

NÉV:..... Terem, Ülőhely:

1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
Σ	

Gyakorlat időpontja, vezetője:.....

Osztályozás: 40% alatt: 1, 40..54%: 2, 55%-69%: 3, 70%-84%: 4, 85%-tól: 5.

Ha bármely feladat eredménye kisebb, mint a feladatra adható összpontszám 40%-a, akkor az a feladat automatikusan 0 pontot ér.

1. feladat

(10x1 pont)

1.1. Az alábbi állításokról döntse el: IGAZ vagy HAMIS?

A SAIFI mérőszám a kiesések átlagos időtartamát fejezi ki.	HAMIS
Feszültségletörésről akkor beszélünk, ha a feszültség effektív értéke a névleges érték 10%-a és 90%-a közé csökken.	IGAZ
A flicker (villogás) a nagy felharmonikus tartalom következménye.	HAMIS

1.2. Mekkora csatlakozási teljesítményhatárok választják el egymástól a termelői engedélyes / kiserőművi engedélyes / háztartási méretű kiserőmű kategóriákat?

- 50 kW és 5 kW **50 MW és 50 kW**
- 50 MW és 500 kW 500 kW és 5 kW

1.3 Egy 20/0,4 kV-os transzformátor névleges teljesítménye 160 kVA, névleges rövidzárási vesztesége $P_{rz,n} = 1800$ W. Csúcsidőszakban a transzformátor kifestültségű oldalán mért áram 200 A. Mennyi ebben az üzemállapotban a transzformátor rézvesztesége?

$$I_n^K = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n^K} = \frac{160 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 230,9 \text{ A}$$

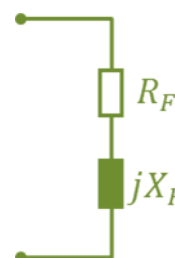
$$P_{rz} = \left(\frac{I}{I_n^K}\right)^2 P_{rz,n} = \left(\frac{200 \text{ A}}{230,9 \text{ A}}\right)^2 1800 \text{ W} = 1350 \text{ W}$$

1.4 Egy (háromfázisú) fogyasztó névleges feszültsége 0,4 kV, névleges teljesítménye 5 kVA, teljesítménytényezője (cosφ) 0,8 (induktív). Rajzolja fel a fogyasztó pozitív sorrendű impedanciátartó modelljét (soros RX), és számolja ki a modell elemeinek paramétereit!

$$|Z_F| = \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{0,4 \text{ kV}^2}{0,005 \text{ MVA}} = 32 \Omega$$

$$R_F = |Z_F| \cos\varphi = 32 \cdot 0,8 = 25,60 \Omega$$

$$X_F = |Z_F| \sin\varphi = 32 \cdot 0,6 = 19,20 \Omega$$



1.5 Hazai viszonyok között egy 2 kW teljesítményű napelemes rendszer átlagosan évi

- 1100 kWh **2200 kWh** 3300 kWh 4400 kWh

villamos energiát termel.

1.6 Egy hálózat csillagpontja 800 Ω-os Petersen-tekerccsen keresztül van földelve. A vezetékek zérus sorrendű kapacitása $8 \frac{nF}{km}$. Határozzuk meg, hogy legfeljebb hány km kiterjedésű vezetékhalózat kompenzálására alkalmas a Petersen-tekerccs! (A transzformátor reaktanciáját elhanyagolhatjuk.)

$$3X_P = X_C = \frac{1}{\omega C'} \quad I = \frac{1}{3X_P \omega C'} = \frac{1}{3 \cdot 800 \Omega \cdot 100 \pi \cdot 8 \frac{nF}{km}} = 165 \text{ km}$$

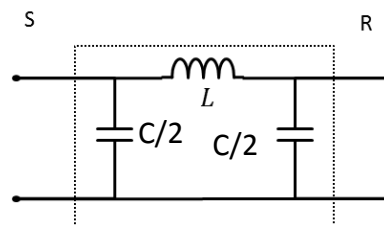
1.7. Egy 20/0,4 kV-os, Dy9 transzformátor kisebb feszültségű oldalán a szimmetrikus összetevő áramok: $I_0 = 4 \text{ A}$, $I_1 = 840 \text{ A}$, $I_2 = 32 \text{ A}$. Határozza meg a nagyobb feszültségű oldalon mérhető áramok zérus és pozitív sorrendű összetevőit!

Zérus sorrendű összetevő nem megy át a delta oldalra: $I_0^N = 0 \text{ A}$

Pozitív sorrendű összetevő áttétele és forgatása:

$$I_1^N = I_1^K \cdot \frac{0,4 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} \cdot e^{+j \cdot 9 \cdot 30^\circ} = 0,00 - 16,80j \text{ A} = 16,80 \exp(-j90^\circ) \text{ A}$$

1.8 Tekintsük az alábbi egyfázisú, veszteségmentes ($r = 0$) távvezeték π -modellt: $L = 260 \text{ mH}$, $C = 720 \text{ nF}$. A modell alapján határozza meg a távvezeték első rezonanciafrekvenciáját!

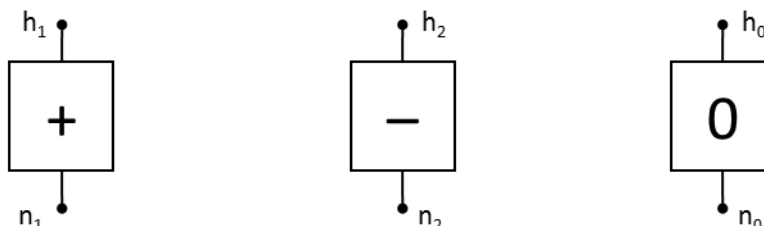


$$\omega L = \frac{1}{\omega C}, f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{260 \text{ mH} \cdot 720 \text{ nF}}} = 367,8 \text{ Hz}$$

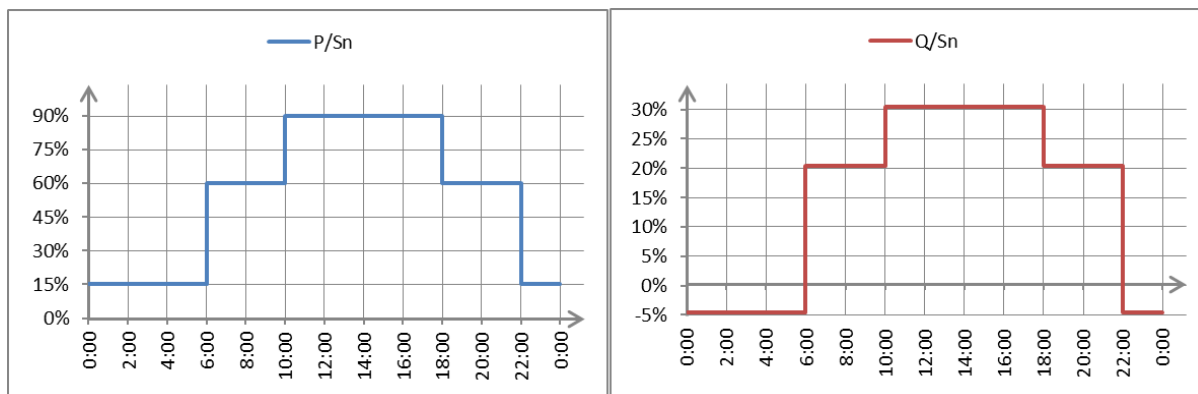
1.9 Az alábbi állításokról döntse el: IGAZ vagy HAMIS?

A kiefeszültségű transzformátorok 0,4 kV-os oldala jellemzően szigetelt csillag tekercselésű.	HAMIS
Középfeszültségű kompenzált hálózaton bekövetkező 1FN zárlat a kiefeszültségről táplált fogyasztók ellátásában nem okoz zavart.	IGAZ
Középfeszültségű kábelhálózat csillagpontját rendszerint nagy (25kΩ – 50kΩ-os) ellenálláson át földelik.	HAMIS
Egy háztartás éves villamosenergia fogyasztása Magyarországon átlagosan 2600-2900 kWh.	IGAZ

1.10. Egy hálózaton bekövetkezik egy 2F(b,c) zárlat. Alább adott a hálózat pozitív, negatív és zérus sorrendű modelljének egyszerűsített vázlata, a hibahely feltűntetésével. Kösse össze a modelleket a zárlat számításához szükséges módon!



2. feladat Egy háromfázisú ipari fogyasztó munkanapi hatásos és meddő teljesítmény felvételét az alábbi grafikonok írják le. A fogyasztó névleges teljesítménye 40 kVA.



- a) Határozza meg a fogyasztó teljesítménytényezőjét a völgy- (22-06), valamint a csúcsideőszakban (10-18)!
- b) A villamos energia végfelhasználói ára 50 Ft/kWh, a meddőenergia-díj 5 Ft/kvarh. (Az elfogyasztott hatásos energia 25%-áig az induktív meddő energia térítésmentes, az efeletti, valamint a kapacitív meddő energiáért a fenti díjat kell fizetni.) Mekkora a fogyasztó **havi meddőenergia költsége**, ha az adott hónapban 20 munkanap van?
- c) Mekkora kapacitású kondenzátorokra van szükség a fogyasztó maximális meddőteliességének kompenzálására? A kondenzátorokat deltába kötjük, a névleges feszültség 0,4 kV. (10 pont)

- a) A teljesítménytényező meghatározása: (2 pont)
völgyidőszakban:

$$\frac{Q}{P} = -\frac{0,05}{0,15} = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \tan\varphi$$

$$\varphi = \arctan(-0,33) = -18,43^\circ \rightarrow \underline{\cos\varphi = 0,948 \text{ (kap.)}}$$

csúcsideőszakban:

$$\frac{Q}{P} = \frac{0,30}{0,90} = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \tan\varphi$$

$$\varphi = \arctan(0,33) = 18,43^\circ \rightarrow \underline{\cos\varphi = 0,948 \text{ (ind.)}}$$

- b) A napi energiamennyiségek (több jó számolási mód létezik): (1 pont)

$$\left(\frac{P}{S_n}\right)_{\text{átlag}} = \frac{8 \cdot 0,15 + 8 \cdot 0,6 + 8 \cdot 0,9}{24} = 0,55$$

$$E_P = 24\text{h} \cdot S_n \cdot \left(\frac{P}{S_n}\right)_{\text{átlag}} = 24\text{h} \cdot 40 \text{ kVA} \cdot 0,55 = 528 \text{ kWh}$$

$$E_{Q_{\text{kap}}} = 8\text{h} \cdot S_n \cdot \left(\frac{Q_{\text{kap}}}{S_n}\right) = 8\text{h} \cdot 40 \text{ kVA} \cdot 0,05 = 16 \text{ kvarh}$$

$$E_{Q_{\text{ind}}} = 16\text{h} \cdot S_n \cdot \left(\frac{Q_{\text{ind}}}{S_n} \right)_{\text{átlag}} = 16\text{h} \cdot 40\text{ kVA} \cdot 0,25 = 160\text{ kvarh}$$

A térítésmentes induktív meddő energia: (1 pont)

$$E_{Q_{\text{ind,ingyen}}} = 0,25 \cdot E_p = 0,25 \cdot 528\text{ kWh} = 132\text{ kvarh}$$

Így a havi **meddőenergia** díjak: (2 pont)

$$C_{Q_k} = 20 \cdot 16\text{ kvarh} \cdot 5 \frac{\text{Ft}}{\text{kvarh}} = 1600\text{ Ft}$$

$$C_{Q_i} = 20 \cdot (160 - 132)\text{ kvarh} \cdot 5 \frac{\text{Ft}}{\text{kvarh}} = 2800\text{ Ft}$$

$$C = C_{Q_k} + C_{Q_i} = 4400\text{ Ft}$$

c) A kompenzáláshoz szükséges kondenzátorok

A maximális meddőigény: (1 pont)

$$Q_{\text{max}} = 0,3 \cdot S_n = 12\text{ kvar.}$$

Ezt három, vonali feszültségre kapcsolt kondenzátorra kell osztani: (3 pont)

$$Q_c = \frac{U_n^2}{X_c} = U_n^2 \omega C = \frac{Q_{\text{max}}}{3} \rightarrow C = \frac{Q_{\text{max}}}{3U_n^2 \omega}$$

$$C = \frac{12\text{ kvar}}{3 \cdot (0,4)^2 \cdot 2\pi \cdot 50\text{Hz}} = 79,58\mu\text{F}$$

(A megoldás menete a fentitől eltérhet, a megfelelően alátámasztott végeredményért jár a maximális pont.)

3. feladat Egy 120 kV névleges feszültségű távvezeték két, szabályozott feszültségű oldalán megmérjük a vonali feszültségek nagyságát: $|U_S| = 124$ kV, $|U_R| = 115$ kV. A távvezeték hossza $l = 50$ km, soros reaktanciája $x' = 0,35 \Omega/\text{km}$, sönt reaktanciája $x_c' = 0,28 \text{ M}\Omega\text{km}$ (!).

- Mekkora a távvezeték természetes teljesítménye?
- Ha a távvezetéken 90 MW teljesítményt szállítunk, akkor a távvezeték összességében meddőt termel vagy fogyaszt?
- Ha a távvezetéken 90 MW teljesítményt szállítunk, mekkora lesz a terhelési szög?
- Mekkora a (szinkronstabilitás szempontjából) átvihető maximális teljesítmény?

(10 pont)

$$X = lx' = 50\text{km} \cdot 0,35\Omega/\text{km} = 17,5\Omega$$

$$X_c = \frac{x_c'}{l} = 0,28\text{M}\Omega\text{km}/50\text{km} = 5600\Omega$$

A hullámimpedancia:

$$R = \sqrt{XX_c} = \sqrt{17,5\Omega \cdot 5600\Omega} = 313,05\Omega$$

(képlet+számítás: 1+1 pont)

- a) Természetes teljesítmény:

$$P_t = \frac{U_n^2}{R} = \frac{(120\text{kV})^2}{313,05\Omega} = 46,0\text{MW}$$

(képlet+számítás: 1+1 pont)

- b) Mivel a természetes teljesítménynél nagyobb teljesítményt viszünk át a vezetéken, ezért a távvezeték összességében meddőt fogyaszt.

(érvelés: 1 pont, eredmény: 1 pont)

- c) Terhelési szög:

$$P = \frac{|U_S||U_R|}{X} \sin\delta$$

$$\rightarrow \sin\delta = \frac{PX}{|U_S||U_R|} = \frac{90\text{MW} \cdot 17,5\Omega}{124\text{kV} \cdot 115\text{kV}} = 0,110$$

$$\rightarrow \delta = 6,34^\circ$$

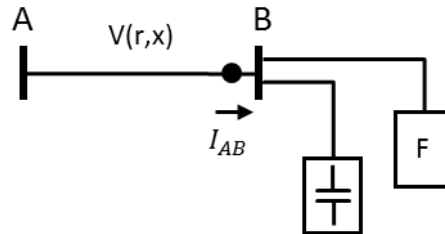
(képlet+számítás: 1+1 pont)

- d) Átvihető maximális teljesítmény:

$$P_{\max} = \frac{|U_S||U_R|}{X} = \frac{124\text{kV} \cdot 115\text{kV}}{17,5\Omega} = 814,9\text{MW}$$

(képlet+számítás: 1+1 pont)

4. feladat Az alábbi hálózaton a B sínen mért vonali feszültség effektív értéke $|U_B| = 20,3$ kV. A jelölt helyen mérjük az áramot, melynek effektív értéke $|I_{AB}| = 430$ A, és 12° -ot késik a B sín feszültségéhez képest. Az AB vezeték hossza 8 km, hosszegységre eső impedanciája $0,35 + j0,3 \Omega/\text{km}$. A csillagba kapcsolt kondenzátorok kapacitása $50 \mu\text{F}$. (10 pont)



- Határozza meg az A sínen betáplált háromfázisú hatásos és meddő teljesítményt!
- Határozza meg az A sín vonali feszültségének effektív értékét, felhasználva a hosszirányú feszültségesést!
- Mekkora a fogyasztó által felvett hatásos és meddő teljesítmény?

A B sínre érkező teljesítmény: (1 pont)

$$S = \sqrt{3} U_B I_{AB}^* = \sqrt{3} \cdot |U_B| \cdot |I_{AB}| \cdot e^{-j\varphi} = \sqrt{3} \cdot 20,3 \text{ kV} \cdot 430 \text{ A} \cdot e^{+j12^\circ} = 15,1 e^{+j12^\circ} \text{ MVA} \\ = 14,79 \text{ MW} + j3,14 \text{ Mvar}$$

Az AB vezeték ellenállása és reaktanciája: (1 pont)

$$R = r l = 0,35 \Omega/\text{km} \cdot 8 \text{ km} = 2,8 \Omega \\ X = x l = 0,3 \Omega/\text{km} \cdot 8 \text{ km} = 2,4 \Omega$$

Az AB vezeték háromfázisú hatásos és meddő vesztesége: (1 pont)

$$P_v = 3R|I|^2 = 3 \cdot 2,8 \Omega (430 \text{ A})^2 = 1,55 \text{ MW} \\ Q_v = 3X|I|^2 = 3 \cdot 2,4 \Omega (430 \text{ A})^2 = 1,33 \text{ Mvar}$$

Így az A sínen betáplált teljesítmények: (1 pont)

$$P_A = P_B + P_v = 14,79 \text{ MW} + 1,55 \text{ MW} = 16,34 \text{ MW} \\ Q_A = Q_B + Q_v = 3,14 \text{ Mvar} + 1,33 \text{ Mvar} = 4,47 \text{ Mvar}$$

A vezeték fázisonkénti feszültségesése a hosszirányú összetevővel közelítve: (1 pont)

$$\Delta U_{h,f} = R I_w - X I_m = 2,8 \Omega \cdot 420,6 \text{ A} - 2,4 \Omega \cdot (-89,4 \text{ A}) = 1,39 \text{ kV}$$

Így a vonali feszültség esés, illetve az A sín vonali feszültsége: (1 pont)

$$\Delta U_{h,v} = \sqrt{3} \Delta U_{h,f} = \sqrt{3} \cdot 1,39 \text{ kV} = 2,41 \text{ kV} \\ U_A = U_B + \Delta U_{h,v} = 20,3 \text{ kV} + 2,41 \text{ kV} = 22,71 \text{ kV}$$

A fogyasztó által felvett hatásos teljesítmény megegyezik a B sínre érkező teljesítménnyel: (1 pont)

$$P_F = P_B = 14,79 \text{ MW}$$

A meddő teljesítménye a B sínre érkező meddő teljesítmény, valamint a kondenzátor meddőteljesítményének összege. Egy kondenzátor teljesítménye (fázisfeszültségre kapcsolt): (2 pont)

$$Q_C = \frac{|U_{B,f}|^2}{X_C} = |U_{B,f}|^2 \cdot 2\pi f C = \left(\frac{20,3 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot 2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 50 \mu\text{F} = 2,16 \text{ Mvar}$$

Így a fogyasztó meddőigénye: (1 pont)

$$Q_F = Q_B + 3Q_C = 3,14 \text{ Mvar} + 3 \cdot 2,16 \text{ Mvar} = 9,62 \text{ Mvar}$$

5. feladat Egy 126 kV-os névleges feszültségű, 2400 MVA zárlati teljesítménnyel jellemezhető táppontra egy vasúti transzformátort szeretnénk csatlakoztatni, melynek adatai: $U_n^{TR} = 126/27,5$ kV, $S_n^{TR} = 16$ MVA, $\varepsilon = 11,5\%$. E transzformátor 15 percig a névleges árama kétszereséig túlterhelhető, és feltételezzük, hogy e transzformátor által ellátott tápszakaszokon V63-as mozdonyok közlekednek, melyeknek teljesítménytényezője 0,707 (induktív). A tápponton keletkező aszimmetria megfelel-e a szabvány előírásainak? (10 pont)

$$X_1^H = \frac{(U_n^H)^2}{S_2^H} = \frac{(126 \text{ kV})^2}{2400 \text{ MVA}} = 6,615 \Omega \quad (0,5 \text{ pont})$$

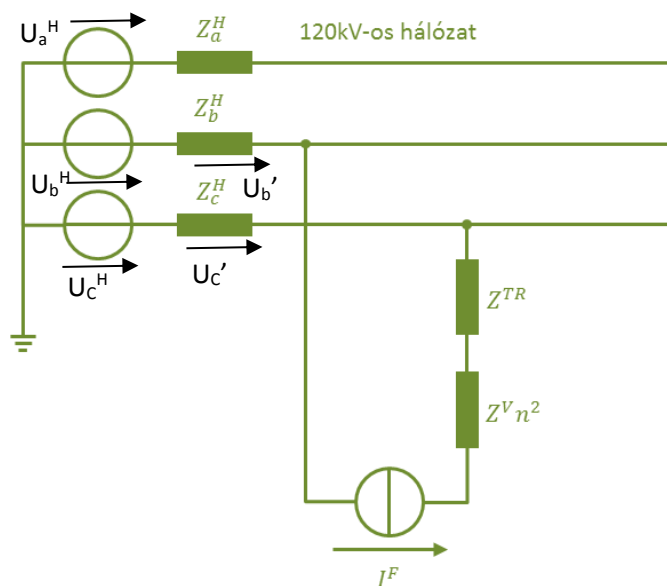
A transzformátor névleges árama a nagyfeszültségű oldalon:

$$I_n^{TR,NF} = \frac{S_n^{TR}}{U_n^{TR,NF}} = \frac{16000 \text{ kVA}}{126 \text{ kV}} = 127 \text{ A} \quad (0,5 \text{ pont})$$

Mivel bármely 10 percen teljesséni kell az aszimmetriára vonatkozó $U_2/U_1 \leq 2\%$ korlátot, e feltételt a transzformátor névleges áramának **kétszeresénél** vizsgáljuk. Továbbá a transzformátor két fázis közé van kötve, legyen *b* és *c* fázis. Ekkor e vonali feszültséghez képest késik a terhelő áram, amely így

$$I^{TR,NF} = 2 I_n^{TR,NF} (\cos\varphi - j \sin\varphi) e^{-j90^\circ} = -180 - j 180 \text{ A} \quad (2 \text{ pont})$$

1. megoldás: fázismennyiségek segítségével



$$\begin{aligned} U_b' &= -I^{TR,NF} Z_b^H = \\ &= -(-180 - j 180 \text{ A}) \\ &\quad \cdot j6,615 \Omega = \\ &= -1188 + j1188 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_c' &= I^{TR,NF} Z_c^H = \\ &= (-180 - j 180 \text{ A}) \\ &\quad \cdot j6,615 \Omega = \\ &= 1188 - j1188 \text{ V} \end{aligned}$$

$$U_a = U_a^H = 72,75 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} U_b &= U_b^H + U_b' = \\ &= -36,37 - j63 - 1,188 \\ &\quad + j1,188 \\ &= (-37,56 - j61,8) \text{ kV} \\ &= 72,33 e^{-j121,3^\circ} \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_c &= U_c^H + U_c' = \\ &= -36,37 + j63 + 1,188 \\ &\quad - j1,188 \\ &= (-35,19 + j61,8) \text{ kV} \\ &= 71,13 e^{j119,7^\circ} \text{ kV} \end{aligned}$$

(1-1-1 pont a fázisfeszültségekre)

A fázismennyiségeket átszámolva szimmetrikus összetevőkre, csak az abszolút értéküket feltüntetve:

$|U_1| = 72,06 \text{ kV}, |U_2| = 0,970 \text{ kV}$ (1-1 pont)

Tehát a negatív sorrendű aszimmetria mértéke: $\frac{|U_2|}{|U_1|} = \frac{0,970}{72,06} = 1,35 \% < 2 \%$ szabványnak megfelel. (2 pont)

2. Megoldás szimmetrikus összetevőkkel

A pozitív és negatív sorrendű modellt párhuzamosan kell kötnünk (mint 2F zárlat esetén), s a kettő közé be kell iktatni egy $j \frac{I}{\sqrt{3}}$ áramgenerátort.

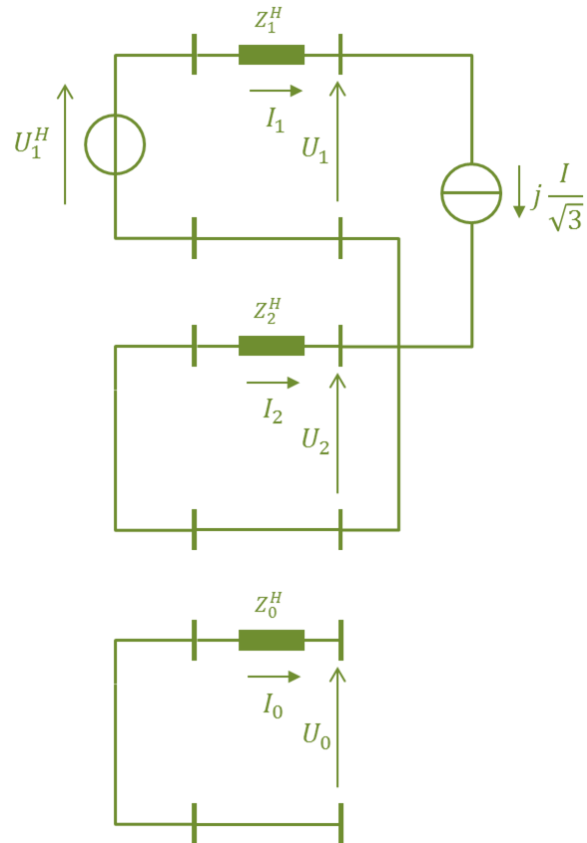
(Helyes ábra vagy szöveg, vagy annak jelzése, hogy $i_1 = -i_2 = j \frac{I}{\sqrt{3}}$ 3 pont)

Így:

$$\begin{aligned} U_1 &= 72,75 \text{ kV} - j \frac{I^{TR,NF}}{\sqrt{3}} Z_1^H = \\ &= 72,75 \text{ kV} \\ &\quad - \frac{j}{\sqrt{3}} (-180 - j 180 \text{ A}) \\ &\quad \cdot j 6,615 \Omega = \\ &= 72,75 - 0,686 - j0,686 = 72,064 - j0,686 \text{ kV} \\ &\rightarrow |U_1| = 72,06 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_2 &= 0 - I_2 Z_2^H = I_1 Z_2^H = j \frac{I^{TR,NF}}{\sqrt{3}} Z_2^H \\ &= 0,686j + 0,686 \text{ kV} \rightarrow |U_2| \\ &= 0,970 \text{ kV} \end{aligned}$$

(1 – 1 pont a sorrendi feszültségekért)



Tehát a negatív sorrendű aszimmetria mértéke: $\frac{|U_2|}{|U_1|} = \frac{0,970}{72,06} = 1,35 \% < 2 \%$ szabványnak megfelel

(2 pont)