



Aszimmetrikus zárlatok

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

Ez az oktatási segédanyag a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem oktatója által kidolgozott szerzői mű.
Kifejezett felhasználási engedély nélküli felhasználása szerzői jogi jogsértésnek minősül.



Távoktatott gyakorlat menete

Otthoni felkészülés

- A szükséges elméleti részekről rövid videók állnak rendelkezésre
- Bővebb jellegű testeket ellenőrizhető a felkészülés mérésére
- Házelvűek gyűjtése a zavaró részekből

A gyakorlat 1. része: vezetett feladatmegoldás

- 40-70 perc; MS Stream felvétel előadás
- A feladatokat apró lépésekre bontjuk fel
- Az egyes kérdések után pár másodperces időt hagyunk a válasz kidolgozására

A gyakorlat 2. része: konzultáció, interakció

- Utóhíri felkészülés és vezetett feladat megoldás
- Közösen gyűjtött kérdések megválaszolás
- Online teszt, melyben minden hallgató önállóan oldja meg feladatokat.

2020. 04. 10.

1. feladat: feszültség és a háromfázisú sűrű vezető szimmetrikus feszültség

Egy háromfázisú sűrű névleges háromfázisú teljesítménye 2300W. A sűrű három fázisvezetivel és egy nullavezetivel csatlakozik a táppont, az egyes vezetők ellenállása 0,162 ohm. Mekkora az a' fázisvezetékén eső feszültség (fázisonként), ha a sűrűt áramtároló modellel képezzük le? **Használjuk a sorrendi modelleket!**

- Határozzuk meg a sűrű névleges áramát és fázisáramait!
- Rajzoljuk fel az áramkört!
- Számoljuk ki a sorrendi feszültségeket!
- Számoljuk ki a fázisonkénti feszültségeket!

2020. 04. 10.

2. feladat – IMSC pontért!

Egy egyfázisú sűrű névleges háromfázisú teljesítménye 2300W. A sűrű háromfázisú vezetivel és egy nullavezetivel csatlakozik a táppont, az egyes vezetők ellenállása 0,162 ohm. Mekkora az a' fázisvezetékén eső a feszültség, ha a sűrűt áramtároló modellel képezzük le? **Használjuk a sorrendi modelleket!**

- Határozzuk meg a sűrű névleges fázisáramát!
- Határozzuk meg a sorrendi áramgenerátorok áramát!
- Rajzoljuk fel az áramkört!
- Következtessük ki, hogyan néz ki a zérus sorrendi modell?
- Számoljuk ki a sorrendi feszültségeket!
- Számoljuk ki a fázisonkénti feszültségeket!

Beadási határidő: április 5.

2020. 04. 10.

3. feladat

A második gyakorlatban használt hálózatra határozzuk meg a sorrendi modelleket, s az egyes elemek értékeit!

- Rajzoljuk fel pozitív sorrendű áramkört!
- Rajzoljuk fel negatív sorrendű áramkört!
- Rajzoljuk fel zérus sorrendű áramkört!
- Számoljuk ki egyes elemek értékeit!

- Minden hálózati elem negatív sorrendű impedanciája legyen azonos a pozitív sorrendűével!
- A táppontokhoz zérus sorrendű impedanciát tegyen a pozitív sorrendű áramkört!
- A háromfázisú transzformátor zérus sorrendű impedanciája legyen a pozitív sorrendű impedanciájával!
- A töltő elem zérus sorrendű impedanciája legyen azonos a pozitív sorrendűével!

2020. 04. 10.

4. feladat: E sűrűn belátározott 1FN zárt áram

Az E sűrűn egyfázisú földzárlat (1FN) következik be. Mekkora a zárlati áram?

- Rajzoljuk fel a számításához szükséges modellt!
- Határozzuk meg a modellben folyó áramot!
- Határozzuk meg a hibahelyen a sorrendi áramok értékét!
- Határozzuk meg a hibahelyen a fázisáramok és így a zárlati áram értékét!

2020. 04. 10.

5. feladat: E sűrűn belátározott 3FN zárt hálózatra D sűrűn feszültség

Az E sűrűn egyfázisú földzárlat (1FN) következik be. Mekkora a D sűrűn feszültsége?

- Rajzoljuk fel a számításához szükséges modellt!
- Határozzuk meg a modellben folyó áramot!
- Határozzuk meg a D sűrűn a sorrendi feszültségek értékét!
- Határozzuk meg a D sűrűn a fázisfeszültségek értékét!

2020. 04. 10.

6. feladat: E sűrűn belátározott 1FN zárt hálózatra C sűrűn feszültség

Az E sűrűn egyfázisú földzárlat (1FN) következik be. Mekkora a C sűrűn feszültsége?

- Rajzoljuk fel a számításához szükséges modellt!
- Határozzuk meg a modellben folyó áramot!
- Határozzuk meg a C sűrűn a sorrendi feszültségek értékét!
- Határozzuk meg a C sűrűn a fázisfeszültségek értékét!

2020. 04. 10.

7. feladat

Az E sűrűn egyfázisú földzárlat (1FN) következik be. Mekkora a zárlati áram, a C sűrűn a fázisáramok értéke?

- Rajzoljuk fel a számításához szükséges modellt!
- Határozzuk meg a modellben folyó áramot!
- Határozzuk meg a C sűrűn a sorrendi áramok értékét!
- Határozzuk meg a C sűrűn a fázisáramok értékét!

2020. 04. 10.

8. feladat

A C sűrűn kétfázisú zárlat (2F) következik be. Mekkora a zárlati áram értéke?

- Rajzoljuk fel a számításához szükséges modellt!
- Határozzuk meg a modellben folyó áramot!
- Határozzuk meg a hibahelyen a sorrendi áramok értékét!
- Határozzuk meg a hibahelyen a fázisáramok értékét!

2020. 04. 10.

9. feladat

A C sűrűn kétfázisú zárlat (2F) következik be. Mekkora a C és D sűrűn a fázisfeszültségek értéke?

- Rajzoljuk fel a számításához szükséges modellt!
- Határozzuk meg a C és D sűrűn a sorrendi feszültségek értékét!
- Határozzuk meg a C és D sűrűn a fázisfeszültségek értékét!

2020. 04. 10.

10. feladat

A C sűrűn kétfázisú földzárlat (2FI) következik be. Mekkora a C és D sűrűn a fázisfeszültségek értéke?

- Rajzoljuk fel a számításához szükséges modellt!
- Határozzuk meg a C és D sűrűn a sorrendi feszültségek értékét!
- Határozzuk meg a C és D sűrűn a fázisfeszültségek értékét!

2020. 04. 10.

11. feladat

A C sűrűn egyfázisú földzárlat (1FN) következik be. Mekkora a zárlati áram, a C és D sűrűn a fázisfeszültségek értéke?

- Rajzoljuk fel a számításához szükséges modellt!
- Határozzuk meg a C és D sűrűn a sorrendi áramok értékét!
- Határozzuk meg a C és D sűrűn a sorrendi feszültségek értékét!
- Határozzuk meg a C és D sűrűn a fázisfeszültségek értékét!

2020. 04. 10.

Távoktatott gyakorlat menete

Otthoni felkészülés

- A szükséges elméleti részekből rövid videók állnak rendelkezésre
- Beugró jellegű tesztekkel ellenőrizhető a felkészülés mértéke
- Kérdések gyűjtése a zavaró részekből

A gyakorlat 1. része: vezetett feladatmegoldás

- 60-70 perc, MS Stream felvett előadás
- A feladatokat apró lépésekre bontjuk fel
- Az egyes kérdések után pár másodpercnyi időt hagyva a válasz kigondolására

A gyakorlat 2. része: konzultáció, interakció

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



Szükséges elméleti ismeretek

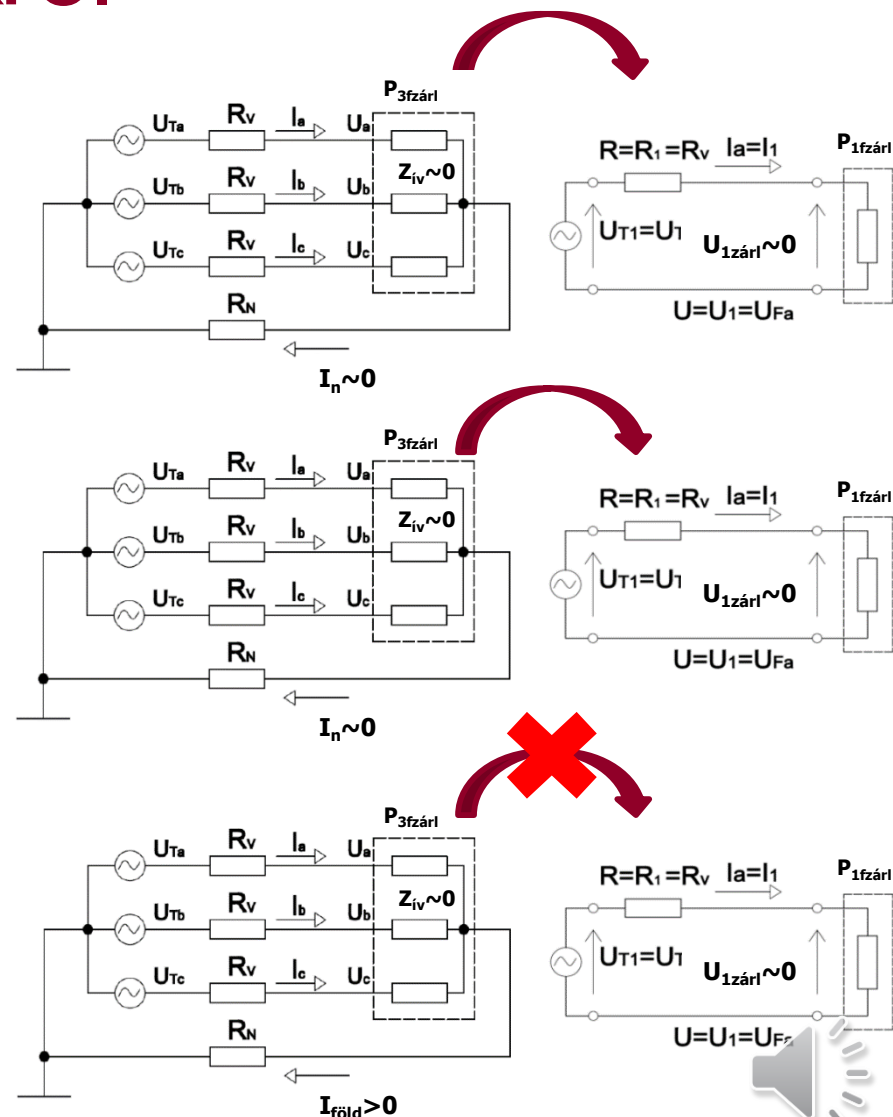
- Szimmetrikus összetevők módszere
 - Pozitív, negatív és zérus sorrendű komponens értelmezése
 - Transzformációs mátrix
- Hálózati elemek sorrendi modelljei
 - Negatív és pozitív sorrendű modell különbsége
 - Transzformátorok zérus sorrendű modellje
- Transzformátor forgatás
 - Kapcsolási csoport hatása a pozitív és negatív sorrendű mennyiségekre
- Aszimmetrikus zárlatok számításának elmélete
 - Sorrendi modellek kapcsolása 1FN, 2F és 2FN zárlat esetén

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



Korábbi gyakorlatokról

- 1. Feszültségesés és veszteségszámítás, vezetékmeretezés
 - Hálózatszámítás **szimmetrikus** fogyasztó esetén
 - Fázismennyiség vektorok azonos hosszúságúak 120° eltolással
 - Háromfázisú rendszer egyfázisú modellre visszavezetve
- 2. Több feszültségszintű hálózatok számítása, 3F zárlat, zárlati teljesítmény
 - Hálózatszámítás **szimmetrikus** zárlatok esetén
 - 1. gyakorlathoz hasonló megoldási módszertan
 - Zárlati ellenállás 0Ω
- 3. Aszimmetrikus zárlatok számítása
 - Hálózatszámítás **aszimmetrikus** zárlatok esetén
 - Fázisszimmetria nem áll fenn többé
 - Az eddigi megfontolások nem alkalmazhatók



Az első gyakorlat példája újra

1. feladat

Egy háromfázisú sütő névleges háromfázisú teljesítménye 2300W. A sütő három fázisvezetővel és egy nullavezetővel csatlakozik a táppontra, az egyes vezetők ellenállás 0,162 ohm.

Mekkora a vezetéken eső feszültségesítés (fázisonként), ha a sütőt áramtartó modellel képezzük le? Használjuk a sorrendi modelleket!

- 1) Határozzuk meg a sütő névleges áramát és fázisáramait!
- 2) Rajzoljuk fel az áramkört!
- 3) Számoljuk ki a sorrendi feszültségeséseket!
- 4) Számoljuk ki a fázisonkénti feszültségesést!

1. feladat

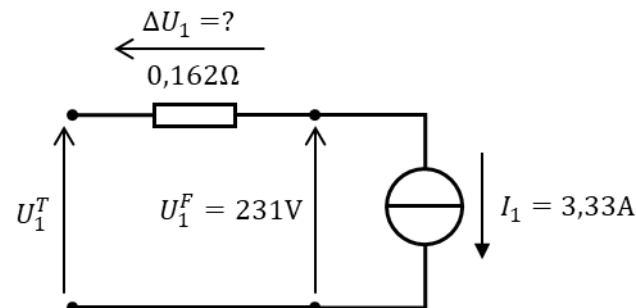
1) Határozzuk meg a sütő névleges áramát és fázisáramait!

$$I_n = \frac{P_{3fn}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{2300 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 3,33 \text{ A}$$

$$I_a = 3,33 \text{ A}, \quad I_b = 3,33e^{-j120^\circ} \text{ A}, \quad I_c = 3,33e^{+j120^\circ} \text{ A}$$

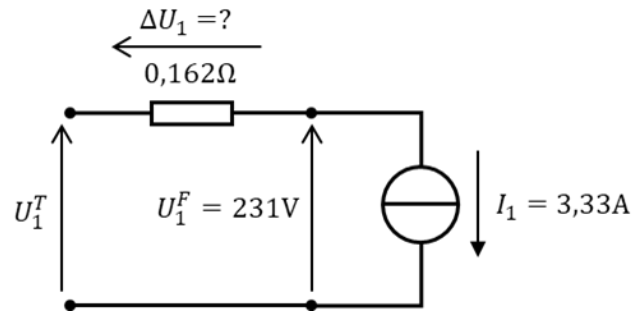
$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3,33 \text{ A} \\ 3,33e^{-j120^\circ} \text{ A} \\ 3,33e^{j120^\circ} \text{ A} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \text{ A} \\ 3,33 \text{ A} \\ 0 \text{ A} \end{bmatrix}$$

2) Rajzoljuk fel az áramkört!



1. feladat

3) Számoljuk ki a pozitív sorrendű feszültséget!



$$\Delta U_1 = R^V I_1$$

$$\Delta U_1 = 0,162 \, \Omega \cdot 3,33 \, \text{A} = 0,54 \, \text{V}$$

$$\Delta U_2 = \Delta U_0 = 0 \, \text{V}$$

4) Számoljuk ki a fázisonkénti feszültségesést!

$$\begin{bmatrix} \Delta U_a \\ \Delta U_b \\ \Delta U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \, \text{V} \\ 0,54 \, \text{V} \\ 0 \, \text{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,54 \, \text{V} \\ 0,54 e^{-j120^\circ} \, \text{V} \\ 0,54 e^{+j120^\circ} \, \text{V} \end{bmatrix}$$



2. feladat – IMSC pontért!

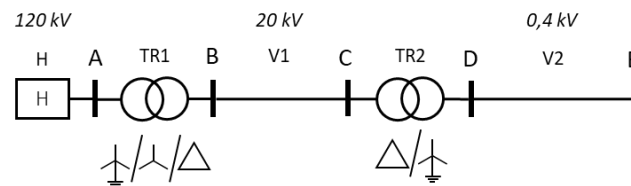
Egy egyfázisú sütő névleges háromfázisú teljesítménye 2300W. A sütő háromfázis vezetővel és egy nullavezetővel csatlakozik a táppontra, az egyes vezetők ellenállás 0,162 ohm.

Mekkora az „a” fázisvezetéken eső a feszültségesítés, ha a sütőt áramtartó modellel képezzük le? Használjuk a sorrendi modelleket!

- 1) Határozzuk meg a sütő névleges fázisáramát!
- 2) Határozzuk meg a sorrendi áramgenerátorok áramát!
- 3) Rajzoljuk fel az áramkört!
Következtessen ki, hogyan néz ki a zérus sorrend modell?
- 4) Számoljuk ki a sorrendi feszültségeket!
- 5) Számoljuk ki a fázisonkénti feszültségesítést!

Beadási határidő: április 5.

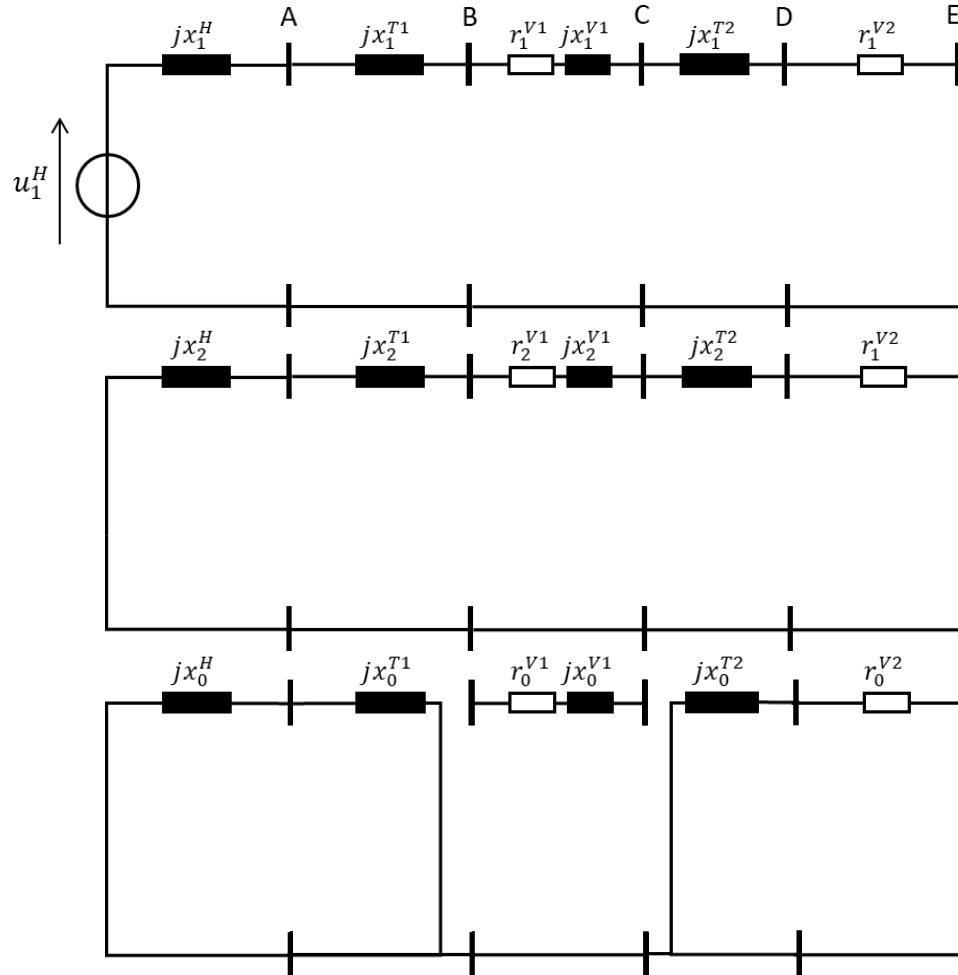
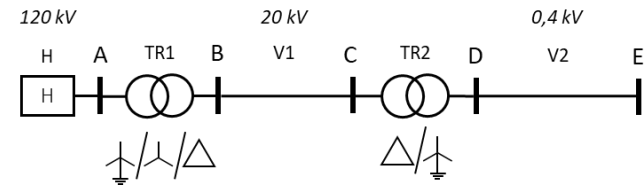
3. feladat



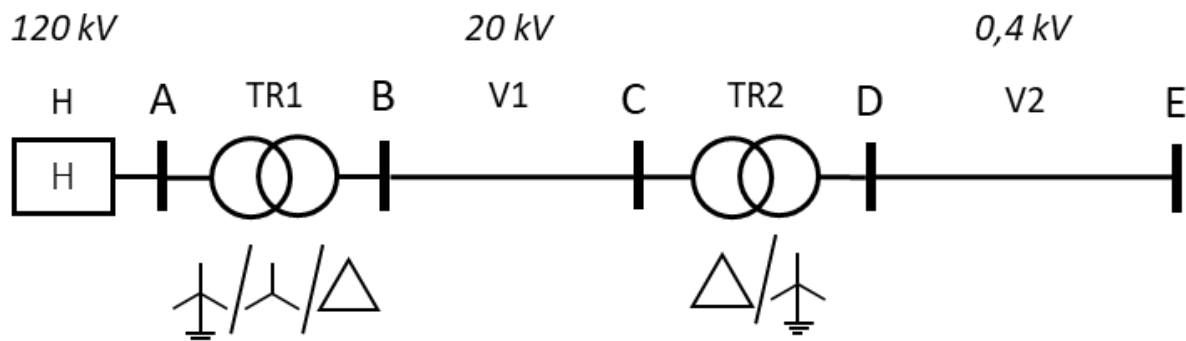
A második gyakorlatban használt hálózatra határozzuk meg a sorrendi modelleket, s az egyes elemek értékét!

- 1) Rajzoljuk fel pozitív sorrendű áramkört!
- 2) Rajzoljuk fel negatív sorrendű áramkört!
- 3) Rajzoljuk fel zérus sorrendű áramkört!
- 4) Számoljuk ki egyes elemek értékét!
 - Minden hálózati elem negatív sorrendű impedanciája legyen azonos a pozitív sorrendűével!
 - A távvezetékek zérus sorrendű impedanciája legyen a pozitív sorrendű duplája!
 - A háromtekercsű transzformátor zérus sorrendű impedanciája legyen a pozitív sorrendű másfélszerese!
 - A többi elem zérus sorrendű impedanciája egyezzen meg a pozitív sorrendűével!

Sorrendi modellek



Adatok



H	TR1	V1	TR2	V2
$U_n = 120kV$ $S_z = 1200MVA$ Földelt csillagpont	$U_{N1}/U_{K1} = 132/22 kV$ $\varepsilon_1 = 10\%$ $S_{n1} = 25MVA$ Ygy6+d	$L_{V1} = 10km$ $r_1 = 0,3 \Omega/km$ $x_1 = 0,3 \Omega/km$	$U_{N2}/U_{K2} = 20/0,4 kV$ $\varepsilon_2 = 5\%$ $S_{n2} = 160kVA$ Dyg5	$L_{V2} = 1km$ $r_2 = 0,4 \Omega/km$
I. körzet	II. körzet			III. körzet

	I. körzet	II. körzet	III. körzet
S_a	160kVA	160kVA	160kVA
U_a	120kV	20kV	0,4kV
Z_a	90kΩ	2,5kΩ	1Ω
I_a	0,77A	4,62A	230,9A

Pozitív sorrendi elemértékek meghatározása

Dimenzionálisan

$$U_1^H = U_n / \sqrt{3} = 120 / \sqrt{3} \text{ kV}$$

$$X_1^H = \frac{U_n^2}{S_z} = \frac{120^2}{1200} = 12 \Omega$$

$$X_1^{T1} = \frac{U_{K1}^2}{S_{n1}} \frac{\varepsilon_1}{100} = \frac{22^2}{25} \frac{10}{100} = 1,94 \Omega$$

$$\begin{aligned} R_1^{V1} + jX_1^{V1} &= L_{V1}(r_1 + jx_1) = \\ &= 10 \cdot (0,3 + j0,3) = 3 + j3 \Omega \end{aligned}$$

$$X_1^{T2} = \frac{U_{K2}^2}{S_{n1}} \frac{\varepsilon_2}{100} = \frac{0,4^2}{0,16} \frac{5}{100} = 0,05 \Omega$$

$$R_1^{V2} = L_{V2}r_2 = 10 \cdot 0,4 = 4 \Omega$$

Viszonylagos egységben

$$u_1^H = U^H / U_a^I = 1$$

$$x_1^H = X^H / Z_a^I = 0,133 \cdot 10^{-3}$$

$$x_1^{T1} = X^{T1} / Z_a^{II} = 0,774 \cdot 10^{-3}$$

$$\begin{aligned} r_1^{V1} + jx_1^{V1} &= (R^{V1} + jX^{V1}) / Z_a^{II} = \\ &= (1,2 + j1,2) \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$x_1^{T2} = X^{T2} / Z_a^{III} = 0,05$$

$$r_1^{V2} = R^{V2} / Z_a^{III} = 0,4$$

Negatív és zérus sorrendű elemek értékének meghatározása

- Minden hálózati elem negatív sorrendű impedanciája legyen azonos a pozitív sorrendűvel!

$$x_2^H = x_1^H, x_2^{T1} = x_1^{T1}, stb \dots$$

- A távvezetékek zérus sorrendű impedanciája legyen a pozitív sorrendű duplája!

$$r_0^{V1} + jx_0^{V1} = 2(r_1^{V1} + jx_1^{V1}) = (2,4 + j2,4) \cdot 10^{-3}$$

$$r_0^{V2} = 2 \cdot r_1^{V2} = 0,8$$

- A háromtekercsű transzformátor zérus sorrendű impedanciája legyen a pozitív sorrendű másfélszerese!

$$x_0^{T1} = 1,5 \cdot x_1^{T1} = 1,161 \cdot 10^{-3}$$

- A többi elem zérus sorrendű impedanciája egyezzen meg a pozitív sorrendűvel!

$$x_0^H = x_1^H, x_0^{T2} = x_1^{T2}$$

FN zárlat az E sínen

- 4. feladat: zárlati áram
- 5. feladat: D sín feszültségei
- 6. feladat: C sín feszültségei
- 7. feladat: C sín fázisáramok

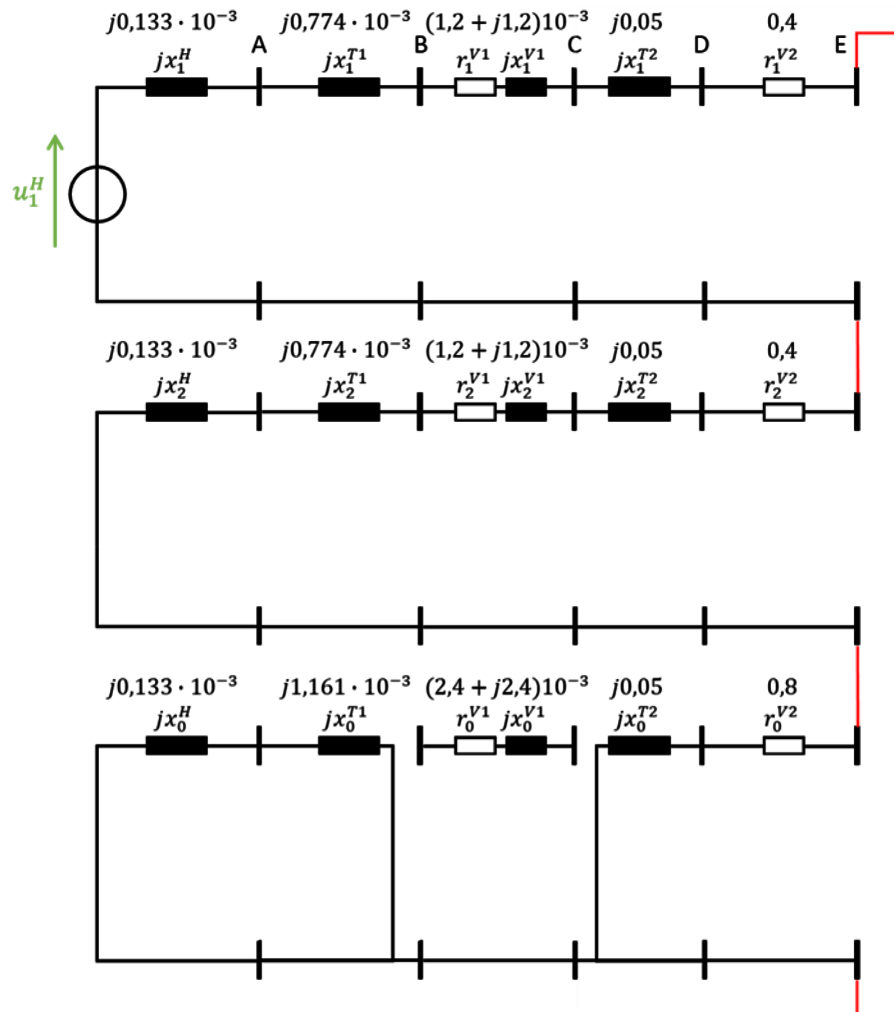
4. feladat

Az E sínen egyfázisú földzárlat (1FN) következik be.

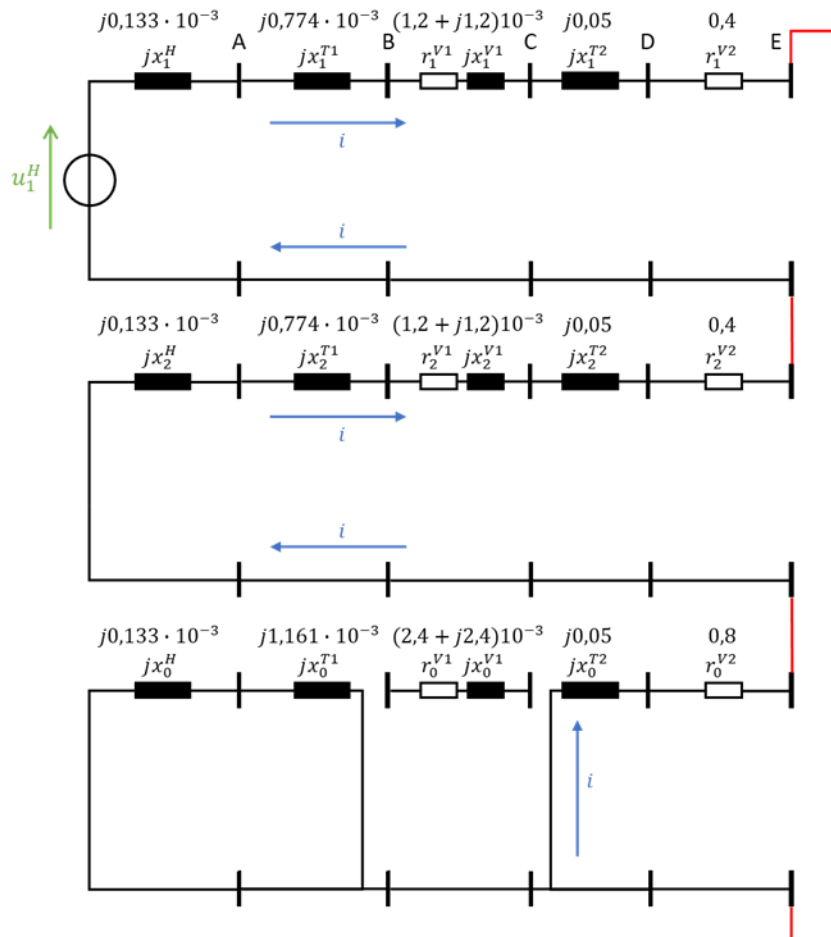
Mekkora a zárlati áram?

- 1) Rajzoljuk fel a számításhoz szükséges modellt!
- 2) Határozzuk meg a modellben folyó áramot!
- 3) Határozzuk meg a hibahelyen a sorrendi áramok értékét!
- 4) Határozzuk meg a hibahelyen a fázisáramok és így a zárlati áram értékét!

A számításhoz szükséges modell



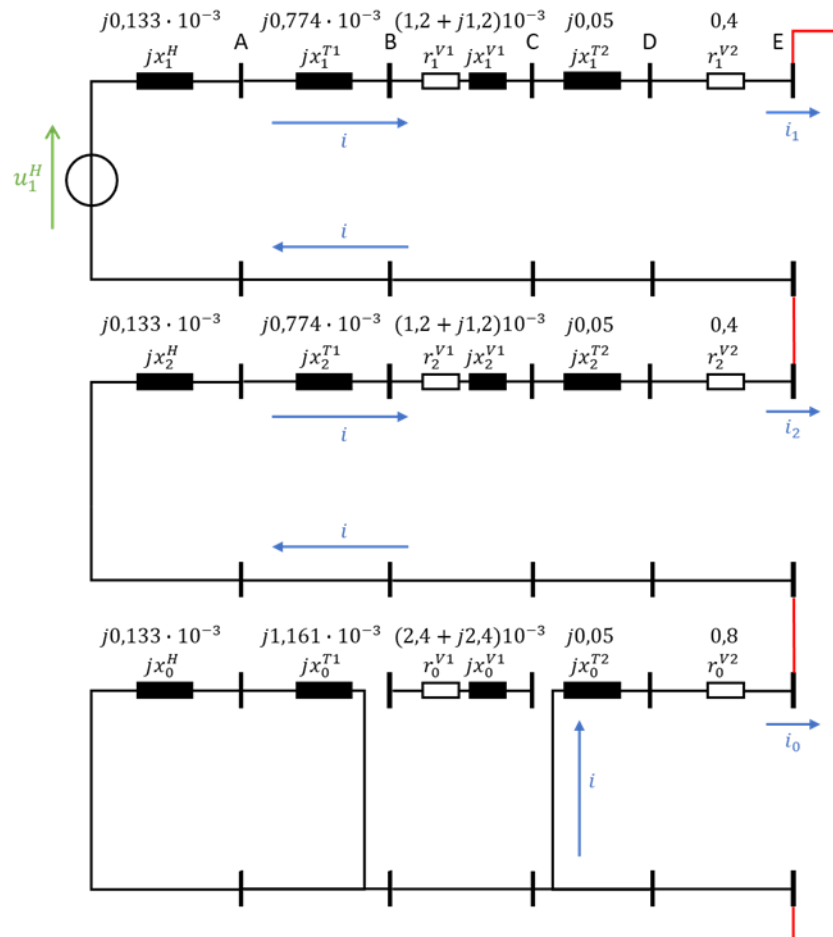
A modellben folyó áram



Az áramköri modellben minden impedancia sorba van kötve, így:

$$\begin{aligned}
 i &= \frac{u_1^H}{2(jx_1^H + jx_1^{T1} + r_1^{V1} + jx_1^{V1} + jx_1^{T2} + r_1^{V2}) + jx_0^{T2} + r_0^{V2}} \\
 &= \frac{1}{1,602 + j0,154} = \\
 &= 0,618 - j0,0595 = \\
 &= 0,621e^{-j5,5^\circ}
 \end{aligned}$$

A hibahelyen folyó sorrendi áramok



A sorrendi modelleket sorba kötöttük a hibahelyen. Ebből az következik, hogy a sorrendi áramok nagysága, és fázisa megegyezik.

$$i_1 = i_2 = i_0 = i = 0,621e^{-j5,5^\circ}$$

A hibahelyen folyó fázisáramok

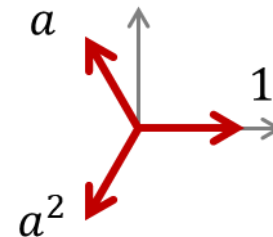
Az eddig kiszámolt mennyiség a zárlati áram sorrendi összetevőinek értéke. Fázisáramokat a transzformációs mátrix segítségével kapunk.

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ i \\ i \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} i_a &= i_0 + i_1 + i_2 = 3i \\ &= 3 \cdot 0,621 e^{-j5,5^\circ} = 1,863 e^{-j5,5^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_b &= i_0 + a^2 i_1 + a i_2 = \\ &= i(1 + a^2 + a) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_c &= i_0 + a i_1 + a^2 i_2 = \\ &= i(1 + a + a^2) = 0 \end{aligned}$$



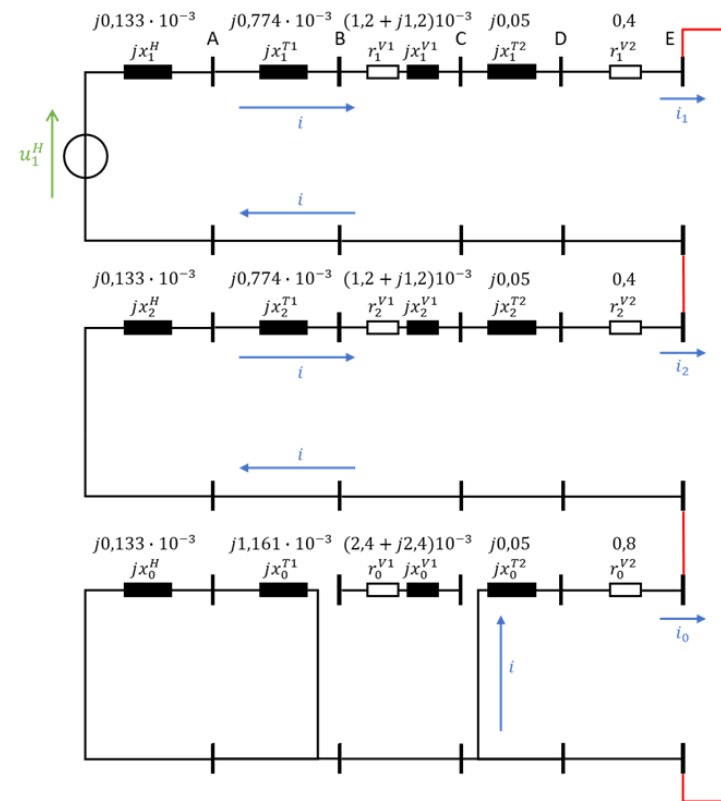
$$i_z = i_a = \mathbf{1,863} e^{-j5,5^\circ}$$



IMSC: Mit is jelent a zárlati áram szöge?

$$i_z = i_a = 1,863e^{-j5,5^\circ}$$

- Röviden a válasz: SEMMIT!
- Hosszabban?

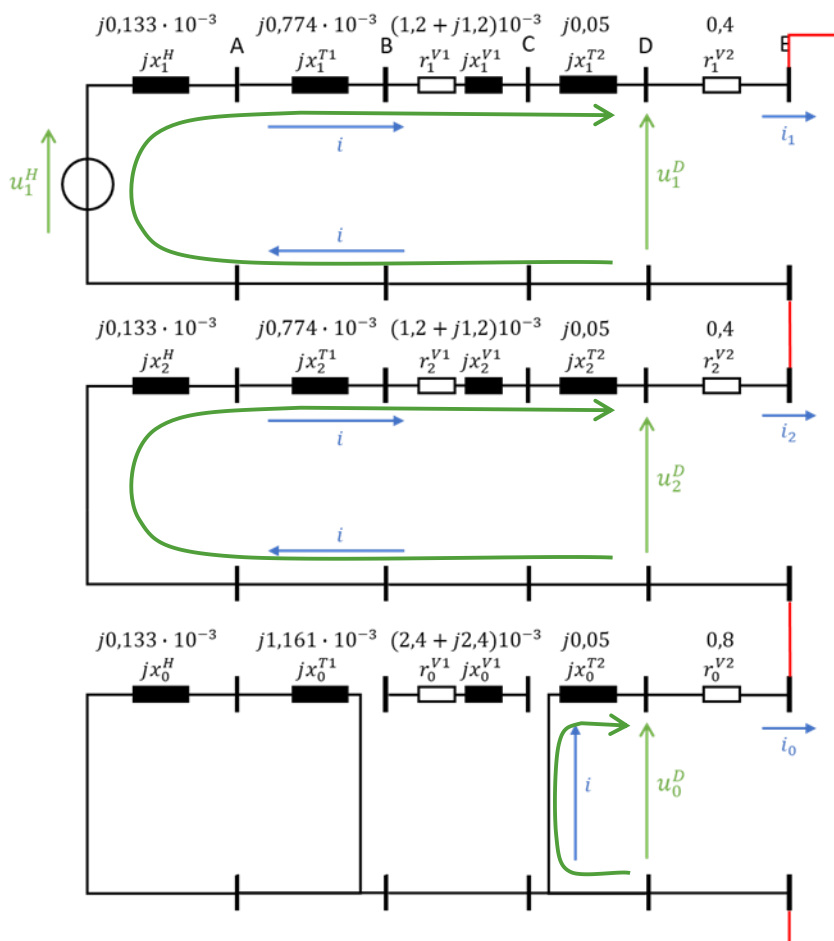


5. feladat

Az E sínen egyfázisú földzárlat (1FN) következik be.
Mekkora a D sín feszültsége?

- 1) Rajzoljuk fel a számításhoz szükséges modellt!
- 2) Határozzuk meg a modellben folyó áramot!
- 3) Határozzuk meg a D sínen a sorrendi feszültségek értékét!
- 4) Határozzuk meg a D sínen a fázis feszültségek értékét!

Sorrendi feszültségek a D sínen



$$\begin{aligned}
 u_1^D &= u_1^H - i(jx_1^H + jx_1^{T1} + r_1^{V1} + jx_1^{V1} + jx_1^{T2}) \\
 &= 1 - 0,621e^{-j5,5^\circ}(0,0012 + j0,521) \\
 &= 0,9962 - j0,0321 \\
 &= 0,9967e^{-j1,85^\circ}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u_2^D &= 0 - i(jx_2^H + jx_2^{T1} + r_2^{V1} + jx_2^{V1} + jx_2^{T2}) \\
 &= -0,621e^{-j5,5^\circ}(0,0012 + j0,521) \\
 &= -0,0038 - j0,0321 \\
 &= 0,0324e^{-j96,82^\circ}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u_0^D &= 0 - i(jx_0^{T2}) \\
 &= -0,621e^{-j5,5^\circ} \cdot j0,05 \\
 &= -0,0030 - j0,0309 \\
 &= 0,0311e^{-j95,5^\circ}
 \end{aligned}$$

Fázisfeszültségek a D sínen

$$\begin{bmatrix} u_0^D \\ u_1^D \\ u_2^D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0030 - j0,0309 \\ 0,9962 - j0,0321 \\ -0,0038 - j0,0321 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0311e^{-j95,5^\circ} \\ 0,9967e^{-j1,85^\circ} \\ 0,0324e^{-j96,82^\circ} \end{bmatrix}$$

A sorrendi mennyiségekből a transzformációs mátrixszal számoljuk a fázismennyiségeket!

$$\begin{bmatrix} u_a^D \\ u_b^D \\ u_c^D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_0^D \\ u_1^D \\ u_2^D \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} u_a^D &= u_0^D + u_1^D + u_2^D = \\ &= 1 \cdot (-0,0030 - j0,0309) + 1 \cdot (0,9962 - j0,0321) - 1 \cdot (0,0038 - j0,0321) = \\ &= 0,9893 - j0,0952 = \mathbf{0,9939e^{-j5,5^\circ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_b^D &= u_0^D + a^2 u_1^D + a u_2^D = \\ &= 1 \cdot 0,0311e^{-j95,5^\circ} + e^{j240^\circ} 0,9967e^{-j1,85^\circ} + e^{j120^\circ} 0,0324e^{-j96,82^\circ} = \\ &= -0,4991 - j0,8648 = \mathbf{0,9985e^{-j119,99^\circ}} \end{aligned}$$

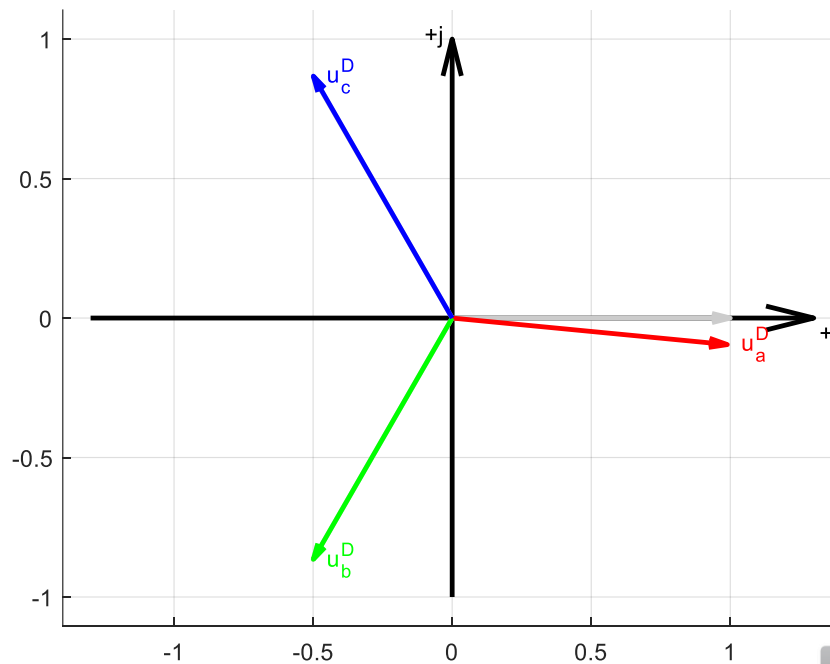
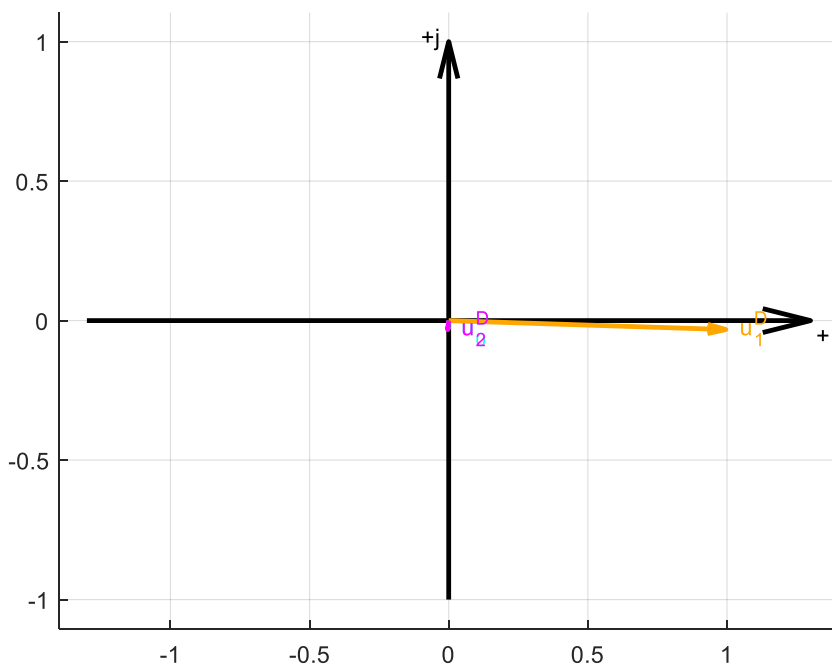
$$\begin{aligned} u_c^D &= u_0^D + a u_1^D + a^2 u_2^D = \\ &= 1 \cdot 0,0311e^{-j95,5^\circ} + e^{j120^\circ} 0,9967e^{-j1,85^\circ} + e^{j240^\circ} 0,0324e^{-j96,82^\circ} = \\ &= -0,4991 + j0,8673 = \mathbf{1,006e^{+j119,92^\circ}} \end{aligned}$$



Sorrendi és fázisfeszültségek fazorai

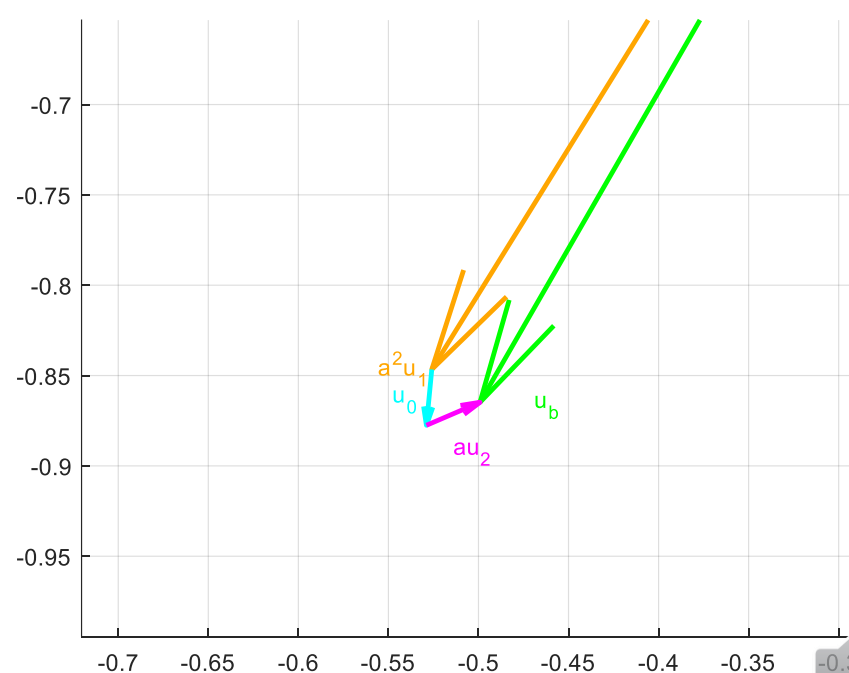
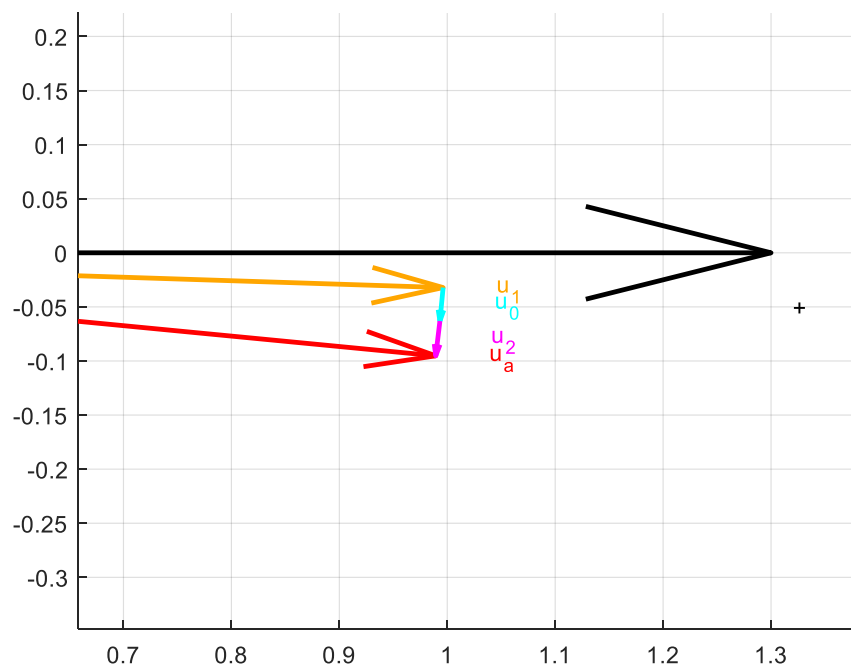
Értelmezzük az eredményeket!

$$\begin{bmatrix} u_0^D \\ u_1^D \\ u_2^D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0311e^{-j95,5^\circ} \\ 0,9967e^{-j1,85^\circ} \\ 0,0324e^{-j96,82^\circ} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} u_a^D \\ u_b^D \\ u_c^D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,9939e^{-j5,5^\circ} \\ 0,9985e^{-j119,99^\circ} \\ 1,006e^{+j119,92^\circ} \end{bmatrix}$$



Sorrendi és fázisfeszültségek fazorai

$$u_a^D = u_0^D + u_1^D + u_2^D, \quad u_b^D = u_0^D + a^2 u_1^D + a u_2^D$$

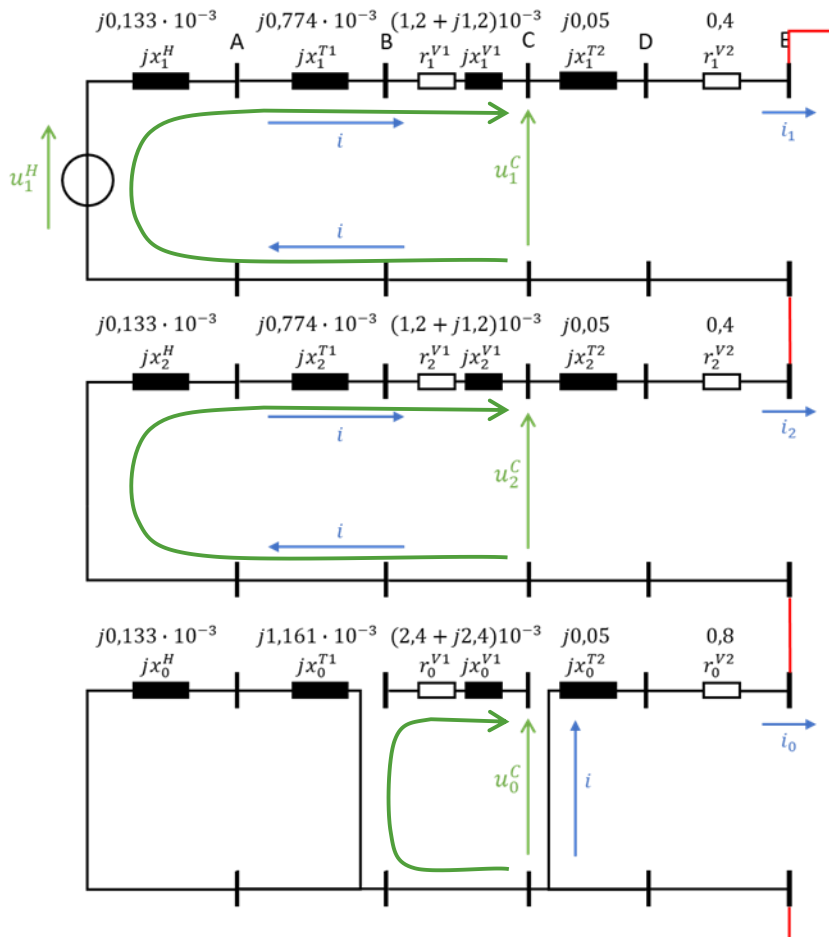


6. feladat

Az E sínen egyfázisú földzárlat (1FN) következik be.
Mekkora a C sín feszültsége?

- 1) Rajzoljuk fel a számításhoz szükséges modellt!
- 2) Határozzuk meg a modellben folyó áramot!
- 3) Határozzuk meg a C sínen a sorrendi feszültségek értékét!
- 4) Határozzuk meg a C sínen a fázis feszültségek értékét!

Sorrendi feszültségek a C sínen



$$\begin{aligned}
 u_1^C &= u_1^H - i(jx_1^H + jx_1^{T1} + r_1^{V1} + jx_1^{V1}) \\
 &= 1 - 0,621e^{-j5,5^\circ}(0,0012 + j0,021) \\
 &= 0,9991 - j0,0012 \\
 &= 0,9991e^{-j0,07^\circ}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u_2^C &= 0 - i(jx_2^H + jx_2^{T1} + r_2^{V1} + jx_2^{V1}) \\
 &= -0,621e^{-j5,5^\circ}(0,0012 + j0,021) \\
 &= -0,0009 - j0,0012 \\
 &= 0,0015e^{-j125,15^\circ}
 \end{aligned}$$

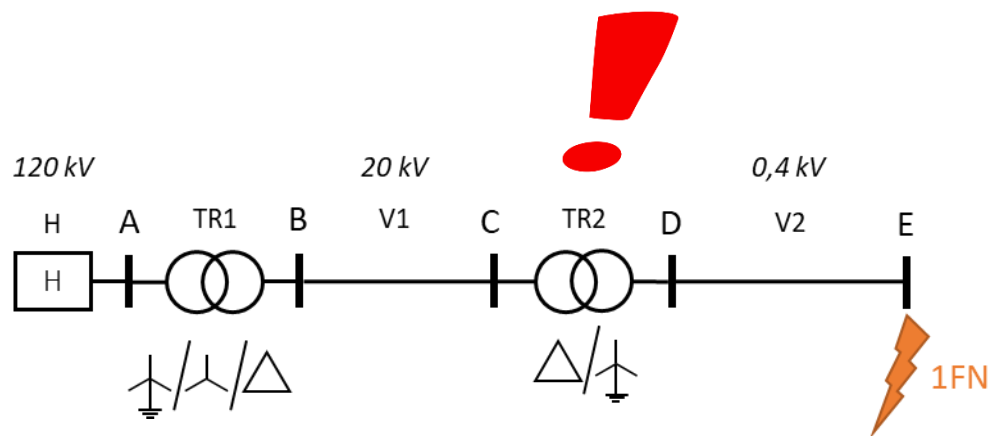
$$u_0^C = 0$$

Sorrendi feszültségek a C sínen

$$\begin{bmatrix} u_0^C \\ u_1^C \\ u_2^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,9991 - j0,0012 \\ -0,0009 - j0,0012 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,9991e^{-j0,07^\circ} \\ 0,0015e^{-j125,15^\circ} \end{bmatrix}$$

A sorrendi mennyiségekből a transzformációs mátrixszal számoljuk a fázismennyiségeket!

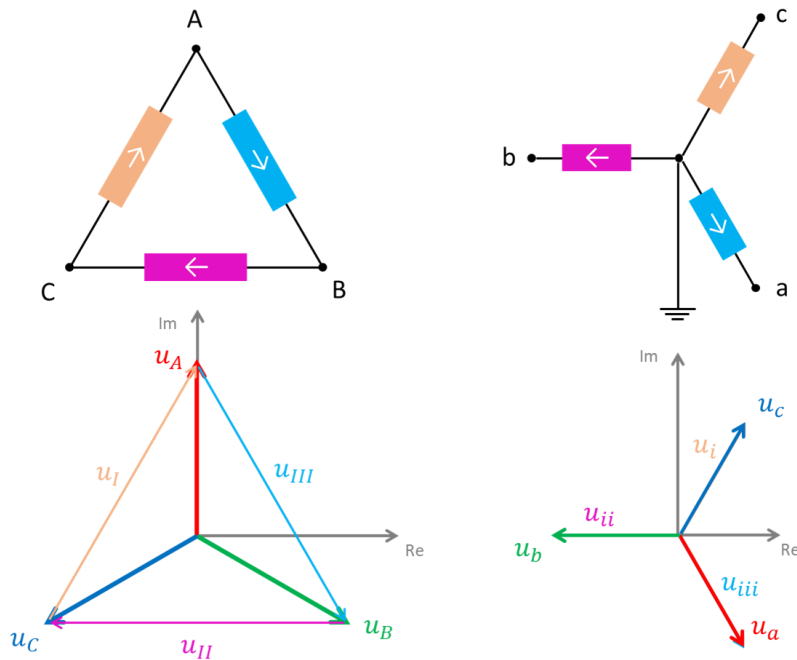
$$\begin{bmatrix} u_a^C \\ u_b^C \\ u_c^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_0^C \\ u_1^C \\ u_2^C \end{bmatrix}$$



Transzformátor forgatás: Dy5

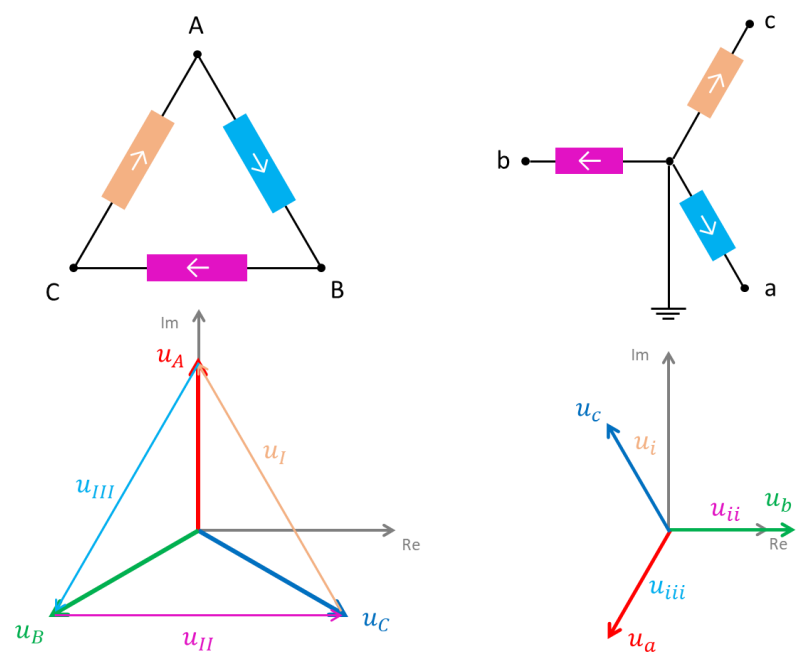
Pozitív sorrendű komponensekre

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



Negatív sorrendű komponensekre

$$u_2^N = u_2^K e^{-j(k \cdot 30^\circ)}$$



Fázisfeszültségek a C sínen

$$\begin{bmatrix} u_0^C \\ u_{1,for}^C \\ u_{2,for}^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,9991e^{-j0,07^\circ} e^{j150^\circ} \\ 0,0015e^{-j125,15^\circ} e^{-j150^\circ} \end{bmatrix}$$

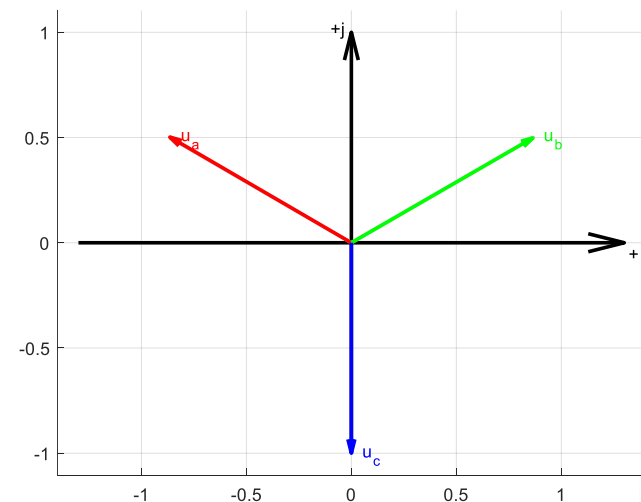
A sorrendi mennyiségekből a transzformációs mátrixszal számoljuk a fázismennyiségeket!

$$\begin{bmatrix} u_a^C \\ u_b^C \\ u_c^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_0^C \\ u_{1,for}^C \\ u_{2,for}^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0,9991e^{j149,93^\circ} \\ 0,0015e^{-j275,15^\circ} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} u_a^C &= u_0^C + u_{1,for}^C + u_{2,for}^C = \\ &= 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0,9991e^{j149,93^\circ} - 1 \cdot 0,0015e^{-j275,15^\circ} = \\ &= -0,8645 + j0,5021 = \mathbf{0,9998e^{j149,85^\circ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_b^C &= u_0^C + a^2 u_{1,for}^C + a u_{2,for}^C = \\ &= 1 \cdot 0 + e^{j240^\circ} 0,9991e^{-j150,07^\circ} + e^{j120^\circ} 0,0015e^{-j275,15^\circ} = \\ &= 0,8645 + j0,4979 = \mathbf{0,9976e^{j29,94^\circ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_c^C &= u_0^C + a u_{1,for}^C + a^2 u_{2,for}^C = \\ &= 1 \cdot 0 + e^{j120^\circ} 0,9991e^{-j150,07^\circ} + e^{j240^\circ} 0,0015e^{-j275,15^\circ} = \\ &= j1 = \mathbf{1,000e^{-j90^\circ}} \end{aligned}$$



7. feladat

Az E sínen egyfázisú földzárlat (1FN) következik be.
Mekkora a C sínen a fázisáramok értéke?

- 1) Rajzoljuk fel a számításhoz szükséges modellt!
- 2) Határozzuk meg a modellben folyó áramot!
- 3) Határozzuk meg a C sínen a sorrendi áramok értékét!
- 4) Határozzuk meg a C sínen a fázisáramok értékét!

Sorrendi áramok a C sínen

Korábban már kiszámítottuk a zárlati áramot, amely azonban csak a kisfeszültségű hálózatrészre érvényes (D és E gyűjtősínek).

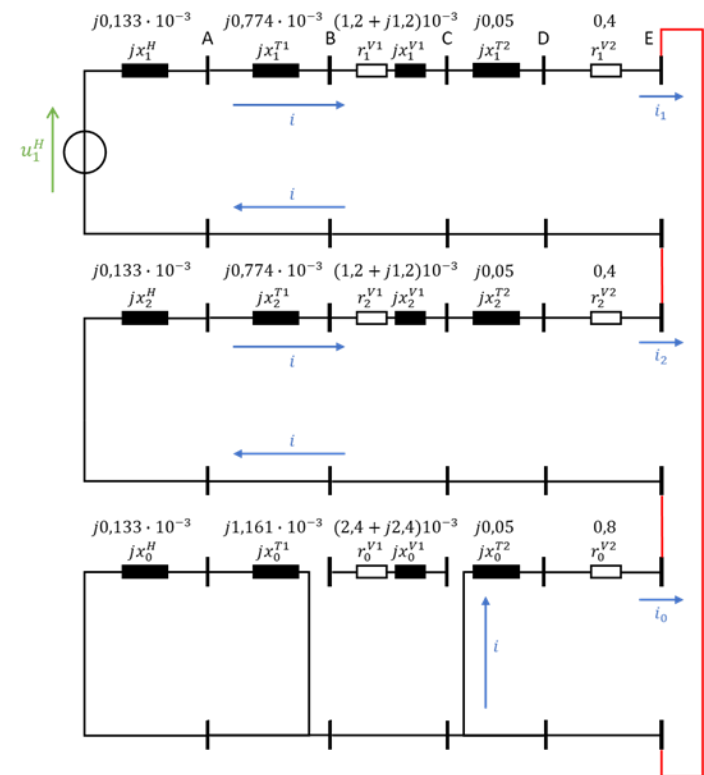
$$i_1^E = i_2^E = i_0^E = i = 0,621e^{-j5,5^\circ}$$

A C pontot ezektől egy Dy5 kapcsolású transzformátor választja el. Emiatt a feszültséghez hasonlóan forgatást veszünk figyelembe:

$$i_{1,for}^C = i_1^E e^{+j150^\circ} = 0,621e^{+j144,5^\circ}$$

$$i_{2,for}^C = i_2^E e^{-j150^\circ} = 0,621e^{-j155,5^\circ}$$

$$i_0^C = 0$$



Fázisáramok számítása C sínen

$$\begin{bmatrix} i_a^C \\ i_b^C \\ i_c^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0^C \\ i_{1,for}^C \\ i_{2,for}^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0,621e^{+j144,5^\circ} \\ 0,621e^{-j155,5^\circ} \end{bmatrix}$$

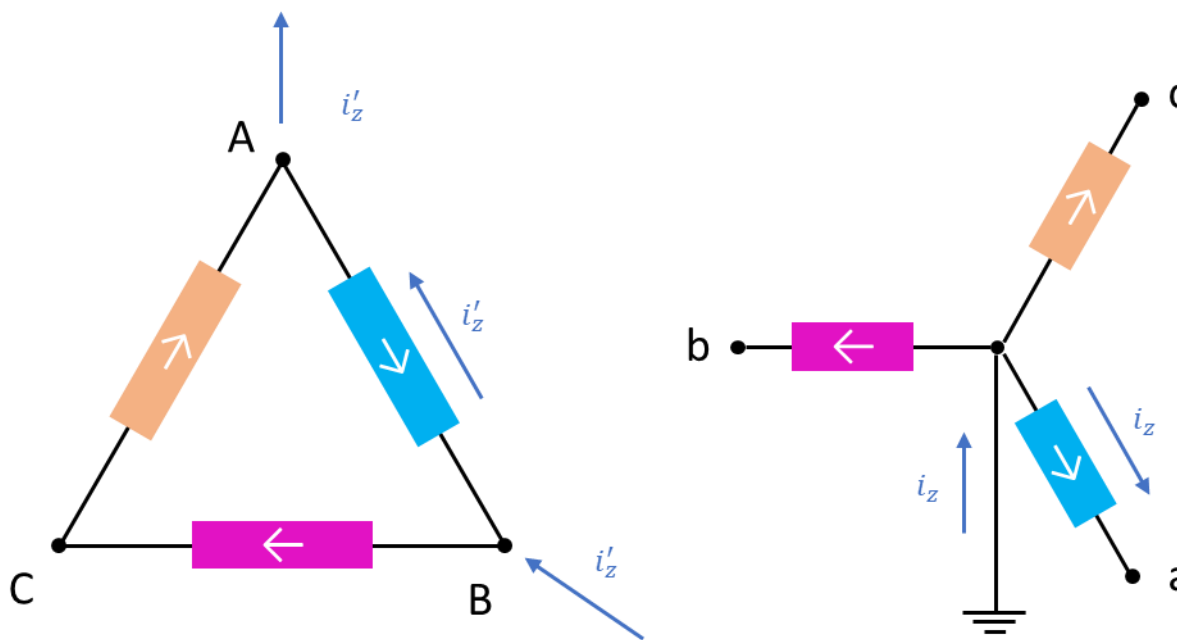
$$\begin{aligned} i_a^C &= i_0^C + i_{1,for}^C + i_{2,for}^C = \\ &= 0 + 0,621 e^{+j144,5^\circ} + 0,621 e^{-j155,5^\circ} = \\ &= 0,621(e^{+j144,5^\circ} + e^{-j155,5^\circ}) = \mathbf{1,076e^{j174,5^\circ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_b^C &= i_0^C + a^2 i_{1,for}^C + a i_{2,for}^C = \\ &= 0 + e^{-j120^\circ} 0,621 e^{+j144,5^\circ} + e^{+j120^\circ} 0,621 e^{-j155,5^\circ} = \\ &= 0,621(e^{+j24,5^\circ} + e^{-j35,5^\circ}) = \mathbf{1,076e^{-j5,5^\circ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_c^C &= i_0^C + a i_{1,for}^C + a^2 i_{2,for}^C = \\ &= 0 + e^{+j120^\circ} 0,621 e^{+j144,5^\circ} + e^{-j120^\circ} 0,621 e^{-j155,5^\circ} = \\ &= 0,621(e^{+j264,5^\circ} + e^{-j275,5^\circ}) = \mathbf{0} \end{aligned}$$

Fázisáramok értelmezése

$$i'_z = i_a^C = -i_b^C = 1,076e^{j174,5^\circ} = -1,076e^{-j5,5^\circ}, \text{ illetve } i_z = i_a^E = 1,863e^{-j5,5^\circ}$$



IMSC kérdés: a két áram hányadosa egy nevezetes irracionális szám. Miért?

2F zárlat a C sínen

8. feladat: zárlati áram

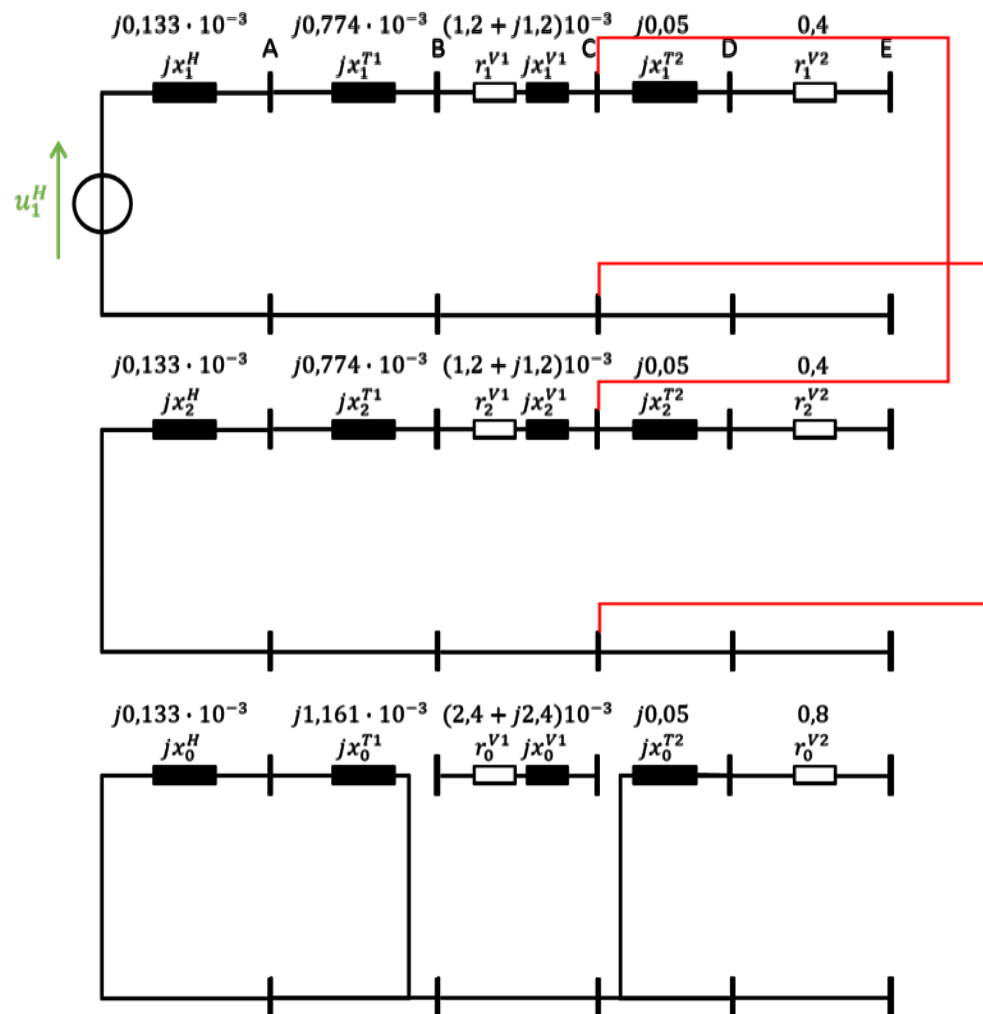
9. feladat: C és D sín feszültségei

8. feladat

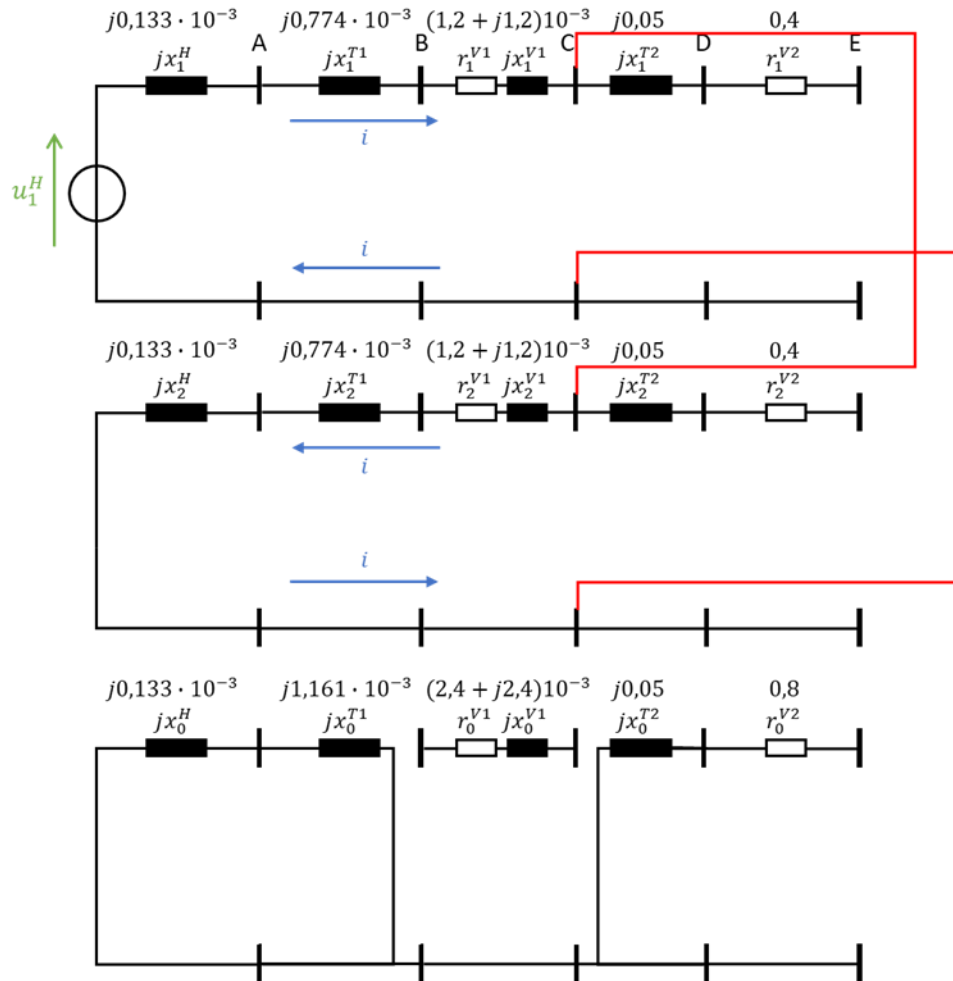
A C sínen kétfázisú zárlat (2F) következik be.
Mekkora a zárlati áram értéke?

- 1) Rajzoljuk fel a számításhoz szükséges modellt!
- 2) Határozzuk meg a modellben folyó áramot!
- 3) Határozzuk meg a hibahelyen a sorrendi áramok értékét!
- 4) Határozzuk meg a hibahelyen a fázisáramok értékét!

A számításhoz szükséges modell



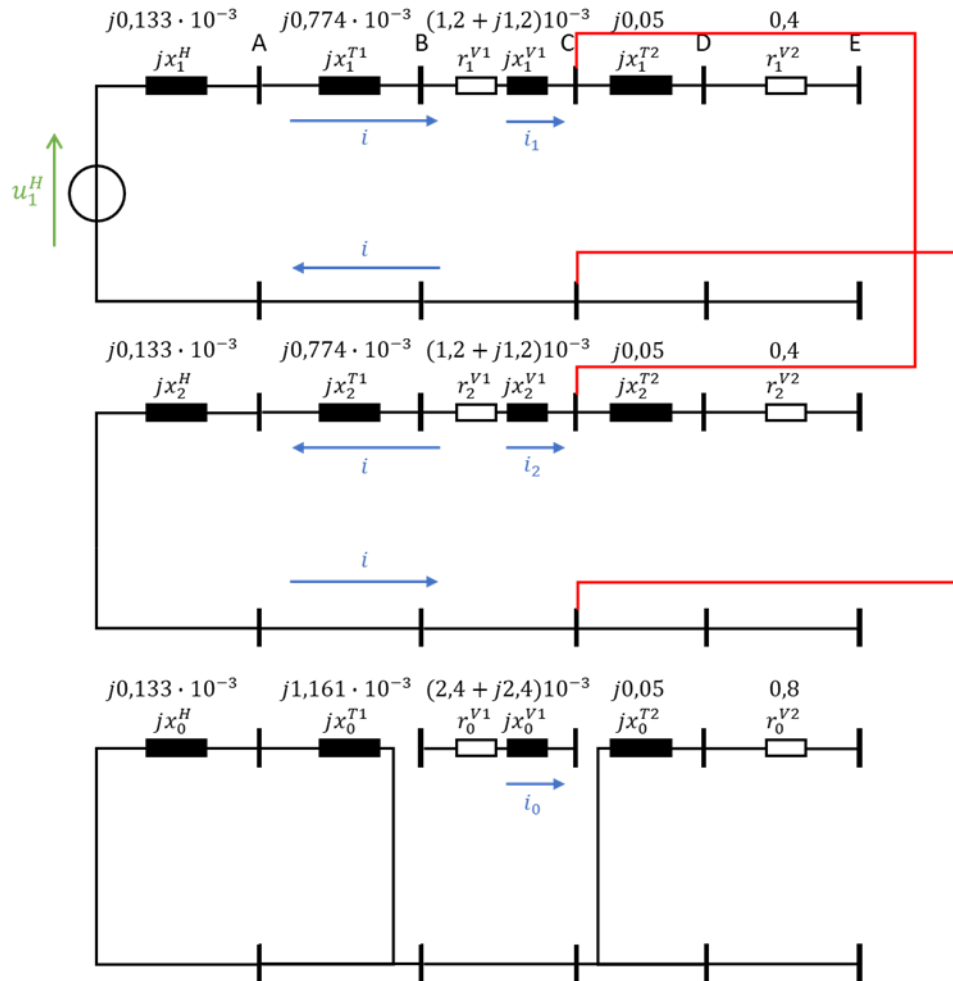
A modellben folyó áram



$$\begin{aligned}
 i &= \frac{u_1^H}{2(jx_1^H + jx_1^{T1} + r_1^{V1} + jx_1^{V1})} = \\
 &= \frac{1}{(2,4 + j4,215)10^{-3}} = \\
 &= 103,16 - j179,11 = \\
 &= 206,2e^{-j60,3^\circ}
 \end{aligned}$$



A hibahelyen folyó sorrendi áramok



$$i_1 = i$$

$$= 206,2e^{-j60,3^\circ}$$

$$i_2 = -i$$

$$= -206,2e^{-j60,3^\circ}$$

$$i_0 = 0$$

A hibahelyi fázisáramok és a zárlati áram

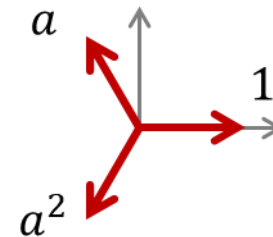
A fázisáramokat a transzformációs mátrixszal tudjuk számítani:

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ i \\ -i \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} i_a &= i_0 + i_1 + i_2 = \\ &= 0 + i - i = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_b &= i_0 + a^2 i_1 + a i_2 \\ &= 0 + a^2 i - a i = (a^2 - a) i = -j\sqrt{3} i \\ &= j\sqrt{3} \cdot 206,2 e^{-j60,3^\circ} = 357 e^{-j150,3^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_c &= i_0 + a i_1 + a^2 i_2 \\ &= 0 + a i - a^2 i = (a - a^2) i = j\sqrt{3} i \\ &= -j\sqrt{3} \cdot 206,2 e^{-j60,3^\circ} = 357 e^{j29,7^\circ} \end{aligned}$$



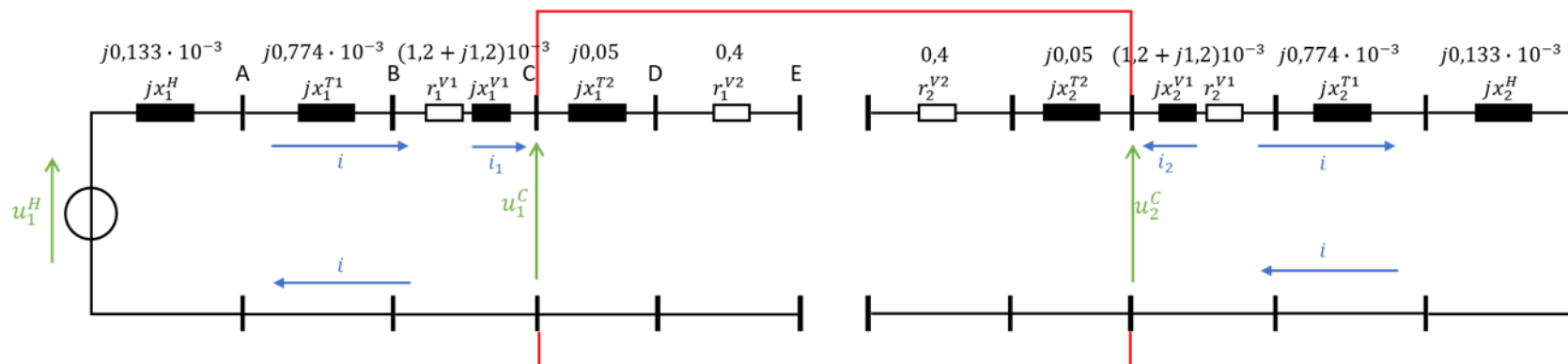
$$i_z = |i_b| = |i_c| = \mathbf{357}$$

9. feladat

A C sínen kétfázisú zárlat (2F) következik be.
Mekkora a C és D sínen a fázisfeszültségek értéke?

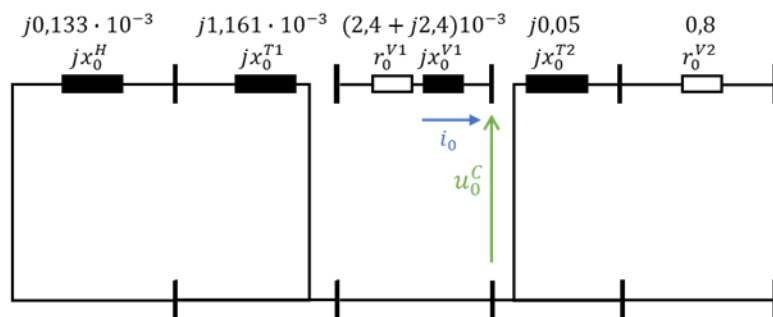
- 1) Rajzoljuk fel a számításhoz szükséges modellt!
- 2) Határozzuk meg a C és D sínen a sorrendi feszültségek értékét!
- 3) Határozzuk meg a C és D sínen a fázisfeszültségek értékét!

Sorrendi összetevők számítása



1) Feszültségosztással számolhatunk, ha jól megfigyeljük, akkor pozitív és negatív sorrendű impedanciák sorba vannak közve, s értékük azonos:

$$u_1^C = u_2^C = 0,5, \quad u_0^C = 0$$



2) Egyből számítsuk ki a D sín sorrendi feszültségeit is, melyek értéke megegyezik a C sínével:

$$u_1^D = u_2^D = 0,5, \quad u_0^D = 0$$



Fázisfeszültségek a C sínen

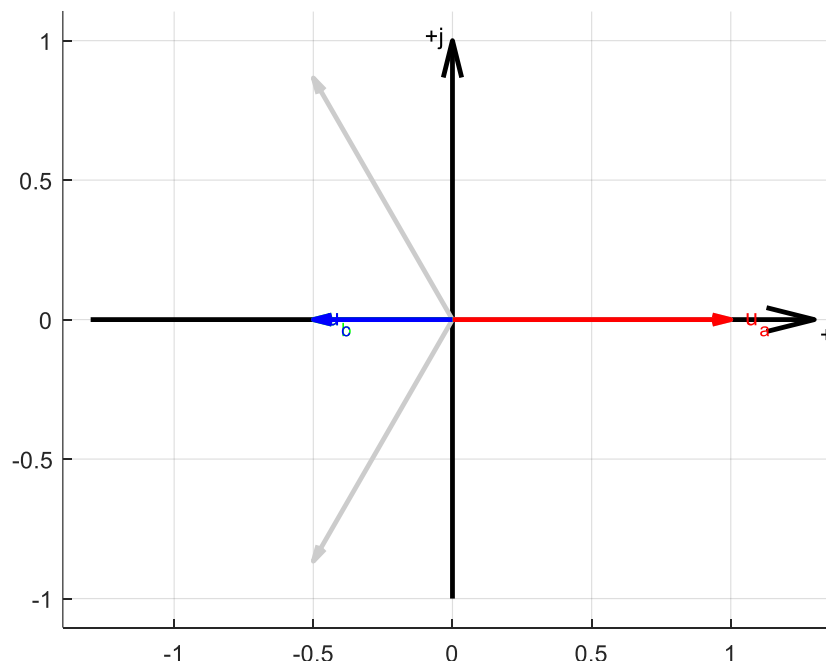
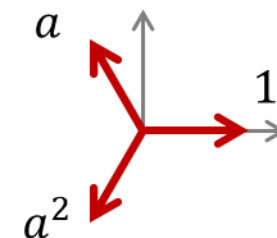
Az eddig kiszámolt mennyiségek a C sín sorrendi feszültségeinek értéke. Ebből fázisfeszültséget a transzformációs mátrix segítségével kapunk.

$$\begin{bmatrix} u_a^C \\ u_b^C \\ u_c^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0,5 \\ 0,5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} u_a^C &= u_0^C + u_1^C + u_2^C = \\ &= 0 + 0,5 + 0,5 = 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_b^C &= u_0^C + a^2 u_1^C + a u_2^C = \\ &= 0 + (a^2 + a)0,5 = \\ &= -0,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_c^C &= u_0^C + a u_1^C + a^2 u_2^C = \\ &= 0 + (a + a^2)0,5 = \\ &= -0,5 \end{aligned}$$



Fázisfeszültségek a D sínen

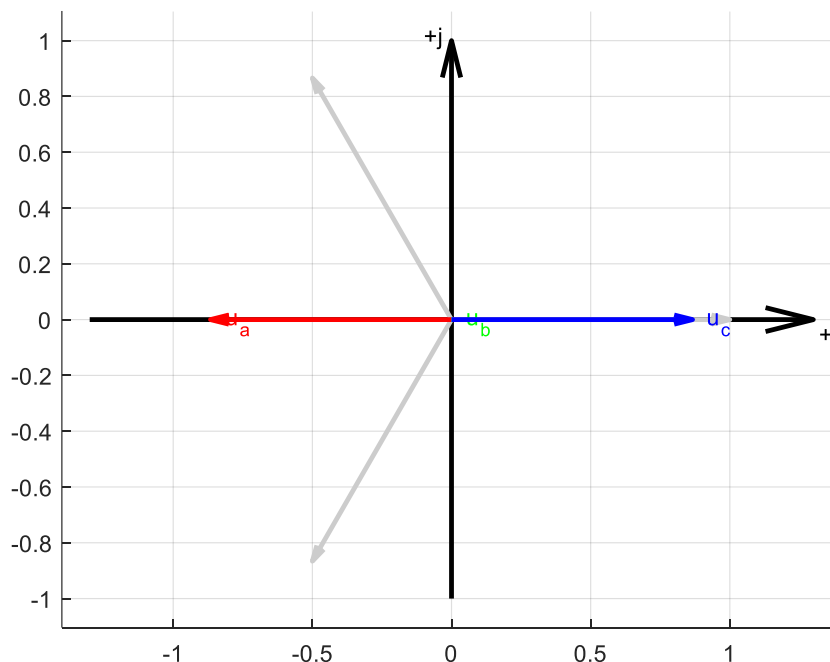
Az eddig kiszámolt mennyiségek a D sín sorrendi feszültségeinek értéke. Ebből fázisfeszültséget a transzformációs mátrix segítségével kapunk:

$$\begin{bmatrix} u_a^D \\ u_b^D \\ u_c^D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0,5e^{-j150^\circ} \\ 0,5e^{j150^\circ} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} u_a^D &= u_0^D + u_1^D + u_2^D = \\ &= 0 + 0,5e^{-j150^\circ} + 0,5e^{j150^\circ} \\ &= -0,866 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_b^D &= u_0^D + a^2 u_1^D + a u_2^D \\ &= 0 + e^{j240^\circ} 0,5e^{-j150^\circ} + e^{j120^\circ} 0,5e^{j150^\circ} \\ &= 0 + 0,5e^{j90^\circ} + 0,5e^{j270^\circ} \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_c^D &= u_0^D + a u_1^D + a^2 u_2^D \\ &= 0 + e^{j120^\circ} 0,5e^{-j150^\circ} + e^{j240^\circ} 0,5e^{j150^\circ} \\ &= 0 + 0,5e^{-j30^\circ} + 0,5e^{j30^\circ} \\ &= 0,866 \end{aligned}$$



2FN zárlat a C sínen

10. feladat: C és D sín feszültségei



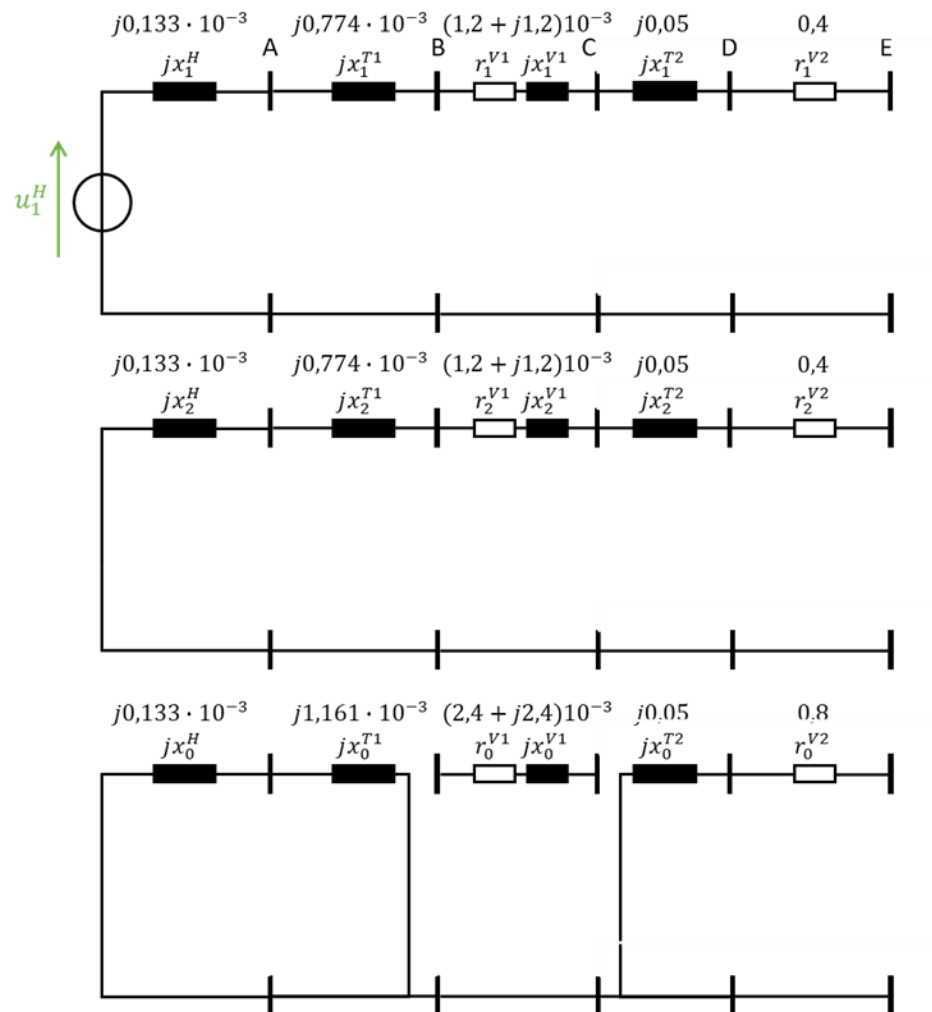
10. feladat

A C sínen kétfázisú földzárlat (2FN) következik be.
Mekkora a C és D sínen a fázisfeszültségek értéke?

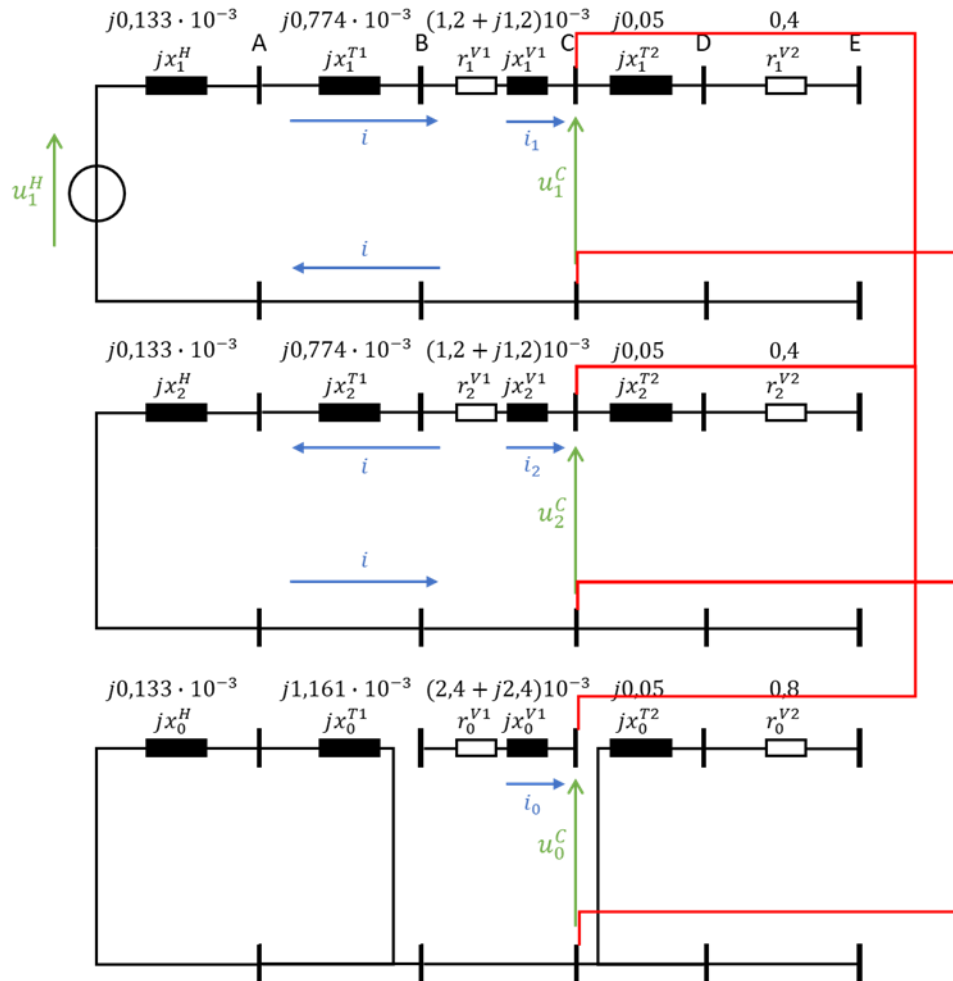
- 1) Rajzoljuk fel a számításhoz szükséges modellt!
- 2) Határozzuk meg a C és D sínen a sorrendi feszültségek értékét!
- 3) Határozzuk meg a C és D sínen a fázisfeszültségek értékét!



A számításhoz szükséges modell



Sorrendi összetevők számítása



A 9-es feladathoz hasonlóan feszültség osztással számolhatunk. A különbség annyi, hogy a földérintés miatt a zérus sorrendű modellben mást fogunk kapni:

$$u_0^C = u_1^C = u_2^C = 0,5$$

Egyből számítsuk ki a D sín sorrendi feszültségeit is, melyek nem változnak a 2F esethez képest:

$$u_1^D = u_2^D = 0,5, \quad u_0^D = 0$$



Fázisfeszültségek a C sínen

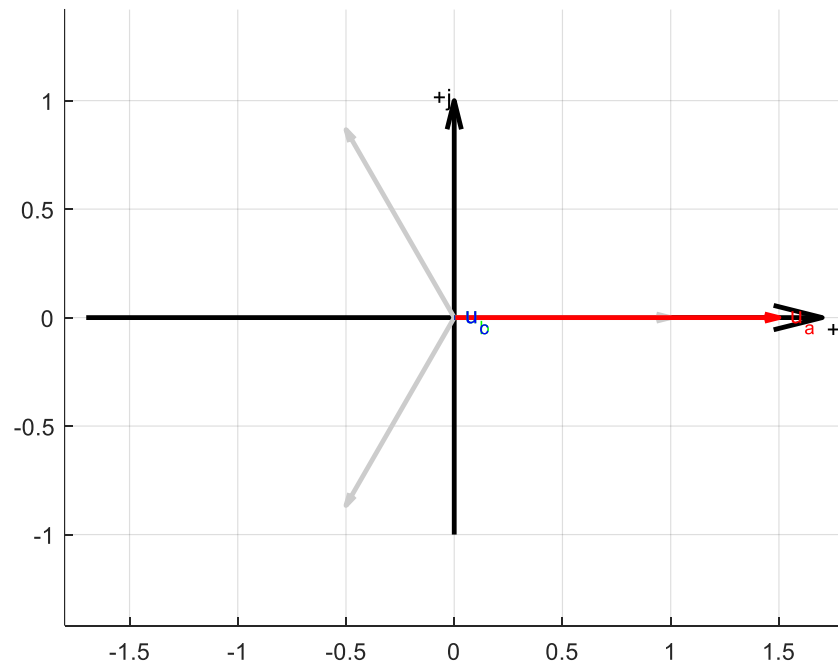
Az eddig kiszámolt mennyiségek a C sín sorrendi feszültségeinek értéke. Ebből fázisfeszültséget a transzformációs mátrix segítségével kapunk.

$$\begin{bmatrix} u_a^C \\ u_b^C \\ u_c^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0,5 \\ 0,5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} u_a^C &= u_0^C + u_1^C + u_2^C = \\ &= 0,5 + 0,5 + 0,5 = 1,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_b^C &= u_0^C + a^2 u_1^C + a u_2^C = \\ &= (1 + a^2 + a)0,5 = \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_c^C &= u_0^C + a u_1^C + a^2 u_2^C = \\ &= (1 + a + a^2)0,5 = \\ &= 0 \end{aligned}$$



Fázisfeszültségek a D sínen

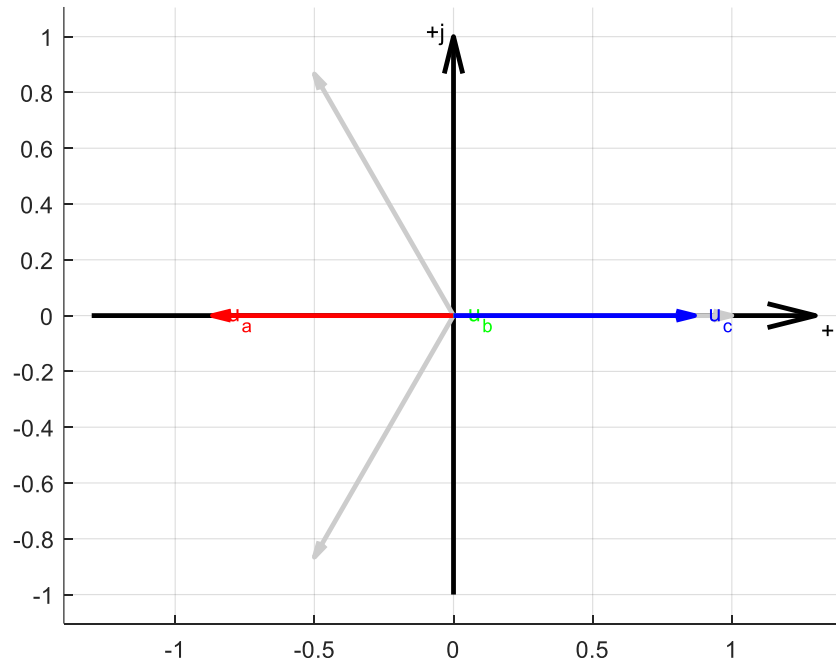
Az eddig kiszámolt mennyiségek a D sín sorrendi feszültségeinek értéke. Ebből fázisfeszültséget a transzformációs mátrix segítségével kapunk, de figyelembe kell venni a transzformátor forgatást is:

$$\begin{bmatrix} u_a^D \\ u_b^D \\ u_c^D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0,5e^{-j150^\circ} \\ 0,5e^{j150^\circ} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} u_a^D &= u_0^D + u_1^D + u_2^D = \\ &= 0 + 0,5e^{-j150^\circ} + 0,5e^{j150^\circ} = 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_b^D &= u_0^D + a^2 u_1^D + a u_2^D \\ &= 0 + e^{j240^\circ} 0,5e^{-j150^\circ} + e^{j120^\circ} 0,5e^{j150^\circ} \\ &= 0 + 0,5e^{j90^\circ} + 0,5e^{j270^\circ} \\ &= -0,866 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_c^D &= u_0^D + a u_1^D + a^2 u_2^D \\ &= 0 + e^{j120^\circ} 0,5e^{-j150^\circ} + e^{j240^\circ} 0,5e^{j150^\circ} \\ &= 0 + 0,5e^{-j30^\circ} + 0,5e^{j30^\circ} \\ &= 0,866 \end{aligned}$$



1FN zárlat a C sínen

11. feladat: Zárlati áram, C és D sín feszültségei

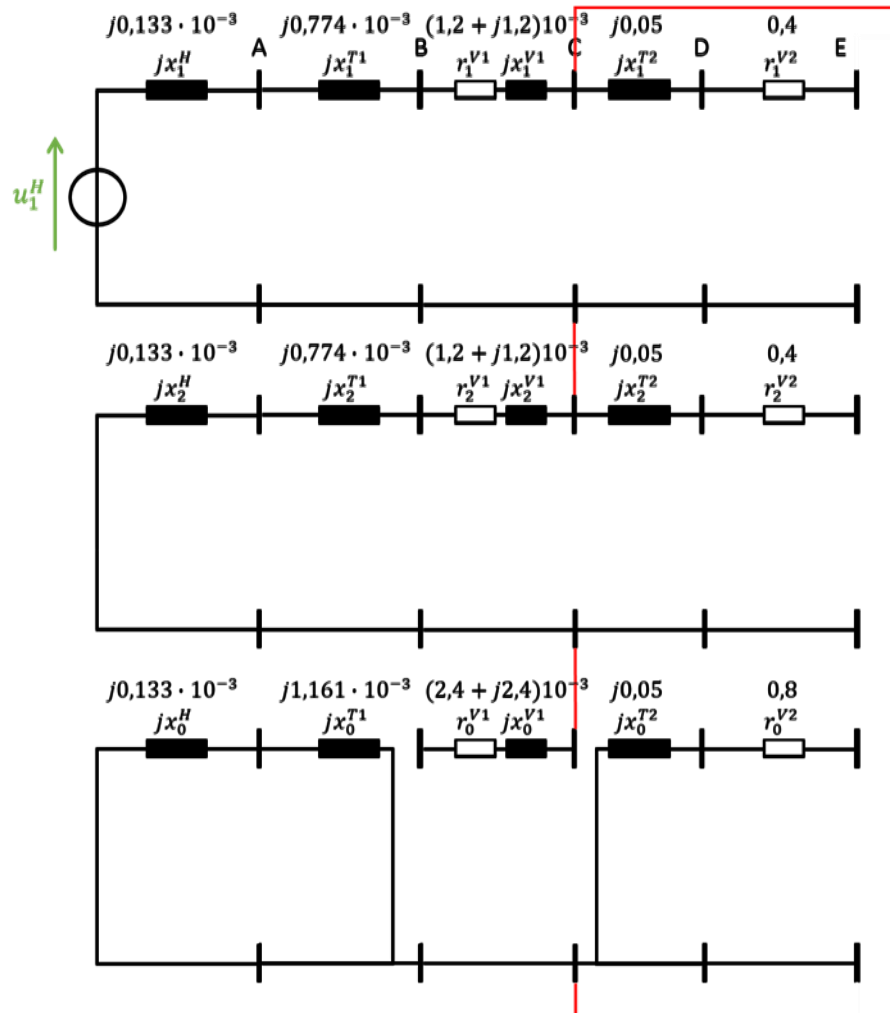
11. feladat

A C sínen egyfázisú földzárlat (1FN) következik be.

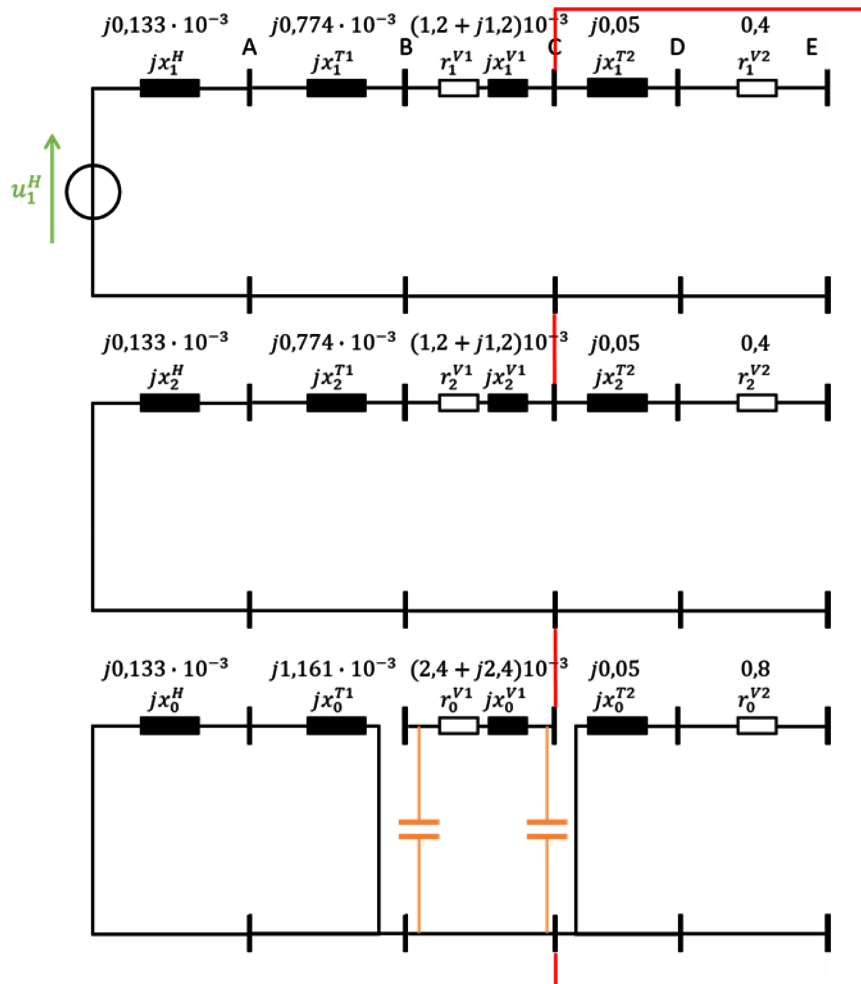
Mekkora a zárlati áram, a C és D sínen a fázisfeszültségek értéke?

- 1) Rajzoljuk fel a számításhoz szükséges modellt!
- 2) Határozzuk meg az áramok értékét!
- 3) Határozza meg a C és D sínen a sorrendi feszültségek értékét!
- 4) Határozzuk meg a C és D sínen a fázisfeszültségek értékét!

A számításhoz szükséges modell



Áramok számítása



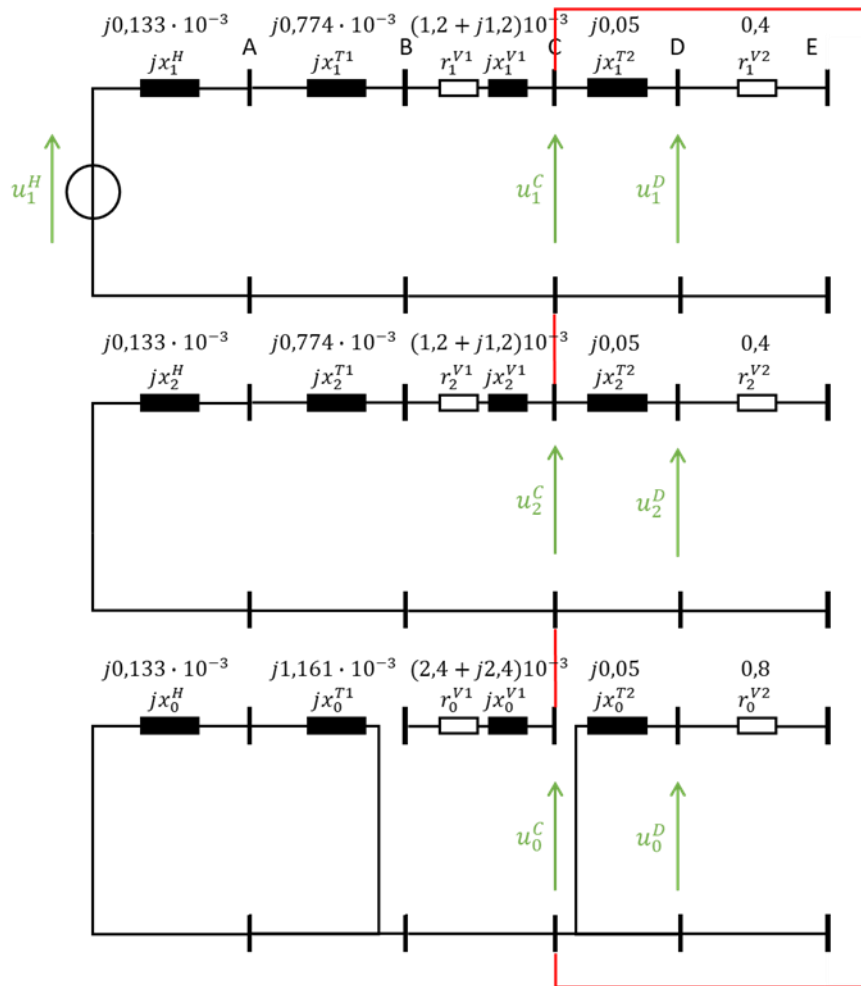
$$i = 0$$

$$i_1 = i_2 = i_0 = 0$$

$$i_a = i_b = i_c = 0$$



Sorrendi feszültségek számítása



Határozzuk meg a C sín sorrendi feszültségeit!

$$\begin{aligned} u_1^C &= 1 \\ u_2^C &= 0 \\ u_0^C &= -1 \end{aligned}$$

Határozzuk meg a D sín sorrendi feszültségeit!

$$\begin{aligned} u_1^D &= 1 \\ u_2^D &= 0 \\ u_0^D &= 0 \end{aligned}$$

Fázisfeszültségek a C sínen

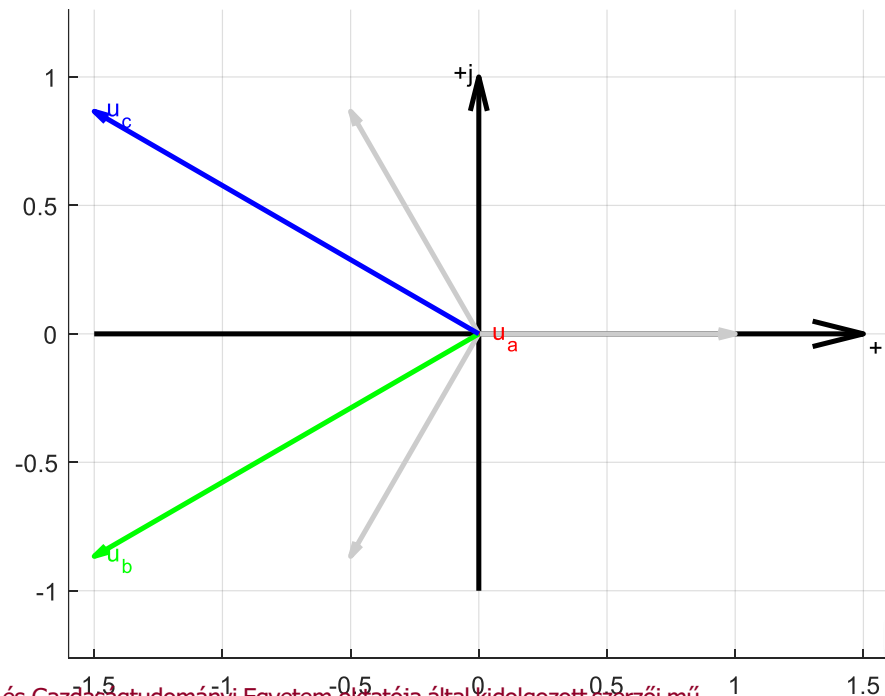
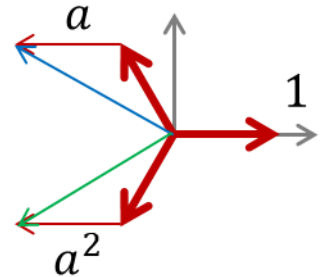
Az eddig kiszámolt mennyiségek a C sín sorrendi feszültségeinek értéke. Ebből fázisfeszültséget a transzformációs mátrix segítségével kapunk.

$$\begin{bmatrix} u_a^C \\ u_b^C \\ u_c^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} u_a^C &= u_0^C + u_1^C + u_2^C = \\ &= -1 + 1 + 0 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_b^C &= u_0^C + a^2 u_1^C + a u_2^C = \\ &= -1 + a^2 = \\ &= \sqrt{3}e^{-j150^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_c^C &= u_0^C + a u_1^C + a^2 u_2^C = \\ &= -1 + a = \\ &= \sqrt{3}e^{j150^\circ} \end{aligned}$$



Fázisfeszültségek a D sínen

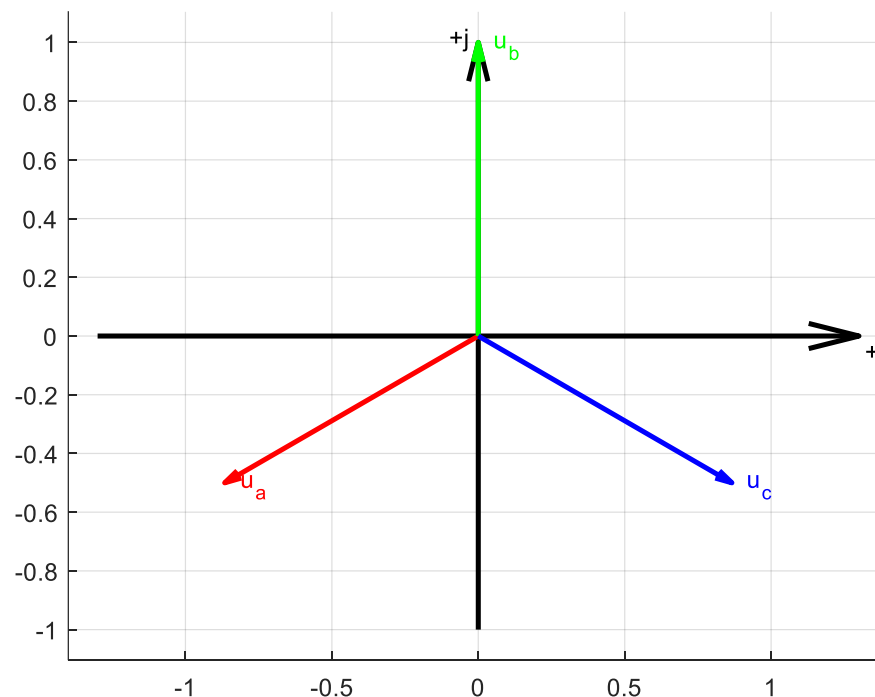
Az eddig kiszámolt mennyiségek a D sín sorrendi feszültségeinek értéke. Ebből fázisfeszültséget a transzformációs mátrix segítségével kapunk, de figyelembe kell venni a transzformátor forgatást is:

$$\begin{bmatrix} u_a^D \\ u_b^D \\ u_c^D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1e^{-j150^\circ} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} u_a^D &= u_0^D + u_1^D + u_2^D = \\ &= 0 + 1e^{-j150^\circ} + 0 = e^{-j150^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_b^D &= u_0^D + a^2 u_1^D + a u_2^D \\ &= 0 + e^{j240^\circ} e^{-j150^\circ} + e^{j120^\circ} \cdot 0 \\ &= 0 + e^{j90^\circ} + 0 \\ &= j \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_c^D &= u_0^D + a u_1^D + a^2 u_2^D \\ &= 0 + e^{j120^\circ} e^{-j150^\circ} + e^{j240^\circ} \cdot 0 \\ &= 0 + 1e^{-j30^\circ} \\ &= e^{-j30^\circ} \end{aligned}$$



Köszönöm a figyelmet!

