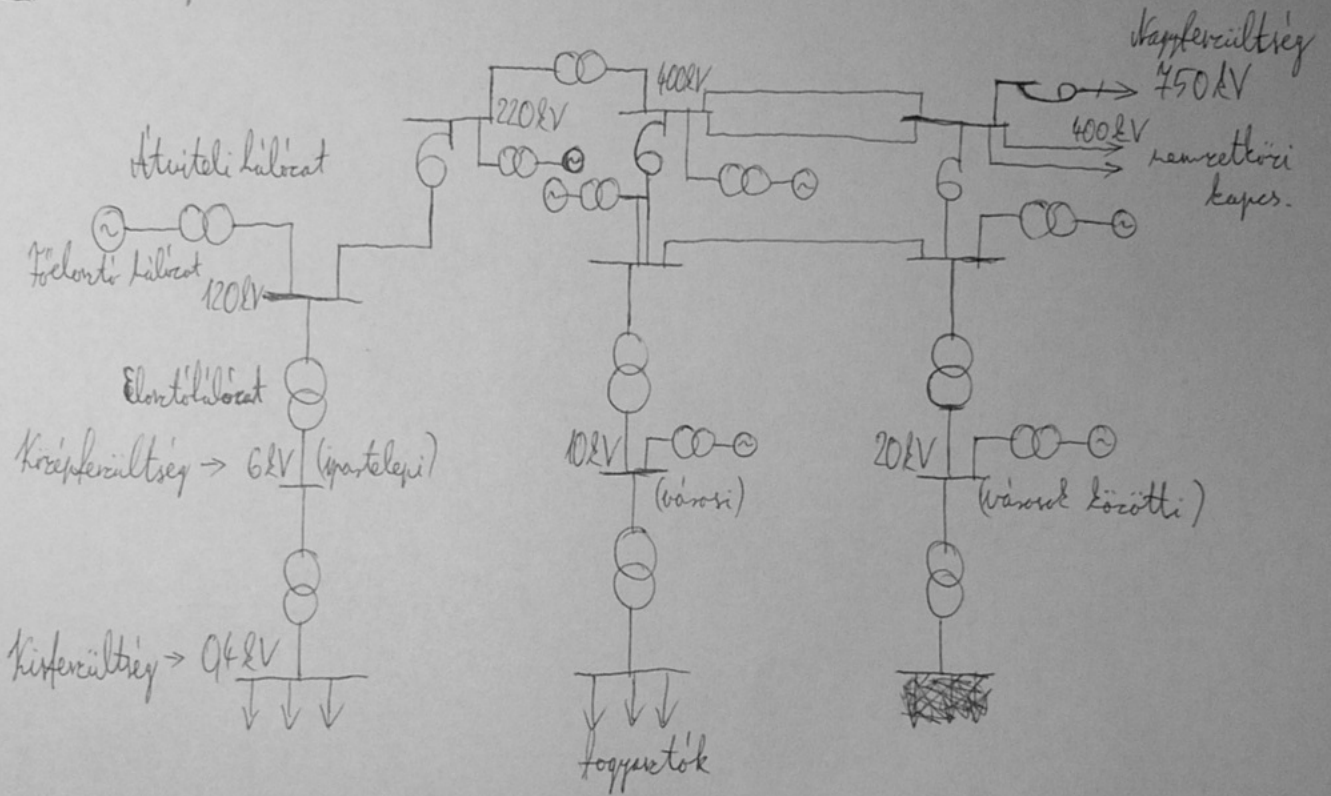


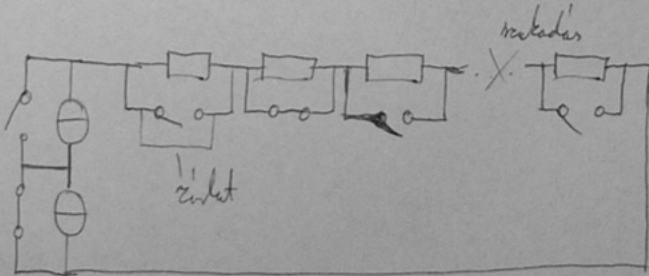
VILLAMOSENERGIA ÁTVITEL

1./ AC és DC átvitel, soros és párhuzamos rendszer, feszültségintézés és transzformáció, AC, U/I/S/P/Q.

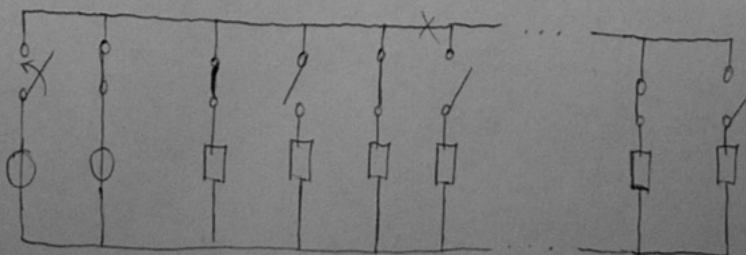
1.1. Feszültségintézés, transzformáció, hálózatalakítás az MK VER-ben:



Soros:

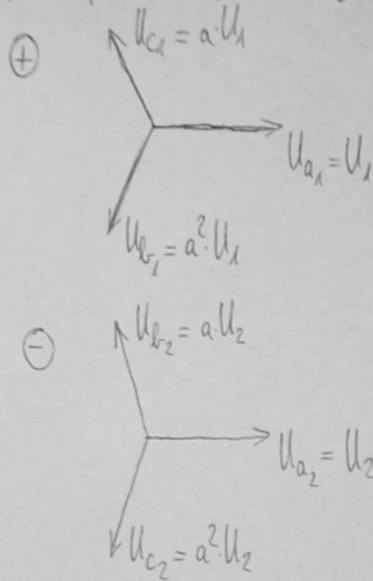


Párhuzamos:



2/ A szimmetrikus övezetűl működése. A szimmetrikus övezetűl működése.

2.1. Körhálózati feszültség - (áram) rendszer szimmetrikus övezetűl



$$a = e^{j120^\circ}$$

$$a^2 = e^{-j120^\circ}$$

$$1 + a + a^2 = 0$$

$$a \cdot a = a^2$$

$$a \cdot a^2 = 1$$

$$|U_{a1}| = |U_{b1}| = |U_{c1}|$$

$$|U_{a2}| = |U_{b2}| = |U_{c2}|$$

$$\begin{aligned} \textcircled{0} \quad & \longrightarrow U_{a0} = U_0 \\ & \longrightarrow U_{b0} = U_0 \\ & \longrightarrow U_{c0} = U_0 \end{aligned}$$

$$|U_{a0}| = |U_{b0}| = |U_{c0}|$$

$$U_0 = \frac{1}{3}(U_a + U_b + U_c)$$

$$U_1 = \frac{1}{3}(U_a + a U_b + a^2 U_c)$$

$$U_2 = \frac{1}{3}(U_a + a^2 U_b + a U_c)$$

$$U_a = U_0 + U_1 + U_2$$

$$U_b = U_0 + a^2 U_1 + a U_2$$

$$U_c = U_0 + a U_1 + a^2 U_2$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} \\ \underline{U_F} & \quad \underline{T} \quad \text{transzformációs} \\ & \quad \quad \quad \text{mátrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} \\ \underline{U_S} & \quad \underline{T^{-1}} \quad \underline{U_F} \end{aligned}$$

transzformációs mátrix inverze

A fázis (ön és kölcsönös) impedancia mátrix diagonalizálásának feltétele:

$$\underline{Z}_F = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$$

szimmetrikus és ciklikus.

$$\underline{Z}_{MS} = \underline{T}^{-1} \underline{Z}_F \underline{T}$$

$$\underline{Z}_{MS} = \begin{bmatrix} Z_{00} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{11} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{22} \end{bmatrix}$$

$$Z_{00} = Z_{00} + 2Z_{01}$$

$$Z_{11} = Z_{22} = Z_{11} - Z_{01}$$

22. Feljuttatás szimmetrikus övezetűvel. Lényegesendű fész. és áram mérési lehetőségei

$$S_{3f} = U_a I_a^* + U_b I_b^* + U_c I_c^*$$

$$S_{3f} = \underline{U}_F^T \cdot \underline{I}_F^* \quad \underline{U}_F = \underline{A} \cdot \underline{U}_s \quad \underline{I}_F = \underline{A} \cdot \underline{I}_s$$

$$\underline{U}_F^T = \underline{U}_s^T \cdot \underline{A}^T \quad \underline{I}_F^* = \underline{A}^* \cdot \underline{I}_s^*$$

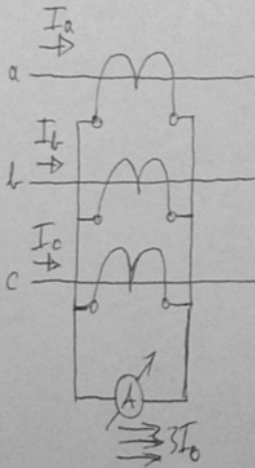
$$S_{3f} = \underline{U}_s^T \cdot \underline{A}^T \cdot \underline{A}^* \cdot \underline{I}_s^* \quad \underline{A}^T \cdot \underline{A}^* = 3 \cdot \underline{E}$$

$$S_{3f} = 3 \cdot (U_0 I_0^* + U_1 I_1^* + U_2 I_2^*)$$

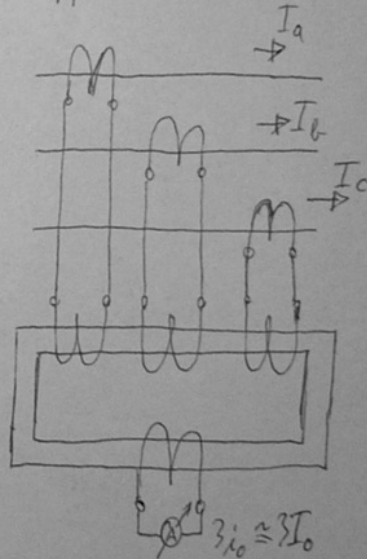
- Lényegesendű áram mérése:

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c)$$

1, Hólingreen kapcsolás:

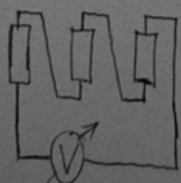
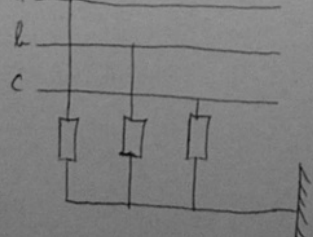


2, Hósképp:



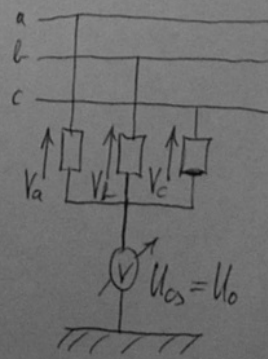
- Lényegesendű fesz. mérése:

$$U_0 = \frac{1}{3} (U_a + U_b + U_c)$$



$$U_a + U_b + U_c = 3U_0 \quad \text{Ha sem } 0 \Rightarrow \text{aszimmetria}$$

2, Gyakorlatban:



csillagpontos kapcsolás

$$U_a = V_a + U_{cs}$$

$$U_b = V_b + U_{cs}$$

$$U_c = V_c + U_{cs}$$

$$3U_0 = U_a + U_b + U_c =$$

$$V_a + V_b + V_c + 3U_{cs}$$

$$U_0 = U_{cs}$$

3./ Rendszerelem, modellek (lekepezés) szimmetrikus áramok

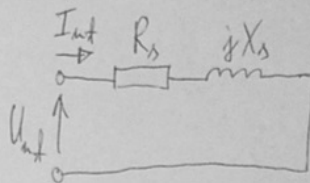
3.1. Fogyasztó lekepezése szimmetrikus áramok

$$U_n = 10 \text{ kV (vonali)}$$

$$S_n = 2 \text{ MVA}$$

$$\cos \varphi = 0,92$$

Soros kapcsolás:

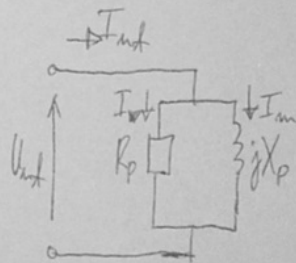


$$Z = \frac{(U_n)^2}{S_n} = \frac{10^2}{2} = 50 \Omega$$

$$R_s = Z \cdot \cos \varphi = 50 \cdot 0,92 = 46 \Omega$$

$$X_s = Z \cdot \sin \varphi = 50 \cdot 0,392 = 19,6 \Omega$$

Párhuzamos kapcsolás:



$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v \cdot \cos \varphi$$

$$S_{3\phi} = S_n = \sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2}$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v \cdot \sin \varphi$$

$$I_v = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 115,47 \text{ A}$$

ez az 'állandó áram' fogyasztó névleges árama.

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 115,47 \cdot 0,92 = 1840 \text{ kVA} = 1,84 \text{ MVA}$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 115,47 \cdot 0,392 = 0,784 \text{ Mvar}$$

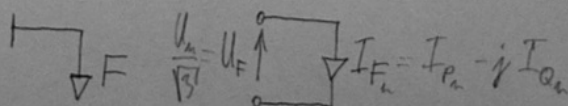
$$R_p = \frac{U_n^2}{P_{3\phi}} = \frac{(10 \text{ kV})^2}{1,84} = 54,348 \Omega$$

$$R_p \times jX_p = \frac{54,348 \cdot j 127,551}{54,348 + j 127,551} = \frac{6932,143 \cdot e^{j 30^\circ}}{138,6463 \cdot e^{j 66,97^\circ}}$$

$$\approx 49,998 \cdot e^{j 23,07^\circ} = 46 + j 19,6$$

$$X_p = \frac{U_n^2}{Q_{3\phi}} = \frac{(10 \text{ kV})^2}{0,784} = 127,551 \Omega$$

Az 'állandó áram' fogyasztó modellje:



$$I_{Fn} = \frac{S_n^*}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$S_n = \frac{P_n}{\cos \varphi} \cdot (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

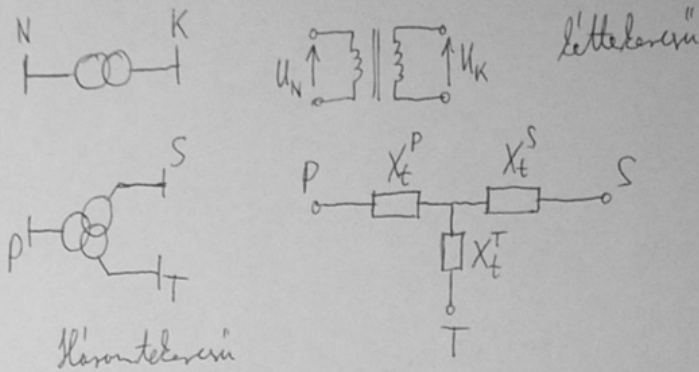
$$S_n = P_n + j P_n \cdot \tan \varphi$$

$$I_{Fn} = \frac{P_n - j P_n \cdot \tan \varphi}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} - j \frac{P_n \cdot \tan \varphi}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I_p \quad I_Q$$

4. / Transzformátorok leképezése szimmetrikus áramokhoz

4.1. Két-és háromfázisú transzformátor, leképezés szimmetrikus áramokhoz



$U_n = 120/10 \text{ kV}$
 $S_n = 40 \text{ MVA}$
 $\varepsilon = 12\%$

$$\left. \begin{aligned} X^P + X^S &= X^{PS} \\ X^P + X^T &= X^{PT} \\ X^S + X^T &= X^{ST} \end{aligned} \right\}$$

$$2X^P + X^S + X^T - X^S - X^T = X^{PS} + X^{PT} - X^{ST}$$

$$X^P = \frac{1}{2} (X^{PS} + X^{PT} - X^{ST})$$

$$X^S = \frac{1}{2} (X^{PS} + X^{ST} - X^{PT})$$

$$X^T = \frac{1}{2} (X^{PT} + X^{ST} - X^{PS})$$

Fesz. áttétel: $a_u = \frac{U_n^N}{U_n^K} = \frac{120}{10} = 12$

Impedancia áttétel:

Áramáttétel: $a_i = \frac{U_n^K}{U_n^N} = \frac{10}{120} = 0,083$

$$a_z = \left(\frac{U_n^N}{U_n^K} \right)^2 = \left(\frac{120}{10} \right)^2 = 144$$

Drop: a rövidkíséri feszültség névleges feszültséghez viszonyított százalékos értéke.

$$\varepsilon\% = \frac{U_{\text{re (fázis)}}}{U_n \text{ (fázis)}} \cdot 100 = \frac{I_n^N \cdot Z_t^N}{U_n^N \text{ (fázis)}} = \frac{I_n^K \cdot Z_t^K}{U_n^K \text{ (fázis)}}$$

ε_r : ellenállás
 ε_x : reaktancia

Rövidkíséri reaktancia meghatározása:

$$X_T^N = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{(U_n^N)^2}{S_n} = \frac{12}{100} \cdot \frac{120^2}{40} = \underline{\underline{43,2 \Omega}}$$

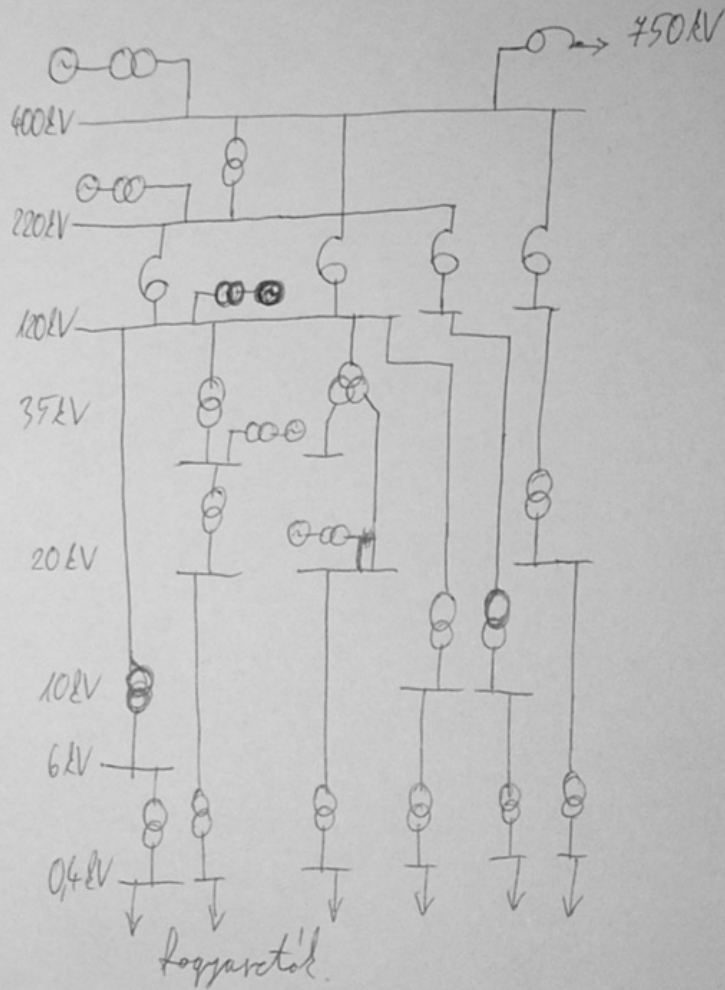
$$X_T^K = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{(U_n^K)^2}{S_n} = \frac{12}{100} \cdot \frac{10^2}{40} = \underline{\underline{0,3 \Omega}}$$

Saját csatlaki telj:

$$S_z = \frac{(U_n^N)^2}{Z_T^N} = \frac{S_n}{\varepsilon}$$

↓
 3 fázisú [MVA]

4.2. Kétfázisú transzformátorral, transzformátorcsaládias konstrukciós megoldással



Képleges egyértelműsítés:

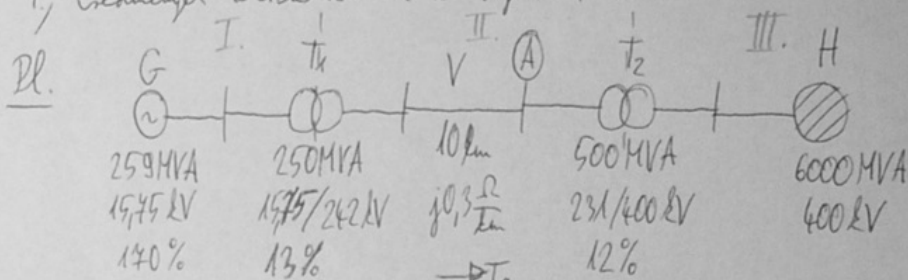
Közép / közepesfeszültségű transzformátor	Nagy / közepesfeszültségű transzformátor	Nagy / nagyfeszültségű transzformátor
16 kVA, 160 kVA 1600 kVA	16 MVA	160 MVA
25 kVA, 250 kVA	25 MVA	250 MVA
40 kVA, 400 kVA	40 MVA	500 MVA
63 kVA, 630 kVA	63 MVA	
100 kVA, 1000 kVA		

5./ Hálózati feszültség hálózatok számítási technikái

5.1. Számítások és modellek közös feszültségű hálózataiban:

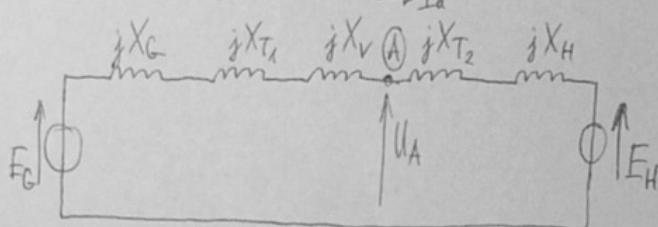
Közös fesz. szintre redukálás lépései:

- 1, Közös fesz. szint célra négyzetesítés.
- 2, Impedanciák, inakt U, I mennyiségek átírása a közös fesz. szintre.
- 3, Feladat megoldása a közös fesz. szinten.
- 4, Eredmény átírása a saját fesz. szintre.



$$S_A = 180 + j30 \text{ MVA}$$

$$U_A = 225 \text{ kV}$$



1./ Közös fesz. szint: 220 kV

$$2, X_d = \frac{X_d\%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \cdot \left(\frac{U_{nT_1}^N}{U_{nT_1}^K} \right)^2 = \frac{140}{100} \cdot \frac{15,75^2}{259} \cdot \frac{242^2}{15,75^2} = \underline{\underline{384,4 \Omega}}$$

$$X_{T_1} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{(U_n^N)^2}{S_n} = \frac{13}{100} \cdot \frac{242^2}{250} = \underline{\underline{30,45 \Omega}}$$

$$X_V = x \cdot l = 10 \cdot 0,3 = \underline{\underline{3 \Omega}}$$

$$X_{T_2} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{(U_n^K)^2}{S_n} = \frac{12}{100} \cdot \frac{231^2}{500} = \underline{\underline{12,81 \Omega}}$$

$$X_H = \frac{U_n^2}{S_n} \cdot \frac{(U_{nT_2}^K)^2}{(U_{nT_2}^N)^2} = \frac{400^2}{6000} \cdot \left(\frac{231}{400} \right)^2 = \underline{\underline{8,89 \Omega}}$$

$$I_A = \frac{S_A^*}{\sqrt{3} \cdot U_A} = \frac{180 - j30}{\sqrt{3} \cdot 225} = \underline{\underline{0,462 - j0,077 \text{ A}}}$$

3./

$$E_G = U_A + j(X_G + X_{T_1} + X_V) I_A = \frac{225}{\sqrt{3}} + j(384,4 + 30,45 + 3) (0,462 - j0,077) = \frac{225}{\sqrt{3}} + j193,0467 + 32,17445 = \underline{\underline{162,08 + j193,0467}}$$

$$E_H = U_A - j(X_H + X_{T_2}) I_A = \frac{225}{\sqrt{3}} - j(8,89 + 12,81) (0,462 - j0,077) = \frac{225}{\sqrt{3}} - j10,0254 - 1,6709 = \underline{\underline{128,233 - j10,0254}}$$

$$4./ E_G^{(15,75)} = E_G^{(220)} \cdot \left(\frac{U_{nT_1}^K}{U_{nT_1}^N} \right) = (162,08 + j193,0467) \cdot 0,0651 = \underline{\underline{10,55 + j12,54 \text{ kV}}}$$

$$E_H^{(400)} = E_H^{(220)} \cdot \frac{U_{nT_2}^N}{U_{nT_2}^K} = 128,233 - j10,0254 \cdot 1,7316 = \underline{\underline{222,05 - j17,36 \text{ kV}}}$$

5.2. Számítás és modellezés vízcselező egyjégében

- Lépcsők: 1, Hőmennyiség felvétele
 2, Adatok meghatározása vízcselező egyjégében
 3, Számítás vízcselező egyjégében
 4, Eredmény → dimenziós mennyiségre átváltás

Pl.		I.	II.	III.	
1/	S_{al}	259	259	259	MVA
	U_{al}	15,45	242	419,05	kV
	I_{al}	9,49	0,618	0,354	kA
	Z_{al}	0,958	226,116	648	Ω

$$U_{al}^{II} = U_{al}^{I} \cdot \frac{U_{T2}^N}{U_{T1}^K} = 15,45 \cdot \frac{242}{15,45} = 242 \text{ kV}$$

$$U_{al}^{III} = U_{al}^{II} \cdot \frac{U_{T2}^N}{U_{T2}^K} = 242 \cdot \frac{400}{231} = 419,05 \text{ kV}$$

$$I_{al} = \frac{S_{al}}{\sqrt{3} U_{al}} \quad Z_{al} = \frac{U_{al}^2}{S_{al}}$$

$$2/ \quad X_G = \frac{X_d\%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \cdot \frac{S_{al}}{(U_{al}^{II})^2} = \frac{140}{100} \cdot \frac{15,45^2}{259} \cdot \frac{259}{15,45^2} = \underline{\underline{1,7}}$$

$$X_{T1} = \frac{E}{100} \cdot \frac{(U_n^N)^2}{S_n} \cdot \frac{S_{al}}{(U_{al}^{II})^2} = \frac{13}{100} \cdot \frac{242^2}{250} \cdot \frac{259}{242^2} = \underline{\underline{0,1344}}$$

$$X_V = \frac{X_V^{(n)}}{Z_{al}^{II}} = \frac{10 \cdot 0,3}{226,116} = \underline{\underline{0,0133}}$$

$$X_{T2} = \frac{E}{100} \cdot \frac{(U_n^K)^2}{S_n} \cdot \frac{S_{al}}{(U_{al}^{III})^2} = \frac{12}{100} \cdot \frac{231^2}{500} \cdot \frac{259}{419,05^2} = \underline{\underline{0,0566}}$$

$$X_H = \frac{U_n^2}{S_n} \cdot \frac{S_{al}}{(U_{al}^{III})^2} = \frac{400^2}{6000} \cdot \frac{259}{419,05^2} = \underline{\underline{0,0393}}$$

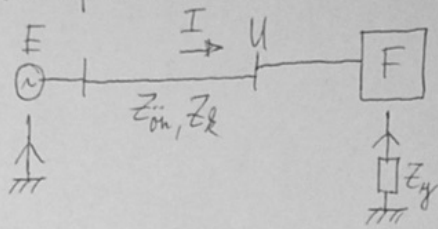
$$3/ \quad S_A^{(v.r.)} = \frac{S_A^{(MVA)}}{S_{al}} = \frac{180 + j30}{259} = \underline{\underline{0,695 + j0,1158}}$$

$$U_A^{(v.r.)} = \frac{U_A^{(kV)}}{U_{al}^{II}} = \frac{225}{242} = \underline{\underline{0,93}}$$

$$I_A^{(v.r.)} = \frac{I_A^{(A)}}{I_{al}^{II}} = \frac{0,462 - j0,074}{0,618} = \underline{\underline{0,75 - j0,1246}}$$

6./ Háromfázisú szabványos soros impedanciájú, négyvezetős modell és altalmarcása

6.1. Háromfázisú szabványos szimmetrikus övezetős és négyvezetős (soros impedanciájú) modellje

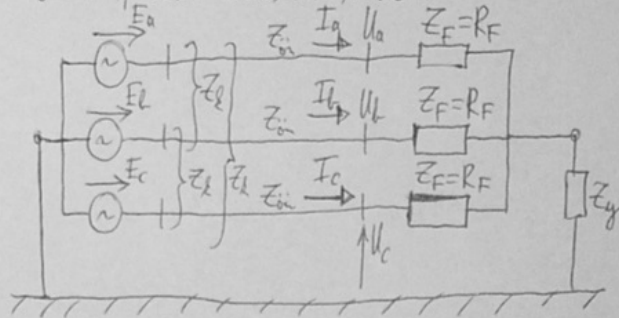


$$E_a = 120 / \sqrt{3} \angle 120^\circ \text{ V} \quad l = 30 \text{ km}$$

$$Z_{0n} = j0,6 \Omega/\text{km} \quad R_F = 360 \Omega$$

$$Z_L = j0,2 \Omega/\text{km} \quad Z_Y = j12 \Omega$$

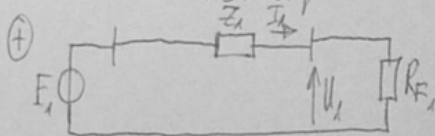
- Háromfázisú áramkör modell:



$$E_b = \frac{120}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j120^\circ}$$

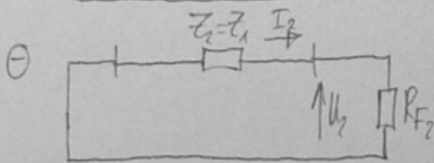
$$E_c = \frac{120}{\sqrt{3}} \cdot e^{j120^\circ}$$

- Szimmetrikus övezetős modell:



$$U_0 = \frac{1}{3}(U_a + U_b + U_c) = \frac{1}{3} \cdot 3 \cdot \frac{120}{\sqrt{3}} = \frac{120}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

$$Z_0 = Z_{0n} + 2Z_L = 18 + 2 \cdot 6 = 30 \Omega$$



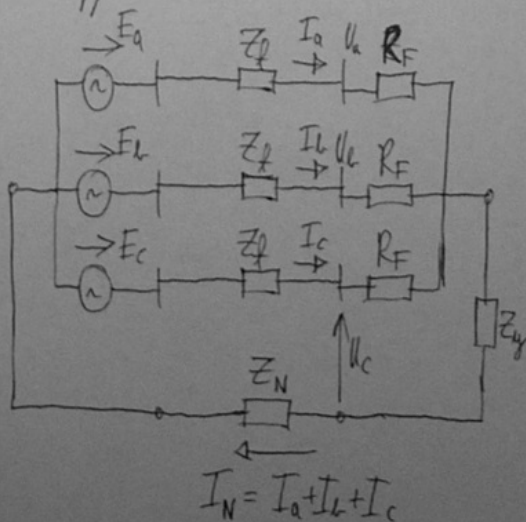
$$U_1 = \frac{1}{3}(U_a + aU_b + a^2U_c)$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_{0n} - Z_L = 12 \Omega$$

$$Z_0 = Z_{0n} + 2Z_L$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_{0n} - Z_L$$

- Négyvezetős modell:



$$Z_N = Z_L = \frac{1}{3}(Z_0 - Z_1) = 6 \Omega$$

$$Z_L = Z_{0n} - Z_N = Z_1 = 12 \Omega$$

$$U_a = I_a \cdot (Z_L + R_F)$$

$$U_b = I_b \cdot (Z_L + R_F)$$

$$U_c = I_c \cdot (Z_L + R_F)$$

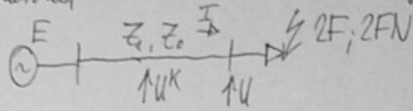
$$U_N = I_N \cdot (Z_Y + Z_N)$$

$$Z_N = Z_L = \frac{Z_0 - Z_1}{3}$$

$$Z_L = Z_{0n} - Z_N = Z_1$$

$$I_N = I_a + I_b + I_c$$

6.2. Háromfázisú szabványosított négyvonalú 2F és 2FN rövidzárlata négyvezetős modell alapján:



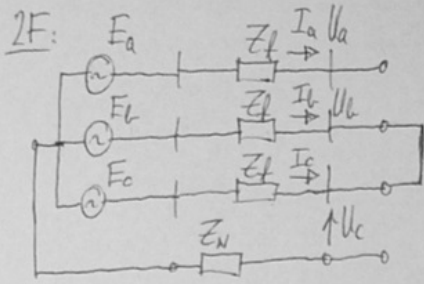
$$E_a = \frac{120}{\sqrt{3}} \text{ kV} \quad l = 30 \text{ km}$$

$$Z_{oi} = j0,6 \Omega/\text{km} = j18 \Omega$$

$$Z_L = j0,2 \Omega/\text{km} = j6 \Omega$$

$$Z_N = Z_{ki} = j6 \Omega = \frac{1}{3}(Z_0 - Z_1)$$

$$Z_f = Z_{oi} - Z_N = Z_1 = j12 \Omega$$



$$I_a = 0$$

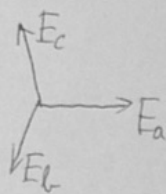
$$U_b = U_c$$

$$U_{bc} = 0$$

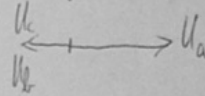
$$I_c = -I_b$$

Fázorábrák:

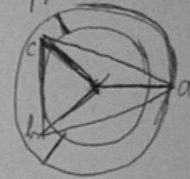
Táppont:



Négyvonal:



Központ:



$$I_a = 0$$

$$I_b = \frac{E_{bc}}{2Z_f} = -j \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{E_a}{Z_1} = -j \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{120}{j12} = \underline{\underline{-5 \text{ kA}}}$$

$$I_c = -I_b = \underline{\underline{5 \text{ kA}}}$$

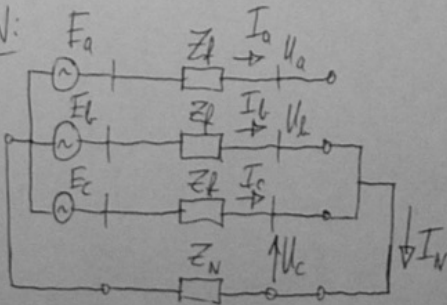
$$I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = 0$$

$$I_1 = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) = \frac{1}{3}(-e^{j120^\circ} \cdot 5 + 5 \cdot e^{-j120^\circ}) = \frac{1}{3}(a - a^2) \cdot I_b = j\sqrt{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot (-5) = \underline{\underline{-j 2,886 \text{ kA}}}$$

$$I_2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) = \frac{1}{3}j\sqrt{3} \cdot 5 = \underline{\underline{-j 2,886 \text{ kA}}}$$

$$a^2 - a = -j\sqrt{3}$$

2FN:



$$I_a = 0$$

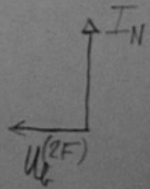
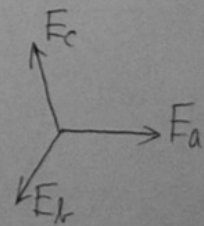
$$U_b = 0$$

$$U_c = 0$$

$$I_N = I_a + I_b + I_c$$

Fázorábrák:

Táppont:



$$I_a = 0$$

$$I_b = I_b^{2F} + \frac{I_N}{2} = -j \left(\frac{\sqrt{3}E_a}{2Z_1} - j \frac{E_a}{(2Z_1 + 4Z_0)/3} \right) = -j \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{E_a}{Z_1} - \frac{E_a}{(2Z_1 + 4Z_0)/3}$$

$$I_c = I_c^{2F} + I_N/2$$

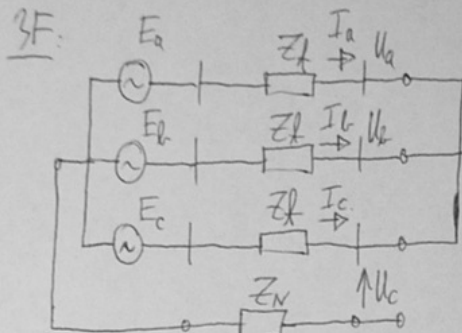
$$I_0 + I_1 + I_2 = 0$$

$$I_N = -\frac{E}{\frac{Z_1 + 2Z_0}{3}}$$

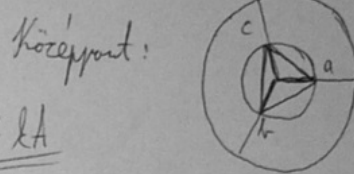
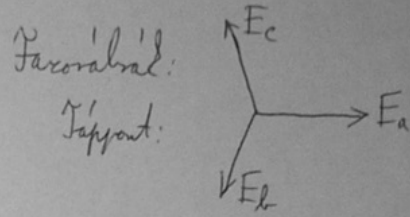


$$U_0 = U_1 = U_2$$

6.3. Háromfázisú szabványosított négyvonalú 3F és 1FN rövidkeltető rézvezetős modell alapján:



$$\begin{aligned} U_a &= 0 \\ U_b &= 0 \\ U_c &= 0 \end{aligned}$$



$$|I_a| = |I_b| = |I_c| \quad I_a = \frac{E_a}{Z_l} = \frac{120}{j12} = -j5,44 \text{ kA}$$

$$I_b = a^2 I_1 = +5,44 \cdot e^{-j240^\circ} \text{ kA}$$

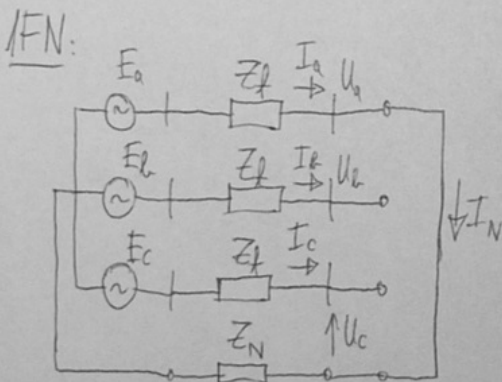
$$I_c = a I_1 = 5,44 \cdot e^{j30^\circ} \text{ kA}$$

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \phi$$

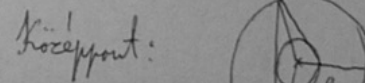
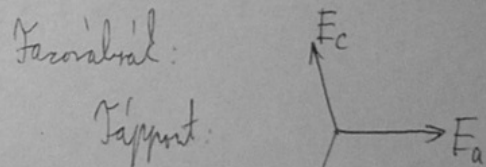
$$I_2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a I_c) = \phi$$

$$I_a = I_1$$

$$I^{3F} = |I_a| = \left| \frac{E_a}{Z_l} \right|$$

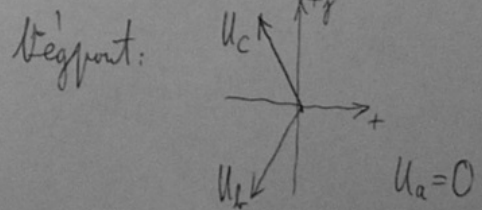


$$\begin{aligned} U_a &= 0 \\ I_b &= 0 \\ I_c &= 0 \end{aligned}$$



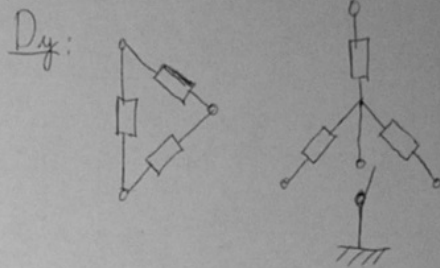
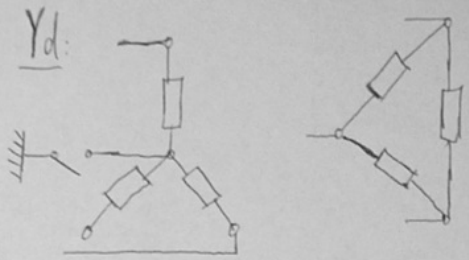
$$\begin{aligned} I_N = I_a &= \frac{E_a}{Z_l + Z_N} = \frac{E_a}{Z_1 + \frac{1}{3}(Z_0 - Z_1)} = \frac{E_a}{\frac{2}{3}Z_1 + \frac{1}{3}Z_0} \\ &= \frac{E_1}{\frac{2}{3}Z_1 + \frac{1}{3}Z_0} = \frac{120/\sqrt{3}}{\frac{2}{3}j12 + \frac{1}{3}j30} = -j3,85 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{1}{3} I_a = -j1,283 \text{ kA}$$



7. / Transzformátor kapcsolásról, kapcsolási ábrák ábrája. Transzformátor közös csomópontú modellje.

7.1. A transzformátor ábrája, kapcsolási csoport, fázisforgató hatás:



$$a_t = \frac{120}{10} \quad S_{al} = 40 \text{ MVA} \quad Yd11$$

N oldal:

$$I_0 = -j \quad (v.e.) \quad U_0 = -0,2 \quad v.e.$$

$$I_1 = -j \quad U_1 = 0,6$$

$$I_2 = -j \quad U_2 = -0,4$$

$$a_t = \frac{U^N}{U^K} = \frac{N^N}{N^K}$$

K oldal: $Yd11 \Rightarrow$

$$U_1^\Delta = U_1^\lambda \cdot e^{-j(11 \cdot 30^\circ)} = U_1^\lambda \cdot e^{-j330^\circ}$$

$$U_2^\Delta = U_2^\lambda \cdot e^{j330^\circ}$$

$$I_1^\Delta = I_1^\lambda \cdot e^{-j330^\circ}$$

$$I_2^\Delta = I_2^\lambda \cdot e^{j330^\circ}$$

v.e.:

$$I_0 = -j$$

$$I_1 = -j \cdot e^{-j330^\circ} = e^{-j90^\circ} \cdot e^{-j330^\circ} = e^{-j420^\circ} = e^{-j60^\circ}$$

$$I_2 = -j \cdot e^{j330^\circ} = e^{j240^\circ}$$

$$U_0 = -0,2$$

$$U_1 = 0,6 \cdot e^{-j330^\circ}$$

$$U_2 = -0,4 \cdot e^{j330^\circ}$$

$$I_{al}^N = \frac{S_{al}}{\sqrt{3} \cdot U_{al}^N} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 120} = 192,45 \text{ A}$$

$$I_{al}^K = \frac{S_{al}}{\sqrt{3} \cdot U_{al}^K} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2,31 \text{ kA}$$

kA, kV:

$$I_a^N = (I_0^N + I_1^N + I_2^N) \cdot I_{al}^N = (-j + e^{-j60^\circ} + e^{j240^\circ}) \cdot 192,45 = -0,5774 j \text{ kA}$$

$$I_a^K = (I_0^K + I_1^K + I_2^K) \cdot I_{al}^K = (-j + e^{-j90^\circ} + e^{j240^\circ}) \cdot 2,31 =$$

$$= (-j + 0,5 - \frac{\sqrt{3}}{2} j - 0,5 - \frac{\sqrt{3}}{2} j) \cdot 2,31 = -j 6,31 \text{ kA}$$

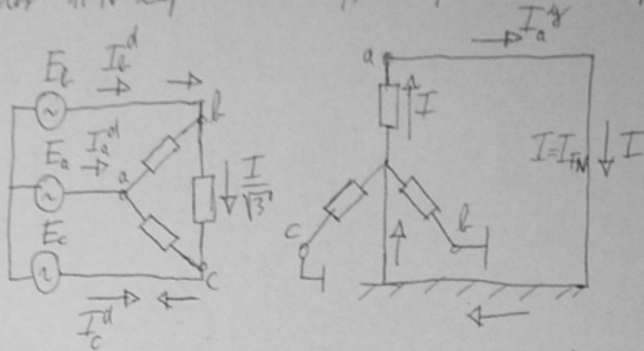
$$U_a^N = (U_0^N + U_1^N + U_2^N) \cdot \frac{U_{al}^N}{\sqrt{3}} = 0 \text{ kV}$$

$$U_a^K = (U_0^K + U_1^K + U_2^K) \cdot \frac{U_{al}^K}{\sqrt{3}} = (-0,2 + 0,6 \cdot e^{-j330^\circ} - 0,4 \cdot e^{j330^\circ}) \cdot \frac{10}{\sqrt{3}} =$$

$$= (-0,2 + 0,52 + j0,3 - 0,346 + 0,2j) \cdot \frac{10}{\sqrt{3}} = -0,15 + j 2,884 \text{ kV}$$

7.2 Transzformátor IFN laposcsatlakozású, háromfázisú áramkör a gerjesztési egyenlőség alapján.

Ábra:



$$\begin{aligned} I_a^d &= 0 & I_a^y &= I \\ I_b^d &= \frac{I}{\sqrt{3}} & I_b^y &= 0 \\ I_c^d &= -I_b^d & I_c^y &= 0 \end{aligned}$$

Yd11 $a_t = \frac{120}{10}$ $S_{al} = 40 \text{ MVA}$

$I_a^y = 6 \text{ v.e.}$ $I_a^y = I_0^y + I_1^y + I_2^y$

$I_0^y = I_1^y = I_2^y = \frac{I}{3} = 2 \text{ (v.e.)}$

delta oldal áramai:

v.e.: $I_a^d = \sqrt{3} + j + \sqrt{3} - j = \underline{\underline{2\sqrt{3}}}$

$$\begin{aligned} I_b^d &= I_0^d + I_1^d \cdot a^2 + I_2^d \cdot a = \\ &= 2 \cdot e^{-j330^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} + \\ &\quad + 2 \cdot e^{j330^\circ} \cdot e^{j120^\circ} = \\ &= -j2 + j2 = \underline{\underline{0}} \end{aligned}$$

$$I_c^d = 2 \cdot e^{-j330^\circ} \cdot e^{j120^\circ} + 2 \cdot e^{j330^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = -\sqrt{3} + j - \sqrt{3} - j = \underline{\underline{-2\sqrt{3}}}$$

$I_1^\Delta = I_1^y \cdot e^{-j330^\circ}$ Yd11 miatt
 $I_2^\Delta = I_2^y \cdot e^{j330^\circ}$
 $I_0^d = 0$
 $I_1^d = I_1^y \cdot e^{-j330^\circ} = 2 \cdot e^{-j330^\circ}$
 $I_2^d = I_2^y \cdot e^{j330^\circ} = 2 \cdot e^{j330^\circ} \text{ (v.e.)}$

LA: $I_{al}^\Delta = \frac{S_{al}}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2,31 \text{ LA}$

$I_a^d = \underline{\underline{2 \text{ LA}}}$

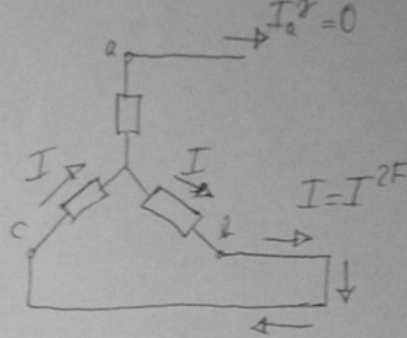
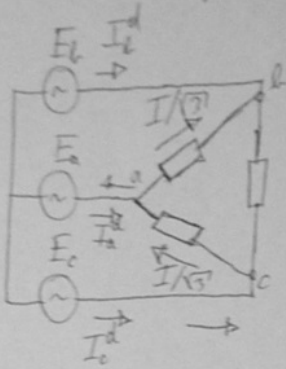
$I_b^d = \underline{\underline{0}}$

$I_c^d = \underline{\underline{-2 \text{ LA}}}$

4.3.
7.3.

Transformator 2F kapcsolata, háromfázisú áramkép a gerjesztési egyenlet alapján.

Adva:



$$I_a^d = -2 \frac{I}{\sqrt{3}}$$

$$I_b^d = I_c^d = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

$$I_a^y = 0$$

$$I_b^y = I \quad I_c^y = -I$$

$$Yd11 \Rightarrow I_1^d = I_1^h \cdot e^{-j330^\circ}$$

$$I_2^d = I_2^h \cdot e^{j330^\circ}$$

$$I_b^y = 6 \text{ v.e.}$$

$$I_b^y = I \quad I_c^y = -6 \text{ v.e.}$$

$$I_2^y + I_b^y + I_c^y = 0$$

$$I_b^y = -I_c^y$$

$$I_1^y + a^2 I_2^y + a I_2^y = -I_b^y - a I_c^y - a^2 I_c^y$$

$$2 I_1^y + (a^2 - a) I_2^y + (a - a^2) I_2^y = 0$$

$$I_1^y = j \frac{I}{\sqrt{3}} \quad I_2^y = -j \frac{I}{\sqrt{3}}$$

$$I_1^y = j \frac{6}{\sqrt{3}} \quad I_2^y = -j \frac{6}{\sqrt{3}}$$

$$I_1^d = \frac{6}{\sqrt{3}} \cdot e^{j90^\circ} \cdot e^{-j330^\circ} = \frac{6}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j240^\circ}$$

$$I_2^d = \frac{6}{\sqrt{3}} \cdot e^{j240^\circ}$$

v.e.:

$$I_a^d = I_0^d + I_1^d + I_2^d = -\sqrt{3} + j3 - j3 - \sqrt{3} = \underline{\underline{-2\sqrt{3}}}$$

$$I_b^d = I_0^d + a^2 I_1^d + a I_2^d = \frac{6}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j360^\circ} + \frac{6}{\sqrt{3}} \cdot e^{j360^\circ} = \underline{\underline{\frac{12}{\sqrt{3}}}}$$

$$I_c^d = I_0^d + a I_1^d + a^2 I_2^d = \frac{6}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j120^\circ} + \frac{6}{\sqrt{3}} \cdot e^{j120^\circ} = \frac{6}{\sqrt{3}} (a^2 + a) = \underline{\underline{-\frac{6}{\sqrt{3}}}}$$

$$I_a^d = I_c^d$$

7.4. Transformator čemu svenđu modelije:

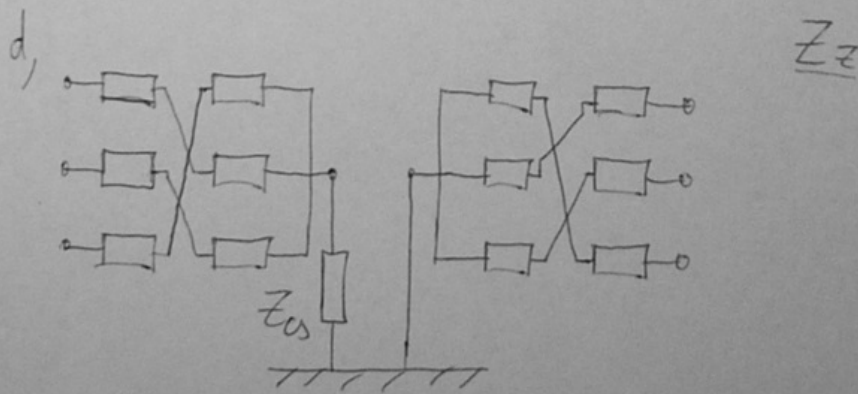
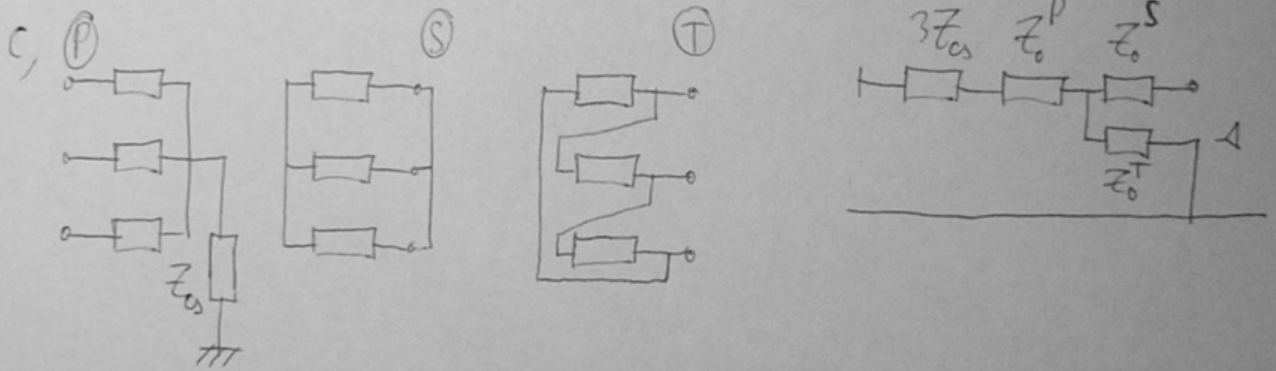
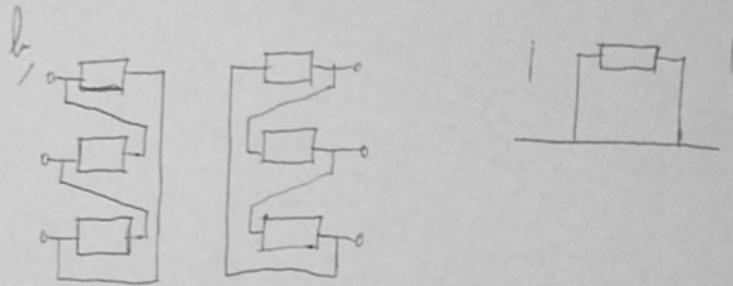
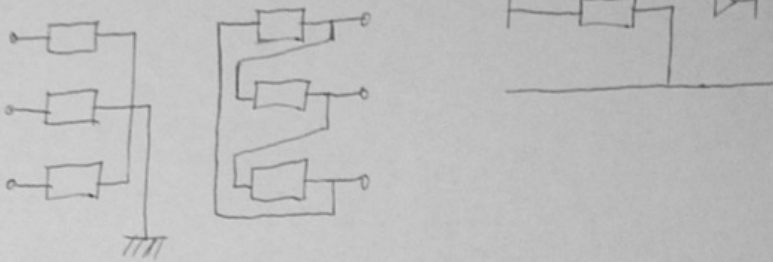
$S_{tr} = 200 \text{ MVA}$

$U^N/U^K = 220/20$

$X_{tr} = 12\%$

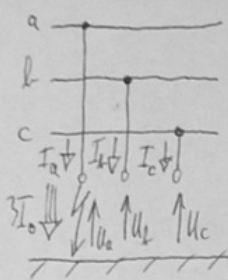
$Z_{cs} = j10 \Omega$

a, Y_d $Z_{cs} = 0$



9./ Sinthilál (váratol) leképezése szimmetrikus ösvetevölkel

9.1. az $1FN(a)$ várat leképezése, szimmetrikus ösvetevölkel



$$U_a = 0 \Rightarrow U_b + U_c + U_0 = 0$$

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2$$

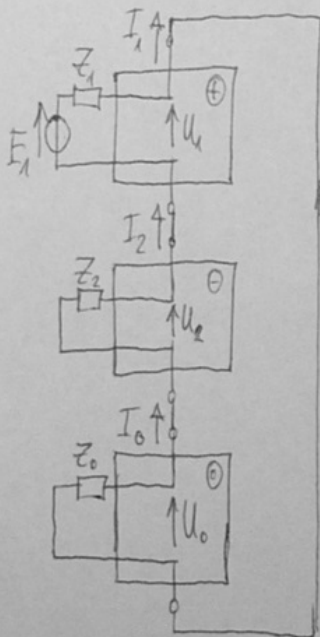
$$\begin{cases} I_b = 0 \\ I_c = 0 \end{cases} \Rightarrow I_b = I_c$$

$$I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_0 + a I_1 + a^2 I_2$$

$$I_1(a^2 - a) = I_2(a^2 - a)$$

$$I_1 = I_2$$

$$I_b = 0 = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_0 + I_1(a^2 + a) = I_0 - I_1 \Rightarrow \boxed{I_0 = I_1 = I_2}$$



$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_1}{z_1 + z_2 + z_0}$$

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = 3 \cdot \frac{E_1}{z_1 + z_2 + z_0} = 3I_0$$

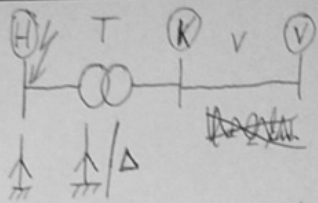
$$U_1 = E_1 - z_1 I_1 = E_1 - z_1 \cdot \frac{E_1}{z_1 + z_2 + z_0} = \frac{E_1(z_2 + z_0)}{z_1 + z_2 + z_0}$$

$$U_2 = 0 - I_2 \cdot z_2 = -z_2 \cdot \frac{E_1}{z_1 + z_2 + z_0}$$

$$U_0 = 0 - I_0 \cdot z_0 = -z_0 \cdot \frac{E_1}{z_1 + z_2 + z_0}$$

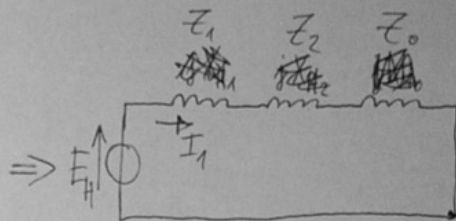
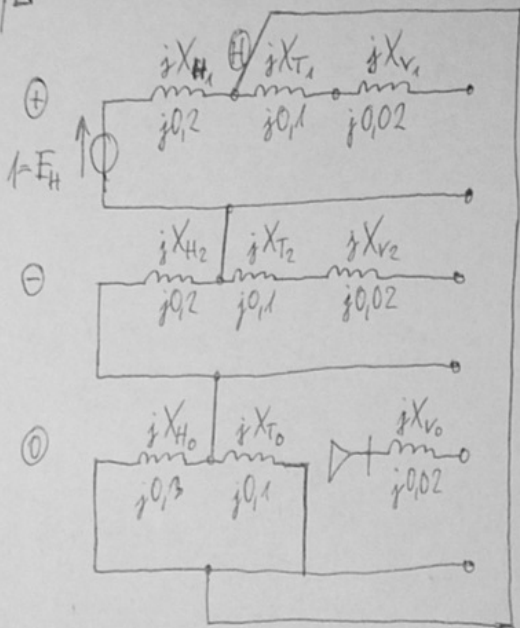
$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{I_a}{3} \\ \frac{I_a}{3} \\ \frac{I_a}{3} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{U_b + U_c}{3} \\ \frac{a U_b + a^2 U_c}{3} \\ \frac{a^2 U_b + a U_c}{3} \end{bmatrix}$$



$$Z_1 = jX_{H1} \quad Z_2 = jX_{H2} \quad Z_0 = jX_{H0} \times jX_{T0}$$

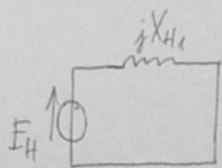
FN: \oplus
 $I = E_H$



$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{E_H}{j(X_{H1} + X_{H2} + X_{H0} + X_{T0} + X_{V1} + X_{V2} + X_{V0})} = \frac{1}{j(0,2 + 0,2 + j \frac{0,1 \cdot 0,3}{0,1 + 0,3})} = -j2,105 \text{ (v.e.)}$$

$$I_Z^{FN} = 3I_0 = -j6,316 \text{ v.e.}$$

3F:



$$I_2 = I_0 = 0$$

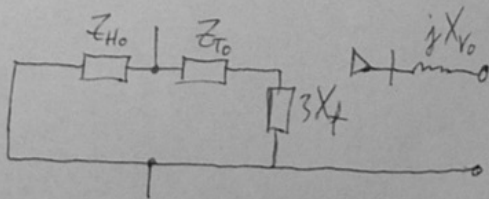
$$I_1 = \frac{E_H}{jX_{H1}} = \frac{1}{j0,2} = -j5 \text{ (v.e.)}$$

$$I_Z^{3F} = I_0 + I_1 + I_2 = I_1 = -j5 \text{ (v.e.)}$$

$$|I_Z^{FN}| > |I_Z^{3F}|$$

ahhoz, hogy egyszerűen legyen, csillagpontit földteljesítéssel alkalmazzuk.

Eller \ominus szemlélve:



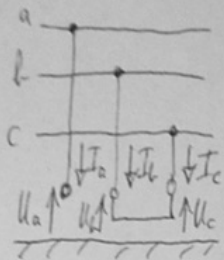
$$\text{Ha } Z_1 = Z_2 = Z_0 \Rightarrow I_1^{FN} = \frac{E_H}{3Z_1} \Rightarrow |I_Z^{FN}| = 3 \frac{E_H}{3Z_1} = \frac{E_H}{Z_1}$$

$$Z_1 = Z_0 = Z_{H0} \times (Z_{T0} + 3X_f) = \frac{Z_{H0} \cdot (Z_{T0} + 3X_f)}{Z_{H0} + Z_{T0} + 3X_f} \Rightarrow$$

$$3X_f = \frac{Z_1 Z_{H0} + Z_1 Z_{T0} - Z_{H0} Z_{T0}}{Z_{H0} - Z_1} = j \frac{0,2 \cdot 0,3 + 0,2 \cdot 0,1 - 0,3 \cdot 0,1}{0,3 - 0,2} = j0,5 \Rightarrow$$

$$X_f = j \frac{0,5}{3} \text{ a működőes földteljesítés.}$$

9.2. A 2F(b,c) közt leképezve, valamint szimmetrikus ömlesztéssel:



$$I_a = 0 \Rightarrow I_0 + I_1 + I_2 = 0$$

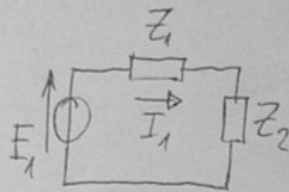
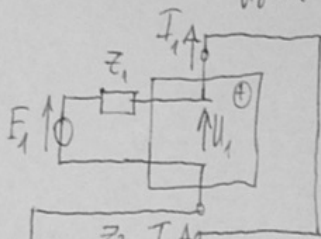
$$I_b = -I_c \quad I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = 0$$

$$U_b = U_c$$

$$U_0 + a^2 U_1 + a U_2 = U_0 + a U_1 + a^2 U_2 \Rightarrow U_1 = U_2$$

$$U_0 = 0 - I_0 \cdot Z_0 = 0$$

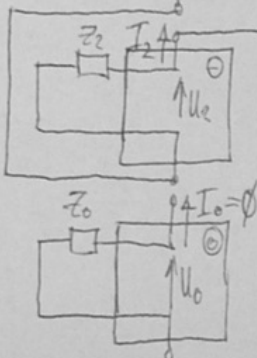
$$I_1 + I_2 = 0$$



$$I_1 = \frac{E_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_2 = -I_1 = -\frac{E_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_0 = 0$$



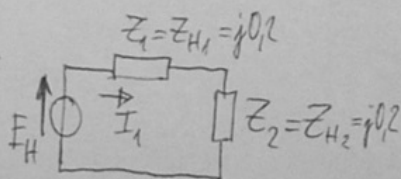
$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = 0$$

$$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_1 (a^2 - a) = -j\sqrt{3} I_1$$

$$I_c = I_0 + a I_1 + a^2 I_2 = I_1 (a - a^2) = j\sqrt{3} I_1$$

$$I_Z^{2F} = j\sqrt{3} \frac{E_1}{Z_1 + Z_2}$$

22.

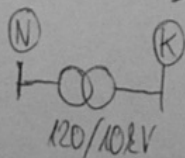


$$I_1 = \frac{E_H}{j0,2 + j0,2} = \frac{1}{j0,4} = -j2,5 \text{ (v.e.)}$$

$$I_Z^{2F}(b) = -j2,5 \cdot (-j\sqrt{3}) = -4,33 \text{ v.e.}$$

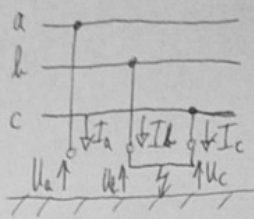
$$I_Z^{2F}(c) = 4,33 \text{ v.e.}$$

$$|I_Z^{2F}| = \frac{\sqrt{3}}{2} |I_Z^{3F}|$$



9.3. A 2FN (h,c) és 3F, 3FN esetet leképezése, számítása szimmetrikus örceterőkkel:

2FN:



$$U_b = U_0 + a^2 U_1 + a U_2 = 0$$

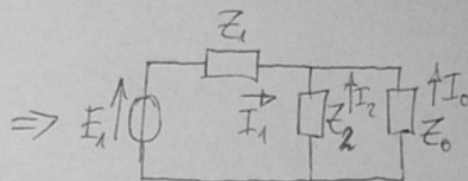
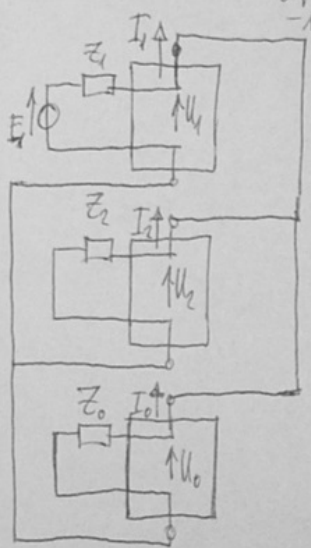
$$U_0 + U_1(a^2 + a) = 0$$

$$I_a = 0 \Rightarrow I_0 + I_1 + I_2 = 0$$

$$\begin{cases} U_b = 0 \\ U_c = 0 \end{cases} \Rightarrow U_b = U_c$$

$$U_0 + a^2 U_1 + a U_2 = U_0 + a U_1 + a^2 U_2$$

$$U_1 = U_2 = U_0$$

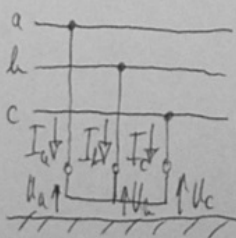


$$I_1 = \frac{E_1}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{E_1}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$I_2 = -I_1 \cdot \frac{Z_0}{Z_2 + Z_0} = \frac{-E_1 Z_0}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$I_0 = -I_1 \cdot \frac{Z_1}{Z_2 + Z_0} = \frac{-E_1 Z_1}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

3F:



$$I_a + I_b + I_c = 0 \Rightarrow I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = 0$$

$$U_a = U_b = U_c$$

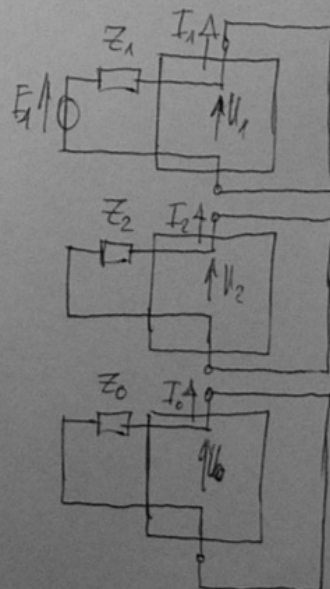
3FN:

$$U_a = U_b = U_c = \phi$$

$$U_0 = \frac{1}{3}(U_a + U_b + U_c) = \phi$$

$$U_1 = \frac{1}{3}(U_a + a U_b + a^2 U_c) = \phi$$

$$U_2 = \phi$$



$$I_1 = \frac{E_1}{Z_1}$$

$$I_Z^{3F} = I_1 = \frac{E_1}{Z_1}$$

10. / Észtétel összehasonlítása. Soros aszimmetria, kikapcsolások

10.1. Sémhibák összehasonlítása a hibahelyi áram nagysága és átviteli impedancia változása szempontjából:

Áramok: $I_Z^{1FN} = 3I_0 = 3 \cdot \frac{E_1}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$

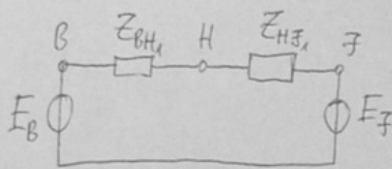
$|I_Z^{3F}| = |I_1| = \left| \frac{E_1}{Z_1} \right|$

$I_Z^{2F(b,c)} = j\sqrt{3} \cdot \frac{E_1}{Z_1 + Z_2}$

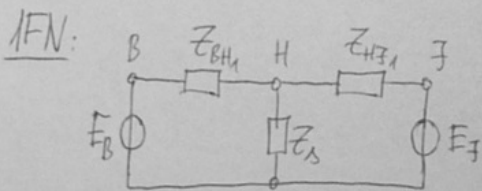
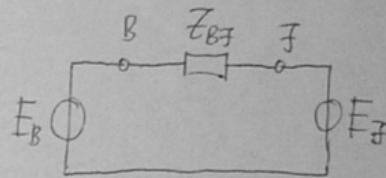
$I_Z^{2FN(b,c)} =$

Feltétel:

az átviteli impedancia: Z_{BF}

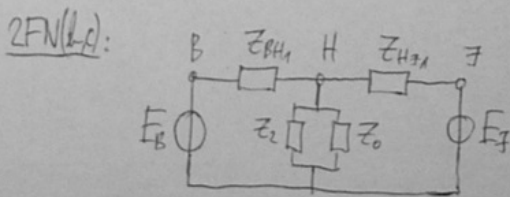


$Z_{BF1} = Z_{BH1} + Z_{HF1}$



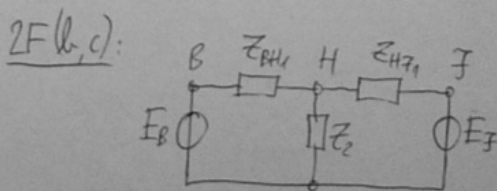
$Z_s = Z_2 + Z_0$

$Z_{BF1} = Z_{BH1} + Z_{HF1} + \frac{Z_{BH1} \cdot Z_{HF1}}{Z_2 + Z_0}$



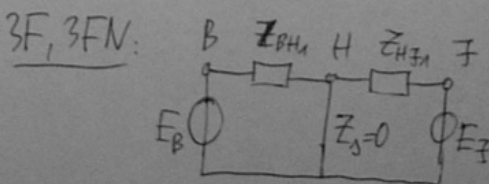
$Z_s = Z_2 \times Z_0$

$Z_{BF1} = Z_{BH1} + Z_{HF1} + \frac{Z_{BH1} \cdot Z_{HF1}}{Z_2 \times Z_0}$



$Z_s = Z_2$

$Z_{BF1} = Z_{BH1} + Z_{HF1} + \frac{Z_{BH1} \cdot Z_{HF1}}{Z_2}$



$Z_s = 0$

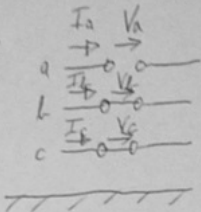
$Z_{BF1} = \infty$

$Z_{BF}^{1FN} < Z_{BF}^{2F} < Z_{BF}^{2FN} < Z_{BF}^{3F}$

102.

Soros hibál lépésre, összehasonlításra az átviteli impedancia változása szempontjából:

1F ki(a):



$$I_a = 0 \Rightarrow I_0 + I_1 + I_2 = 0$$

$$V_b = V_0 + a^2 V_1 + a V_2 = 0$$

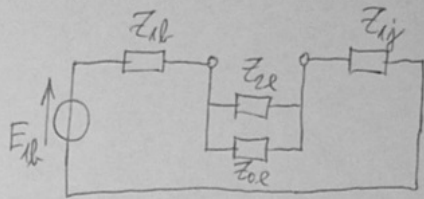
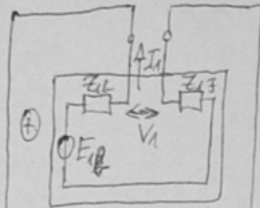
$$V_b = V_c = \emptyset$$

$$V_0 + \underbrace{(a^2 + a)}_{-1} V_1 = 0$$

$$V_0 + a^2 V_1 + a V_2 = V_0 + a V_1 + a^2 V_2$$

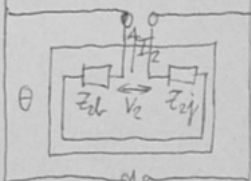
$$V_0 = V_1 = V_2$$

$$V_1 = V_2$$

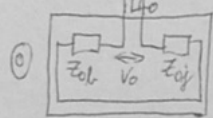


$$Z_{2e} = Z_{2l} + Z_{2j}$$

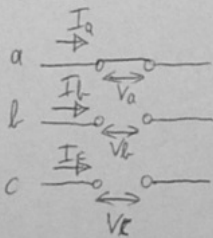
$$Z_{0e} = Z_{0l} + Z_{0j}$$



$$Z_{B3} = Z_{ib} + Z_{ij} + \frac{Z_{2e} \cdot Z_{0e}}{Z_{2e} + Z_{0e}}$$



2F ki(b,c):



$$I_b = I_c = \emptyset$$

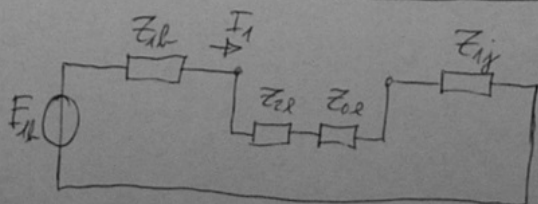
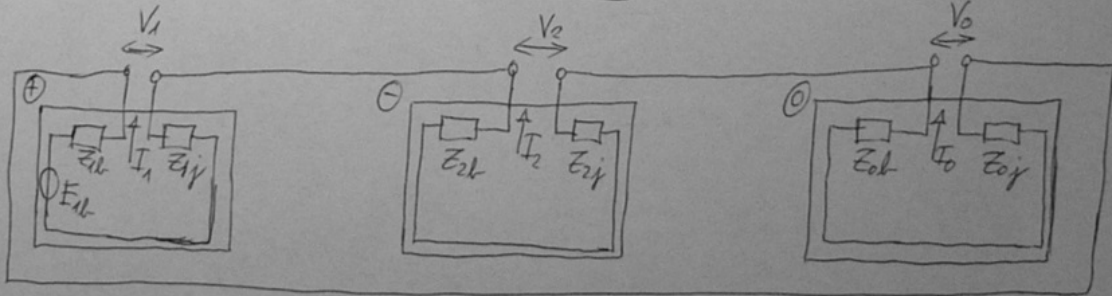
$$I_b = I_c \Rightarrow I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_0 + a I_1 + a^2 I_2$$

$$V_a = 0 \Rightarrow V_0 + V_1 + V_2 = 0$$

$$I_1 = I_2$$

$$I_b = \emptyset = I_0 + a^2 I_1 + a I_2$$

$$I_0 = I_1 = I_2$$



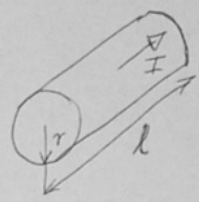
$$Z_{B3} = Z_{ib} + Z_{ij} + (Z_{2e} + Z_{0e})$$

12./ Tárcsétel indukciósámal meghatározása, tárcsétel soros impedanciája:

12.1. Tárcsétel belső és külső indukciósámal, két vezetőlől álló hurok indukciósámal:

Elhanyagolás, körkeltétel:

- nincs skin effekt
- a tárcsétel tömör, homogén, hengeres
- a tárcsétel síkban fut (pl. földdel párh.)
- keresztmetszet kör, állandó
- az áram végigfolyik rajta
- öntindancia végtelen nagy
- vezetékigépet nem nézzük



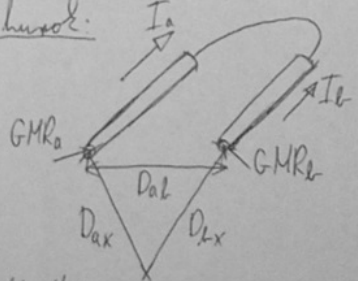
Belső indukciósámal: $L_b = \frac{\mu_r \cdot l}{2} \cdot 10^{-7} [H]$ $\frac{L_b}{l} = \frac{\mu_r}{2} \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$ a fajlagos.

Külső indukciósámal: $L_k = 2 \cdot 10^{-7} \cdot l \cdot \ln \frac{D_x}{r} [H]$ fajlagos: $\frac{L_k}{l} \left[\frac{H}{m} \right]$

Teljes indukciósámal: $L = L_b + L_k = 2 \cdot 10^{-7} \cdot l \cdot \ln \frac{D_x}{GMR}$ $GMR \approx 0,8 r$

GMR: geometriai egyenértékű sugár (az áram GMR sugárú végtelen vékony falú csőben folyik)

2-út hurok:



$I_a = -I_b$

Fluxuskapcsolódás:

$x \rightarrow \infty$ esetén
 $\Psi_a = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I_a \cdot \ln \frac{D_{ab}}{GMR_a}$
 $\Psi_b = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I_b \cdot \ln \frac{D_{ab}}{GMR_b}$
 $\Psi_a = 2 \cdot 10^{-7} \left(I_a \ln \frac{1}{GMR_a} + I_b \cdot \ln \frac{1}{D_{ab}} \right)$
 $L_{aa} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{1}{GMR_a}$ $L_{bb} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{1}{GMR_b}$
 $L_{ba} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{1}{D_{ab}} = L_{ab}$

Indukciósámal:

$\begin{bmatrix} \Psi_a \\ \Psi_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{aa} & L_{ab} \\ L_{ba} & L_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix}$

Soros fesz. esés:

$V = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \end{bmatrix} \quad V = \frac{\partial \Psi}{\partial t} = j\omega \underline{L} \cdot \underline{I} \quad j\omega L = jX$

Reaktanciákkal:

$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} jX_{aa} & jX_{ab} \\ jX_{ba} & jX_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix}$

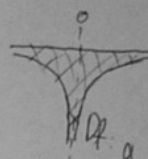
Öntindítás (3 fázis)

$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = j\omega \cdot 2 \cdot 10^{-7} \begin{bmatrix} \ln \frac{1}{GMR_a} & \ln \frac{1}{D_{ab}} & \ln \frac{1}{D_{ac}} \\ \ln \frac{1}{D_{ba}} & \ln \frac{1}{GMR_b} & \ln \frac{1}{D_{bc}} \\ \ln \frac{1}{D_{ca}} & \ln \frac{1}{D_{cb}} & \ln \frac{1}{GMR_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$

12.2. Hátró-föld hurok ön-és kölcsönös impedanciái:

Házis-föld hurok önimpedanciája: $Z_{aa\ell} = R_a + R_f + j\omega 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_f}{GMR_a}$

$D_f = 659 \cdot \sqrt{\frac{S_f}{f}}$ $f = 50\text{Hz} \Rightarrow D_f = 932\text{m}$
 $S_f = 100$



D_f a súlypontja az áramelvelésnek a föld-vízszintes egyenértékű nélyisége.

2 vezetős-föld hurok kölcsönös impedanciája:

$Z_{ab\ell} = R_f + j\omega 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_f}{D_{ab}}$ $R_f = 900099 \cdot f$ a föld egyenértékű ohmos ellenállása: R_f

Soros fázis. erés:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa\ell} & Z_{ab\ell} & Z_{ac\ell} \\ Z_{ba\ell} & Z_{bb\ell} & Z_{bc\ell} \\ Z_{ca\ell} & Z_{cb\ell} & Z_{cc\ell} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

$Z_{\text{ön}} = Z_{aa\ell} = Z_{bb\ell} = Z_{cc\ell}$

$Z_{\ell} = Z_{ab\ell} = Z_{ac\ell} = Z_{bc\ell}$

Szimmetrikálás:

$GMD = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}}$ $GMR = GMR_a = GMR_b = GMR_c$

$Z_1 = Z_{\text{ön}} - Z_{\ell} = R_a + j\omega 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR}$

$Z_2 = Z_1$

$GMR_{\text{csopont}} = \sqrt[3]{GMR \cdot GMD^2}$ azonos árammal átjárt vezetőnek megfelelő csopontra vonatkozó érték.

$Z_0 = Z_{\text{ön}} + 2Z_{\ell} = R_a + 3R_f + j\omega 2 \cdot 10^{-7} \cdot 3 \ln \frac{D_f}{GMR_{\text{csopont}}}$

$Z_{\text{ön}} = R_a + R_f + j\omega 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_f}{GMR_a}$

$Z_{\ell} = R_f + j\omega 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_f}{D_{ab}}$

12.3. A fázis-impedancia mátrix szimmetrikus összetevői, az impedanciák számítása:

Impedanciák: $Z_1 = Z_{01} - Z_k = R_a + j\omega \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{GMD}{GMR}$

$$GMD = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}}$$

$$GMR \approx 0,8 \cdot r$$

$$Z_2 = Z_1 \quad Z_0 = Z_{01} + 2Z_k$$

$$Z_0 = R_v + 3R_f + j\omega \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{D_f^3}{GMR \cdot GMD^2} = R_v + 3R_f + j\omega \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot \ln \frac{D_f}{GMR_{\text{eff}}}$$

$$GMR_{\text{eff}} = \sqrt[3]{GMR \cdot GMD^2}$$

Pl.

let rodony $f = 50 \text{ Hz}$ $D_{ab} = D_{bc} = D$ $D = 6 \text{ m}$ $I_1 = -j2 \text{ kA}$
 $d = 0,5 \text{ m}$ $D_f = 1000 \text{ mm}$ $D_{ac} = 2D$ $GMR = 2 \text{ m}$ $R_a = 1$

$Z_1 = ?$ $Z_0 = ?$ $\left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$

$V_a, V_b, V_c = ?$ I_1 hatására

$$GMD = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = 7,56 \text{ m}$$

$$Z_1 = R_a + j\omega \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{GMD}{GMR} = 1 + j\omega \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{7,56}{2} = 1 + j \cdot 8,35 \cdot 10^{-5}$$

$\uparrow 100\pi$
 $1,53$

$$Z_0 = R_a + 3R_f + j\omega \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{D_f^3}{GMR \cdot GMD^2} = R_a + 3R_f + j\omega \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot \ln \frac{D_f}{GMR_{\text{eff}}}$$

$$GMR_{\text{eff}} = \sqrt[3]{GMD^2 \cdot GMR} = \sqrt[3]{7,56^2 \cdot 2} = 2,473$$

$$R_f = 0,00099 \cdot 50 = 0,0495$$

$$Z_0 = 1 + 0,1485 + j \cdot 1,13 \cdot 10^{-3} = 1,1485 + j \cdot 1,13 \cdot 10^{-3}$$

$$V_a = I_1 \cdot Z_1 = -j2 + 1,67 \cdot 10^{-4} \text{ kV} = 2 \cdot e^{-j90^\circ}$$

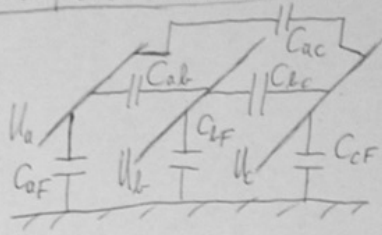
$$V_b = a^2 V_a = 2 \cdot e^{-j210^\circ}$$

$$V_c = a V_a = 2 \cdot e^{j30^\circ}$$

13/ Kétfázisú szabadvezetel kapacitásvai, négyvezetős modell és alkalmazása:

13.1. Kétfázisú szabadvezetel kapacitásvai, négyvezetős modell, földkapacitásvai aszimmetriája

Kétfázisú vezetékrendszer:



$$C_{aa} = C_{aF} + C_{ab} + C_{ac}$$

↓

$$I_a = j\omega (C_{aa} \cdot U_a - C_{ab} \cdot U_b - C_{ac} \cdot U_c)$$

C_{aF} nem független: $C_{aF} = C_{aa} - C_{ab} - C_{ac}$

Alapegyenlet: $U = p \cdot Q \rightarrow Q = C \cdot U \quad p = \frac{1}{C}$
 $U = Z \cdot I \rightarrow I = Y \cdot U$

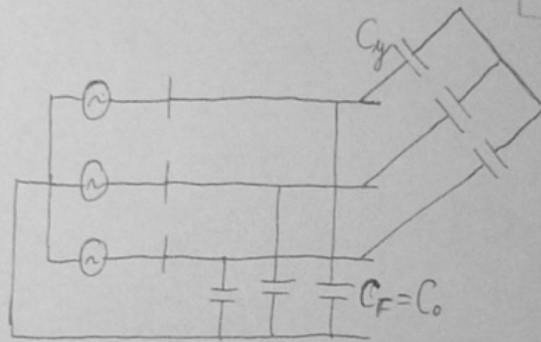
$$C_{0a} = \frac{1}{3} (C_{aa} + C_{bb} + C_{cc})$$

$$C_{0k} = \frac{1}{3} (C_{ab} + C_{bc} + C_{ca})$$

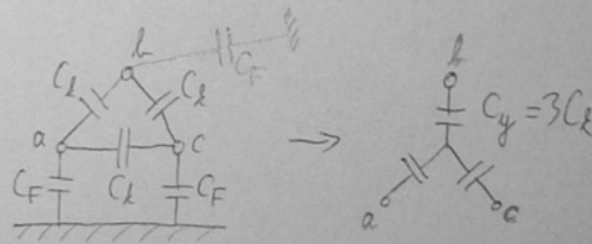
$$C_{11} = C_{0a} + C_{0k}$$

$$C_{00} = C_{0a} - 2C_{0k}$$

Négyvezetős modell:



Kiegyenlített geometria:

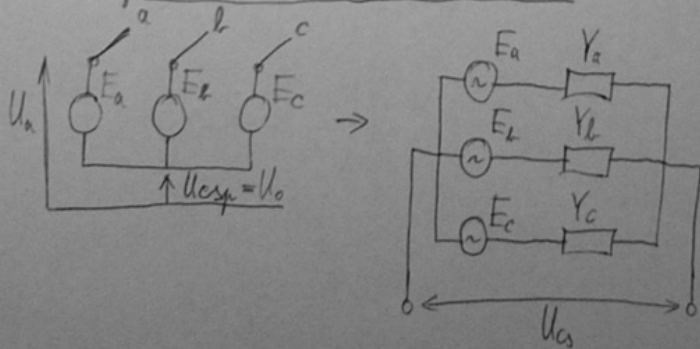


$$C_y = C_1 - C_0$$

$$C_F = C_0$$

$$C_1 = C_F + C_y$$

Nullpont eltolódás (Aszimmetria):



$$U_o = -\frac{C_{01}}{C_{00}} \cdot E_1 \quad Y_f = j\omega C_f$$

$$U_{cszp} = -\frac{Y_{aF} + a^2 Y_{bF} + a Y_{cF}}{Y_{aF} + Y_{bF} + Y_{cF}} \cdot E_1$$

Értékelés: U_{cszp} nem függ a kölcsönös kapacitásokról (C_{ab}, C_{bc}, C_{ca})

14. / Távvezetel sőtimpedanciajával meghatározásra

14.1. Kétfázisú távvezetel sőtimpedanciaja, a sőtimpedancia mátrix és szimmetriái:

Összetűzés: Maxwell-féle kapacitás egyenlettel:

$$U_a = \frac{18 \cdot 10^9}{\epsilon_r} \cdot \left(Q_a \cdot \ln \frac{D_{aA}}{r} + Q_b \cdot \ln \frac{D_{aB}}{D_{ab}} \right)$$

$$U_b = \frac{18 \cdot 10^9}{\epsilon_r} \cdot \left(Q_b \cdot \ln \frac{D_{bB}}{r} + Q_a \cdot \ln \frac{D_{bA}}{D_{ab}} \right)$$

Maxwell I: $\underline{U} = \underline{P} \cdot \underline{Q} \rightarrow$ Maxwell II: $\underline{Q} = \underline{P}^{-1} \cdot \underline{U} = \underline{C} \cdot \underline{U}$

Ön- és kölcsönös potenciáلتényező:

$$p_{\text{ön}} = \frac{18 \cdot 10^9}{\epsilon_r} \cdot \ln \frac{\text{GMD}_{\text{fázis-tűző}}}{r}$$

$r \rightarrow$ a vezető sugara, kettős köteg esetén $\text{GMR} = \sqrt{r \cdot d}$

$$p_{\text{kö}} = \frac{18 \cdot 10^9}{\epsilon_r} \cdot \ln \frac{\text{GMD}_{\text{F-T}}}{\text{GMD}} \quad \text{GMD} = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{ac} \cdot D_{bc}}$$

$$\text{GMD}_{\text{F-T}} = \sqrt[9]{D_{aA} \cdot D_{aB} \cdot D_{aC} \cdot D_{bA} \cdot D_{bB} \cdot D_{bC} \cdot D_{cA} \cdot D_{cB} \cdot D_{cC}}$$

Sőtimpedancia mátrix:

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = j\omega \begin{bmatrix} p_{\text{ön}} & p_{\text{kö}} & p_{\text{kö}} \\ p_{\text{kö}} & p_{\text{ön}} & p_{\text{kö}} \\ p_{\text{kö}} & p_{\text{kö}} & p_{\text{ön}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a' \\ I_b' \\ I_c' \end{bmatrix}$$

\leftarrow töltoáram

Szimmetriái: ömterve impedanciái:

$$Z_0' = \frac{1}{j\omega} (p_{\text{ön}} + 2p_{\text{kö}}) = \frac{18 \cdot 10^9}{\epsilon_r \cdot j\omega} \cdot \ln \frac{\text{GMD}_{\text{F-T}}^3}{\text{GMR}_{\text{csf}}^3} [\Omega_m] \quad \text{GMR}_{\text{csf}} = \sqrt[3]{\text{GMD}^2 \cdot \text{GMR}}$$

$$Z_1' = Z_2' = \frac{18 \cdot 10^9}{\epsilon_r \cdot j\omega} \cdot \ln \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}} [\Omega_m] \quad Z_1' = Z_2' = \frac{1}{j\omega} \cdot (p_{\text{ön}} - p_{\text{kö}})$$

Kapacitások:

$$C_1 = C_2 = \frac{1}{j\omega Z_1'} \quad [\text{F/m}]$$

$$C_0 = \frac{1}{j\omega Z_0'} \quad [\text{F/m}]$$

4.2. Távozott sőtípedancia szimmetrikus örmeteről és töltségárammal kámitása.

Sőtípedancia: $Z_0' = \frac{18 \cdot 10^9}{\epsilon_r \cdot j\omega} \cdot \ln \frac{GMD_{F-T}^3}{GMR \cdot GMD^2} [\Omega \cdot \text{km}]$

$Z_1' = Z_2' = \frac{18 \cdot 10^9}{\epsilon_r \cdot j\omega} \cdot \ln \frac{GMD_{F-T}}{GMR_2} [\Omega \cdot \text{km}]$
 $GMR_2 \rightarrow r$ geometriai!

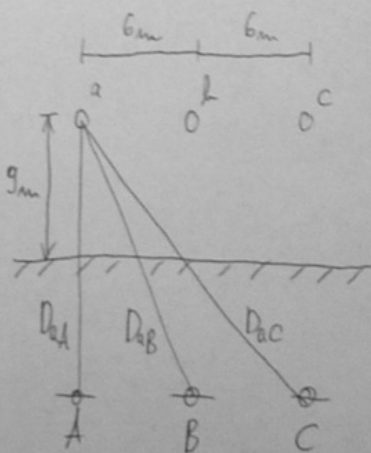
$Z_1' = Z_2' = \frac{1}{j\omega} (p_{01} - p_{02}) \quad Z_0' = \frac{1}{j\omega} (p_{01} + 2p_{02})$

Pl. $f = 50 \text{ Hz}$, 3 fázis L megvan $Z_0' = ? [\Omega \cdot \text{km}]!$ $U_n = 120 \text{ kV}$
 $D_{a1} = D_{a2} = D$ $Z_1' = ?$ $l = 100 \text{ km}$
 $D_{ac} = 2D$ $GMR = r = 0,05$ $I_1' = ?$
 $D = 6 \text{ m}$ $h = 9 \text{ m}$

$GMD = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = 4,56 \text{ m}$

$\sqrt[3]{GMR \cdot GMD^2} = GMR_{\text{eff}} = \sqrt[3]{0,05 \cdot 4,56^2} = 1,42 \text{ m}$

$GMD_{F-T} = \sqrt[9]{D_{aA} D_{aB} D_{aC} D_{bA} D_{bB} D_{bC} D_{cA} D_{cB} D_{cC}} = \sqrt[9]{3,533 \cdot 10^{11}} = 19,192 \text{ m}$



$D_{aA} = D_{bB} = D_{cC} = 18 \text{ m}$

$D_{aB} = D_{bA} = D_{bC} = D_{cB} = \sqrt{6^2 + 18^2} = 18,97 \text{ m}$

$D_{aC} = D_{cA} = \sqrt{12^2 + 18^2} = 21,65 \text{ m}$

$Z_0' = j \frac{18 \cdot 10^9}{100\pi} \cdot \ln \frac{19,192}{1,42} = -j 1,492 \cdot 10^8 \Omega \cdot \text{km} = -j 1,492 \cdot 10^5 \Omega \cdot \text{km}$

$Z_1' = Z_2' = -j \frac{18 \cdot 10^9}{100\pi} \cdot \ln \frac{19,192}{0,05} = -j 3,41 \cdot 10^8 \Omega \cdot \text{km} = -j 3,41 \cdot 10^5 \Omega \cdot \text{km}$

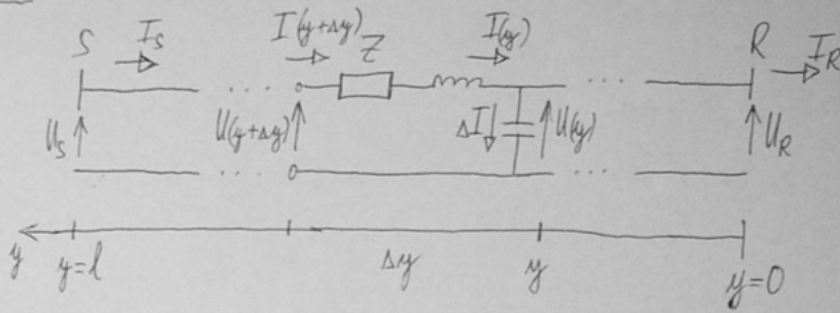
$I_1' = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot X_1'} \quad X_1' = 0,132 \cdot \lg \frac{\sqrt[3]{D_{a1} \cdot D_{b1} \cdot D_{c1}}}{r} = 0,132 \cdot \lg \frac{4,56}{0,05} = 0,288 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$

$I_1' = \frac{120 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,288 \cdot 10^4} = 0,241 \frac{\text{A}}{\text{km}}$

$X_1' = 0,132 \cdot \lg \frac{GMD}{r}$

15/ Tárceretélt elosztott paraméterű modellje, vezetékállandó, koncentrált elemű helyettesítés

15.1. A tárceretélt elosztott paraméterű modellje, vezetékállandó:



Teret-es áram egyenletel: Δy helyen: $Z = Z \cdot \Delta y$ (1)

$$Z' = \frac{Z'}{\Delta y} \quad (2)$$

$$U(y + \Delta y) = (I(y) + \Delta I) \cdot Z \cdot \Delta y + U(y)$$

$$\left. \begin{aligned} (3) \quad U(y) + \Delta U &= U(y) + Z \cdot \Delta y (I(y) + \Delta I) \\ (4) \quad \Delta I &= \frac{U(y)}{Z'} = \frac{U(y)}{Z' \cdot \Delta y} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{dU}{dy} &= -Z \cdot I \\ \frac{dI}{dy} &= -\frac{U}{Z'} \end{aligned}$$

Táviró egyenletel:

$$\frac{d^2 U}{dy^2} = \frac{Z}{Z'} \cdot U = \gamma^2 \cdot U \quad \gamma^2 = \frac{Z}{Z'} \text{ terjedési együttható}$$

$$\frac{d^2 I}{dy^2} = \frac{Z}{Z'} \cdot I = \gamma^2 \cdot I$$

Megoldás $y=l$ helyen:

$$U_s = U_R \cdot \cosh(\gamma l) + I_R \cdot \sinh(\gamma l) \cdot Z_0$$

$$I_s = \frac{U_R}{Z_0} \cdot \sinh(\gamma l) + I_R \cdot \cosh(\gamma l)$$

Külső impedancia: $Z_0 = \sqrt{Z \cdot Z'} = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + \frac{1}{j\omega C})} = \sqrt{\frac{L}{C}}$ vezetékállandó

Terjedési együttható: $\gamma = \sqrt{\frac{Z}{Z'}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + \frac{1}{j\omega C}}} = j\omega \sqrt{LC}$

Láncparaméterek:

$$\begin{bmatrix} U_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} A &= \cosh(\gamma l) & D &= \cosh(\gamma l) \\ B &= Z_0 \cdot \sinh(\gamma l) \\ C &= \frac{\sinh(\gamma l)}{Z_0} \end{aligned}$$

A: visszacsúszás miatt $U_s < U_R$: Feszültségcsökkenés, $|A| < 1$

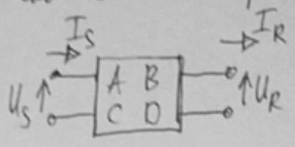
B: átviteli impedancia

C: kapacitív susceptancia

D: áramerősítési tényező

Ha $\gamma = j\alpha \Rightarrow D = \cos(\alpha l)$

15.2. A tárcerékelt lánckapcsolás egyenlete, koncentrált elemű π modell:



$$U_s = A \cdot U_R + B \cdot I_R$$

$$I_s = C \cdot U_R + D \cdot I_R$$

$$\begin{bmatrix} U_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

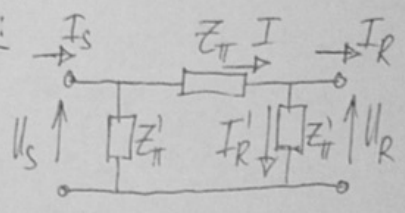
$Z_t = Z_o = R_o$ reflexiómentes lejárás:

$$I_R = \frac{U_R}{Z_o} \rightarrow U_s = A \cdot U_R + B \cdot \frac{U_R}{Z_o} = U_R \cdot (\cosh \gamma l + \sinh(\gamma l)) = U_R \cdot e^{\gamma l}$$

$$\rightarrow I_s = I_R \cdot e^{\gamma l}$$

Teljesítménytelj: $P_{\text{telj}} = \frac{U_n^2}{R_o}$ $U_n = U_s = U_R$

π helyettesítés:



$$Z_{\pi} = B$$

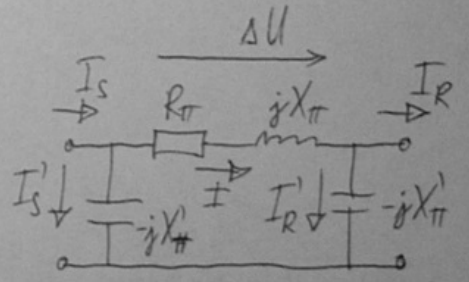
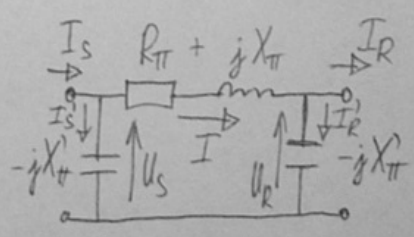
$$Z_{\pi}' = \frac{B}{A-1}$$

Váltakozó impedanciák:

$$Z_{\pi}^n = Z \cdot l \quad [\Omega]$$

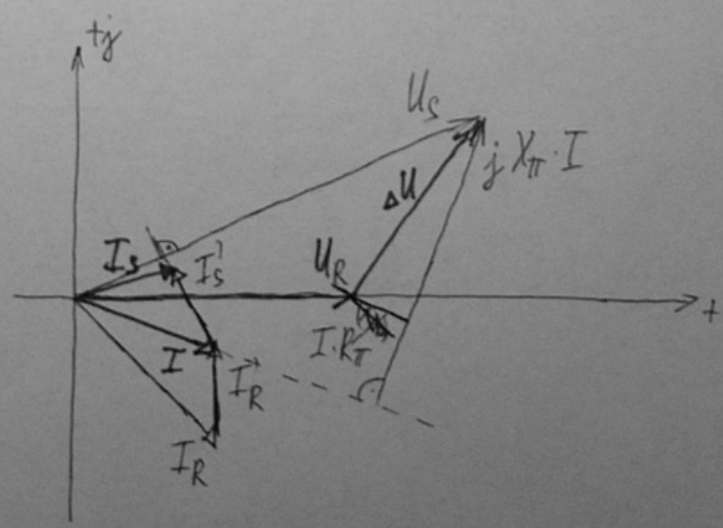
$$Z_{\pi}'^n = \frac{2 \cdot Z'}{l} \quad [\Omega]$$

Fázorábra:



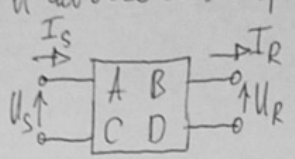
$$I + I_s' = I_s$$

$$I_R + I_R' = I$$



15.3.

4 tárcsétel lánckapcsolásos egyenlete, koncentrált elemű T modell:



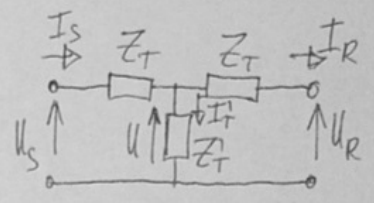
$$\begin{bmatrix} U_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$Z_t = Z_o = R_o$ reflexiónmentes beírás $I_R = \frac{U_R}{R_o}$

$U_s = U_R \cdot e^{\alpha l}$
 $I_s = I_R \cdot e^{\alpha l}$

$P_{\text{term}} = \frac{U_{\text{nevel}}^2}{R_o}$

T helyettesítés:



$$Z_T = \frac{D-1}{C}$$

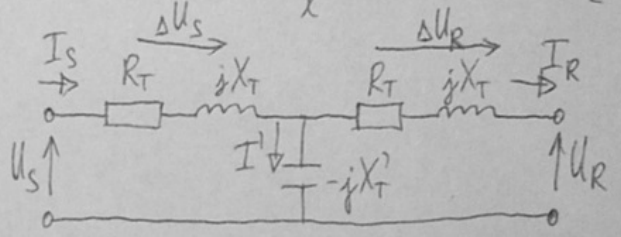
$$Z_T' = \frac{1}{C}$$

reaktancia $\approx jX_T$
 kapacitás $\approx -jX_C$

Vérteges impedancia:

$Z_T' = \frac{Z'}{l}$ $Z_T = Z \cdot \frac{l}{2}$

Vérteges T:

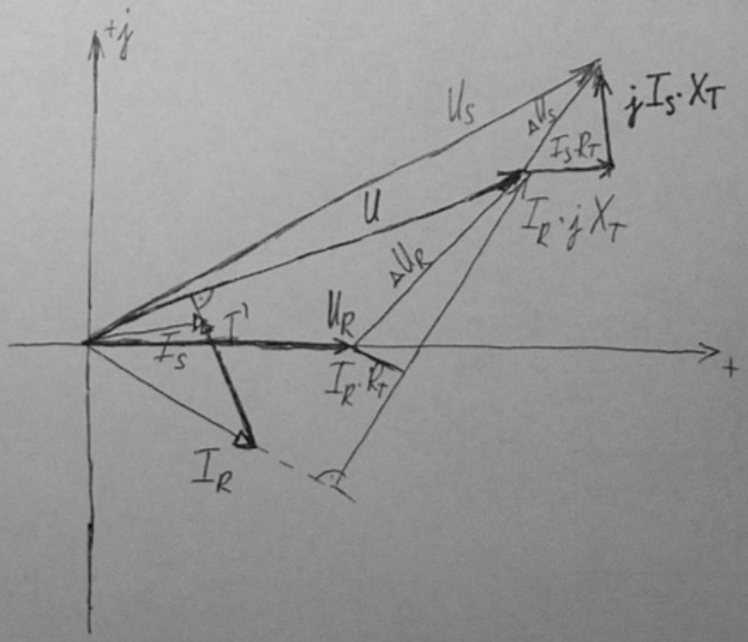


$I_R + I' = I_s$

$U_R + \Delta U_R = U$

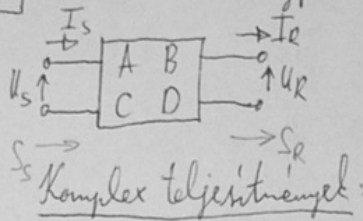
$U + \Delta U_s = U_s$

Fázorábra:



16./ Teljesítményátvitel nagyfeszültségű távvezetéken. Az "átviteli" hatás befolyásolása.

16.1. A távvezetél végponti teljesítményei a végponti feszültségek függvényében:



$$U_s = A \cdot U_R + B \cdot I_R$$

$$I_s = C \cdot U_R + D \cdot I_R$$

$$I_R = \frac{U_s - A \cdot U_R}{B}$$

beírjuk

$$I_s = C \cdot U_R + D \cdot \frac{U_s - A \cdot U_R}{B}$$

$$= U_s \cdot \frac{D}{B} + U_R \left(C - \frac{A \cdot D}{B} \right)$$

$$\frac{BC - AD}{B} = -\frac{1}{B}$$

$$-1 = \sinh^2(\gamma l) - \cosh^2(\gamma l)$$

$$I_s = U_s \frac{D}{B} - U_R \frac{1}{B}$$

$$U_R = |U_R| \angle \phi$$

$$U_s = |U_s| \angle \theta$$

$$A = |A| \angle \alpha$$

$$B = |B| \angle \beta$$

$$C = |C| \angle \gamma$$

$$D = |D| \angle \delta$$

$$S_s = U_s \cdot I_s^* = -\frac{U_s U_R}{B} \angle \beta + \theta + \frac{U_s^2 D}{B} \angle \beta - \delta$$

$$S_R = U_R \cdot I_R^* = \frac{U_R U_s}{B} \angle \beta - \theta - \frac{U_R^2 A}{B} \angle \beta - \alpha$$

Készen és mekkor telj.: (vesztégmentes)

$$\alpha = 0^\circ \quad \beta = 90^\circ$$

$$\delta = 0^\circ$$

$$P_s = \frac{U_s U_R}{B} \cdot \sin \theta$$

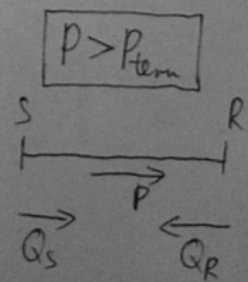
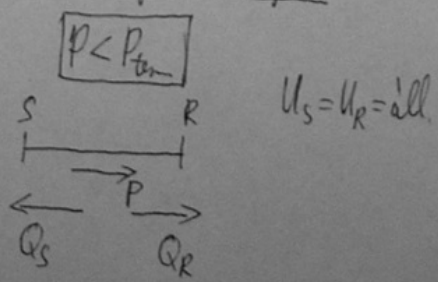
$$Q_s = -\frac{U_s U_R}{B} \cdot \cos \theta + \frac{U_s^2 D}{B}$$

$$P_R = \frac{U_R U_s}{B} \cdot \sin \theta$$

$$Q_R = \frac{U_s U_R}{B} \cdot \cos \theta - \frac{U_s^2 D}{B}$$

Készen telj.: $P_{term} = \frac{U_n^2}{R_0}$ $U_s = U_R = U_n$ $P_V = \phi$

Mekkor telj. viszonyok:

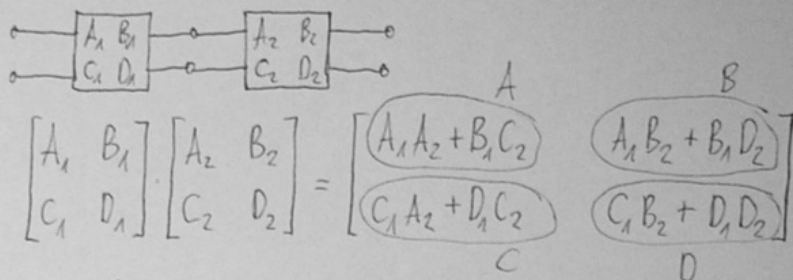


Mekkor telj., mint egy soros kondenzátor.

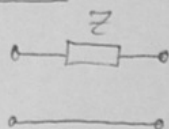
Soros induktivitásként viselkedik.

16.2. A társított átviteli képségének befolyásolása kompenzáló elemek beiktatásával:

Kérelés egyenlős:

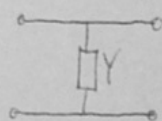


Soros impedancia:



Soro paraméterek: $\begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

Sőt impedancia:



Soro paraméterek: $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix}$

Kompenzáló elemek

hatásuk

Soros kapacitorkes \rightarrow

Érőtelköltség

Soros kondenzátor \rightarrow

Vezeték reaktanciát lehet csökkenteni.
Kisebbségben ΔU fesz. és a társított

Sőt kapacitorkes \rightarrow

A társított tenelt meddőjét elnyeli.

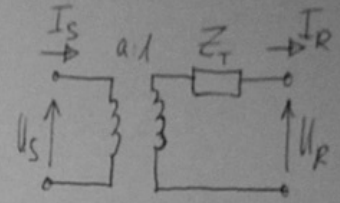
Sőt kondenzátor \rightarrow

Fluxus visszaföldi átvitelnél
alkalmazás. I_a -t csökkent.
Kisebbségben a társított.

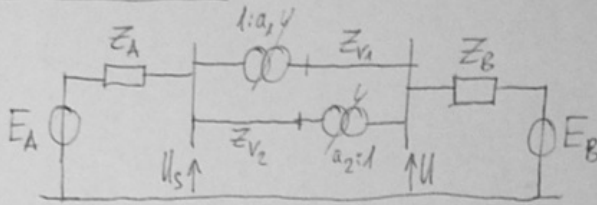
17. / Transzformátoranalízis

17.1. Transzformátor hmv-és kerektanalízisének hatása:

Leképezés: transzformátor lécparaméterei $\begin{bmatrix} a & aZ_T \\ \phi & \frac{1}{a} \end{bmatrix}$



Tárcsétel hullóban:



csak a_1 -et változtatjuk

$a_2 = 1$ (középpólás)

$\rightarrow U_s$
 $\rightarrow U$

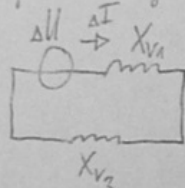
hmv analízis:

$\rightarrow U_s$ $Z_{V1} = j(X_{V1} + X_{T1})$

$\rightarrow U$ $Z_{V2} = j(X_{V2} + X_{T2})$

$Z_{A1}, Z_B \gg Z_{V1}, Z_{V2}$

Soros leve. generátor jelenik meg:



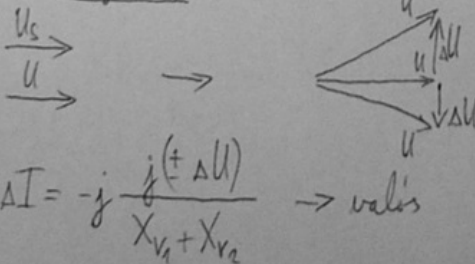
$$\Delta I = \frac{\Delta U}{j(X_{V1} + X_{V2})}$$

$$I_1' = I_{1p} - j(I_{1Q} + \Delta I)$$

$$I_2' = I_{2p} - j(I_{2Q} - \Delta I)$$

} "Kedde"áramot $\rightarrow Q$ -t lehet átrendezni a hmv analízissal.

Kerekt analízis:



$$\Delta I = -j \frac{j(\pm \Delta U)}{X_{V1} + X_{V2}} \rightarrow \text{valós}$$

$$I_1' = I_{1p} + \Delta I_1 - j I_{1Q}$$

$$I_2' = I_{2p} - \Delta I_1 - j I_{2Q}$$

} Wattos teljesítmény 'átrendezése'

Súgáros tárcsétel analízis

tip: feszültségpont növelése / csökkentése a terhelés függvényében.

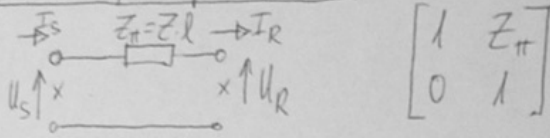
B/ Beljesítésmintával megadás közepfeszültségű tápvonalakon. Helykompenzáció.

18.1. Közepfeszültségű vezeték feszültségvesztése és vesztesége:

kompenzáció sőt -is soros kondenzátorral:

Közepfeszültség: átlámpora 10 km, légszerelő, 20 kV, öntkapacitás kb. 0.

Helyettesítés, ábrák:



$$\begin{cases} I_s = I_R \\ U_s = U_R + I_R \cdot Z \end{cases}$$

$$\rightarrow I_R \cdot Z = \Delta U \text{ veszteség}$$

↓ a fogyasztó határozza meg

$$I_R = I_F$$

$$I_F = I_P - j I_Q$$

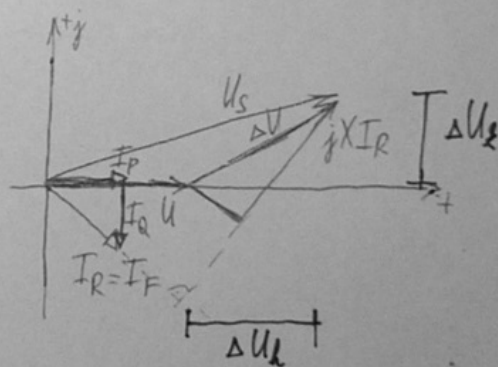
$$I_P = \frac{P_F}{\sqrt{3} \cdot U_{Fn}}$$

$$I_Q = \frac{P_F}{\sqrt{3} \cdot U_{Fn}} \cdot \tan \phi$$

Fesz. esés: $\Delta U_V = I_R \cdot Z = \underbrace{I_P \cdot R + I_Q \cdot X}_{\Delta U_{hossz}} + j \underbrace{(I_P \cdot X - I_Q \cdot R)}_{\Delta U_{pot}}$

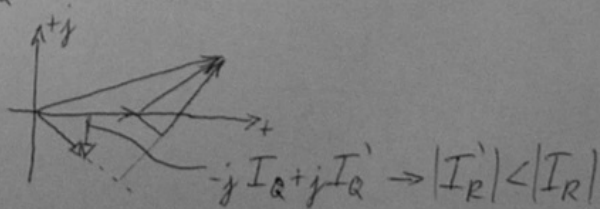
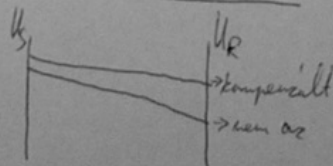
$$\Delta U_V \approx \Delta U_k = |U_s| - |U_R|$$

Itt a terület fogadásra:

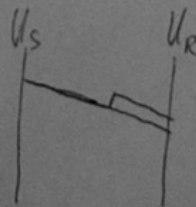
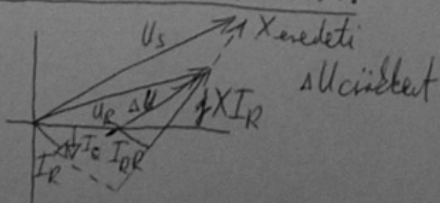


Átviteli veszteség: $S_V^{lt} = R (I_P^2 + I_Q^2) + j (I_P^2 + I_Q^2) X$

Soros kondenzátor hatása: I_Q -t csökkenti

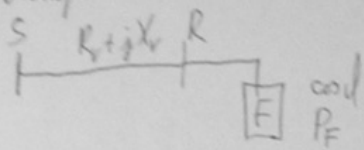


Soros kondenzátor hatása:



Helyi feszültségemelést okoz!

18.2. Kétfázisú hálózati feszültségvesztés és feszültségű számítás, a szinkronizációs hatás:



$$\Delta U = \underbrace{I_P \cdot R + I_Q \cdot X}_{\Delta U_R} + j \underbrace{(I_P \cdot X - I_Q \cdot R)}_{\Delta U_X}$$

$$P_V = 3 \cdot |I|^2 \cdot R$$

$$Q = P_n \cdot \tan \varphi_n$$

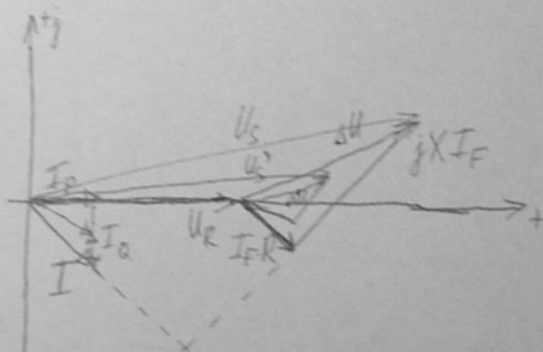
$$I_F = I_P - j I_Q$$

Szinkronizáció: $Q_c \rightarrow S_c = -j Q_c$

$$I_c = \frac{S_c^*}{\sqrt{3} \cdot U_n} = j \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I_R = I_F + I_c \Rightarrow I_Q \text{ csökken!}$$

Feszültség:



Adatok: $P_F = 5 \text{ MW (3f)}$ $R = 0,3$

$$\cos \varphi = 0,8 \Rightarrow \sin \varphi = 0,6 \quad X = 0,6$$

$$U_n = 202 \text{ kV}$$

$$Q_c = 1 \text{ Mvar}$$

$$I_P = \frac{P_F}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 14,3 \text{ A}$$

$$I_Q = \frac{P_F}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} \cdot \sin \varphi = 10,72 \text{ A}$$

$$\Delta U_n = 14,3 \cdot 0,3 + 10,72 \cdot 0,6 = 69,332 \text{ V}$$

$$P_V^{3f} = 3(I^2 \cdot R + I^2 \cdot X) = 18610,95 \text{ W}$$

A szinkondenzátor hatás:

$$I_c = j \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} = j 2,86 \text{ A} \rightarrow I_Q' = 10,72 - 2,86 = 7,862 \text{ A}$$

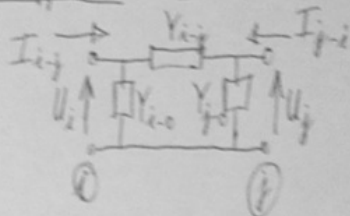
$$\Delta U_n' = 14,3 \cdot 0,3 + 7,862 \cdot 0,6 = 47,62 \text{ V}$$

$$P_V^{3f} = 3I^2 \cdot R + 3I^2 \cdot X = 18515,36 \text{ W}$$

19. / Hálózati átviteli modell, csomóponti Y mátrix, hálózatredukció

19.1. Hálózati elem négy-pólus modelljének az admittanciamátrixa, valamint áttételi transzformátor négy-pólus modellje:

Páros négy-pólus: $I = Y \cdot U$



$$I_{i-j} = (Y_{ii} + Y_{i-j}) U_i - Y_{i-j} U_j$$

$$I_{j-i} = -Y_{i-j} U_i + (Y_{ij} + Y_{jj}) U_j$$

$$\begin{bmatrix} I_{i-j} \\ I_{j-i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{ii} & Y_{ij} \\ Y_{ji} & Y_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_i \\ U_j \end{bmatrix}$$

admittanciamátrix

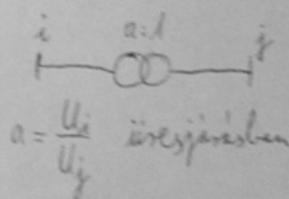
$$Y_{ii} = Y_{i-0} + Y_{i-j}$$

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -Y_{i-j}$$

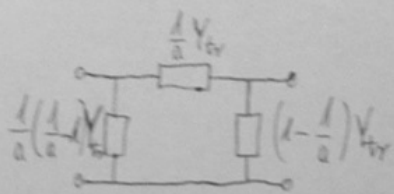
$$Y_{jj} = Y_{j-0} + Y_{i-j}$$

Áttételi transzformátor:

$$Z_{tr} = \frac{E}{100} \cdot \frac{U_j^2}{S_n} \Rightarrow Y_{tr} = \frac{1}{Z_{tr}}$$



$$a = \frac{U_i}{U_j} \text{ átviteli arányban}$$



$$\begin{bmatrix} I_{i-j} \\ I_{j-i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{a^2} Y_{tr} & -\frac{1}{a} Y_{tr} \\ -\frac{1}{a} Y_{tr} & Y_{tr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_i \\ U_j \end{bmatrix}$$

$\hat{a} = a$
ha valós

$$Y_{i-j} = \frac{1}{a} Y_{tr}$$

$$Y_{i-0} = \frac{1}{a^2} Y_{tr} - \frac{1}{a} Y_{tr} = \frac{1}{a} \left(\frac{1}{a} - 1 \right) Y_{tr}$$

$$Y_{j-0} = Y_{tr} - \frac{1}{a} Y_{tr} = \left(1 - \frac{1}{a} \right) Y_{tr}$$

Pl.

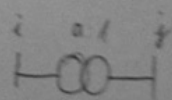
$$a_t = 220/126 \text{ kV}$$

$$S_{tr} = 160 \text{ MVA}$$

$$X_{tr} = 15\%$$

$$Z_{tr} = \frac{15}{100} \cdot \frac{126^2}{160} = 14,9 \Omega$$

$$Y_{tr} = \frac{1}{Z_{tr}} = 0,067 \text{ S}$$



$$a = \frac{220}{126} = 1,75$$

$$Y_{ii} = \frac{1}{a^2} Y_{tr} = 0,022$$

$$-Y_{ij} = \frac{1}{a} Y_{tr} = 0,038$$

$$-Y_{ji} = \frac{1}{a} Y_{tr} = 0,038$$

$$Y_{jj} = Y_{tr} = 0,067$$

19.2. Az Y csomóponti admittancia mátrix. 'Kilözet redukció' az $I = Y \cdot U$ egyenlet alapján:

Kibontott hálózat: $I = Y \cdot U$

$$I = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} \Rightarrow \sum_{i=0}^n I = 0$$

$$Y = n \times n$$

$$Y_{ij} = -Y_{ji}$$

$$Y_{ii} = \sum (Y_{i-j} + Y_{i-0}) + \sum (Y_{i-0})$$

i -edik csomópontra:

$$I_i = \sum_{k=1}^n Y_{ik} \cdot U_k = Y_{ii} U_i + \sum_{k \neq i} Y_{ik} \cdot U_k$$

'Kilözet redukció': csak néhány csomópont áram fész. viszonyai érdekelnek

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_E \\ \underline{I}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Y}_{EE} & \underline{Y}_{ER} \\ \underline{Y}_{RE} & \underline{Y}_{RR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_E \\ \underline{U}_R \end{bmatrix}$$

E: elhagyott rész
R: visszárt

$$\underline{I}_R^{\text{red}} = \underline{Y}_{RR} \underline{U}_R$$

$$\underline{I}_R^{\text{red}} = \underline{I}_R - \underline{Y}_{RE} \underline{Y}_{EE}^{-1} \underline{I}_E$$

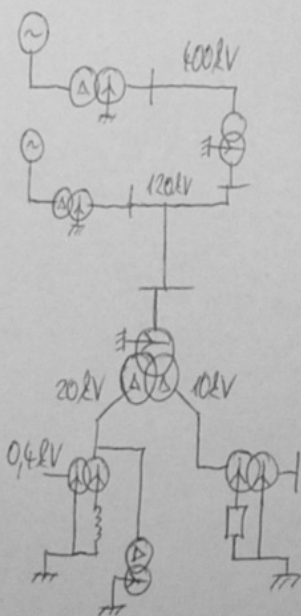
$$\underline{Y}_{RR} = \left[\underline{Y}_{RR} - \underline{Y}_{RE} \underline{Y}_{EE}^{-1} \underline{Y}_{ER} \right]$$

22. / Hálózati csillagpontföldelés, rövidkötésvédelem

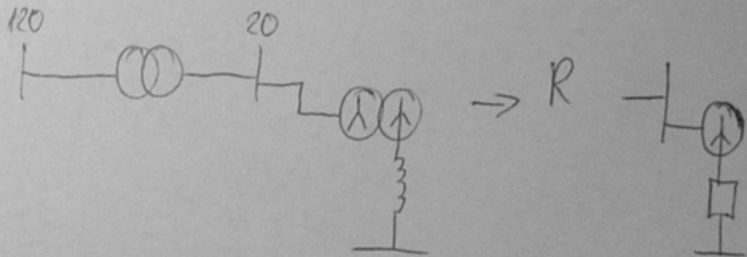
22.1. Csillagpontföldelés az MK VER-ben:

Feszültségpontok:

400 kV	Erőműgenerátor: földetlen csillagpont
120 kV	400, 120 kV: közvetlenül földelt (határossan)
	$ U_{fz}, f_{fz} \leq 1,4 U_{n\text{év}}$
20 kV	20 kV: 'volto' teleresen keresztül földelt
10 kV	10 kV: R-en keresztül, hosszú földelés
0,4 kV	0,4 kV: közvetlenül földelt, több helyen földelt, 0-vezető



Az 'volto' telereset általában külön csillagpont lépcső transzformátorhoz illesztik.



Közvetlenül földelt hálózat rövidkötésvédelem:

$$|I_{3F}| = \frac{E}{X_1} \quad |I_{FN}| = \frac{3E}{2X_1 + X_0}$$

$$X_0 < X_1 \Rightarrow I_{FN} > I_{3F}$$

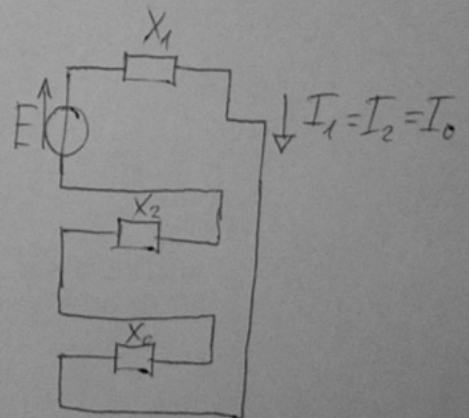
I_{3F} és I_{FN} áram csökkentése X_1 növelésével:

- hurokolt ág gyengítése
- indukтивitás
- gyújtóáram csökkentés
- soros rövidkötésvédelem

I_{FN} csökkentése Z_0 növelésével:

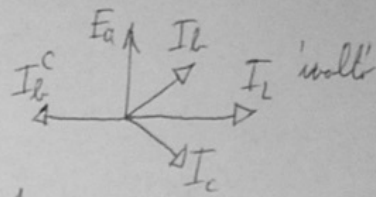
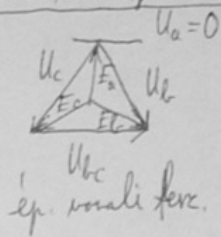
- földetlen földelés "ritkítés"
- csillagponti rövidkötésvédelem

Hagyjál fex. szinten kisebb I_Z !



22.2. Az 'volt' tekercsel földelt (kompensált) hálózat:

1FN rákötés jellemei fázisábrái:



$$I_a = I_L + I_{Lz}^c \approx 0$$

$$I_L = \frac{E_a}{j\omega L}$$

$$I_{c\text{ föld}} = -(I_L + I_c)$$

kapacitív föld-ráköti áram

$$|\bar{I}_L| = |\bar{E}_a| / \omega L$$

$$\text{ha } |\bar{I}_{Lz}^c| \approx |\bar{I}_L| \rightarrow$$

$$\omega_1 \cdot 3C_0 \approx \frac{1}{\omega_1 L}$$

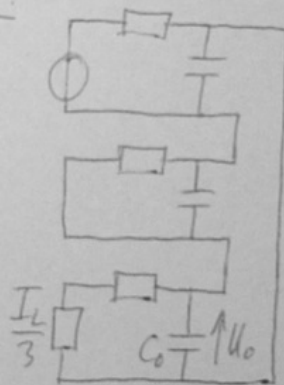
Határolási egyenlet:

$$U_a(t) = U_1(t) + U_0(t)$$

$$U_2(t) = 0 \quad U_1(t) = e_{11}(t) = e_a(t)$$

$$U_0(t) = E_0 \frac{1}{1-k}$$

'Ceres sorrali' ábrák:



Rezonancia frekvencia:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{3LC_0}}$$

\$\omega_1\$ névleges

$$3X_p = 3\omega_1 L$$

Túlkompensálás: $|\bar{I}_L| > |\bar{I}_{Lz}^c|$

Kompensáltsági fok: $k = \frac{|\bar{I}_L|}{|\bar{I}_{Lz}^c|} = \frac{1}{\omega_1^2 3LC_0} \approx \frac{\omega_0^2}{\omega_n^2}$

$$f_0 = 50\sqrt{k}$$

Túlkompensálás mértéke: $f_0 \approx 50\text{Hz}$ ellenlétesítés (rezonanciavesztés)

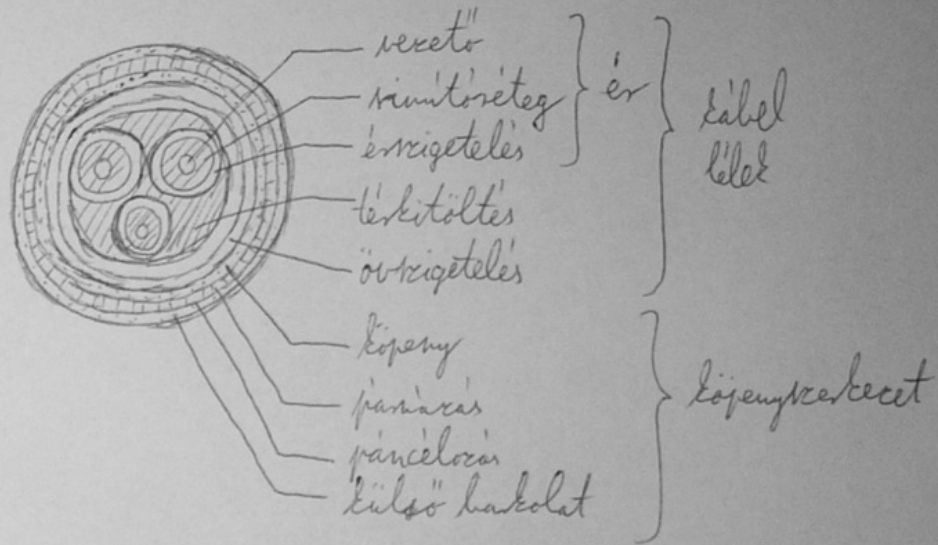
Ha L állandó, a vezeték kapacitánsokor C_0 csökken $\rightarrow f_0$ nő

Ha $f_0 < f_n \Rightarrow$ elvállhat $f_0 \approx f_n$.

23. / Erőátviteli kábel (szekerci felépítés, villamos paraméterek, melegedés, hőmérséklet)

23.1. Kábel szekerci felépítése, villamos paraméterei:

Felépítés:



Villamos paraméterek: 3-erős vs. 3db 1-erős

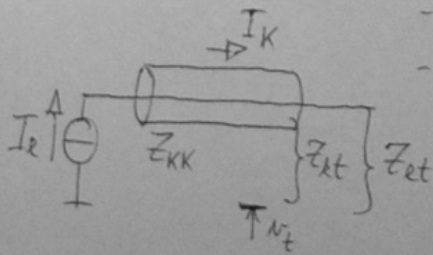
	3-erős	3db 1-erős
gyártási hossz	kisebb	nagyobb
hajtási rugó	nagyobb	kisebb
feltételi geom.	lötött Δ	váltakozó (gondos mértéki igazságra)
melegedés	nagyobb	kisebb

atoldal bonyolult is drága

jobb tud hülni.

Kábelköpeny szerepe:

- mechanizmus nem engedhető
- érintésvédelmi feladat
- környezetre való hatás csökkentése (EMC)



$V_{\pm} = I_e \cdot Z_{et}$ földreleltén köpeny esetén

földelt köpeny esetén: $V_{\pm} = I_e \cdot (Z_{et} - \frac{Z_{ek} \cdot Z_{et}}{Z_{KK}})$

Köpenyvédő tényező: $K_V = \frac{V_{\pm}'}{V_{\pm}} = 1 - \frac{Z_{ek}}{Z_{KK}} = \frac{Z_{KK} - Z_{ek}}{Z_{KK}}$

$K_V \approx \frac{R_K}{Z_{KK}} \rightarrow$ köpeny ellenállás
 \rightarrow köpeny impedancia

Köpeny hatás Z_0 -ra:

Kábel: $Z_0 = Z_{in} + 2Z_{ek} \rightarrow R$ köpeny mértéke, jó ha \ll kicsi

23.2

Kábel melegedése, kábel és szabadvezetel összehasonlítása a villamos paraméterek szempontjából:

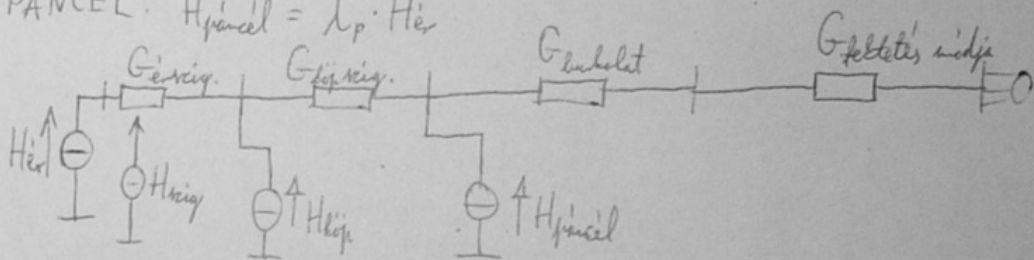
Köráramlási modell: H hőmennyiség ($\rightarrow I$ áramerősség.)
 @ hőteljesítmény ($\rightarrow \Delta U$)
 G hőellenállás ($\rightarrow R$)

ER: $H_{ér} = n \cdot I_{ér}^2 \cdot R_{ér}$ n : fázisok száma

SZIGETELES: $H_{szig} = F(U, f, \epsilon_r, \tan \delta)$ ϵ_r : szigetelés

KÖPENY: $H_{kőp} \Rightarrow \lambda_{kőp} \cdot H_{ér}$

PÁNCÉL: $H_{páncél} = \lambda_p \cdot H_{ér}$



$\Theta_{ér} = T_{ér} - T_{felcsin}$

Zárlati tesztelés: minden lehetőséget le kell mérni az eset melegezítés.

$$I_z^2 \cdot R(\Theta) \cdot t_z = c \cdot m \cdot \Theta$$

\downarrow idő \downarrow hőkapacitás \downarrow tömeg

$I_z = \frac{I_s}{\sqrt{t_z}}$
 $I_s = I_z \cdot \sqrt{t_z}$

Szabadvezetel és kábel paramétereivel összehasonlítása:

Szabadvezetel	vs.	Kábel
R_{mcr}	\approx	R_k
X_{mcr}	\gg	X_k
C_{mcr}	$<$	C_k
X'_{mcr}	$>$	X'_k
$Q_{c,mcr}$	\ll	$Q_{c,k}$
$Z_{0,mcr}$	\gg	$Z_{0,k}$
$P_{term,mcr}$	\ll	$P_{term,k}$
$P_t^{120kV} = 50MW$	$\sim 10x$	$P_t^{120kV} = 300MW$