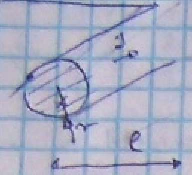
12.1. L_b, L_k, 2 vezetős hurok

L_b $(x \le r)$



$$\oint_l H\,dl = N \cdot i = I \quad (n=1)$$

$$H_x \cdot 2\pi x = i_x$$

$$i_x = I \cdot \frac{x^2\pi}{r^2\pi}$$

$$H_x = I \cdot \frac{x}{2\pi r^2}$$

$$W = \frac{1}{2} L_b I^2 = \frac{1}{2}\mu \int H_x^2\, dV$$

$$\cancel{\tfrac{1}{2}} L_b \cancel{I^2} = \cancel{\tfrac{1}{2}} \mu\, \cancel{I^2}\, \frac{2\pi l}{4\pi^2 \cancel{r^4}} \cdot \frac{\cancel{r^4}}{4}$$

$$L_b = \mu \frac{2\pi l}{16\pi^2} = \mu \frac{l}{8\pi}$$

$$\boxed{L_b = \frac{\mu_r}{2} \cdot 10^{-7} \left[\frac{H}{m}\right]}$$

L_k $(x > r)$

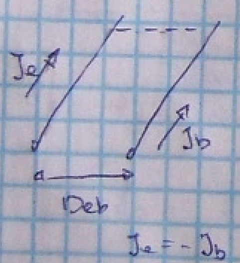
$$\Psi_k = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot l}{2\pi} \int_r^{D_x} \frac{dx}{x} = I \cdot L_k$$

$$\frac{\mu_0 \cdot \cancel{I} \cdot \cancel{l}}{2\pi} \ln \frac{D_x}{r} = \cancel{I} \cdot L_k \rightarrow \boxed{L_k = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_x}{r} \left[\frac{H}{m}\right]}$$

$$L = L_b + L_k = 2 \cdot 10^{-7} \left(\frac{\mu_r}{4} + \ln \frac{D_x}{r}\right) = \boxed{2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \left(\frac{D_x}{\underbrace{r \cdot e^{-\frac{\mu_r}{4}}}_{r^*}}\right)} \left[\frac{H}{m}\right]$$

$r^* \rightarrow$ GMR

$r \rightarrow r^*$



$J_e = -J_b$

$$\boxed{L_{ee} = \frac{\Psi_e}{i_e} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{1}{r_e^*}} \rightarrow \boxed{X_{ee} = 0{,}145 \cdot \lg \frac{1}{r_e^*}}$$

$$\boxed{L_{eb} = \frac{\Psi_e}{i_b} = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{1}{D_{eb}}} \rightarrow \boxed{X_{eb} = 0{,}145 \cdot \lg \frac{1}{D_{eb}}}$$

$$X_{e1} = X_{ee} - X_{eb} = \boxed{0{,}145 \cdot \lg \frac{D_{eb}}{r_e^*}} \left[\frac{\Omega}{km}\right]$$

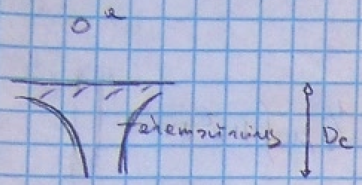
Feszültségegyenlet

$$\underline{U} = \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \end{bmatrix} = j\omega \underline{\underline{L}} \cdot \underline{I}$$

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} jX_{aa} & jX_{ab} \\ jX_{ba} & jX_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} \left[\frac{V}{m}\right]$$

12.2. Vf hurok ön- kölcsönös impedanciái

Fázisvezető – földhurok



$$D_e = \sqrt{\frac{\rho}{f}} \cdot 659 \quad [m]$$

$\rho = 100\ \Omega m$

$r_f = 0{,}0495\ [\Omega/km]$ → csak a frekvenciától függ

Carson – Clem alapján:

$$Z_{vf} = r_v + r_f + j\,0{,}145 \cdot \lg \frac{D_e}{r^*} \quad [\Omega/km]$$

$$Z_{abf} = r_f + j\,0{,}145 \lg \frac{D_e}{D_{ab}} \quad [\Omega/km]$$

3F rendszer

$$\underline{\underline{U}}_f = \underline{\underline{Z}}_f \cdot \underline{\underline{J}}_f \quad \rightarrow \quad \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_a \\ J_b \\ J_c \end{bmatrix}$$

fázis → szimm → $\underline{\underline{T}}_{fs} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$

szimm → fázis → $\underline{\underline{T}}_{sf} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$

$$\underline{\underline{U}}_s = \underline{\underline{Z}}_s \cdot \underline{\underline{J}}_s$$

$$\underline{\underline{T}}_{fs}\,\underline{\underline{U}}_s = \underline{\underline{Z}}_f \cdot \underline{\underline{T}}_{fs} \cdot \underline{\underline{J}}_s$$

$$\underbrace{\underline{\underline{T}}_{sf}\,\underline{\underline{T}}_{fs}}_{E}\,\underline{\underline{U}}_s = \underbrace{\underline{\underline{T}}_{sf} \cdot \underline{\underline{Z}}_f \cdot \underline{\underline{T}}_{fs}}_{\underline{\underline{Z}}_s} \cdot \underline{\underline{J}}_s$$

$$\underline{\underline{Z}}_s = \underline{\underline{T}}_{sf} \cdot \underline{\underline{Z}}_f \cdot \underline{\underline{T}}_{fs}$$

$$\begin{bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Szimmetrizált esetben

$$\left.\begin{aligned} Z_{aa} &= Z_{bb} = Z_{cc} = Z_{ön} \\ Z_{ab} &= Z_{ac} = Z_{cb} = \dots = Z_{kölcsönös} \end{aligned}\right\} \rightarrow \underline{\underline{Z}}_s \text{ diagonál mátrix}$$

$$\underline{\underline{Z}}_s = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix}$$

$$Z_1 = Z_{ön} - Z_k = Z_2$$

$$Z_0 = Z_{ön} + 2 \cdot Z_k$$

12.3. fázis-impedancia mátrix, impedanciák

3F - szimm

$$\underline{\underline{Z}}_s = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix}$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_{ön} - Z_{kölcsönös}$$

$$Z_0 = Z_{ön} + 2\,Z_{kölcsönös}$$

$$Z_1 = R_v + \cancel{R_f} + j\,0{,}145 \cdot \lg \frac{D_e}{r^*} - \cancel{R_f} - j\,0{,}145 \lg \frac{D_e}{D_{ab}} =$$

$$= R_v + j \cdot 0{,}145 \cdot \lg \frac{D_{ab}}{r^*}$$

$$Z_0 = R_v + R_f + j \cdot 0{,}145 \cdot \lg \frac{D_e}{r^*} + 2R_f + j \cdot 0{,}145 \cdot \lg \frac{D_e^2}{D_{ab}^2} =$$

$$= R_v + 3R_f + j\,0{,}145 \lg \frac{D_e^3}{r^* \cdot D_{ab}^2}$$

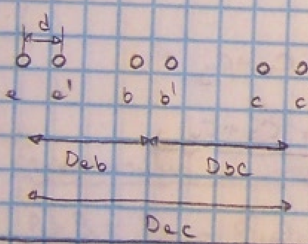
$$GMR_{cs} = \sqrt{r^* D_{ab}^2}$$

Ált.:

$$Z_1 = R_v + j \cdot 0{,}145 \cdot \lg \frac{GMD}{GMR}$$

$$Z_0 = R_v + 3R_f + j \cdot 0{,}435 \cdot \lg \frac{D_e}{GMR_{cs}}$$

Feladat



r^*
$f = 50\,Hz$
D_{ab}, D_{bc}, D_{ac}
D_e

a.) $Z_1, Z_0 = ?$

b.) I_1 hatására feszültségesés?

a)

$$Z_1 = \frac{R_v}{2} + j\,0{,}145 \cdot \lg \frac{GMD}{GMR}$$

$$Z_0 = \frac{R_v}{2} + 3R_f + j\,0{,}435 \cdot \lg \frac{D_e}{GMR_{cs}}$$

$$R_f = 0{,}0495$$

$$GMR = \sqrt{r^* d}$$

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

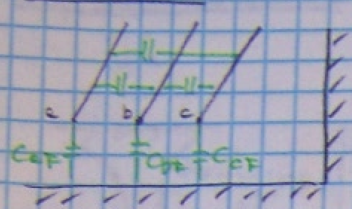
$$GMR_{cs} = \sqrt[3]{GMR^3 D_{ab}^2 D_{bc}^2 D_{ac}^2}$$

b.)

$$U_1 = I_1 \cdot Z_1$$

13. Szabadvezeték, 4 vezetős modell, földkapacitások

3F rendszer

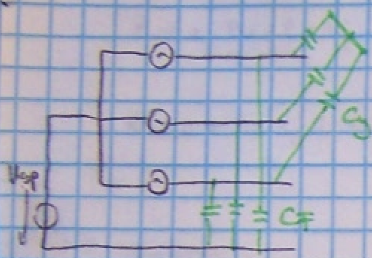


$$J_a = j\omega\left(C_{aa} U_a - C_{ab} U_b - C_{ac} U_c\right)$$

/szuperpozícióval/

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

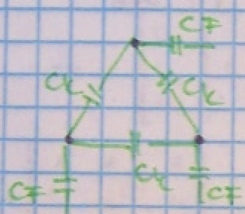
4 vezetős modell



$$C_1 = C_{Sn} + C_{kölcsönös}$$

$$C_0 = C_{Sn} - 2C_{kölcsönös}$$

Szimm. elrendezés!

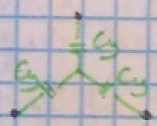


$$C_{Sn} = C_F + 2C_k$$

$$\downarrow$$

$$\boxed{C_1 = C_F + 3C_k}$$

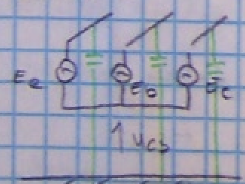
$$\boxed{C_0 = C_F}$$



$$C_y = 3C_k \rightarrow C_1 = C_F + C_y$$

$$\boxed{C_1 = C_0 + C_y}$$

Feladat

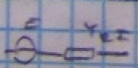


$$E_a = E_1$$
$$E_b = E_1 \cdot a^2$$
$$E_c = E_1 \cdot a$$

C_{aF}; C_{bF}; C_{cF}; C_k

a) $U_{cs} = ?$

b) értékelés



=>

$$C_{bF} = C_{aF} - C_k = C_F - C_k$$

$$C_{aF} = C_{cF} = C_F$$

$$J = Y_{aF} \cdot E_a + Y_{bF} \cdot E_b + Y_{cF} \cdot E_c =$$

$$= \left(Y_{aF} + a^2 Y_{bF} + a\, Y_{cF}\right) E_1$$

$$\frac{U_{cs}}{E_1} = -\frac{C_{aF} + a^2 C_{bF} + a \cdot C_{cF}}{C_{aF} + C_{bF} + C_{cF}} \rightarrow U_{cs}$$

b) A CSP eltolódás a földkapacitások különbözőségéből adódik.

14.1. 3F TV söntimpedanciája

Geometriai tényezőkből → potenciáltényezők

$$P = \frac{1}{C}$$

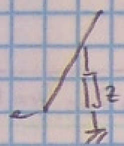
3F rendszer

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ab} & P_{ac} \\ P_{ba} & P_{bb} & P_{bc} \\ P_{ca} & P_{cb} & P_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_a \\ Q_b \\ Q_c \end{bmatrix}$$

$Q = C \cdot U \rightarrow U = P \cdot Q$

$\rightarrow \underline{\underline{U_f}} = \underline{\underline{P_f}} \cdot \underline{\underline{Q_f}} \rightarrow \underline{\underline{P_f}} = \underline{\underline{C_f}}^{-1}$

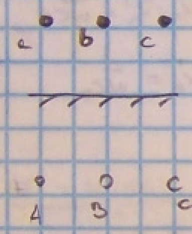
Sönt impedancia



$z' = R - jX \rightarrow z' = -jx' = -j \cdot \frac{1}{\omega C}$

$R \rightarrow \infty$ söntkapacitás

3F - föld



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

$\vdots$

$$\begin{bmatrix} J_a \\ J_b \\ J_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j\omega C_{aa} & -j\omega C_{ab} & -j\omega C_{ac} \\ -j\omega C_{ba} & j\omega C_{bb} & -j\omega C_{bc} \\ -j\omega C_{ca} & -j\omega C_{cb} & j\omega C_{cc} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix}$$

Szimmetrikus elrendezés → $\underline{\underline{P_s}}$ és $\underline{\underline{C_s}}$ diagonális

$$\boxed{\begin{aligned} P_2 = P_1 &= P_{ön} - P_{kölcsönös} \\ P_0 &= P_{ön} + 2 P_{kölcsönös} \end{aligned}}$$

→ mivel $P = \frac{1}{C}$ → $\boxed{\begin{aligned} C_1 &= C_{ön} + C_{kölcs.} \\ C_0 &= C_{ön} - 2 C_{kölcs} \end{aligned}}$

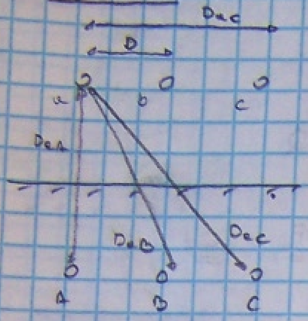
$$\boxed{\begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{P_1} \\ C_0 &= \frac{1}{P_0} \end{aligned}}$$

$$\boxed{\begin{aligned} x_1' = x_2' &= \frac{1}{\omega C_1} \\ x_0' &= \frac{1}{\omega C_0} \end{aligned}}$$

[MΩ km]

14.2. TV söntimpedancia

3F TV



$$x_1' = 0,132 \cdot \lg \frac{GMD}{GMR}$$

$$x_0' = 3 \cdot 0,132 \cdot \lg \frac{GMD\,/\text{fázis-föld}/}{GMR_{cs}}$$

$[M\Omega\, km]$

$$GMR = r$$

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

$$GMD_{cs} = \sqrt[9]{r^3 D_{ab}^2 D_{bc}^2 D_{ca}^2}$$

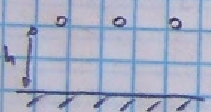
$$GMD_{/f-f/} = \sqrt[9]{D_{aA} D_{aB} D_{aC} D_{bA} D_{bB} D_{bC} D_{cA} D_{cB} D_{cC}}$$

1×3 fázis az alapeset, a többi erre visszavezethető.

potenciáltényezőkkel:

$$\left.\begin{array}{l} p_1 = p_2 = p_{saját} - p_{kölcsönös} \\ p_0 = p_{saját} + 2 p_{kölcsönös} \end{array}\right\} p = \frac{1}{c} \rightarrow \left.\begin{array}{l} C_1 = C_2 = C_{saját} + C_{kölcsönös} \\ C_0 = C_{saját} - 2 \cdot C_{kölcsönös} \end{array}\right\} \rightarrow \begin{array}{l} x_1' = x_2' = \frac{1}{\omega C_1} \\ x_0' = \frac{1}{\omega C_0} \end{array}$$

Példa:



r
f
$D_{ab} = D_{bc} = D$
$D_{ac} = 2D$
h

a) x_1'; x_0'
b) $I_1' = ?$ U_n

a)

$$D_{aA} = 2h = D_{cC} = D_{bB}$$

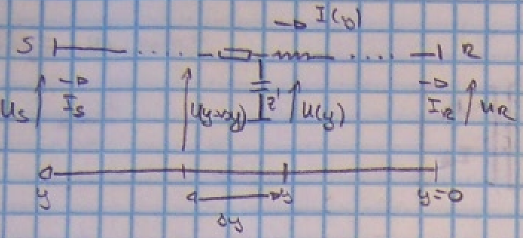
$$D_{aB} = D_{cB} = D_{bA} = D_{bC} = \sqrt{D_{aA}^2 + D^2}$$

$$D_{aC} = D_{cA} = \sqrt{D_{aA}^2 + 4D^2}$$

x_0', x_1' a fenti képletekből $[M\Omega\, km]$

b) $I_C' = \frac{U_n}{\sqrt{3} x_1'}$ $[A/km]$

15.1. TV elosztott paraméterű modell, vezetékállandók



$Z = z \cdot \Delta y$ $[\Omega]$

$Z' = z'/\Delta y$ $[\Omega]$

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

$$U(y) + \Delta U = U(y) + z\cdot \Delta y\,(I(y)+\Delta I)$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{\Delta U}{\Delta y} &= z\cdot(I(y)+\Delta I) \\ \frac{\Delta I}{\Delta y} &= \frac{1}{z'}\cdot U(y) \end{aligned}\right\} \rightarrow$$

Távíró egyenletek

$$\frac{d^2U}{dy^2} = U\cdot\gamma^2$$

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

Megoldása:

$$U(y) = U_R \cdot \cosh(\gamma y) + I_R \cdot Z_0 \sinh(\gamma y)$$

$$I(y) = U_R / Z_0 \cdot \sinh(\gamma y) + I_R \cdot \cosh(\gamma y)$$

γ – terjedési eh.

$$\gamma = \sqrt{\frac{z}{z'}}$$

$\rightarrow$ Veszteségmentes esetben

$r = \emptyset \rightarrow z = jx$, $z' = -jx'$ $\rightarrow$

$$\gamma = j\omega\sqrt{LC}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = R_0$$

Z_0 – hullámimpedancia

$$Z_0 = \sqrt{z \cdot z'}$$

ha $y = l$

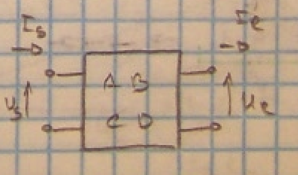
$U(l) = U_S$

$I(l) = I_S$

$\rightarrow$ TV egyenletek élére

láncparaméterek

$$\begin{bmatrix} U_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_R \\ I_R \end{bmatrix}$$



$/D = A/$

$$\left.\begin{aligned} A &= \cosh(\gamma l) \\ B &= Z_0 \cdot \sinh(\gamma l) \\ C &= \frac{1}{Z_0}\sinh(\gamma l) \end{aligned}\right\}$$ vagy üj és rz. mérésekkel meghatározhatók

A – feszültségerősítés

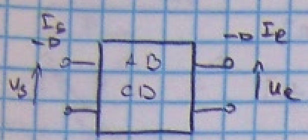
B – Transzfer impedancia

C – Kapacitív szuszceptancia

D – áramerősítési tényező

15. 2. Lánc paraméteres egyenlet, π modell

Láncparaméteres egyenlet



$$\begin{bmatrix} U_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_e \\ I_e \end{bmatrix}$$

Természetes teljesítmény

R oldalon $Z_t = Z_0 \rightarrow I_R = \frac{U_e}{Z_0}$ → S és R oldalon U és I absz. ért. azonos, az $U_e I_R$ és $U_s I_s$ között még is azonos

$$P_t = \frac{U^2}{Z_0} = P_e = P_S$$

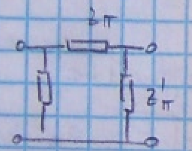
A vezetéken átvitt teljesítmény a természetes teljesítmény.

→ a TV meddő egyensúlyban van.

$$Q_L = I^2 X_L = Q_C = \frac{U^2}{X_C}$$

π - modell

egyenértékű



$\boxed{Z_\pi = B}$ →

$\boxed{Z_\pi' = \frac{B}{A-1}}$ →

$$Z = z \cdot l = (r + jx) l$$

$$Z' = z'/l = -jx'/l$$

névleges (rövid TV)

$$Z_\pi = z \cdot l$$

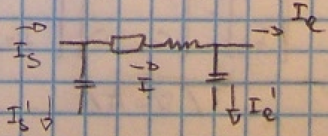
$$Z_\pi' = 2 \cdot z'/l$$

ideális

$Im[Z_{\pi n}]$ →

$Im[Z'_{\pi n}]$ →

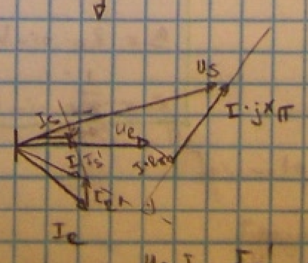
Fazorábra



$$I = I_e + I_e'$$

$$U_s = U_e + \underbrace{I(R_\pi + jX_\pi)}_{\Delta U}$$

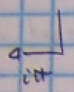
$$I_s = I + I_s'$$



$U_e, I_e, I_e', \Delta U, U_s, I_s$

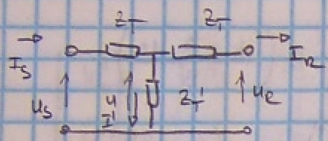
15.3. Láncparaméterek, T modell

Eleje ua. mint



T modell

Egyenértékű



$$U = U_R + I_R \cdot Z_T$$

$$\left.\begin{aligned} U &= U_R + I_R \cdot Z_T \\ I_S &= I_R + I' = I_R + \frac{U}{Z_T'} \end{aligned}\right\} \quad I_S = I_R + \frac{U_R + I_R Z_T}{Z_T'} =$$

$$= U_R \underbrace{\left(\frac{1}{Z_T'}\right)}_{C} + I_R \underbrace{\left(1 + \frac{Z_T}{Z_T'}\right)}_{D}$$

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

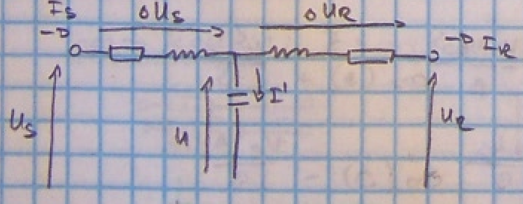
$$\boxed{Z_T = \frac{D-1}{C}}$$

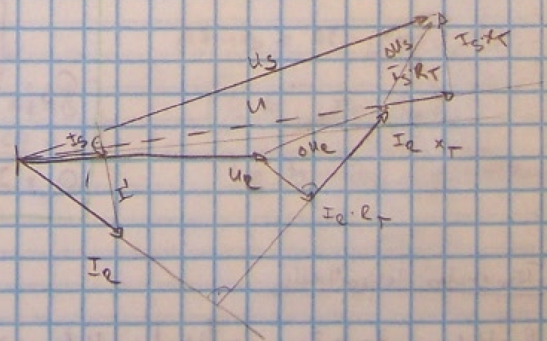
nehtlegs

$$Z_T' = z'/l$$

$$Z_T = z \cdot l/2$$

Fazorábra

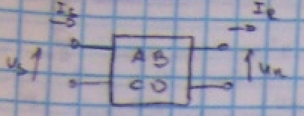




$U_R I_R, \Delta U_R, U, I', I_S, \Delta U_S, U_S$

16.1. Végponti teljesítmények

Láncparaméterek



$$\begin{bmatrix} U_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_e \\ I_e \end{bmatrix}$$

$S_s(U_s, U_e)$ $\quad$ $S_e(U_s U_e)$

$$U_s = A \cdot U_e + B \cdot I_e \qquad I_s = U_e \cdot C + D \cdot I_e$$

$$\Downarrow$$

$$I_e = \frac{U_s - A \cdot U_e}{B}$$

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

$$= U_s\left(\frac{D}{B}\right) + U_e \underbrace{\left(C - \frac{AD}{B}\right)}_{-\frac{1}{B}}$$

$$S_s = U_s \cdot I_s^* = U_s U_s^* \left(\frac{D^*}{B^*}\right) - U_s U_e^* \left(\frac{1}{B^*}\right)$$

$$S_e = U_e \cdot I_e^* = U_e U_s^* \left(\frac{1}{B^*}\right) - U_e U_e^* \left(\frac{A^*}{B^*}\right)$$

abszolút értékekre:

$$S_s = -\frac{U_s U_e}{B} \angle \beta - \vartheta + \frac{U_s^2 D}{B} \angle \beta - \delta$$

$$S_e = \frac{U_e U_s}{B} \angle \beta - \vartheta - \frac{U_e^2 A}{B} \angle \beta - \alpha$$

Veszteségmentes eset

$B \angle 90°$ $\quad$ $A \angle 0°$ $\quad$ $D \angle 0°$

$$P_s = \mathrm{Re}\{S_s\} = \frac{U_s U_e}{B} \sin(\vartheta)$$

$$P_e = \mathrm{Re}\{S_e\} = \frac{U_s U_e}{B} \sin(\vartheta)$$

$$Q_s = \mathrm{Im}\{S_s\} = -\frac{U_s U_e}{B} \cos(\vartheta) + \frac{U_s^2 D}{B}$$

$$Q_e = \mathrm{Im}\{S_e\} = \frac{U_e U_s}{B} \cos(\vartheta) - \frac{U_e^2 A}{B}$$

Természetes teljesítmény

l oldalon $Z_t = Z_0$ $\rightarrow$ $|U_e| = |U_s|$ $\rightarrow$ $P_t = P_e = P_s = \frac{U^2}{Z_0}$

$|I_e| = |I_s|$

$\rightarrow \vartheta_e = \vartheta_s$

$Q_L = Q_C$

ha $P < P_t$

$\rightarrow Q_L < Q_C$

$\rightarrow$ meddőt termel

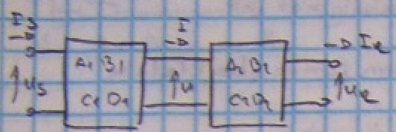
ha $P > P_t$

$\rightarrow Q_C < Q_L$

$\rightarrow$ meddőt fogyaszt

16.2. átviteli képesség befolyásolása kompenzáló elemekkel

Sorba kapcsolt 4pólusok



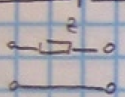
$$\begin{bmatrix} U \\ I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_e \\ I_e \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ I \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1A_2 + B_1C_2 & A_1B_2 + B_1D_2 \\ A_2C_1 + C_2D_1 & B_2C_1 + D_1D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_e \\ I_e \end{bmatrix}$$

Soros impedancia

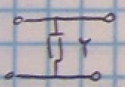


$$A = \frac{U_s}{U_e}\bigg|_{I_e=\emptyset} = 1 \qquad C = \frac{I_s}{U_e}\bigg|_{I_e=0} = 0$$

$$B = \frac{U_s}{I_e}\bigg|_{U_e=0} = Z \qquad D = \frac{I_s}{I_e}\bigg|_{U_e=0} = 1$$

$$\begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sönt admittancia



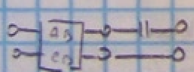
$A = 1 \qquad B = 0$

$C = Y \qquad D = 1$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix}$$

Kompenzáló elemek

soros kondi : $Z = -jX_c$



$$\begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

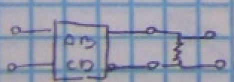
$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & AZ+B \\ 0 & CZ+D \end{bmatrix}$$

$AZ + B = A(-jX_c) + jX_\pi$

$\boxed{B \approx j(X_\pi - X_c)}$

↳ transzfer. imp. csökken

sönt impedancia: $Y = \frac{1}{jX_L}$



$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix}$$

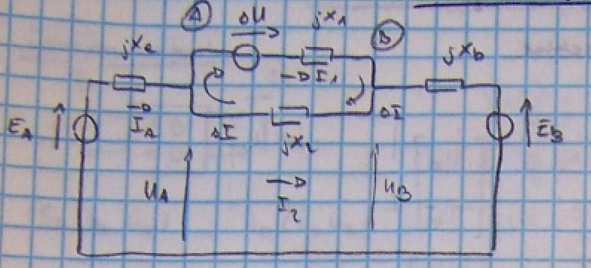
$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A+BY & 0 \\ C+DY & D \end{bmatrix}$$

$\boxed{C' \approx j(C - X_L)}$

$\boxed{A' \approx A + |B| \cdot |Y|}$

↳ többlet meddőigény

17. Trafónabályozás



Trafónabályozás →

→ soros feszültség beiktatása

3 féle szabályozás:

- hossz : fesz ∥ U_f
- ferde
- merőleges : fesz ⊥ U_f /kereszt/

Hurkolt hálózatban :

A szabályozás nem a feszültségeket, (A-B-nél) hanem az áramlásokat befolyásolja.

$$\boxed{I_1 = I_A \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_1} \qquad I_2 = I_A - I_1}$$

ΔU keltette áram a hurokban záródik, mert $X_1 + X_2 \ll X_A + X_B$

$$\rightarrow \Delta I = \frac{\Delta U}{j(X_1 + X_2)}$$

hossz : $\Delta U = \Delta U$

$$I_1' = I_1 + \Delta I = I_1 - j \cdot \frac{\Delta U}{(X_1 + X_2)}$$

$$I_2' = I_2 - \Delta I = I_2 + j \frac{\Delta U}{X_1 + X_2}$$

→ az ágak meddő komponensét befolyásolja

1. nő a meddő Q szállítás
2. csökken -"-

kereszt $\Delta U = j\Delta U$

$$I_1' = I_1 - j \frac{j\Delta U}{X_1 + X_2} = I_1 + \frac{\Delta U}{X_1 + X_2}$$

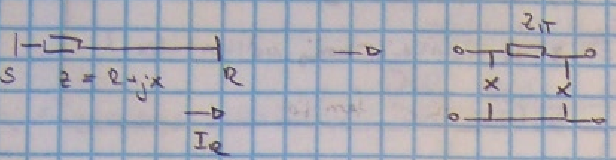
$$I_2' = I_1 + j \frac{j\Delta U}{X_1 + X_2} = I_1 - \frac{\Delta U}{X_1 + X_2}$$

→ valós komponenst szabályoz

1. P szállítás nő
2. P szállítás csökken

18. 1. Feszültségesés, soros - sönt kondi

TV helyettesítése négypólussal



$$\begin{bmatrix} U_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_\pi \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$U_S = U_R + \underbrace{I_R \cdot z}_{\Delta U \rightarrow \text{feszültségesés}}$$

$$\boxed{I_R = I_F = \frac{S_F}{\sqrt{3}\cdot U_n \cdot \cos\varphi}(\cos\varphi - j\sin\varphi) = I_p - jI_Q}$$

$$U_S = U_R + (R + jx)(I_p - jI_Q)$$

$$\hookrightarrow \boxed{\Delta U = \underbrace{I_p \cdot R + I_Q \cdot x}_{\Delta U_h} + j\underbrace{(I_p x - I_Q R)}_{\Delta U_k}}$$

$$\Delta U = |U_S| - |U_R| \approx \underbrace{\Delta U_h}_{I_p \cdot R + \underbrace{I_Q \cdot x}_{\hookrightarrow \text{ezt tudjuk csökkenteni}}}, \text{ mert } \Theta \text{ kicsi}$$

Veszteségek kompenzálása:

$I_Q \cdot x$

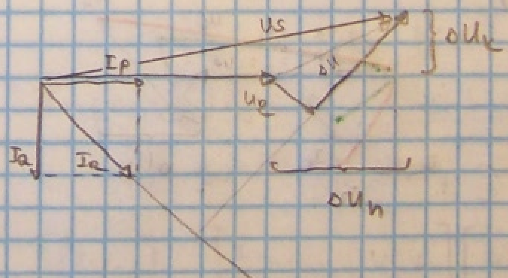
Soros -||-

$z = -jX_C$

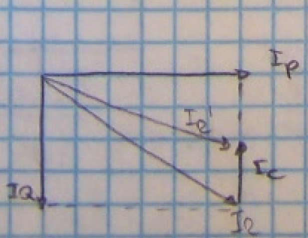
Sönt

$I_R = I_F + jI_C$

$$\underbrace{I_C = \frac{S_C^*}{\sqrt{3}U_R} = \frac{jQ_C}{\sqrt{3}U_R}}$$

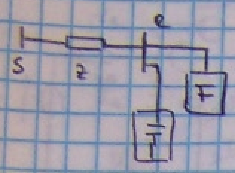


$$\boxed{I_R' = I_p - j(I_Q - I_C)}$$



$$S_{\text{veszteség}} = \Delta U \cdot I_R^* = R \cdot |I|^2 + jx \cdot |I|^2$$

18.2. Feszültségesés példa



U_n
P_n
$\cos\varphi$
$Z = R + jX$

a, ΔU ; $P_{veszteség}$
b, Q_c számítandó hogy változtatja ?
c, fazorábra

a) $$I_F = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_n \cdot \cos\varphi}(\cos\varphi - j\sin\varphi)$$

$$\Delta U_n = I_P \cdot R + I_Q \cdot X$$

$$P_{veszteség} = 3 \cdot |I|^2 \cdot R$$

b) $$Q_{veszteség} = P_{veszteség} \cdot tg\,\varphi$$

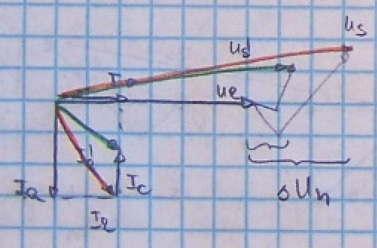
$$I_c = \frac{j\,Q_c}{\sqrt{3}\,U}$$ → azt veszi fel a kondenzátortelep

kompenzálásnál: $I = I_F + I_c$

$P_{veszteség}' = 3 \cdot |I|^2 \cdot R$ → $\Delta P_{veszteség}$

$\Delta U_n' = I_P \cdot R + I_Q' \cdot X$

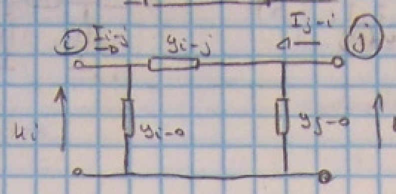
c,)



13.1. Y admittanciamátrix, trafó modellje

Hálózati elemek modellezése: → egyvonalas

→ passzív 4 pólus



$$I_{i-j} = (y_{i-0} + y_{i-j})U_i - y_{i-j}U_j$$

$$I_{j-i} = -y_{i-j}U_i + (y_{j-0} + y_{i-j})U_j$$

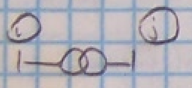
/szuperpozícióval/

→ mátrix alakban

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

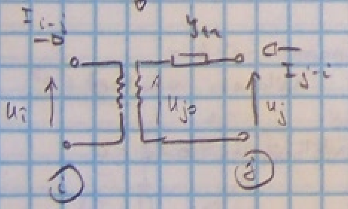
$$\boxed{\begin{aligned} y_{ii} &= y_{i-0} + y_{i-j} \\ y_{jj} &= y_{j-0} + y_{i-j} \\ y_{ij} = y_{ji} &= -y_{i-j} \end{aligned}}$$

Trafó

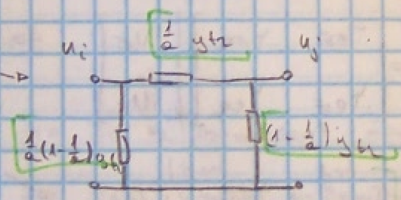


S, ε

$a = U_i / U_{j0}$



→



/ha az áttétel valós/

$$U_{j0} = \frac{1}{a} U_i$$

$$I_{j-i} = -\hat{a}\, I_{i-j}$$

$$I_{j-i} = y_{tr}(U_j - U_{j0}) = -\frac{1}{a} y_{tr} U_i + y_{tr} U_j$$

$$I_{i-j} = -\left(\frac{1}{\hat{a}}\right) I_{j-i} = \frac{1}{a\hat{a}} y_{tr} \cdot U_i - \frac{1}{a} y_{tr} U_j$$

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

Feladat

$a_t = 220/126$ kV

$S_{tr} = 160$ MVA

$x_{tr} = 15\%$

$$X_{tr} = \frac{x_{tr}}{100} \cdot \frac{(U_{220})^2}{S_{tr}} \rightarrow \left.\begin{aligned} y_{tr} &= \frac{1}{X_{tr}} \\ &a_t \end{aligned}\right\} \text{admittanciák meghatározhatók}$$

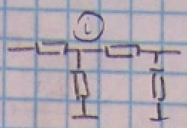
13.2. Y csomóponti admittancia, Hálózatredukció

Csomóponti admittancia-mátrix

$\underline{\underline{I}} = \underline{\underline{Y}} \cdot \underline{\underline{U}}$

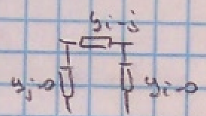
$\underline{\underline{I}} = \begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} \qquad \sum_{i=0}^{n} I_i = 0$

$\underline{\underline{U}} = \begin{bmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix}$

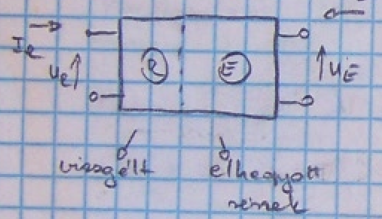


$\underline{\underline{Y}} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1k} \\ & & & \vdots \\ & & & Y_{kk} \end{bmatrix}$ → demi 2 és 4 pólusok összekapcsolása

$$\boxed{\begin{aligned} Y_{ij} &= -y_{i-j} \\ Y_{ii} &= \underbrace{\sum_j (y_{i-j}) + y_{i-0}}_{4\text{ pólus}} \end{aligned}}$$



Hálózatredukálás



$\begin{bmatrix} I_E \\ I_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{EE} & Y_{Ee} \\ Y_{eE} & Y_{ee} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_E \\ U_e \end{bmatrix}$ → U_E kifejezése ↓ második egyenletbe helyettesítés ↓ U_e egy oldalra rendezve

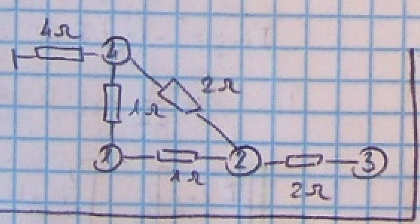
↳ $\boxed{\underline{I}_e^{red} = \underline{\underline{Y}}_{ee}^{(red)} \cdot \underline{\underline{U}}_e}$

→ Ha $I_E = 0$ → $\underline{I}_e^{red} = \underline{I}_e$ → passzív-aktív hálózati redukció

→ Ha $I_E \neq 0$ → redukció csak akkor egyértelmű, ha a $I_E = 0$

Feladat

a) Y mátrix?



$\underline{\underline{Y}} = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & -1 \\ -1 & 2 & -0{,}5 & -0{,}5 \\ 0 & -0{,}5 & 0{,}5 & 0 \\ -1 & -0{,}5 & 0 & 1{,}75 \end{bmatrix}$

$Y_{11} = y_{1-2} + y_{1-4} = \frac{1}{1} + \frac{1}{1} = 2$

$Y_{22} = y_{2-1} + y_{2-3} + y_{2-4} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 2$

$Y_{33} = y_{3-2} = \frac{1}{2} = 0{,}5$

$Y_{44} = y_{4-1} + y_{4-2} + y_{4-0} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = 1{,}75$

$Y_{12} = Y_{21} = -y_{1-2} = -1$ $\qquad Y_{24} = Y_{42} = -y_{2-4} = -0{,}5$

$Y_{14} = Y_{41} = -y_{1-4} = -1$

$Y_{23} = Y_{32} = -y_{2-3} = -0{,}5$

22.1. Csomóponti $\underline{U} = \underline{\underline{Z}}\,\underline{I}$, Z impedanciamátrix

Csomóponti impedanciamátrix

$\underline{U} = \underline{\underline{Z}} \cdot \underline{I}$ → csomóponti áramok

$\underline{U}$: csomóponti feszültségek

$\underline{\underline{Z}}$ → csomóponti impedanciamátrix

ha az $\underline{Y}$ és $\underline{\underline{Z}}$ mátrixokat

ugyanazon elemi modellekből építjük fel:

$$\underline{\underline{Y}} = \underline{\underline{Z}}^{-1}$$

$$Y_{ii} = \frac{I_i}{U_i} \qquad Z_{ii} = \frac{U_i}{I_i}$$

$$Y_{ij} = Y_{ji} = \frac{I_j}{U_i}\Bigg|_{\substack{U_j = 0 \\ j \neq i}} \qquad Z_{ij} = Z_{ji} = \frac{U_j}{I_i}\Bigg|_{\substack{I_j = 0 \\ j \neq i}}$$

$$\boxed{Z_{ii} \neq \frac{1}{Y_{ii}}} \qquad \boxed{Z_{ij} \neq \frac{1}{Y_{ij}}}$$

(hosszirányú) (keresztirányú)

$\underline{U}^0 = \underline{\underline{Z}} \cdot \underline{I}^0$

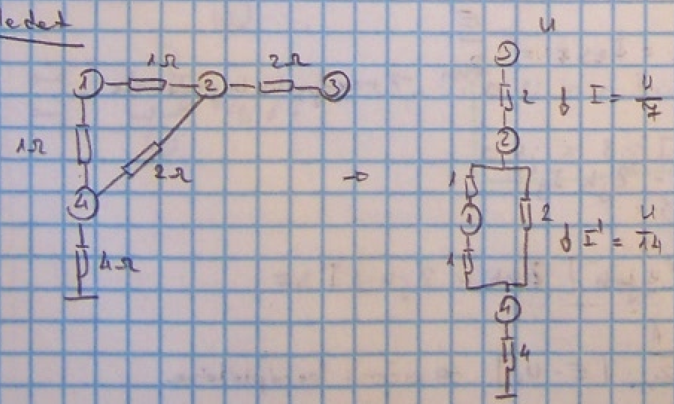
↳ fesz - áram összefüggés

ha I_i megváltozik
I_j állandó

$\Delta U_i = Z_{ii} \cdot \Delta I_i$ → Z_{ii} a csomópont merevsége / meghajtópont impedancia /

$\Delta U_j = Z_{ji} \cdot \Delta I_i$ → jelzi közötti villamos távolság / transzfer impedancia /

Feladat



$$Z_{22} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{U\frac{5}{7}}{\frac{U}{7}} = \frac{5}{7\cdot 7} = \frac{5}{49}$$

$$Z_{21} = \frac{U_2}{I_1} = \frac{U\frac{5}{7}}{\frac{U}{14}} = \frac{5}{7\cdot 14} = \frac{2{,}5}{49}$$

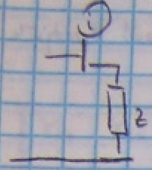
$$Z_{23} = \frac{U_2}{I_3} = \frac{U\frac{5}{7}}{\frac{U}{7}} = \frac{5}{49}$$

$$Z_{24} = \frac{U_2}{I_4} = \frac{U\frac{5}{7}}{\frac{U}{7}} = \frac{5}{49}$$

20.2. Zárlatszámítás hurkolt hálózaton

Terhelések leképezése

$$Z = \frac{U^2}{S} = |Z| \cdot e^{j\delta}$$



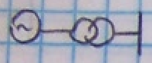
közelítőleg:

$$\begin{cases} Z_1 = Z \\ Z_2 = \frac{1}{2}|Z_1| \cdot e^{j2\delta} \\ Z_0 = Z_{0\,eredő} \end{cases}$$

Ha rövidzárlati számításoknál a terheléseket elhagyjuk:

$$\begin{cases} Z_1 = 0 \\ Z_2 = \infty \\ Z_0 = Z_{0\,eredő} \end{cases}$$

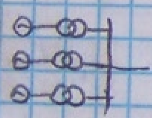
Források leképezése

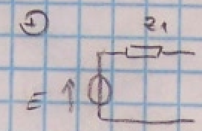


$$S_G = P_G + j\,Q_G$$

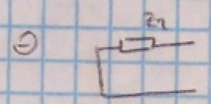
$$I_G = \frac{S}{U}$$

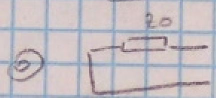
Ha a terheléseket elhagyjuk, több generátor közös csomópontba fogható.





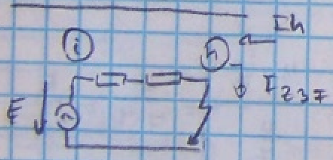
$$E = U + Z_1 I_G$$





/ha a trafó földelt csillagpontú/

3F zárlat



j - tetszőleges csomópont

1.) $-I_{hibahely} = I_{Z3F} = \frac{E}{Z_{hh}}$ → mérésponti impedancia

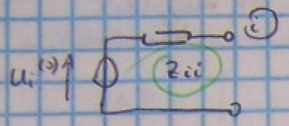
2.) $U_j = E - Z_{jh} I_{3F}$

3.) $I_{j-h} = y_{j-h} \left[Z_{hh} - Z_{jh} \right] I_{3F}$

4.) $I_{b-i} = \frac{1}{Z_{b-i}} \left[E - U_i \right]$ → erőmű betáplálása

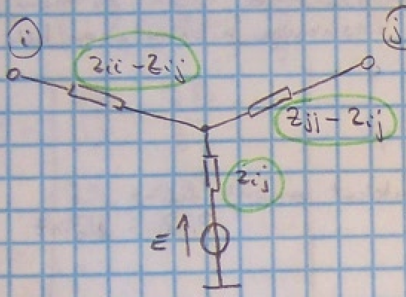
20. 3. 1-2 csomópont Z mátrix

Thevenin modell egy csomópontra



terheletlen hálózatnál $u_i^{(0)} = E$

2 csomópontra



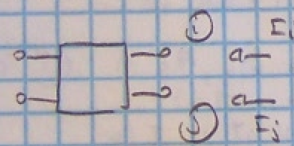
$z_{ii},\ z_{jj},\ z_{ij} \in \underline{\underline{Z}}$

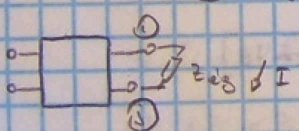
$$z_{ij_{mp}} = z_{ii} + z_{jj} - 2 z_{ij}$$

$$z_{ii} = \frac{u_i}{I_i}$$

$$z_{ij} = z_{ji} = \frac{u_j}{I_i} \quad \Bigg| \; I_j = 0,\ j \neq i$$

Új ág bekapcsolása





$$I = \frac{u_i^{(0)} - u_j^{(0)}}{z_{ág} + z_{ij_{mp}}}$$

$$\Delta u_i = - z_{ii} I + z_{ij} I$$

$$\Delta u_j = z_{jj} I - z_{ij} I$$

21.1. GAUSS iteráció

→ teljesítményáramlás számítására → nemlineáris egyenletrendszer megoldása

$$\underline{I} = \underline{\underline{Y}}\,\underline{U}$$

$$\underline{I}_i = \frac{\hat{S}_i}{\hat{U}_i}$$

→ megoldás iterációval

Betáplálások

$|U_1|$ rögzített $\delta_1 = 0°$ → kiényerőmű

keressük $|U_i|\,\delta_i$ értékeket → hogy a csomópontokra előírt és számított teljesítmény különbsége hibahatáron belül kerüljön.

GAUSS-SEIDEL módszer

PQ csomópontokat vesszük fel → P, Q, S előírt

1. kezdőértékek beállítása

   a) $U_1 = |U_1| \angle 0°$ → kiényerőmű
   b) $U_i = |U_i| \angle \delta_i$ $i = 2, 3 \ldots n$ (PQ csomópontok)

2. Iteráció
   $i = 2, 3 \ldots n$

   a) $I_i = \frac{S_i}{U_i}$

   b) $U_i^{uj} = \frac{1}{Y_{ii}}\left[I_i - \Sigma Y_{ij} U_j\right]$ } hálózat

   c) $S_i = U_i^{uj} I_i$

   d) $H_i = |P_i^e - P_i| + |Q_i^e - Q_i|$ } hibakorláthoz

   e) $U_i = U_i + \alpha(U_i^{uj} - U_i)$ $[\alpha = 1 \div 1{,}7$, gyorsító$]$

3. $\max(H_i) < \varepsilon$

nem → 2. ; igen → 4.

4. $I_1 = Y_{11} U_1 + \Sigma Y_{1j} U_j$

   $S_1 = U_1 I_1$

21.2. Newton iteráció

Érzékenységi mátrix

a MP-okra értelmezett kis ΔU, $\Delta\delta$, ΔP, ΔQ változások hatása

$$\begin{bmatrix}\Delta P\\ \Delta Q\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{\underline{J}} \end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta\delta\\ \Delta U\end{bmatrix}$$

$\underline{\underline{J}}$ – érzékenységi mátrix

$$\begin{bmatrix} \underline{\underline{J}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p\delta & pU \\ q\delta & qU \end{bmatrix}$$

→ érzékenységi mátrix 4 blokkra bontható

$$p\delta = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \cdots \\ \frac{\partial P_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \\ \vdots & & \end{bmatrix} \qquad qU = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_1}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial U_2} & \cdots \\ \frac{\partial Q_2}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial U_2} & \\ \vdots & & \end{bmatrix}$$

Newton iteráció

1. kezdőértékek beállítása
   - a.) $U_1 = |U_1| \angle 0°$ → kiegyenlítő
   - b.) $U_i = |U_i| \angle \delta_i$ → $i = 2, 3 \dots n$ PQ csomópontok
2. A ΔP, ΔQ eltérések számítása, $i = 2, 3 \dots n$
   - a) $I_i = Y_{ii} U_i + \Sigma Y_{ij} U_i$
   - b) $S_i = U_i \hat{I}_i$ $\quad P_i = \mathrm{Re}\{S_i\}$ $\quad Q_i = \mathrm{Im}\{S_i\}$
   - c) $\Delta P_i = P_i^* - P_i$ $\quad \Delta Q_i = Q_i^* - Q_i$ → hibakorláthoz
3. $\underline{\underline{J}}$ elemeinek számítása
4. U_i feszültségek számítása
   - a)
$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \vdots \\ \Delta\delta_n \\ \hline \Delta U_2 \\ \Delta U_3 \\ \vdots \\ \Delta U_n \end{bmatrix} = \underline{\underline{J}}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \hline \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix}$$
   - b.) $i = 2, 3 \dots n$
$$\left.\begin{aligned} \delta_i^{új} &= \delta_i + \Delta\delta_i \\ U_i^{új} &= |U_i| + |\Delta U_i| \end{aligned}\right\} U_i = |U_i| e^{j\delta_i^{új}}$$
5. hiba ellenőrzés

   $\max(|\Delta P_i| + |\Delta Q_i|) < \varepsilon$ → igen

   nem
6. $I_1 = Y_{11} U_1 + \Sigma Y_{1j} U_j$

   $S_1 = U_1 \hat{I}_1$

   stb.

21.2. Newton iteráció

Érzékenységi mátrix

a MP-okon értelmezett kis ΔU, $\Delta \delta$, ΔP, ΔQ változók hatása

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{\underline{J}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{bmatrix}$$

$\underline{\underline{J}}$ – érzékenységi mátrix

$$\begin{bmatrix} \underline{\underline{J}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p\delta & pU \\ q\delta & qU \end{bmatrix}$$

–> érzékenységi mátrix 4 blokkra bontható

$$p\delta = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \dots \\ \frac{\partial P_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \\ \vdots & & \end{bmatrix} \qquad qU = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_1}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial U_2} & \dots \\ \frac{\partial Q_2}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial U_2} & \\ \vdots & & \end{bmatrix}$$

Newton iteráció

1. kezdőértékek beállítása

   a) $U_1 = |U_1| \angle 0°$ –> kiegyenlítő

   b) $U_i = |U_i| \angle \delta_i$ –> $i = 2, 3 \dots n$ PQ csomópontok

2. A ΔP, ΔQ eltérések számítása
   $i = 2, 3 \dots n$

   a) $I_i = Y_{ii} U_i + \Sigma Y_{ij} U_j$

   b) $S_i = U_i \hat{I}_i \qquad P_i = \mathrm{Re}\{S_i\} \qquad Q_i = \mathrm{Im}\{S_i\}$

   c) $\Delta P_i = P_i^e - P_i \qquad \Delta Q_i = Q_i^e - Q_i$ –> hibakorláthoz

3. $\underline{\underline{J}}$ elemeinek számítása

4. U_i feszültségek számítása

   a)
$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \vdots \\ \Delta \delta_n \\ \hline \Delta U_2 \\ \Delta U_3 \\ \vdots \\ \Delta U_n \end{bmatrix} = \underline{\underline{J}}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \hline \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix}$$

   b) $i = 2, 3 \dots n$

$$\left.\begin{aligned} \delta_i^{\nu+1} &= \delta_i + \Delta\delta_i \\ U_i^{\nu+1} &= |U_i| + |\Delta U_i| \end{aligned}\right\} U_i = |U_i| e^{j\delta_i^{\nu+1}}$$

5. hiba ellenőrzés

   $\max(|\Delta P_i| + |\Delta Q_i|) < \varepsilon$ –> igen

   nem –> 2.

6. $I_1 = Y_{11} U_1 + \Sigma Y_{1j} U_j$

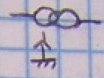
   $S_1 = U_1 \hat{I}_1$

   stb.

22.1. Csillagpont földelések

Csillagpont földelések

→ közvetlenül földelt → legalább egy helyen galvanikusan



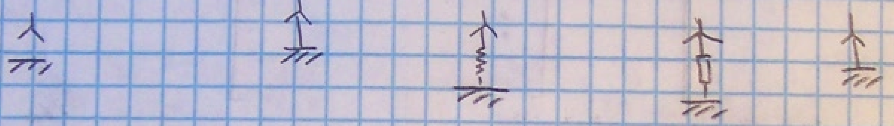
- hatásosan földelt : $I_{FN} >> I_{terhelő}$

$$\boxed{|U_{ép_f}| \le 1{,}4 \cdot U_{n\,fázis}}$$

→ nem közvetlenül földelt

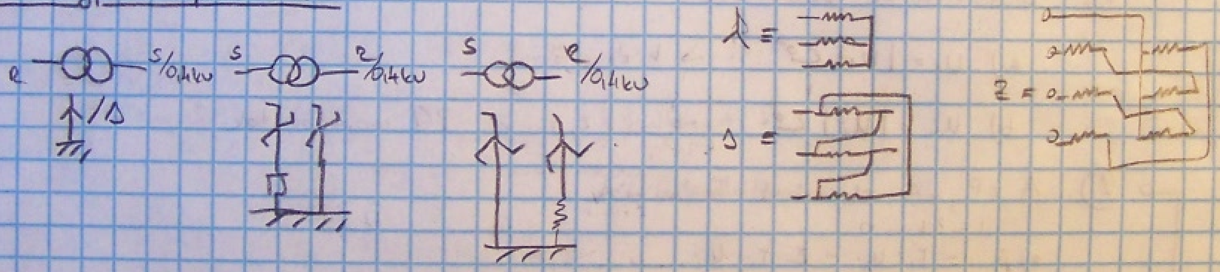
$$\boxed{U_{ép_f} = \sqrt{3} \cdot U_{n_f}}$$

erőművi generátor   400 - 120 kV   20 kV szabadvezeték   10 kV kábel   0,4 kV

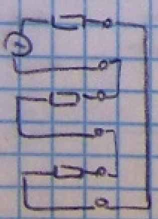


több helyen földelt nullavezető

Csillagpont képző trafó



1FN zárlati áram korlátozása



$I_1 = I_2 = I_0$

$$\boxed{\begin{aligned} I_{FN} &= 3 \cdot \frac{U_{nf}}{2x_1 + x_0} \\ I_{3F} &= \frac{U_{nf}}{x_1} \end{aligned}}\Bigg\}\ \text{ha } x_0 < x_1 \rightarrow I_{FN} > I_{3F}$$

I_{FN} - $3F$ csökkentése

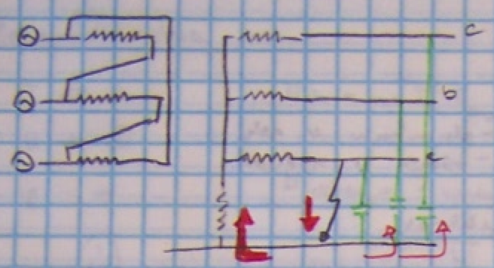
→ x_1 növelése → hurkoltság gyengítése
→ soros fojtó

I_{FN} csökkentése

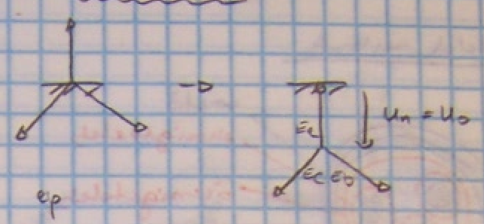
→ közvetlen földelések ritkítása
→ fojtótekercs alkalmazása (csillagponti)

$S_z = U_z \cdot I_z$ → nagyobb feszültségen kisebb zárlati áram

22.2. Ívoltó tekercs



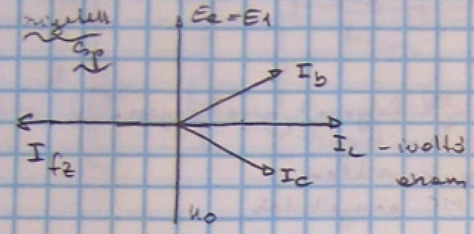
szigetelt csp



az ép vonali feszültsége $= \sqrt{3}|E_a|$

$\bar{U}_0 = -\bar{E}_a$

szigetelt csp

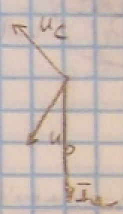


$I_L = I_b + I_c$

$I_{fz} = -I_L$

$I_a = I_L + I_{fz} \approx \emptyset$

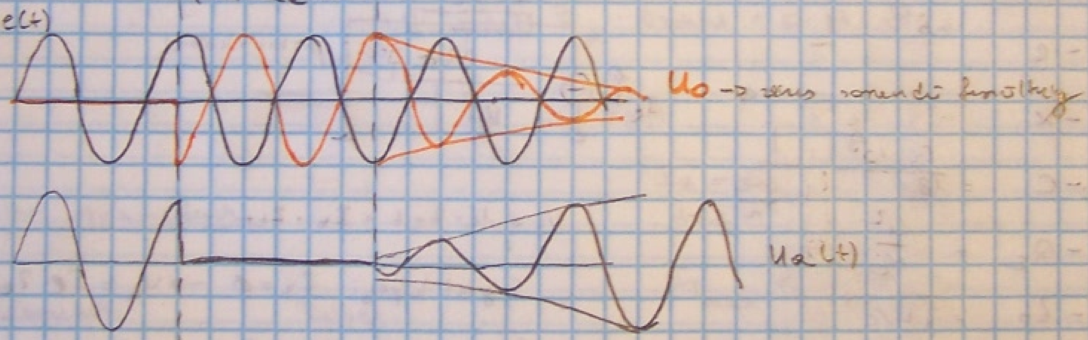
földelt csp



Ívoltó tekercs hatása:

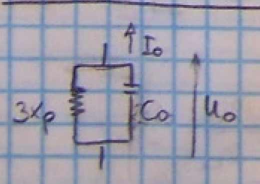
$$\boxed{u_a(t) = u_1(t) + u_0(t) \qquad u_a(t) = \emptyset}$$

$e_1(t) = e_a(t)$



ívoltó tekercs kettős hatása: → minimalizálja a földzárlati (ív) áramot
→ ív kialszik
→ fékezi a zárlatos fázis fázis feszültségének felépülését → csökken a visszagyújtás esélye

Rezonancia frekvencia



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

$$\boxed{k = \frac{|I_L|}{|I_{fz}^C|} = \frac{\omega_0^2}{\omega_n^2}}$$

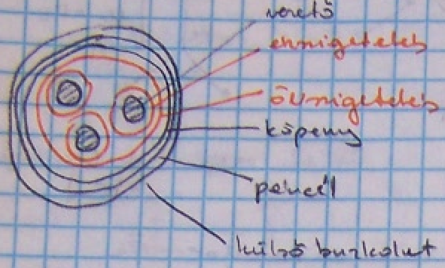
k: kompenzálhatósági fok

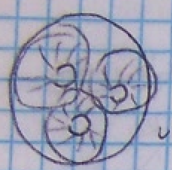
Túlkompenzálás $|I_L| > |I_{fz}^C|$

→ az $f_0 \approx 50$ Hz rezonanciaveszély elkerülése, mert ha L állandó és kikapcsolunk egy vezetéket C_0 csökken, így ha $f_0 < f_n$ lenne akkor $f_0 \approx f_n$ előállhatna.

23.1. kábelek villamos paraméterei

kábelek szerkezete





ér

- alumínium v. réz
- tömör v. sodrott

szigetelések

- papír, olaj, pvc

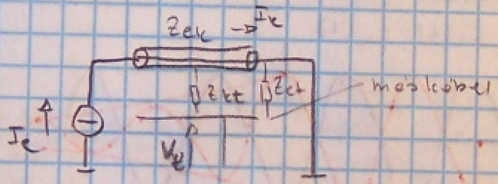
köpeny

- olaj kifolyását megakadályozza
- víztaszító
- érintésvédelem
- EMC árnyékolás

Villamos paraméterek

- R
- X
- $C = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-9}}{18} \cdot \frac{1}{\ln \frac{GMD}{r}}$
- $Q_C = \frac{U^2}{X_C}$
- $Z_0 = \sqrt{L/C}$
- $P_{termikus} = \frac{U_n^2}{Z_0}$

köpeny hatása a környezetre



$$V_t = I_e \cdot Z_{et} + I_k \cdot Z_{kt}$$

Szigetelt köpeny: $I_k = \emptyset \rightarrow V_t = I_e \cdot Z_{et}$

földelt köpeny $V_k = \emptyset$

$$V_k = I_e \cdot Z_{ek} + I_k \cdot Z_{kk}$$

$$I_k = -I_e \cdot \frac{Z_{ek}}{Z_{kk}}$$

$$V_t' = I_e \cdot Z_{et} - I_e \cdot \frac{Z_{ek} \cdot Z_{kt}}{Z_{kk}}$$

$$k_v = \frac{V_t'}{V_t} = \frac{Z_{kk} - Z_{ek}}{Z_{kk}} \approx \frac{R_k}{Z_{kk}}$$

védőtényező → az a jó, ha kicsi → R_k ellenállás kicsi

pl: réz

23.2. Kábelek melegedése

Hőhelyettesítő séma

$I \rightarrow H$

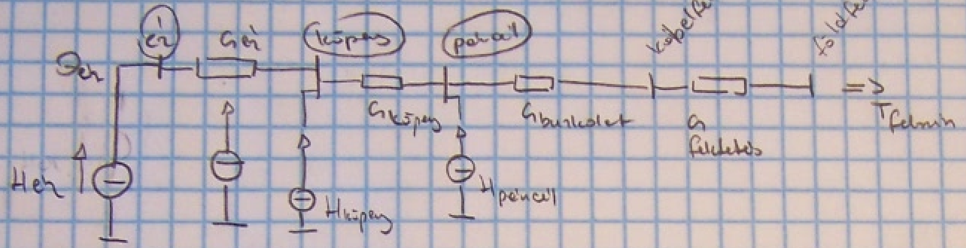
$U \rightarrow \Theta$

$R \rightarrow G$

$H_{ér} = n \cdot I_{ér}^2 \cdot R_{ér}$

$H_{köpeny} = \lambda_{köpeny} \cdot H_{ér}$

- felm. alkotóelemek izotermák
- minden hő a felszínen távozik



$\Theta_{ér} = T_{ér} - T_{felmin}$

$T_{ér} \sim I_{ér}$

↳ zárlati áram hatására hirtelen hatalmas hőfokváltozás

$I_z^2 \cdot R_{ér} \cdot t_{zárlat} = c \cdot m \cdot \Theta$

↓

függ Θ-tól

$I_{z\,1sec} = I_s$

$I_{z\,max} = \frac{I_s}{\sqrt{t_z}}$

Villamos paraméterek

szabadvezeték		kábel
R	$\approx$	R
X	$>$	X
C	$<$	C
Q_C	$<$	Q_C
Z_0	$\gg$	Z_0
P_{term}	$\ll$	P_{term}