mindenkell  $a_3^0 = 0.05$  negatív sorrendű mennyiség is van,
- Számítsa ki az eredmények  $a_2^0 = -0.05$  esetre is!

Mindig esetre:

- Határozzuk meg a delta oldali sorrendi összetevőket!
- Számítsuk ki a fázisfeszültségeket!

2020. 04. 10.

## 11. feladat

Egy 132/22 kV-os transzformátor közepesfeszültségű oldaláról az alábbi szabványosított kábelkapcsoló indukciók, amelyekről követelményeket tudjuk:

- 1. kábelkapcsoló:  $\Sigma l = 40$  km,  $c_1^{pot} = 0.18 \frac{\text{pF}}{\text{km}}$
- 2. kábelkapcsoló:  $\Sigma l = 100$  km,  $c_2^{pot} = 0.008 \frac{\text{pF}}{\text{km}}$

- Határozzuk meg a Petersen tekercs nélküli zárt áramot!
- Határozzuk meg a Petersen tekercs indukciósértékét úgy, hogy a maradék áram 5 A értékű legyen (Δ/0 kompenzáció)?
- Határozzuk meg a kompenzációs fokát erre az esetre!

2020. 04. 10.

# Távoktatott gyakorlat menete

## Otthoni felkészülés

- A szükséges elméleti részekből rövid videók állnak rendelkezésre
- Kérdések gyűjtése a zavaró részekből

## A gyakorlat 1. része: vezetett feladatmegoldás

- 60 perc a MS Stream videó megtekintésére
- A feladatokat apró lépésekre bontjuk fel
- Az egyes kérdések után pár másodpercnyi időt hagyva a válasz kigondolására
- A feladatcsoportok végén rövid visszajelzést kérünk

## A gyakorlat 2. része: konzultáció, interakció

- Otthoni felkészülés és vezetett feladat megoldás közben gyűjtött kérdések megválaszolása
- Online teszt, melyben minden hallgató önmaga oldja meg a **gyakorlathoz kapcsolódó** feladatokat.



# Szükséges elméleti ismeretek

- Transzformátorok helyettesítőképe
  - Transzformátor paraméterek értelmezése
  - Általános helyettesítő kép soros és sönt ágakkal
  - Tekercsmelegedéshez kapcsolódó egyenletek
- Csillagponti feszültség és áramok számítása
  - Zérus sorrendű modellek delta és csillag kapcsolások esetén
- Földzárlati áram kompenzálása

Ha az alapokban nem vagy biztos, nézd meg az előadás anyagot és a gyakorlathoz feltöltött magyarázó videókat!



# Transzformátor paraméterek

---

Drop, mint rövidzárási feszültségesés

Transzformátor modell felépítése névleges értékekből

# 1. feladat

Egy 20/0.4 kV, 400kVA névleges paraméterekkel rendelkező transzformátor kisfeszültségű oldalát rövidre zárjuk.

A KÖF oldalt gerjesztését fokozatosan addig növeljük, amíg a szekunder oldal fázisain a névleges áram folyik.

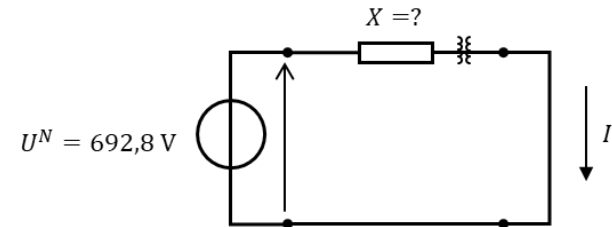
Ekkor a középfeszültségű oldalon a fázisfeszültségek effektív értéke 692,8 V. Mekkora a transzformátor dropja?

- 1) Rajzoljuk fel a modellt!
- 2) Számítsuk ki az impedancia értékét!
- 3) Számítsuk ki a drop értékét!

# Drop számítása

- 1) Rajzoljuk fel a modellt!

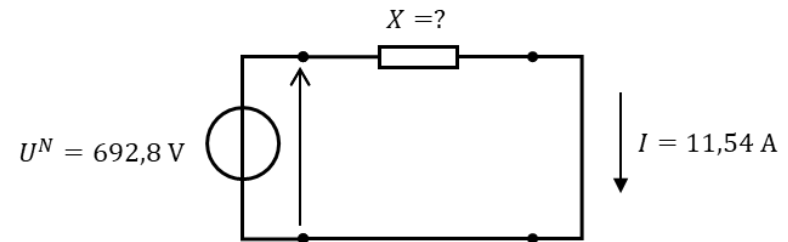
$$I_n^K = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n^K} = \frac{400 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 577 \text{ A}$$



- 2) Számítsuk ki az impedancia értékét!  
Redukáljuk primer oldalra a hálózatot!

$$I_n^N = \frac{0,4}{20} I_n^K = 11,54 \text{ A}$$

$$X^N = \left| \frac{U}{I} \right| = \frac{692,8 \text{ V}}{11,54 \text{ A}} = 60 \, \Omega$$



- 3) Számoljuk ki a drop értékét!

$$X = \frac{\varepsilon}{100} \frac{(U_n^N)^2}{S_n}$$

$$\varepsilon = X \frac{S_n}{(U_n^N)^2} \cdot 100 = 60 \, \Omega \cdot \frac{400 \text{ kVA}}{(20 \text{ kV})^2} \cdot 100\% = 6\%$$



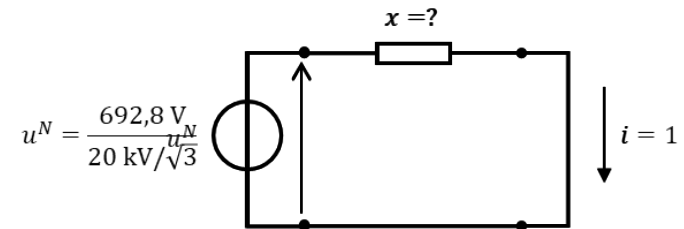


# Drop számítás viszonylagos egységekkel

1) Rajzoljuk fel a modellt!

$$i_n^K = 1$$

$$u^N = \frac{692,8 \text{ V}}{20 \text{ kV}/\sqrt{3}} = 0,06$$



2) Számítsuk ki az impedancia értékét!

$$x = \frac{u^N}{i} = 0,06$$

3) Számoljuk ki a drop értékét!

$$\varepsilon = 0,06 \cdot 100\% = 6\%$$

Mivel a transzformátor névleges értékeit választottuk alapoknak!

## 2. feladat

Az alábbi táblázat szerint adottak egy NAF/KÖF transzformátor névleges paraméterei. Határozzuk meg a transzformátor helyettesítőképében szereplő elemek értékeit, viszonylagos egységben!

|                        |               |           |                       |          |        |
|------------------------|---------------|-----------|-----------------------|----------|--------|
| Névleges feszültség    | $U_n$         | 120/11 kV | Üresjárási áram       | $i_m$    | 0,5%   |
| Névleges teljesítmény  | $S_n$         | 40 MVA    | Üresjárási veszteség  | $P_{üj}$ | 38 kW  |
| Rövidzárási feszültség | $\varepsilon$ | 11%       | Rövidzárási veszteség | $P_{rz}$ | 185 kW |

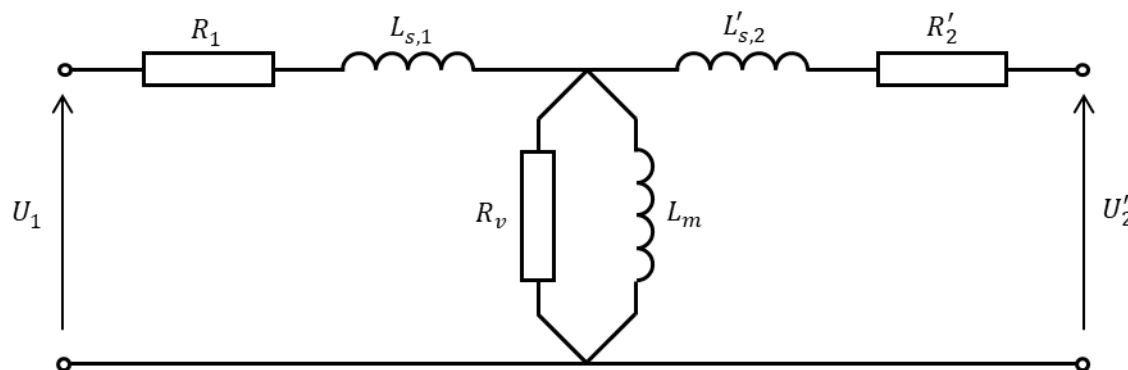
- 1) Rajzoljuk fel a teljes transzformátor modellt, és a viszonylagos egységek számításához válasszuk meg az alapokat!
- 2) Számítsuk ki a soros ellenállást a rövidzárási veszteségből!
- 3) Számítsuk ki a soros reaktanciát a drop felhasználásával!
- 4) Számítsuk ki a sönt ellenállást az üresjárási veszteségből!
- 5) Számítsuk ki a sönt ág reaktanciáját az üresjárási áramból!



# Modell és alapok

- 1) Rajzoljuk fel a teljes transzformátor modellt, és a viszonylagos egységek számításához válasszuk meg az alapokat!

|   | NAF          | KÖF        |
|---|--------------|------------|
| U | 120 kV       | 11 kV      |
| S | 40 MVA       |            |
| I | 192,5 A      | 2100 A     |
| Z | 360 $\Omega$ | 3 $\Omega$ |



A választott alapok:

$$U_{alap} = U_n = 120 \text{ kV}, \quad 11 \text{ kV}$$

$$S_{alap} = S_n = 40 \text{ MVA}$$

$$I_{alap} = \frac{S_{alap}}{\sqrt{3}U_{alap}} =$$

$$= \frac{40 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 120 \text{ kV}} = 192,5 \text{ A}, \quad 2100 \text{ A}$$

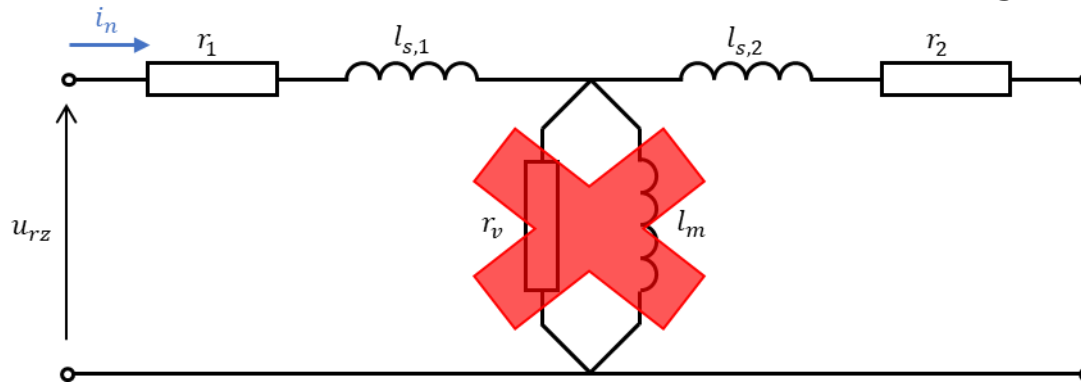
$$Z_{alap} = \frac{U_{alap}^2}{S_{alap}} =$$

$$= \frac{(120 \text{ kV})^2}{40 \text{ MVA}} = 360 \Omega, \quad 3 \Omega$$



# Soros ellenállás

2) Számítsuk ki a soros ellenállást a rövidzárási veszteségből!



Viszonylagos egységben:

$$p_{rz} = (r_1 + r_2)i_n^2 = ri_n^2$$

$$r = \frac{p_{rz}}{i_n^2} = \frac{\frac{P_{rz}}{S_{alap}}}{\left(\frac{I_n}{I_{alap}}\right)^2} = \frac{185 \text{ kW}}{40 \text{ MVA}} = 0,0046$$

$$P_{rz} = \varepsilon_r S_n \rightarrow p_{rz} = \varepsilon_r = 0,0046$$

Ellenállás dimenzionálisan a primer oldalra:

$$P_{rz} = 3(R_1 + R'_2)I_{n1}^2$$

$$R_1 + R'_2 = \frac{P_{rz}}{3I_n^2} = \frac{185 \text{ kW}}{3 \cdot (192,5 \text{ A})^2} = 1,665 \Omega$$

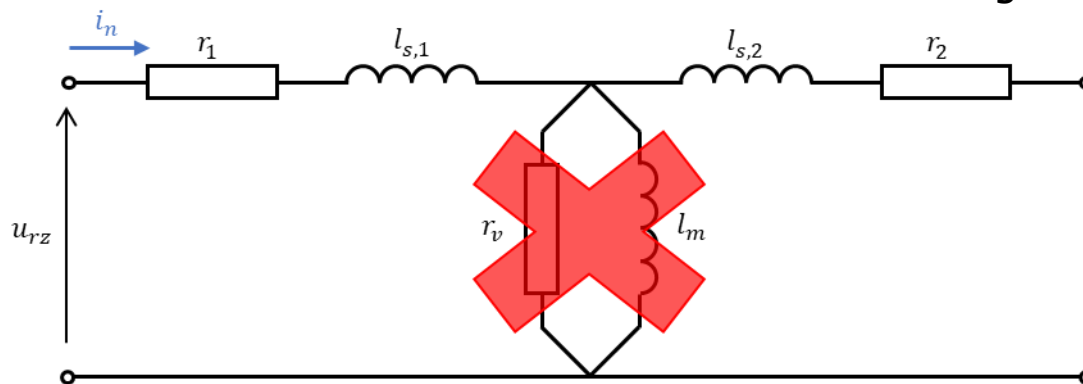
$$r = \frac{R_1 + R'_2}{Z_{alap}} = \frac{1,665 \Omega}{360 \Omega} = 0,0046$$

|   | NAF     | KÖF    |
|---|---------|--------|
| U | 120 kV  | 11 kV  |
| S | 40 MVA  |        |
| I | 192,5 A | 2100 A |
| Z | 360 Ω   | 3 Ω    |



# Soros ellenállás

2) Számítsuk ki a soros ellenállást a rövidzárási veszteségből!



Viszonylagos egységben:

$$p_{rz} = (r_1 + r_2) i_n^2 = r i_n^2$$

$$r = \frac{p_{rz}}{i_n^2} = \frac{\frac{P_{rz}}{S_{alap}}}{\left(\frac{I_n}{I_{alap}}\right)^2} = \frac{\frac{185 \text{ kW}}{40 \text{ MVA}}}{1^2} = 0,0046$$

$$P_{rz} = \varepsilon_r S_n \rightarrow p_{rz} = \varepsilon_r = 0,0046$$

Vagy  $\varepsilon_r$  felhasználásával:

$$\varepsilon_r = \frac{P_{rz}}{S_n} = 0,0046 = 0,46\%$$

$$R = \frac{\varepsilon_r}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{0,46}{100} \cdot \frac{(120 \text{ kV})^2}{40 \text{ MVA}} = 1,665 \Omega$$

|   | NAF          | KÖF        |
|---|--------------|------------|
| U | 120 kV       | 11 kV      |
| S | 40 MVA       |            |
| I | 192,5 A      | 2100 A     |
| Z | 360 $\Omega$ | 3 $\Omega$ |



# Soros reaktancia

3) Számítsuk ki a soros reaktanciát a drop felhasználásával!

|   | NAF          | KÖF        |
|---|--------------|------------|
| U | 120 kV       | 11 kV      |
| S | 40 MVA       |            |
| I | 192,5 A      | 2100 A     |
| Z | 360 $\Omega$ | 3 $\Omega$ |

$$x = x_1 + x_2 = \frac{\omega L_{s,1}}{Z_{alap}^N} + \frac{\omega L_{s,2}}{Z_{alap}^K}$$

Transzformátor névleges teljesítmény- és feszültségalap mellett:

$$Z = \varepsilon$$

$$\varepsilon = \varepsilon_r + j\varepsilon_x \rightarrow |\varepsilon| = \sqrt{\varepsilon_r^2 + \varepsilon_x^2}$$

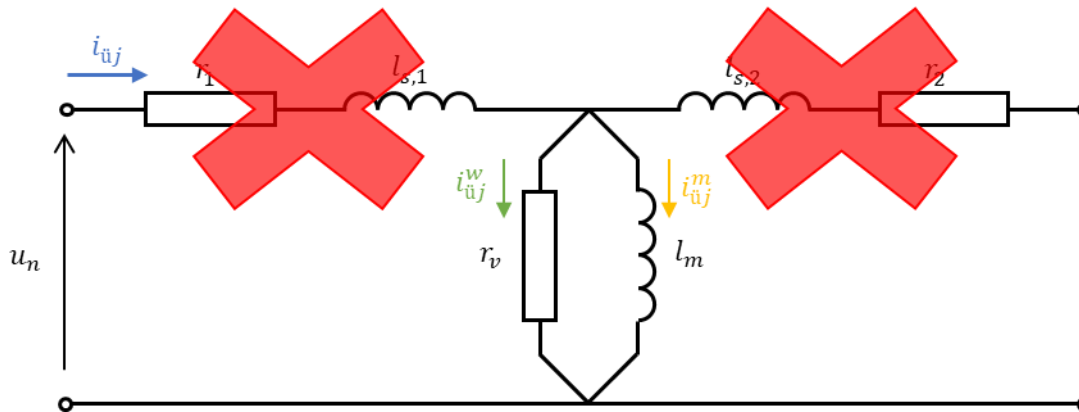
$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \sqrt{|\varepsilon|^2 - \varepsilon_r^2} \\ &= \sqrt{0,11^2 - 0,0046^2} \cong 0,1099 (\approx 0,11) \end{aligned}$$



# Sönt ellenállás

4) Számítsuk ki a sönt ellenállást az üresjárási veszteségből!

|   | NAF     | KÖF    |
|---|---------|--------|
| U | 120 kV  | 11 kV  |
| S | 40 MVA  |        |
| I | 192,5 A | 2100 A |
| Z | 360 Ω   | 3 Ω    |



$$\begin{aligned}
 p_{\text{üj}} &= \frac{u_n^2}{r_v} \\
 r_v &= \frac{u_n^2}{p_{\text{üj}}} = \frac{U_n^2}{\frac{P_{\text{üj}}}{S_{\text{alap}}}} = \\
 &= \frac{1^2}{\frac{38 \text{ kW}}{40 \text{ MVA}}} = \frac{40 \text{ MVA}}{38 \text{ kW}} = 1052,63
 \end{aligned}$$

# Mágnesező áram

- 5) Számítsuk ki a sönt ág reaktanciáját az üresjárási áramból!  
(A vasveszteséget a számítás során elhanyagolhatjuk.)

$$|i_m| = 0,5\% \cdot i_n = 0,005$$

Ebből a sönt ág reaktanciája:

$$x_m = \frac{u_n}{i_m} = \frac{1}{0,005} = 200$$

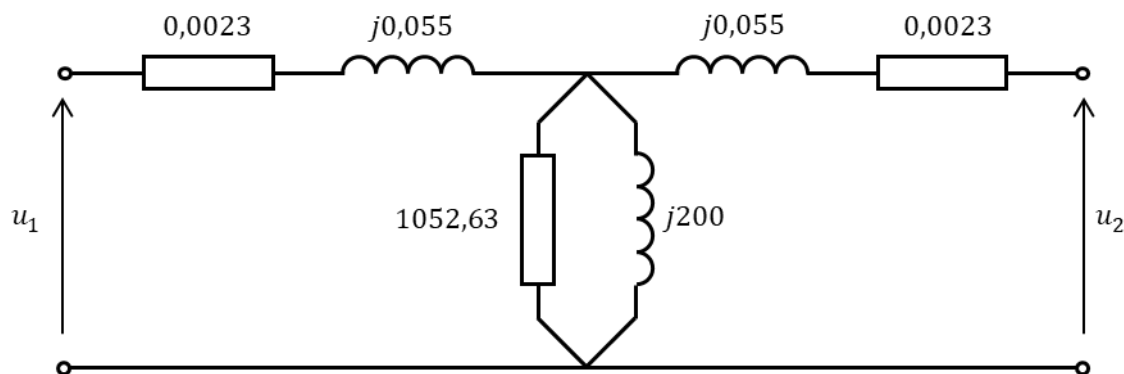
**IMSC:** Számítsa ki a sönt ág reaktanciáját az üresjárási áramból, ha figyelembeveszi a vasveszteséget modellező söntellenállást is!





# Teljes modell

Összegzés:



# Transzformátor veszteségek

---

Réz és vasveszteség számítása egy terhelési állapotban  
Veszteséggel egyenértékű áram  
Veszteség hőmérsékletfüggése

## 3. feladat

Számítsuk ki egy 20/0,4kV-os, 160kVA-es, 60%-os terhelésű transzformátor réz és vasveszteségét! A transzformátor névleges üresjárási veszteség 300 W, névleges rövidzárási vesztesége 2000 W.

- 1) Számítsuk ki a vasveszteség értékét!
- 2) Számítsuk ki a tekercsveszteség értékét!





# Veszteségszámítás

1) Számítsuk ki a vasveszteség értékét!

$$P_{\text{vas}} = P_{\text{üj}} \left( \frac{U}{U_n} \right)^2$$

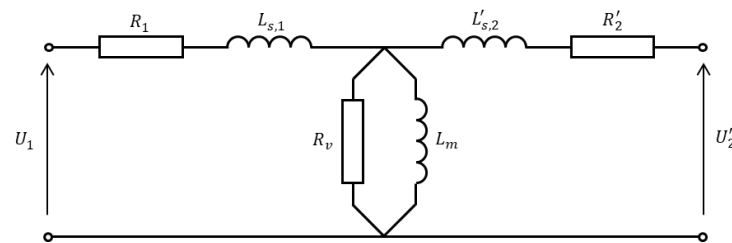
A feszültség normál üzemben megközelítően a névleges érték:

$$P_{\text{vas}} \cong P_{\text{üj}} = 300 \text{ W}$$

2) Számítsuk ki a rézveszteség értékét!

$$P_{\text{réz}} = P_{\text{rz}} \left( \frac{I}{I_n} \right)^2$$

$$P_{\text{réz}} = P_{\text{rz}} \left( \frac{0,6 I_n}{I_n} \right)^2 = 2000 \text{ W} \cdot 0,6^2 = 720 \text{ W}$$

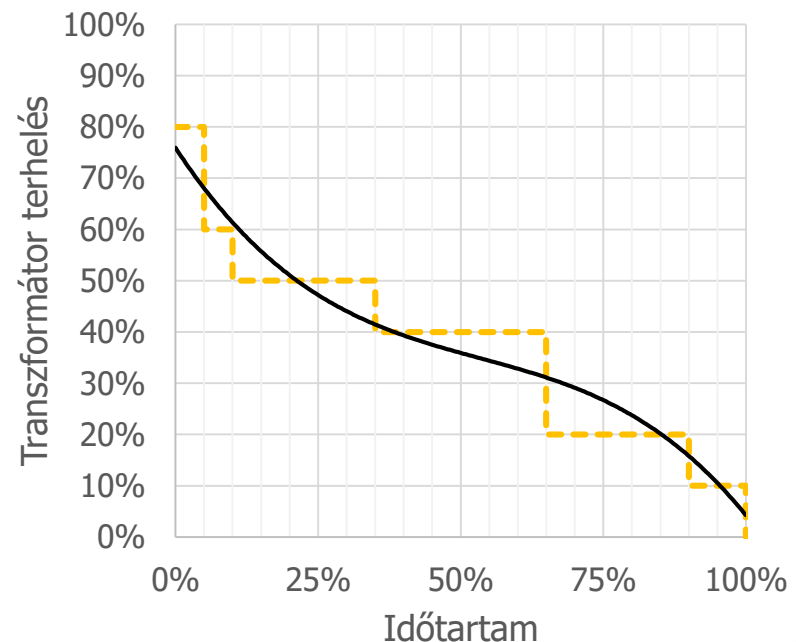


## 4. feladat

Számítsuk ki ugyanennek a transzformátornak az éves veszteségét! Ehhez értelmezzük a transzformátor terhelésének tartamdiagramját! A számításhoz a lépcsős közelítést alkalmazhatunk.

- 1) Olvassa le az áramértékeket!
- 2) Határozzon meg egy veszteséggel egyenértékű áramot!
- 3) Számítsa ki az éves energiaveszteséget!
- 4) Vonatkoztassa a teljes átvitt energiamennyiségre!

Terhelés tartamdiagram



# Veszteséggel egyenértékű áram

1) Olvassa le az áramértékeket!

| Arány    | 5%  | 5%  | 25% | 30% | 25% | 10% |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Terhelés | 80% | 60% | 50% | 40% | 20% | 10% |

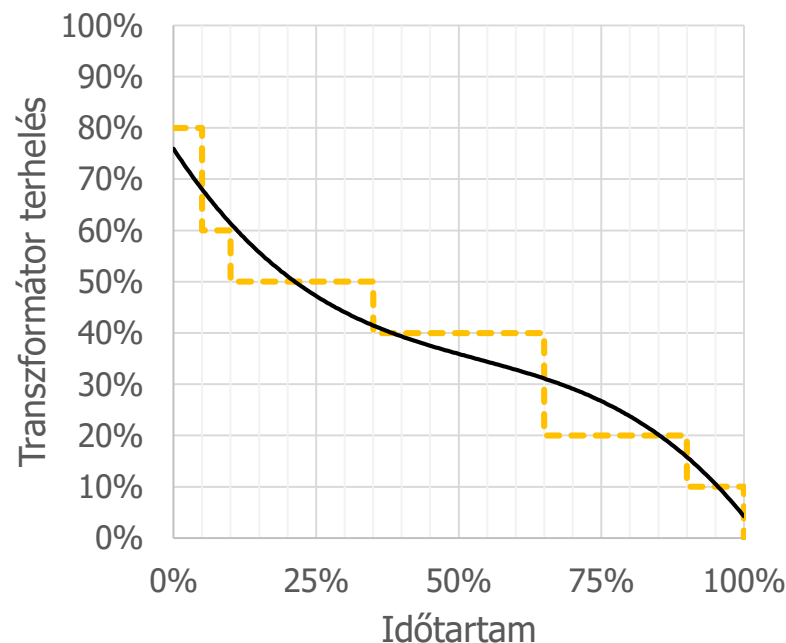
Terhelés tartamdiagram

2) Határozza meg a veszteséggel egyenértékű áramot!

$$i_{eq}^2 = \frac{(\Delta t_1 i_1^2 + \Delta t_2 i_2^2 + \dots + \Delta t_n i_n^2)}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n}$$

$$i_{eq}^2 = \frac{(0,05 \cdot 0,8^2 + 0,05 \cdot 0,6^2 + \dots + 0,1 \cdot 0,1^2)}{1}$$

$$i_{eq}^2 = 0,1715 \rightarrow i_{eq} = 0,4141$$





# Éves energiaveszteség

## 3) Számítsa ki az éves energiaveszteséget!

A vasveszteséget a névleges értékkel közelítjük:

$$P_{\text{vas}} \cong P_{\text{új}} = 300 \text{ W}$$

A rézveszteséget az egyenértékű veszteségi áramból számítjuk:

$$P_{\text{réz}} = P_{\text{rz}} \left( \frac{I}{I_n} \right)^2$$

$$= P_{\text{rz}} i_{eq}^2 = 2000 \text{ W} \cdot 0,4141^2 = 2000 \text{ W} \cdot 0,1715 = 343 \text{ W}$$

Éves veszteség:

$$\begin{aligned} E &= (P_{\text{réz}} + P_{\text{vas}}) \Delta T = \\ &= (343 \text{ W} + 300 \text{ W}) \cdot 8760 \text{ h} \cong 5,6 \text{ MWh} \end{aligned}$$



# Százalékos veszteség

## 4) Vonatkoztassa a teljes átvitt energiamennyiségre!

Az átlagos terhelés:

$$i_{avg} = \frac{(\Delta t_1 i_1 + \Delta t_2 i_2 + \dots + \Delta t_n i_n)}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n}$$

| Arány    | 5%  | 5%  | 25% | 30% | 25% | 10% |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Terhelés | 80% | 60% | 50% | 40% | 20% | 10% |

$$i_{avg} = \frac{(0,05 \cdot 0,8 + 0,05 \cdot 0,6 + \dots + 0,1 \cdot 0,1)}{1} = 0,3750$$

Átmenő átlagos teljesítmény:

$$s = u_n i_{avg} =$$

$$s = 1 \cdot 0,3750 = 0,3750$$

$$S = s \cdot S_{alap} = 0,3750 \cdot 160 \text{ kVA} = 60 \text{ kVA}$$

A veszteség aránya:

$$\frac{E_{veszt}}{E_{total}} = \frac{P_{veszt} \Delta T}{P_{total} \Delta T} = \frac{643 \text{ W}}{60 \text{ kVA}} = 1,07\%$$





## 5. feladat

Határozzuk meg, hogy mekkora transzformátor tekercsének hőmérséklete a következő, szélsőséges esetekben!

- 1) Minimális, hajnali terhelés (üresjárás) esetén télen ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) és nyáron ( $25^{\circ}\text{C}$ )!
- 2) Maximális, 90%-os terhelés esetén télen ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) és nyáron ( $40^{\circ}\text{C}$ )!
- 3) Korrigálja a  $65^{\circ}\text{C}$ -ra adott rézveszteség értékeket a fenti esetekre!

A tekercsellenállás hőmérsékleti  $\alpha$  együtthatója  $0,004\ 1/^{\circ}\text{C}$ .

# Tekercshőmérséklet, minimális terhelés

- 1) Minimális, hajnali terhelés (üresjárás) esetén télen ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) és nyáron ( $25^{\circ}\text{C}$ )!

$$T_{\min, \text{tél}} = -20^{\circ}\text{C}, \quad T_{\min, \text{nyár}} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = \frac{\left(\frac{I_{\text{akt}}}{I_{\text{ref}}}\right)^2 - 1}{\frac{1}{\Delta T_{\text{ref}}} - \alpha \left(\frac{I_{\text{akt}}}{I_{\text{ref}}}\right)^2} \rightarrow \Delta T = \frac{\left(\frac{0}{I_{\text{ref}}}\right)^2 - 1}{\frac{1}{\Delta T_{\text{ref}}} - \alpha \left(\frac{0}{I_{\text{ref}}}\right)^2} \rightarrow \Delta T = \frac{-1}{\frac{1}{\Delta T_{\text{ref}}}} \rightarrow \Delta T = -\Delta T_{\text{ref}}$$

Ebből már a belső hőmérséklet is meghatározható:

$$T_{\text{tekercs}} = \Delta t + \Delta T_{\text{ref}} + T_{\text{körny}} \rightarrow T_{\text{tekercs}} = -\Delta T_{\text{ref}} + \Delta T_{\text{ref}} + T_{\text{körny}}$$

$$T_{\text{tekercs}} = T_{\text{körny}}$$



# Tekercshőmérséklet, maximális terhelés

2) Maximális, 90%-os terhelés esetén télen (-20°C) és nyáron (40°C)!

$$\Delta T = \frac{\left(\frac{I_{akt}}{I_{ref}}\right)^2 - 1}{\frac{1}{\Delta T_{ref}} - \alpha \left(\frac{I_{akt}}{I_{ref}}\right)^2} \Rightarrow \Delta T = \frac{\left(\frac{0,9I_{ref}}{I_{ref}}\right)^2 - 1}{\frac{1}{45} - 0,004 \left(\frac{0,9I_{ref}}{I_{ref}}\right)^2} \Rightarrow \Delta T = \frac{-0,19}{0,019} \Rightarrow \Delta T \cong -10$$

Ebből már a belső hőmérséklet is meghatározható:

$$T_{tekercs} = \Delta T + \Delta T_{ref} + T_{körny} \Rightarrow T_{\max, \text{tél}} = -10 + 45 - 20 = 15 \text{ °C}$$

$$T_{\max, \text{nyár}} = -10 + 45 + 40 = 85 \text{ °C}$$

# Rézveszteség hőmérsékletfüggése

3) Korrigálja a 65°C-ra adott rézveszteség értékeket a fenti esetekre!

$$P_{\text{réz}} \sim R_{\text{tekercs}}$$

$$R_{\text{tekercs}} = R_{\text{ref}} \left( 1 + \alpha (T_{\text{akt}} - T_{\text{ref}}) \right)$$

$$\frac{R_{\text{tekercs}}}{R_{\text{ref}}} = 1 + \alpha (T_{\text{akt}} - T_{\text{ref}})$$

Nyári minimum terhelésre például:

$$1 + 0,004 \cdot (25^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}) = 1 - 0,16 = 0,84 \rightarrow 84\%$$

|                            | Tél min | Nyár min | Tél max | Nyár max |
|----------------------------|---------|----------|---------|----------|
| <b>T<sub>tekercs</sub></b> | -20 °C  | 25 °C    | 15 °C   | 85 °C    |
| <b>P<sub>veszt</sub></b>   | 66%     | 84%      | 80%     | 108%     |



# Csillagpontkezelés

---

Csillagponti feszültség és áram

Transzformátor átvitele 120/11

Transzformátor átvitele 120/20

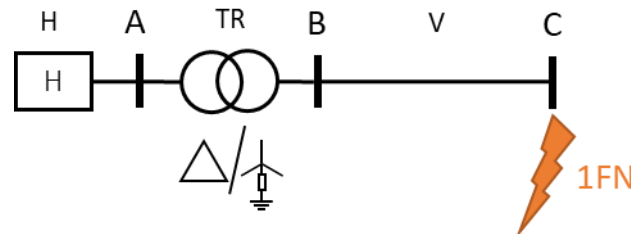
Transzformátor átvitele 11/0,4



## 6. feladat

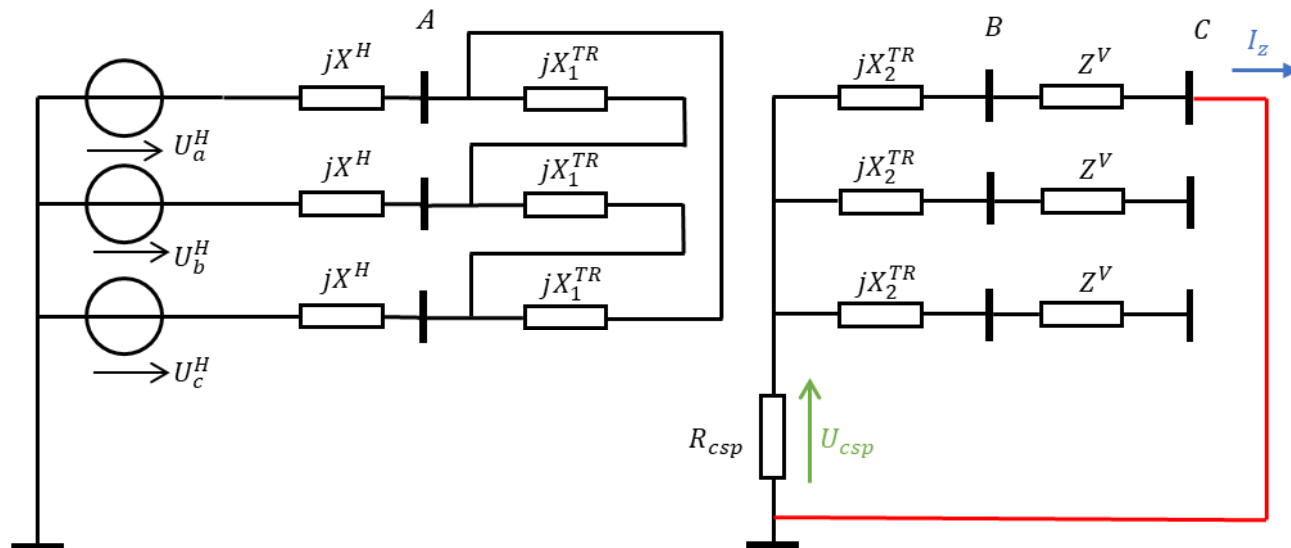
Tegyük fel, hogy az alábbi hálózaton a „C” sínen egy 1FN zárlat következik be, és a zárlati áram erőssége 240 A. Határozzuk meg a transzformátor csillagpont feszültségének értékét, ha a csillagpontba iktatott ellenálláson átfolyó áram értékét, ha az ellenállás  $25\ \Omega$ !

- 1) Rajzoljuk fel a fázismodellt!
- 2) Adjuk meg a csillagponti ellenálláson átfolyó áram értékét!
- 3) Adjuk meg a csillagponti feszültség értékét!
- 4) Rajzoljuk fel a sorrendi helyettesítő képet, s így számoljuk ki a csillagponti feszültséget!



# Fázismodellen

1) Rajzoljuk fel a fázismodellt!



2) Adjuk meg a csillagponti ellenálláson átfolyó áram értékét!

$$I_{csp} = I_z = 240 \text{ A}$$

3) Adjuk meg a csillagponti feszültség értékét!

$$U_{csp} = R_{csp} I_z = 25 \, \Omega \cdot 240 \text{ A} = 6000 \text{ V}$$

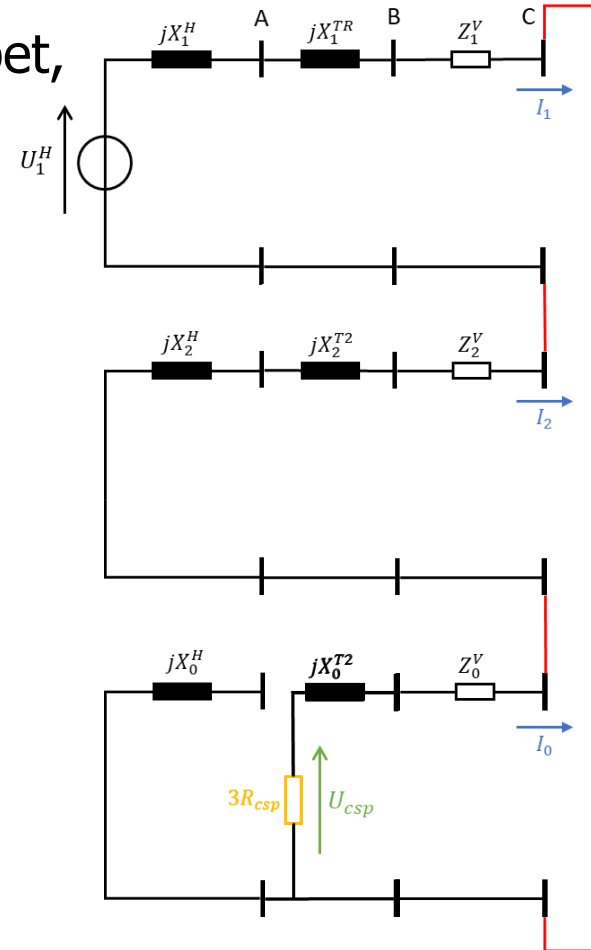
# Sorrendi modellen

- 4) Rajzoljuk fel a sorrendi helyettesítő képet, s így számoljuk ki a csillagponti feszültséget!

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 240 \text{ A} \\ 0 \text{ A} \\ 0 \text{ A} \end{bmatrix}$$

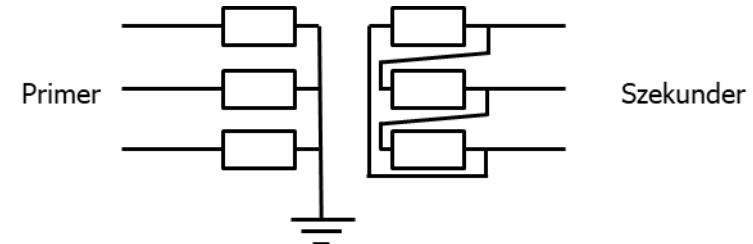
$$I_0 = I_1 = I_2 = 80 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} U_{csp} &= U_0 = 3R_{csp} \cdot I_0 \\ &= 3 \cdot 25\Omega \cdot 80\text{A} = 6000 \text{ V} \end{aligned}$$





# 7. feladat



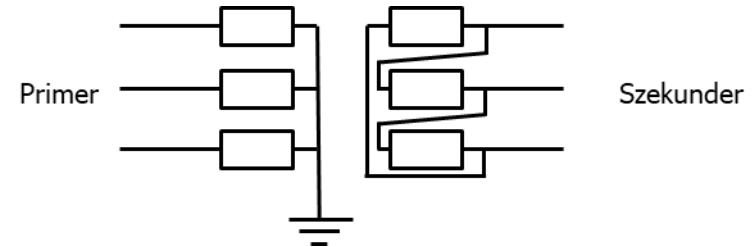
Számítsuk ki egy 120 kV / 11 kV Ygd11 kapcsolási csoportú transzformátor középfeszültségű oldalán a fázisfeszültségeket viszonylagos egységben, amennyiben a 120 kV oldalon a sorrendi összetevők:

- a) Csak  $u_1^N = 1$  pozitív sorrendű feszültség van,
- b) Emellett  $u_0^N = 0,1$  zérus sorrendű feszültség is van,
- c) Mindemellett  $u_2^N = 0,05$  negatív sorrendű mennyiség is van,
- d) Számítsa ki az eredmények  $u_2^N = -0,05$  esetre is!

Mindegyik esetre:

- 1) Határozzuk meg a delta oldali sorrendi összetevőket!
- 2) Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

# Csak pozitív sorrend



a) Csak  $u_1^N = 1$  pozitív sorrendű feszültség van

1) Határozzuk meg a delta oldali sorrendi összetevőket!

Pozitív sorrend:

$$u_1^K = u_1^N e^{-j(11 \cdot 30^\circ)} = e^{-j330^\circ}$$

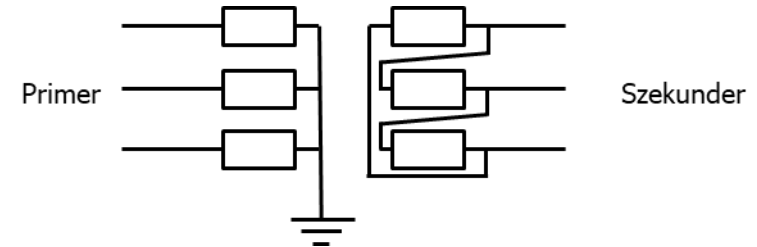
Negatív és zérus sorrend:

$$u_2^K = 0, \quad u_0^K = 0$$

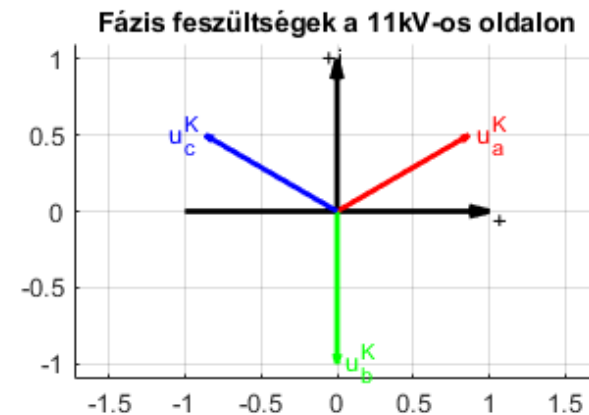
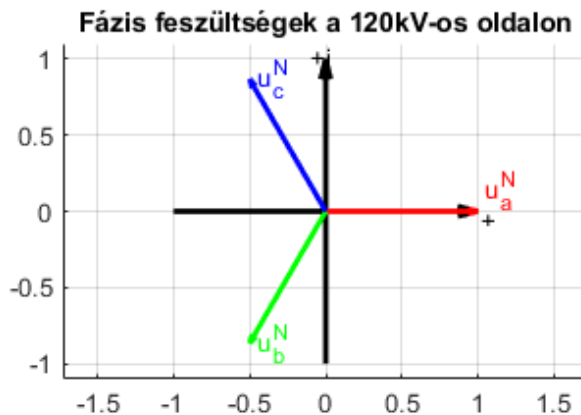
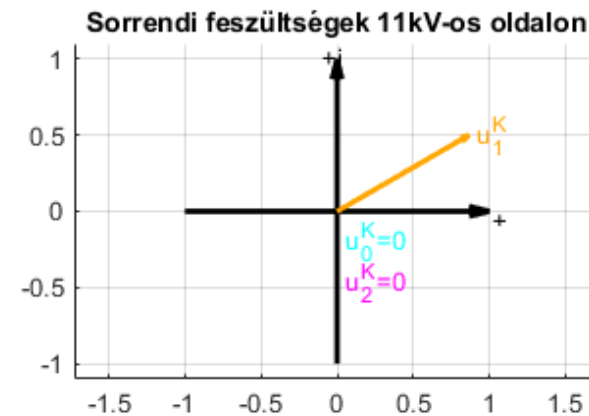
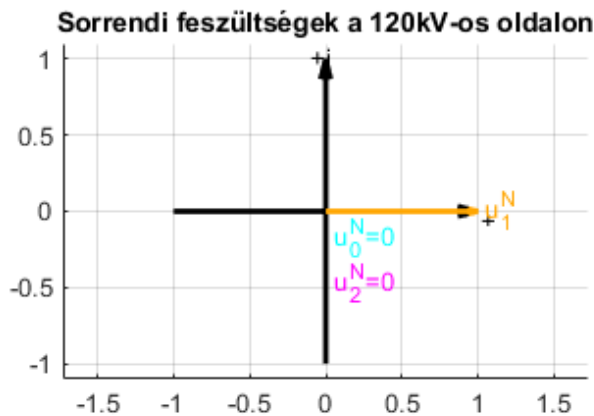
2) Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

$$\begin{bmatrix} u_a^K \\ u_b^K \\ u_c^K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ e^{-j330^\circ} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-j330^\circ} \\ e^{-j450^\circ} \\ e^{-j210^\circ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j30^\circ} \\ e^{-j90^\circ} \\ e^{j150^\circ} \end{bmatrix}$$

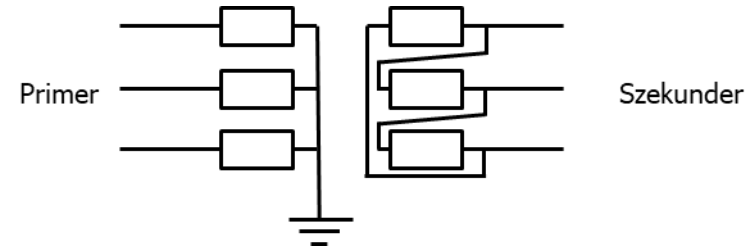
# Fázorábra



a) Csak  $u_1^N = 1$  pozitív sorrendű feszültség van



# Pozitív és zérus sorrend



b) Emellett  $u_0^N = 0,1$  zérus sorrendű feszültség is van.

1) Határozzuk meg a delta oldali sorrendi összetevőket!

Pozitív sorrend:

$$u_1^K = e^{-j330^\circ}$$

Negatív és zérus sorrend (delta tekecs!):

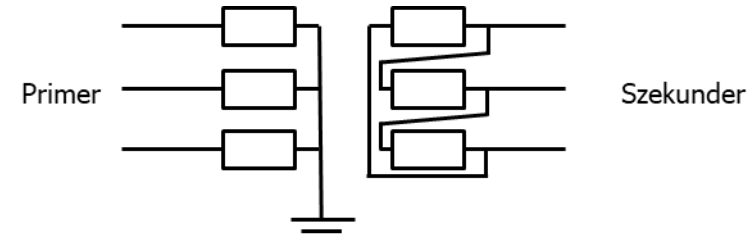
$$u_2^K = 0, \quad u_0^K = 0$$

2) Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

$$\begin{bmatrix} u_a^K \\ u_b^K \\ u_c^K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ e^{-j330^\circ} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-j330^\circ} \\ e^{-j450^\circ} \\ e^{-j210^\circ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j30^\circ} \\ e^{-j90^\circ} \\ e^{j150^\circ} \end{bmatrix}$$



# Pozitív és negatív sorrend



c) Mindemellett  $u_2^N = 0,05$  negatív sorrendű mennyiség is van.

1) Határozzuk meg a delta oldali sorrendi összetevőket!

Pozitív sorrend:

$$u_1^K = u_1^N e^{-j(11 \cdot 30^\circ)}$$

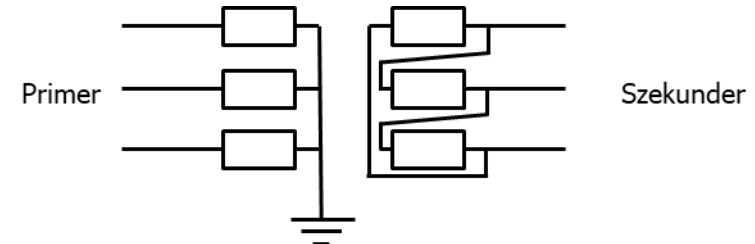
Negatív és zérus sorrend (delta tekercs!):

$$u_2^K = u_2^N e^{j(11 \cdot 30^\circ)} = 0,05 e^{j330^\circ}, \quad u_0^K = 0$$

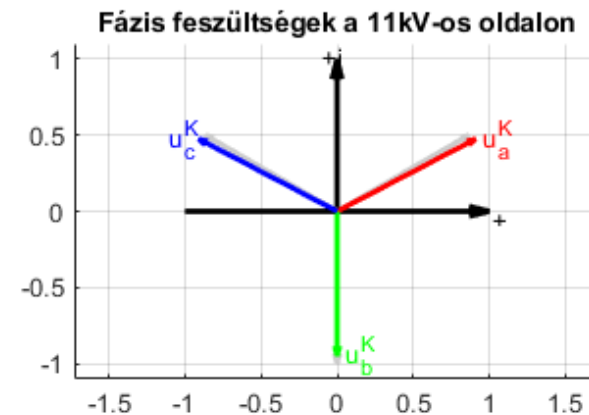
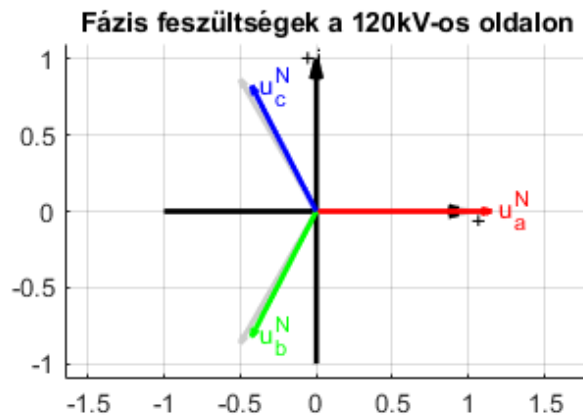
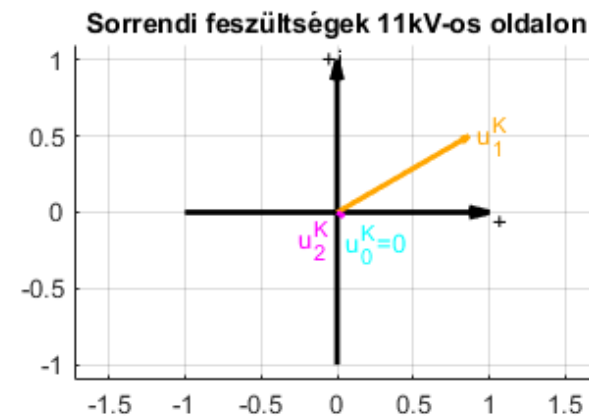
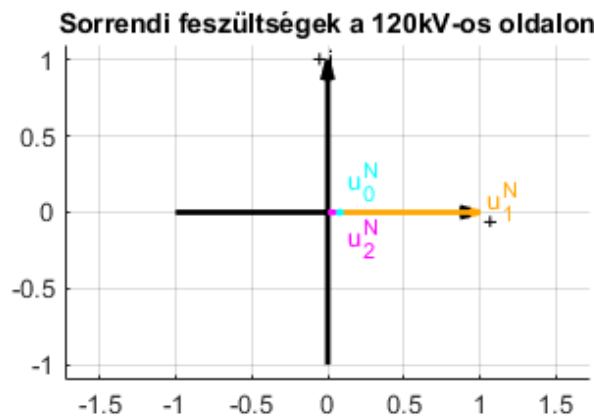
2) Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

$$\begin{bmatrix} u_a^K \\ u_b^K \\ u_c^K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ e^{-j330^\circ} \\ 0,05 e^{j330^\circ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,03 e^{j27,6^\circ} \\ 0,95 e^{-j90^\circ} \\ 1,03 e^{j152,4^\circ} \end{bmatrix}$$

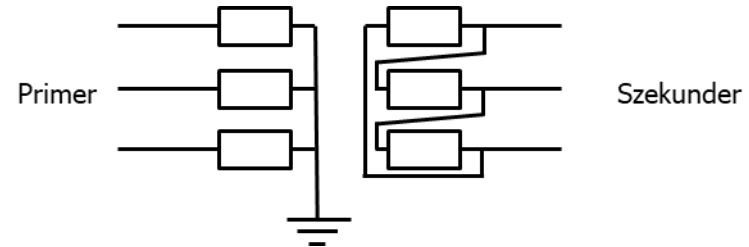
# Fázorábra



c) Mindemellett  $u_2^N = 0,05$  negatív sorrendű mennyiség is van.



# Pozitív és negatív sorrend



d) Számítsa ki az eredmények  $u_2^N = -0,05$  esetre is!

1) Határozzuk meg a delta oldali sorrendi összetevőket!

Pozitív sorrend:

$$u_1^K = u_1^N e^{-j(11 \cdot 30^\circ)}$$

Negatív és zérus sorrend (delta tekercs!):

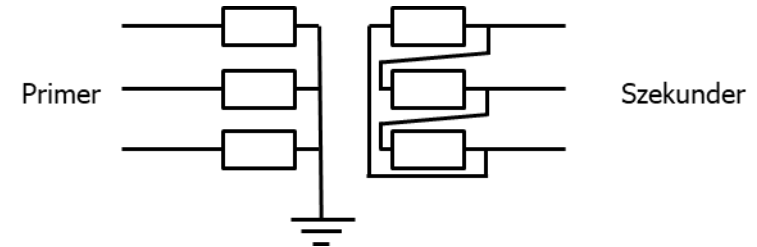
$$u_2^K = u_2^N e^{j(11 \cdot 30^\circ)} = -0,05 e^{j330^\circ}, \quad u_0^K = 0$$

2) Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

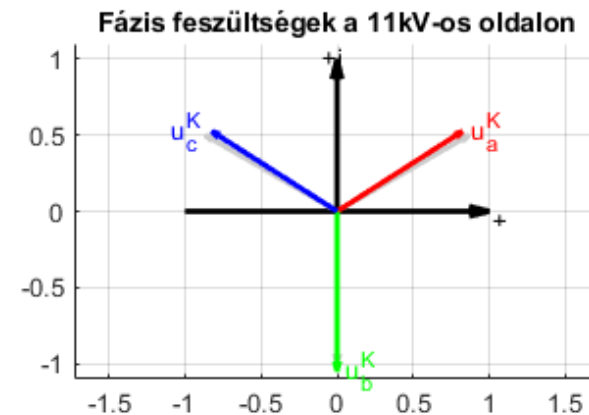
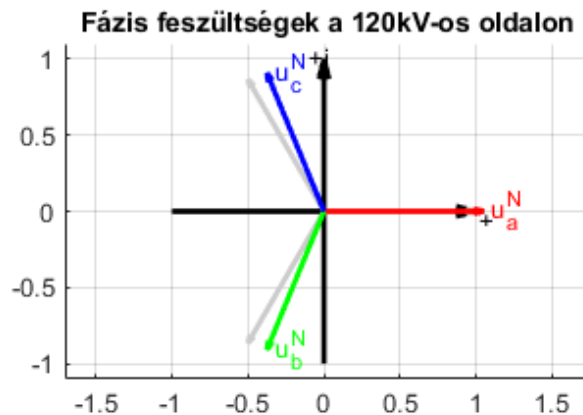
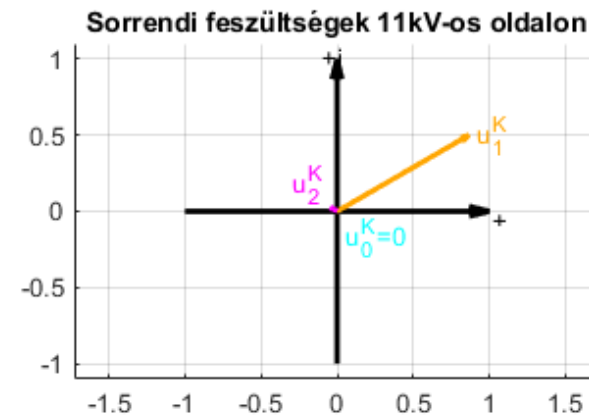
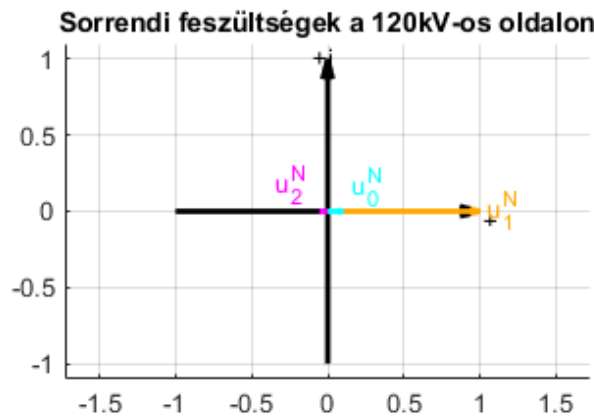
$$\begin{bmatrix} u_a^K \\ u_b^K \\ u_c^K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ e^{-j330^\circ} \\ -0,05 e^{j330^\circ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,98 e^{j32,6^\circ} \\ 1,05 e^{-j90^\circ} \\ 0,98 e^{j147,4^\circ} \end{bmatrix}$$



# Fázorábra

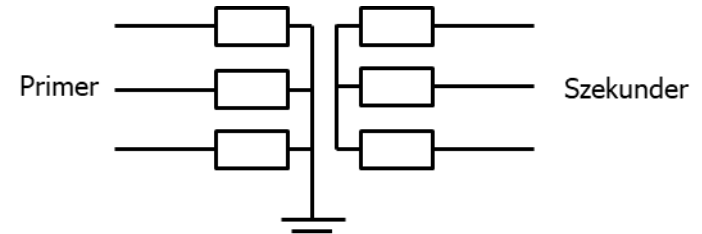


d) Számítsa ki az eredmények  $u_2^N = -0,05$  esetre is!





# 8. feladat



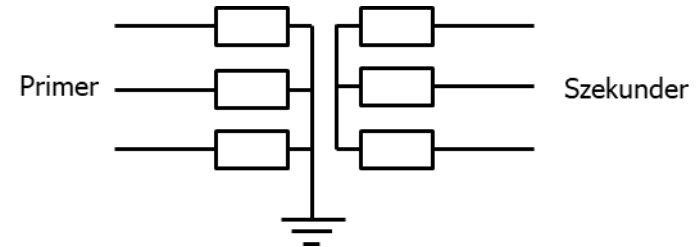
Számítsuk ki egy 120 kV / 20 kV Ygy6 kapcsolási csoportú transzformátor középfeszültségű oldalán a fázisfeszültségeket viszonylagos egységben, amennyiben a 120 kV oldalon a sorrendi összetevők:

- a) Csak  $u_1^N = 1$  pozitív sorrendű feszültség van,
- b) Emellett  $u_0^N = 0,1$  zérus sorrendű feszültség is van,
- c) Mindemellett  $u_2^N = 0,1e^{-j150^\circ}$  negatív sorrendű mennyiség is van,

Mindegyik esetre:

- 1) Határozzuk meg a szigetelt csillag oldali sorrendi összetevőket!
- 2) Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

# Pozitív és zérus sorrend



- a) Csak  $u_1^N = 1$  pozitív sorrendű feszültség van,
- b) Emellett  $u_0^N = 0,1$  zérus sorrendű feszültség is van.

- 1) Határozzuk meg a szigetelt csillag oldali sorrendi összetevőket!

Pozitív sorrend:

$$u_1^K = u_1^N e^{-j(6 \cdot 30^\circ)} = e^{-j180^\circ} = -1$$

Negatív és zérus sorrend (szigetelt csillag!):

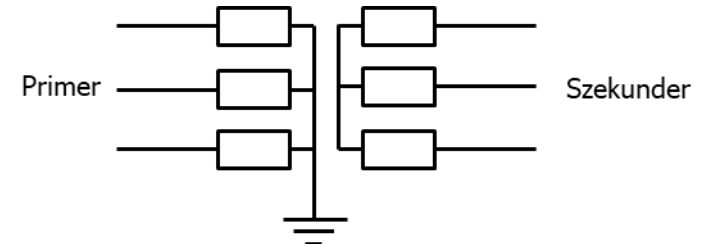
$$u_2^K = 0, \quad u_0^K = 0$$

- 2) Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

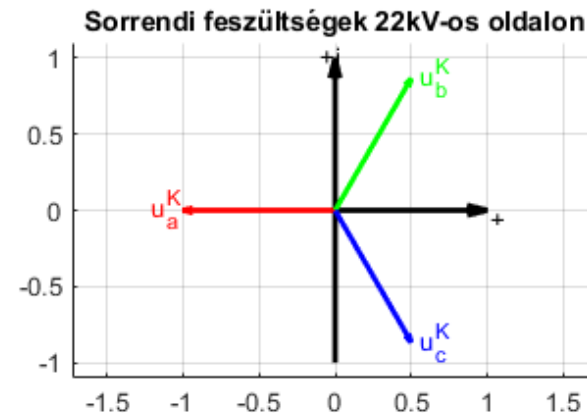
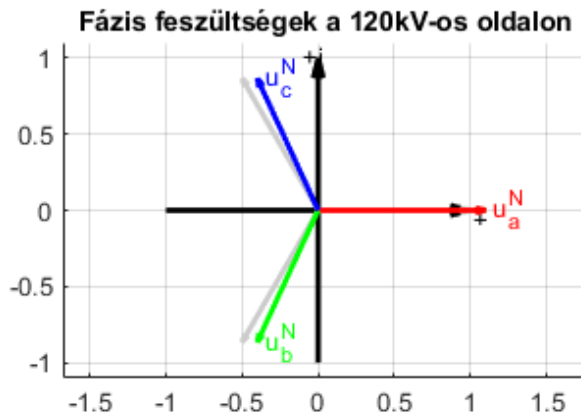
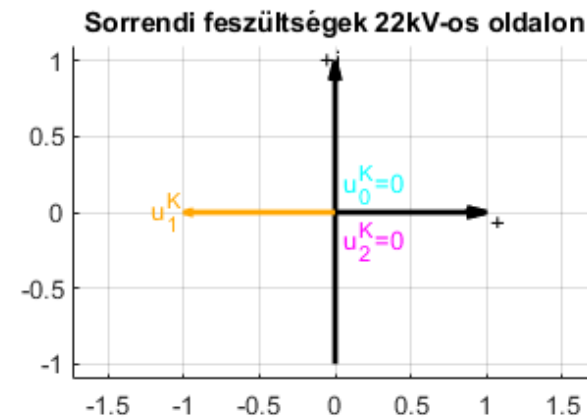
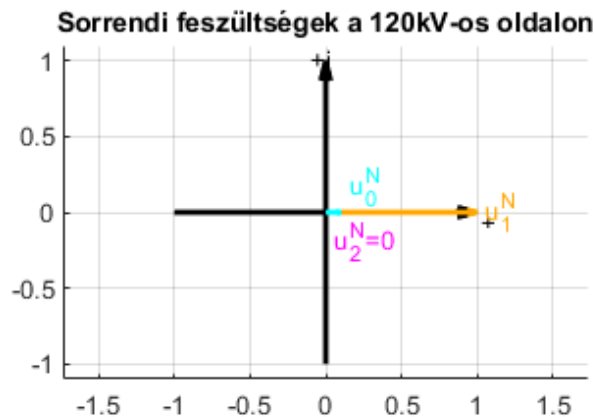
$$\begin{bmatrix} u_a^K \\ u_b^K \\ u_c^K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ -e^{-j120^\circ} \\ -e^{j120^\circ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ e^{-j60^\circ} \\ e^{j60^\circ} \end{bmatrix}$$



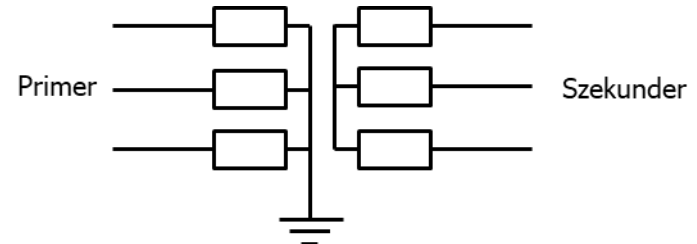
# Fázorábra



a) Csak  $u_1^N = 1$  pozitív (és  $u_0^N = 0,1$  zérus) sorrendű feszültség van.



# Pozitív és negatív sorrend



c) Mindemellett  $u_2^N = 0,1e^{-j150^\circ}$  negatív sorrendű mennyiség is van.

1) Határozzuk meg a szigetelt csillag oldali sorrendi összetevőket!

Pozitív sorrend:

$$u_1^K = u_1^N e^{-j(6 \cdot 30^\circ)} = e^{-j180^\circ} = -1$$

Negatív és zérus sorrend (szigetelt csillag!):

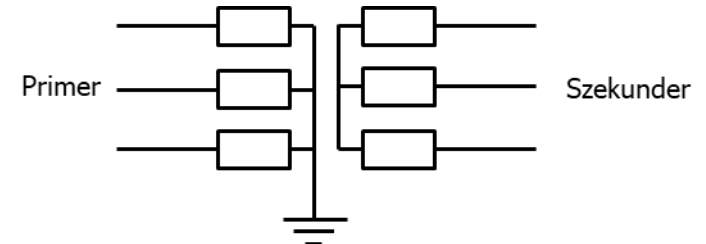
$$u_2^K = u_2^N e^{j(6 \cdot 30^\circ)} = 0,1e^{j30^\circ}, \quad u_0^K = 0$$

2) Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

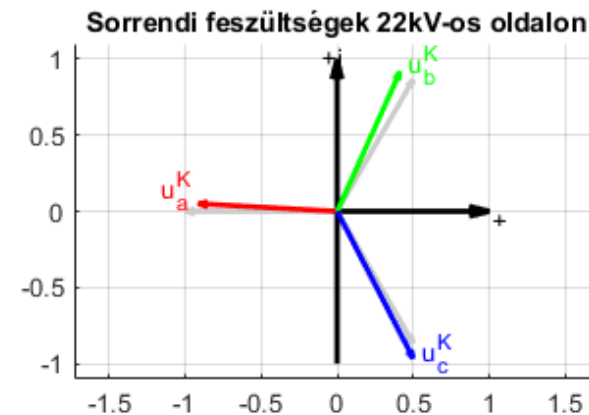
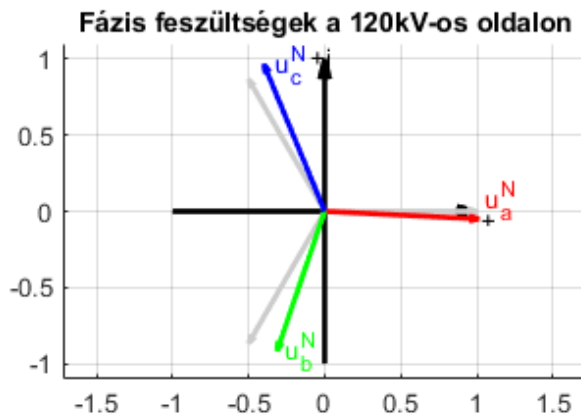
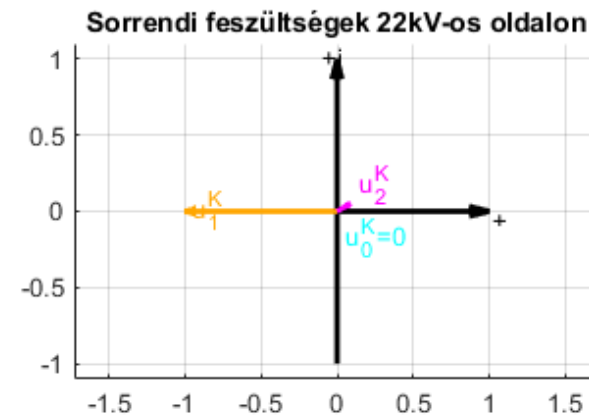
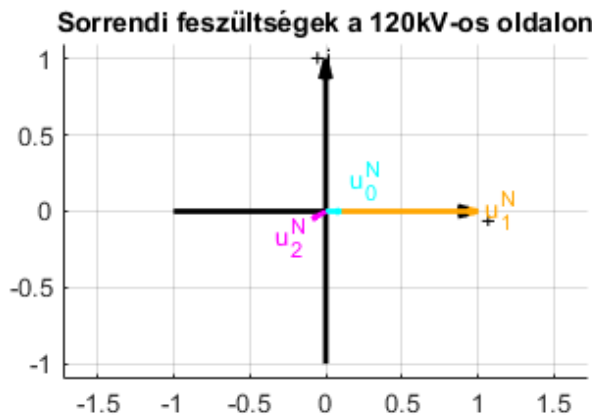
$$\begin{bmatrix} u_a^K \\ u_b^K \\ u_c^K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0,1e^{j30^\circ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,91e^{j176,9^\circ} \\ 1,01e^{+j65,7^\circ} \\ 1,09e^{-j62,6^\circ} \end{bmatrix}$$



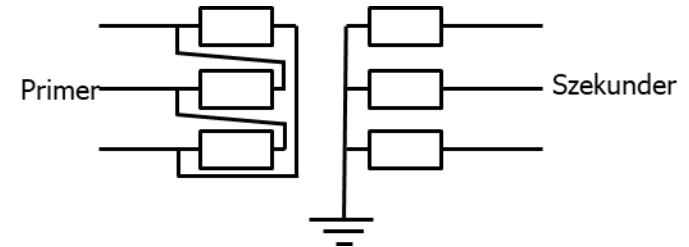
# Fázorábra



c) Mindemellett  $u_2^N = 0,1e^{-j150^\circ}$  negatív sorrendű mennyiség is van.



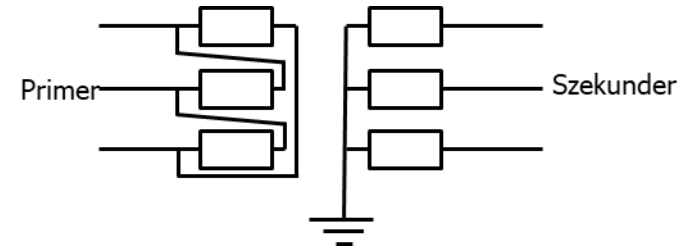
# 9. feladat



Számítsuk ki egy 11 kV / 0,4 kV Dyg5 kapcsolási csoportú transzformátor középfeszültségű oldalán a fázisáramok viszonylagos egységben, amennyiben a 0,4 kV oldalon a sorrendi összetevők  $i_1^K = 0,9e^{-j10^\circ}$ ,  $i_0^K = 0,3$ ,  $i_2^K = 0,2e^{j150^\circ}$ .

- 1) Határozzuk meg a delta oldali sorrendi összetevőket!
- 2) Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

# Pozitív és negatív sorrend



1) Határozzuk meg a delta oldali sorrendi összetevőket!

Pozitív sorrend:

$$i_1^N = i_1^K e^{j(5 \cdot 30^\circ)} = 0,9 e^{-j10^\circ} e^{j150^\circ} = 0,9 e^{j140^\circ}$$

Negatív és zérus sorrend (delta tekercs!):

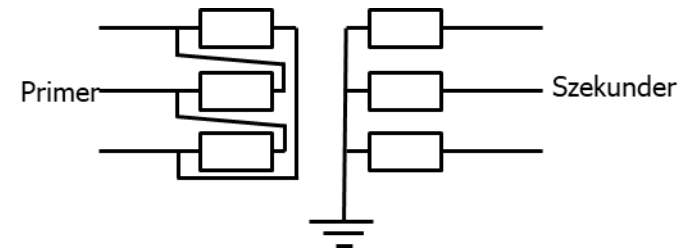
$$i_2^N = i_2^K e^{-j(5 \cdot 30^\circ)} = 0,2 e^{j150^\circ} e^{-j150^\circ} = 0,2$$

$$i_0^N = 0$$

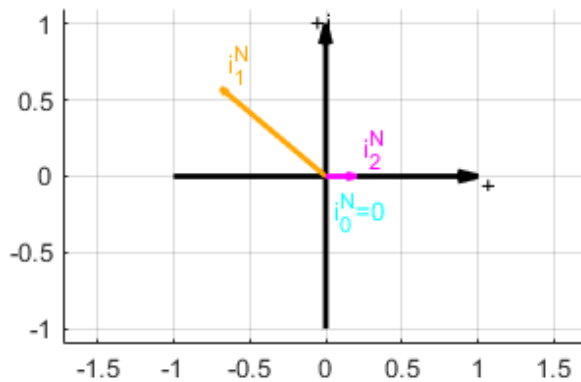
2) Számítsuk ki a fázismennyiségeket!

$$\begin{bmatrix} i_a^N \\ i_b^N \\ i_c^N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0,9 e^{j140^\circ} \\ 0,2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,76 e^{j130,2^\circ} \\ 0,89 e^{+j32,8^\circ} \\ 1,09 e^{-j103,6^\circ} \end{bmatrix}$$

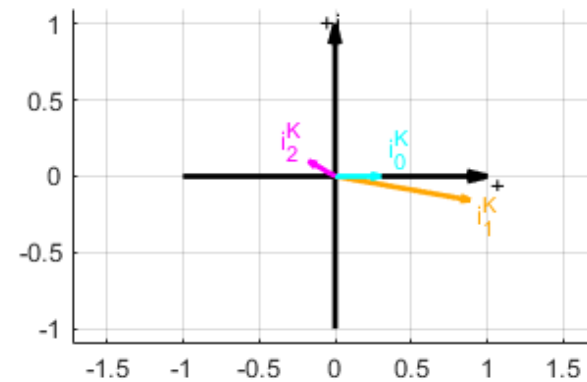
# Fázorábra



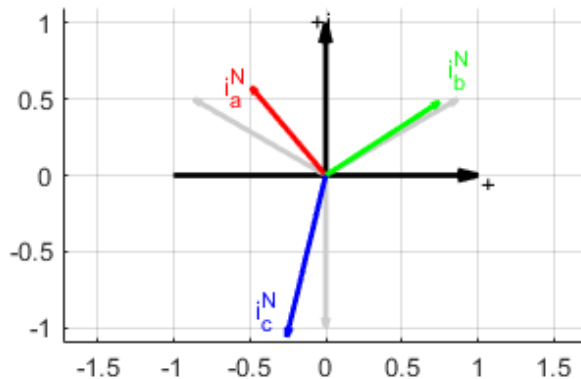
Sorrendi áramok a 10kV-os oldalon



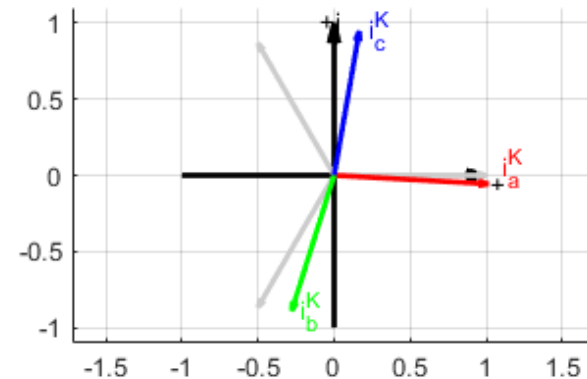
Sorrendi áramok 0.4kV-os oldalon



Fázis áramok a 10kV-os oldalon



Fázis áramok a 0.4kV-os oldalon





# Kompenzálás számítása

---

Tökéletes kompenzálás  
Túlkompenzálás

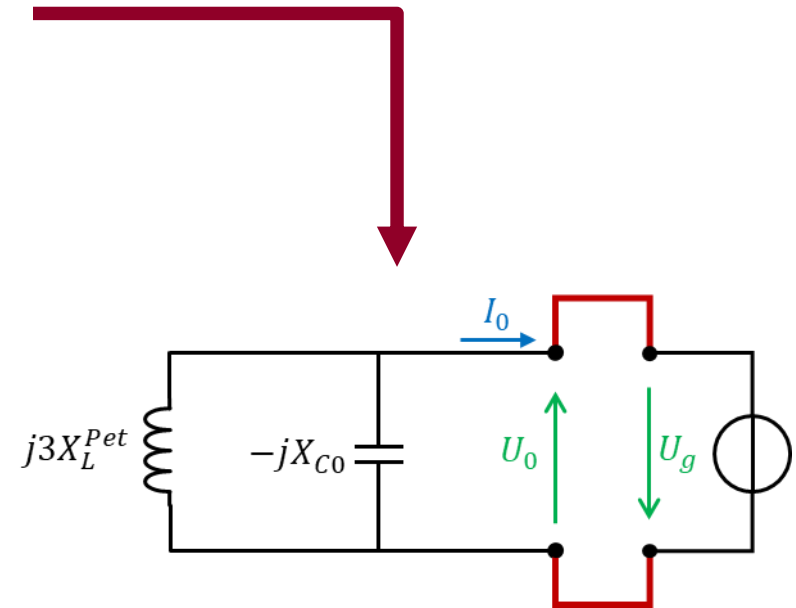
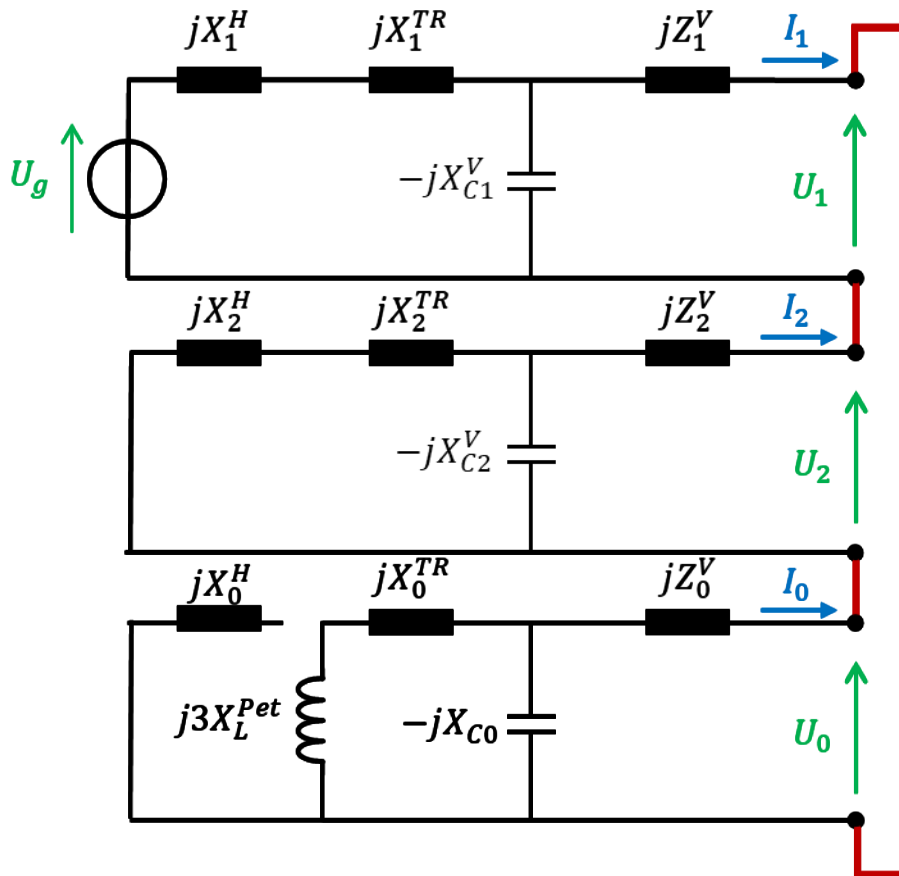
# 10. feladat

Egy 132/22 kV-os transzformátor középfeszültség oldaláról az alábbi szabadvezetétes leágazások indulnak, amelyekről következőket tudjuk:

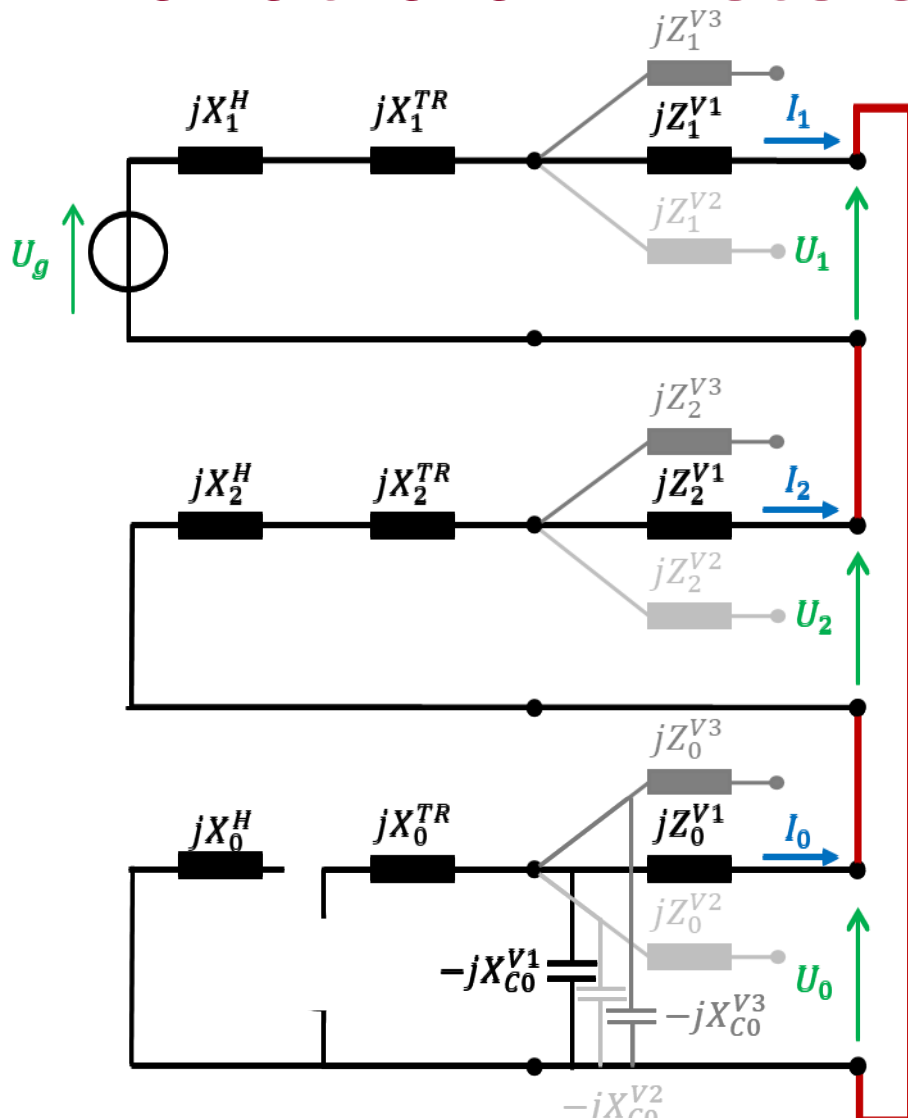
- 1. leágazás:  $l_1 = 40 \text{ km}$ ,  $c_0^{szv1} = 0,007 \frac{\mu\text{F}}{\text{km}}$
  - 2. leágazás:  $l_2 = 30 \text{ km}$ ,  $c_0^{szv2} = 0,008 \frac{\mu\text{F}}{\text{km}}$
  - 3. leágazás:  $l_3 = 50 \text{ km}$ ,  $c_0^{szv3} = 0,008 \frac{\mu\text{F}}{\text{km}}$
- 
- 1) Rajzoljuk fel a sorrendi helyettesítőképet a középfeszültségű hálózaton bekövetkező 1FN(a) zárlat esetére!
  - 2) Határozzuk meg a Petersen tekercs nélküli zárlati áramot!
  - 3) Határozzuk meg a Petersen tekercs induktivitását úgy, hogy tökéletes kompenzáltság legyen!

# Sorrendi helyettesítő kép

- 1) Rajzoljuk fel a sorrendi helyettesítőképet a középfeszültségű hálózaton bekövetkező 1FN(a) zárlat esetére!



# Zárlati áram Petersen tekercs nélkül



2) Határozzuk meg a Petersen tekercs nélküli zárlati áramot!

$$C_0^{V1} = c_0^{szv1} \cdot l_1 = 0,007 \frac{\mu F}{km} \cdot 40 km = 0,28 \mu F$$

$$C_0^{V2} = c_0^{szv2} \cdot l_2 = 0,008 \frac{\mu F}{km} \cdot 30 km = 0,24 \mu F$$

$$C_0^{V3} = c_0^{szv3} \cdot l_3 = 0,008 \frac{\mu F}{km} \cdot 50 km = 0,4 \mu F$$

$$C_0 = C_0^{V1} + C_0^{V2} + C_0^{V3} = 0,92 \mu F$$

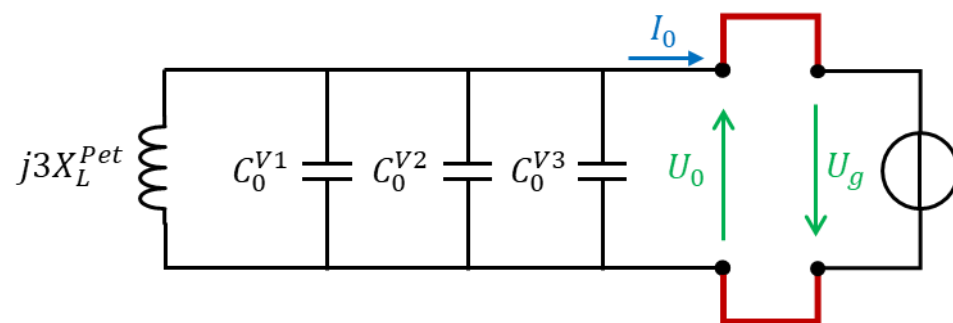
$$X_{C0} = \frac{1}{\omega C_0} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,92 \cdot 10^{-6}} = 3460 \Omega$$

$$I_{C0} = \frac{U_g}{-jX_{C0}} = \frac{22000/\sqrt{3}}{-j3460} = j3,67 A$$

$$I_z = I_1 + I_2 + I_0 = 3I_{C0} = j11 A$$

# Zárlati áram Petersen tekercs nélkül

2) Határozzuk meg a Petersen tekercs nélküli zárlati áramot!



$$C_0^{V1} = c_0^{szv1} \cdot l_1 = 0,007 \frac{\mu F}{km} \cdot 40 km = 0,28 \mu F$$

$$C_0^{V2} = c_0^{szv2} \cdot l_2 = 0,008 \frac{\mu F}{km} \cdot 30 km = 0,24 \mu F$$

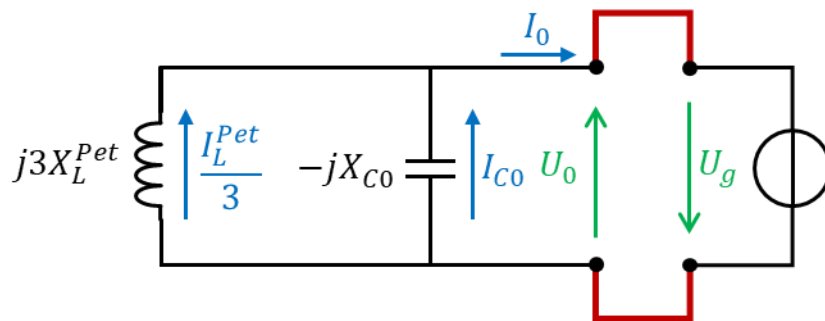
$$C_0^{V3} = c_0^{szv3} \cdot l_3 = 0,008 \frac{\mu F}{km} \cdot 50 km = 0,4 \mu F$$

$$C_0 = C_0^{V1} + C_0^{V2} + C_0^{V3} = 0,92 \mu F$$

$$X_{C0} = \frac{1}{\omega C_0} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,92 \cdot 10^{-6}} = 3460 \Omega$$

$$I_{C0} = \frac{U_g}{-jX_{C0}} = \frac{22000/\sqrt{3}}{-j3460} = j3,67 A$$

$$I_z = I_1 + I_2 + I_0 = 3I_{C0} = j11 A$$



# Tökéletes kompenzálság

- 3) Határozzuk meg a Petersen tekercs inductivitását úgy, hogy tökéletes kompenzálság legyen!

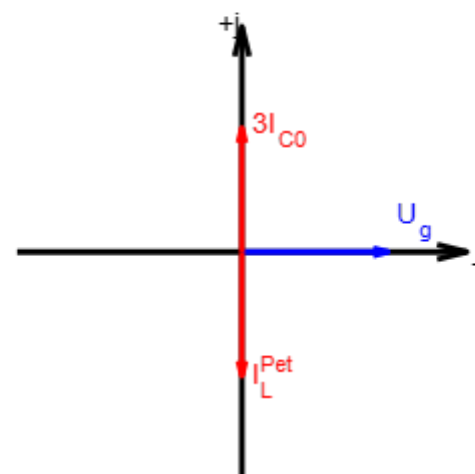
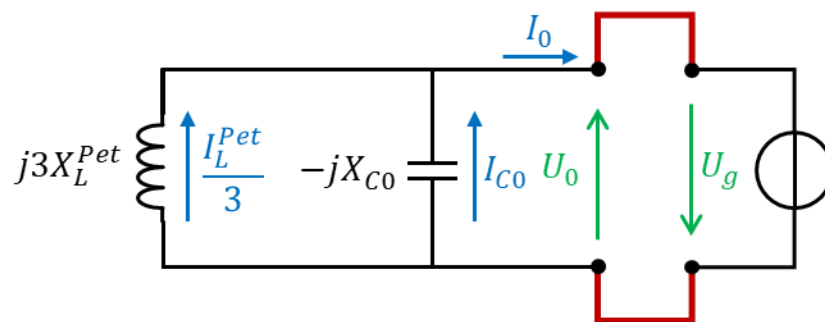
$$3X_L^{Pet} = X_{C0}$$

$$X_L^{Pet} = \frac{X_{C0}}{3} = \frac{3460 \Omega}{3} = 1153 \Omega$$

$$L^{Pet} = \frac{X_L^{Pet}}{\omega} = \frac{1153 \Omega}{2\pi \cdot 50\text{Hz}} = 3,67 \text{ H}$$

$$I_L^{Pet} = \frac{U_g}{jX_L^{Pet}} = -j11 \text{ A}$$

$$I_L^{Pet} = -3I_{C0}$$



# 11. feladat

Egy 132/22 kV-os transzformátor középfeszültség oldaláról az alábbi szabadvezetékes leágazások indulnak, amelyekről következőket tudjuk:

- 1. Kábeles leágazás:  $\sum l = 40 \text{ km}$ ,  $c_0^k = 0,18 \text{ } \mu\text{F/km}$
- 2. Szabadvezetékes leágazás:  $\sum l = 100 \text{ km}$ ,  $c_0^{szv} = 0,008 \text{ } \mu\text{F/km}$

- 1) Határozzuk meg a Petersen tekercs nélküli zárlati áramot!
- 2) Határozzuk meg a Petersen tekercs induktivitását úgy, hogy a maradék áram 5 A értékű legyen (*túlkompenzált*)!
- 3) Határozzuk meg a kompenzáltság fokát erre az esetre!

# Zárlati áram Petersen tekercs nélkül

1) Határozzuk meg a Petersen tekercs nélküli zárlati áramot!

$$C_0^{szv} = c_0^{szv} \cdot l_{szv} = 0,008 \frac{\mu\text{F}}{\text{km}} \cdot 100 \text{ km} = 0,8 \mu\text{F}$$

$$C_0^k = c_0^k \cdot l_k = 0,18 \frac{\mu\text{F}}{\text{km}} \cdot 40 \text{ km} = 7,2 \mu\text{F}$$

$$C_0 = C_0^{sz} + C_0^k = 8 \mu\text{F}$$

$$X_{C0} = \frac{1}{\omega C_0} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} = 398 \Omega$$

$$I_{C0} = \frac{U_g}{X_{C0}} = \frac{22000 \text{ V}/\sqrt{3}}{398 \Omega} = 31,9 \text{ A}$$

$$I_z = 3I_{C0} = 95,7 \text{ A}$$





# Túlkompenzáltás és kompenzálttsági fok

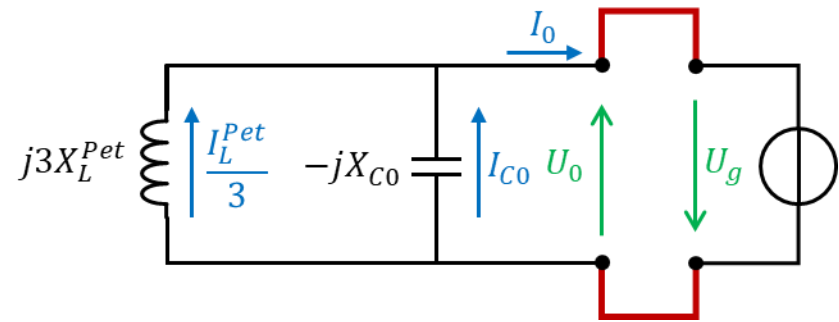
- 2) Határozzuk meg a Petersen tekercs induktivitását úgy, hogy a maradék áram 5 A értékű legyen (*túlkompenzált*)!

$$I_{\text{maradék}} = I_L^{\text{Pet}} - 3I_{C0} = 5 \text{ A}$$

$$I_L^{\text{Pet}} = I_{\text{maradék}} + 3I_{C0} = 100,7 \text{ A}$$

$$X_L^{\text{Pet}} = \frac{U_g}{I_L^{\text{Pet}}} = \frac{22000/\sqrt{3}}{100,7 \text{ A}} = 126 \Omega$$

$$L_{\text{Pet}} = \frac{126 \Omega}{\omega} = 0,401 \text{ H}$$



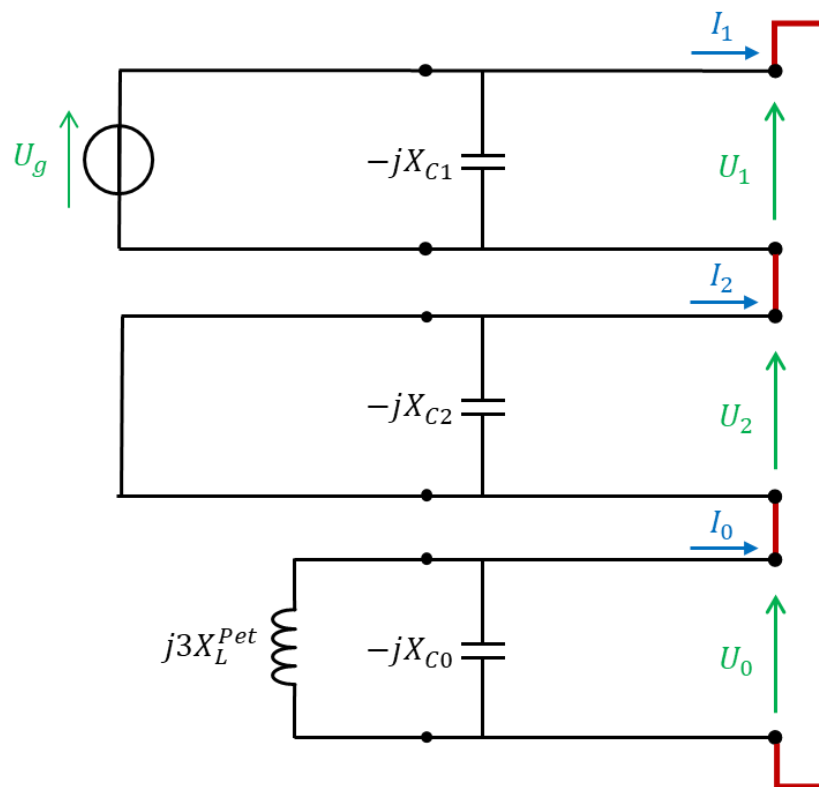
- 3) Határozzuk meg a kompenzáltság fokát erre az esetre!

$$k = \frac{I_{\text{maradék}}}{3I_{C0}} = \frac{5 \text{ A}}{95,7 \text{ A}} = 5,22 \%$$



# IMSC: Transzformátor áramok

- 4) Határozza meg a transzformátor fázisáramait, kompenzáltág mellett bekövetkező földzárlat esetén szimmetrikus összetevők módszerével az előző két (tökéletes és túlkompenzált) esetre!



$$X_{C1} = X_{C2} = \frac{X_{C0}}{2}$$

# Köszönjük a figyelmet!

---