

- 4) - ПРОРАЧУН ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЈА ВРШИ СЕ МЕТОДОМ ЕКВИВАЛЕНТНИХ ЛИНИЈСКИХ НАЕЛЕКТРИСАКА:
- ФАЗНИ И ЗАШТИТНИ ПРОВОДНИЦИ СЕ МОДЕЛУЈУ БЕСКОНАЧНО ДУГИМ ПРОВОДНИЦИМА КОЈИ СУ ПАРАЛЕЛНИ ПОВРШНИ ЗЕМЉЕ И ВЕКОВИМ ОДГОВАРАЈУЋИМ ЛИКОВИМА У ОДНОСУ НА ЗЕМЉУ КАО РАВАН ОТЈЕКАВА, СУПРОТНОГ ПОЛАРИТЕТА
- ТРЕЊУТНА ВРЕДНОСТ ПОТЕНЦИЈАЛА ЈЕДНОГ ПРОВОДНИКА:

$$\varphi_i(t) = a_{ii} \cdot q_i(t) \quad , \quad a_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_i}{r_i} \quad - \text{СОПСТВЕНИ ПОТЕНЦИЈАЛНИ КОЕФИЦИЈЕНТ } i\text{-ТОГ ПРОВОДНИКА}$$

[V] [C/m]

- У СЛУЧАЈУ СИСТЕМА ОД n ПРОВОДНИКА, ПОТЕНЦИЈАЛИ ПРОВОДНИКА СУ:

$$\begin{bmatrix} \varphi_1(t) \\ \varphi_2(t) \\ \vdots \\ \varphi_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \\ \vdots \\ q_n(t) \end{bmatrix}$$

$$a_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_{ij}}{d_{ij}}$$

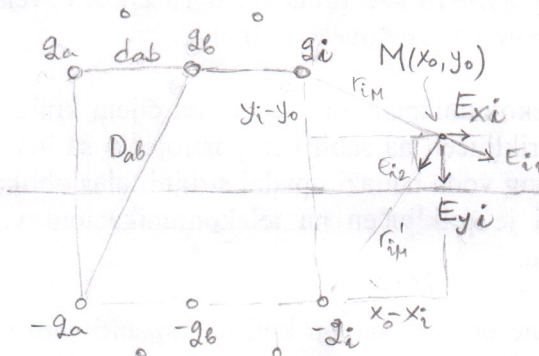
D_{ij} - РАСТОЈАКЕ i -ТОГ ПРОВОДНИКА И ЛИКА j -ТОГ ПРОВОДНИКА

d_{ij} - РАСТОЈАКЕ i -ТОГ И j -ТОГ ПРОВОДНИКА

- НАЕЛЕКТРИСАКА ПРОВОДНИКА ЗА ТРОФАЗНИ СИСТЕМ:

$$\begin{bmatrix} q_a(t) \\ q_b(t) \\ q_c(t) \\ q_{z1}(t) \\ q_{z2}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{aa} & a_{ab} & a_{ac} & a_{az1} & a_{az2} \\ a_{ab} & a_{bb} & a_{bc} & a_{bz1} & a_{bz2} \\ a_{ac} & a_{bc} & a_{cc} & a_{cz1} & a_{cz2} \\ a_{az1} & a_{bz1} & a_{cz1} & a_{z1z1} & a_{z1z2} \\ a_{az2} & a_{bz2} & a_{cz2} & a_{z1z2} & a_{z2z2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} U_m \cos(\omega t) \\ U_m \cos(\omega t - 2\pi/3) \\ U_m \cos(\omega t - 4\pi/3) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

- АКО СУ ПРОВОДНИЦИ У СЛОЈУ: $r_i = (r_{ei} \cdot n_s \cdot r_s^{n-1})^{\frac{1}{n}} = (r_{ei} \cdot 2 \cdot \frac{ds}{2})^{\frac{1}{2}} = \sqrt{r_{ei} ds}$
- ПРОРАЧУН ВЕКТОРА ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЈА У ДЕКАРТОВОМ КООРДИНАТНОМ СИСТЕМУ:



$$E_{xi}(t) = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{x_0 - x_i}{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2} - \frac{x_0 - x_i}{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 + y_i)^2} \right)$$

$$E_{yi}(t) = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{y_0 - y_i}{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2} - \frac{y_0 + y_i}{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 + y_i)^2} \right)$$

$$E_{xM}(t) = \sum_{i=1}^n E_{xi}(t) \quad E_{yM}(t) = \sum_{i=1}^n E_{yi}(t)$$

$$E_M(t) = \sqrt{E_{xM}^2(t) + E_{yM}^2(t)}$$

$$E_{xi} = \frac{q_i}{2\pi\epsilon_0 r_{iM}} \quad E_{yi} = \frac{-q_i}{2\pi\epsilon_0 r'_{iM}}$$

- ТРЕЊУТНА ВРЕДНОСТ ВЕКТОРА МАГНЕТНЕ ИНДУКЦИЈЕ КОЈУ ПРОИЗВОДИ БЕСКОНАЧНО ДУГАЧАК ПРАВОЛИНИЈСКИ ПРОВОДНИК:

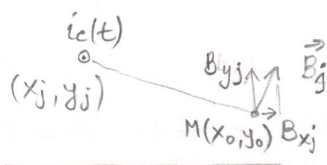
$$B_j(t) = \frac{\mu_0 i_j(t)}{2\pi r_{jM}}$$

$$B_{xj}(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_j(t)(y_0 - y_j)}{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2}$$

$$B_{xM}(t) = \sum_{i=1}^n B_{xi}(t)$$

$$B_{yj}(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_j(t)(x_0 - x_j)}{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2}$$

$$B_{yM}(t) = \sum_{i=1}^n B_{yi}(t)$$



- ПОВРАТНИ ПУТ ЗА СТРУЈУ: ДЕЛОМ КРОЗ ЗАШТИТНУ УРАВА, ДЕЛОМ КРОЗ ЗЕМЉУ; ПОВРАТНИ ПУТ КРОЗ ЗЕМЉУ МОДЕЛУЈЕ СЕ КАО ЛИК ПРОВОДНИКА НА ДУБИНИ D_e ПРЕМА КАРСОНОВОМ ОБРАЦУ: $D_e = 660 \sqrt{\frac{P}{f}}$

- СТРУЈЕ КОЈЕ СЕ ИНАЈУКУЈУ У ЗАШТИТНИМ ПРОВОДНИЦИМА:

$$j\omega L_{z1} \underline{I}_{z1} + j\omega M_{z1z2} \underline{I}_{z2} + j\omega M_{az1} \underline{I}_a + j\omega M_{bz1} \underline{I}_b + j\omega M_{cz1} \underline{I}_c = 0$$

$$j\omega M_{z1z2} \underline{I}_{z1} + j\omega L_{z2} \underline{I}_{z2} + j\omega M_{az2} \underline{I}_a + j\omega M_{bz2} \underline{I}_b + j\omega M_{cz2} \underline{I}_c = 0$$

$$L_{z1} \underline{I}_{z1} + M_{z1z2} \underline{I}_{z2} = -(M_{az1} \underline{I}_a + M_{bz1} \underline{I}_b + M_{cz1} \underline{I}_c) = \underline{K}_1$$

$$M_{z1z2} \underline{I}_{z1} + L_{z2} \underline{I}_{z2} = -(M_{az2} \underline{I}_a + M_{bz2} \underline{I}_b + M_{cz2} \underline{I}_c) = \underline{K}_2$$

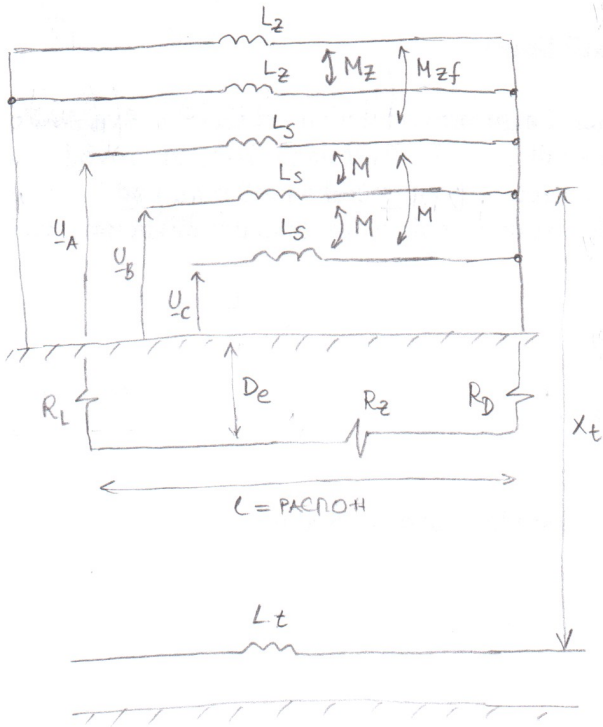
$$\underline{I}_{z1} = \frac{\underline{K}_1 L_{z2} - \underline{K}_2 M_{z1z2}}{L_{z1} L_{z2} - M_{z1z2}^2}$$

$$\underline{I}_{z2} = \frac{\underline{K}_2 L_{z1} - \underline{K}_1 M_{z1z2}}{L_{z1} L_{z2} - M_{z1z2}^2}$$

$$i_{z1}(t) = \sqrt{2} \operatorname{Re} \{ \underline{I}_{z1} e^{j\omega t} \}$$

$$i_{z2}(t) = \sqrt{2} \operatorname{Re} \{ \underline{I}_{z2} e^{j\omega t} \}$$

8) ШЕМА ВОДА СА ДВА ЗЕМЛОВОДНА ЖИКТА УЗ ЗАМЕРАВЕЊЕ ОТПОРНОСТИ



$$\begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = j\omega \begin{bmatrix} L_s & M & M & M_{zf} & M_{zf} \\ M & L_s & M & M_{zf} & M_{zf} \\ M & M & L_s & M_{zf} & M_{zf} \\ M_{zf} & M_{zf} & M_{zf} & L_z & M_z \\ M_{zf} & M_{zf} & M_{zf} & M_z & L_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \\ I_z \\ I_z \end{bmatrix}$$

$$I_z = - \frac{M_{zf}(I_A + I_B + I_C)}{L_z + M_z} = - \frac{M_{zf}}{L_z + M_z} \cdot 3I_0$$

$X_t \gg$ ПАСТОРКА ИЗМЕЂУ ПРОВОДНИКА ВОДА
 \Rightarrow ЗАШТИТНА ЖИКА И ФАЗНИ ПРОВОДНИЦИ
 СЕ МОГУ ПОСМАТРАТИ КАО ЈЕДАН ПРОВОДНИК
 КРОЗ КОЈИ ПРОТИЧЕ СУМА СВИХ СТРУЈА

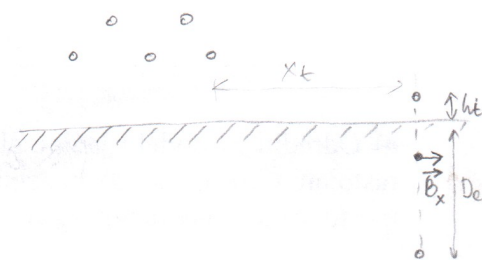
- МЕЂУСОБНА ИНДУКТИВНОСТ ПЕТЛИ ТРОФАЗНИ ВОД -
 ЗЕМЉА И ТТ ВОД - ЗЕМЉА:

$$M = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_e}{X_t}$$

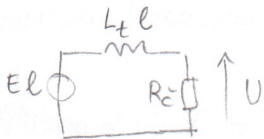
- ИНДУКЦИЈА ПОДУЖНА ЕМС:

$$E = 3\omega M I_0 \left(1 - 2 \frac{M_{zf}}{L_z + M_z}\right) = 3\omega M I_0 (1 - K_M)$$

II НАЧИН: $E(t) = - \frac{d\Phi(t)}{dt} = - \frac{d}{dt} \int_{h_t}^{-D_e} B_x(t) \cdot dy$



- ПРОЦЕНА УГРОЖЕНОСТИ ЧОВЕКА

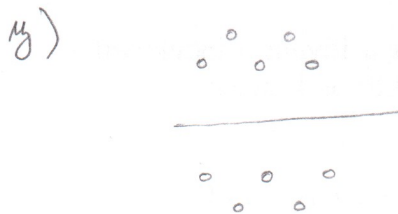


$$U = R_c \frac{E_L}{\sqrt{R_c^2 + (\omega L_t l)^2}}$$

$$L_t = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{D_e}{r_t}$$

$$R_c^2 + (\omega L_t l)^2 = \left(\frac{R_c E_L}{U}\right)^2 \Rightarrow L_{kr} = \frac{R_c}{\sqrt{\left(\frac{R_c E_L}{U_{d02}}\right)^2 - (\omega L_t)^2}}$$

$$U_{d02} = \begin{cases} 1000V & t \leq 0.075s \\ 75/t & 0.075s \leq t \leq 1.153s \\ 65V & t \geq 1.153s \end{cases}$$



$$L_i = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2h_j}{r_j}$$

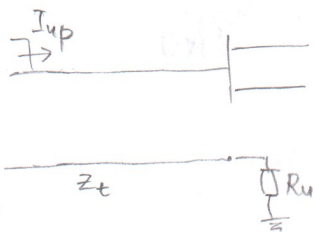
$$C_i = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{2h_i}{r_i}}$$

$$Z_i = \sqrt{\frac{L_i}{C_i}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \ln \frac{2h_j}{r_j}$$

$$M_{ij} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{\sqrt{(h_i+h_j)^2 + (x_i-x_j)^2}}{x_i-x_j}$$

$$C_{ij} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{\sqrt{(h_i+h_j)^2 + (x_i-x_j)^2}}{x_i-x_j}}$$

$$Z_{ij} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \ln \frac{\sqrt{(h_i+h_j)^2 + (x_i-x_j)^2}}{\sqrt{(h_i-h_j)^2 + (x_i-x_j)^2}}$$



$$Z = \begin{bmatrix} Z_a & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{a21} & Z_{a22} & Z_{at} \\ Z_{ab} & Z_b & Z_{bc} & Z_{b21} & Z_{b22} & Z_{bt} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_c & Z_{c21} & Z_{c22} & Z_{ct} \\ Z_{a21} & Z_{b21} & Z_{c21} & Z_{211} & Z_{212} & Z_{21t} \\ Z_{a22} & Z_{b22} & Z_{c22} & Z_{221} & Z_{222} & Z_{22t} \\ Z_{at} & Z_{bt} & Z_{ct} & Z_{21t} & Z_{22t} & Z_t \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} Z_a/5 & & & & & 0 \\ & Z_b/5 & & & & 0 \\ & & Z_c/5 & & & 0 \\ & & & Z_{21}/5 & & 0 \\ & & & & Z_{22}/5 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_u \end{bmatrix}$$

$$U_{up} = Z \cdot \begin{bmatrix} I_{up} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

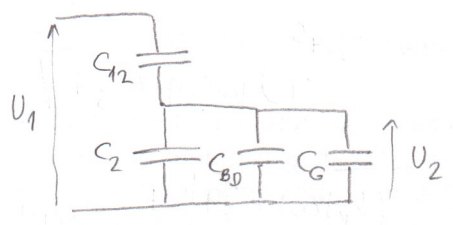
$$U = 2 R \cdot (Z + R)^{-1} \cdot U_{up}$$

$U(6)$ - НАПОН НА R_u

- ПРОЦЕНА УГРОЖЕНОСТИ

$$R_u \rightarrow \frac{R_u R_c}{R_u + R_c} \Rightarrow U(6)$$

g)



$$U_2 = g \cdot h \cdot U_1$$

$$g = \frac{C_{12}}{C_{12} + C_2 + C_{BD} + C_G}$$

h - узимају обзир суперпозицијом превапонишког таласа на напон 50 Hz

$$U_2 = h \cdot g \cdot J \cdot W$$

g - фактор реакције аутонапонског кола, $g = 0.3 - 2$

J - фактор коју зависи од спрете трансформатора

$$Y_{yy} : J = 1$$

$$\rightarrow Y_d : J = 1 : (\sqrt{3}/2)$$

$$D_d : J = 1 : (1/\sqrt{3})$$

$$W = U_{2n} / U_{1n}$$

e)

$$U_s = U_{max} \frac{L_2 + L_3}{L_1}$$

L_2 - индуктивност базе од НМТ

L_3 - индуктивност усмљивачног система

L_1 - индуктивност сигурног база -

$$U_{max} = 2 U_m$$

$$U_s = \frac{r U_{max}}{0.15}$$

СТРУЈА КОЈА ОТИЧЕ ЗАШТИТНИМ ПРОВОДНИЦИМА:

$$2I_2 = - \frac{2M_{zf} (I_A + I_B + I_C)}{L_2 + M_2} = - \frac{2M_{zf}}{L_2 + M_2} 3I_0 = - K_M \cdot 3I_0$$

МАГНЕТСКИ РЕДУКЦИОНИ ФАКТОР

- ПОШТО ЈЕ ЗАШТИТНО УЖЕ УЗЕМЉИВО НА СТУБОВИМА ВОДА \Rightarrow ОТИЧЉЕ СТРУЈЕ

$$\Gamma = \frac{z_z (1 - K_M)}{z_z + R_{uzemlj}} = \frac{z_z (1 - \frac{2M_{zf}}{L_2 + M_2})}{z_z + R_{uzemlj}}$$

НАПОМЕНА: У ЛИТЕРАТУРИ СЕ СРЕЂУ ДВЕ ДЕФИНИЦИЈЕ ЗА РЕДУКЦИОНИ ФАКТОР (НА ПРИМЕР, Γ И Γ') ЗА КОЈЕ ВАЖИ:

$$\Gamma = 1 - \Gamma'$$

ОВДЕ СЕ УСВАЈА ДА Γ ПРЕСТАВЉА ФАКТОР СМАЊЕЊА СТРУЈЕ КРОЗ УЗЕМЉИВАЧ ПОСТРОЈЕЊА. ТАКОЂЕ СЕ УСВАЈА ДА МАГНЕТСКИ РЕДУКЦИОНИ ФАКТОР ДАЈЕ СТРУЈУ КОЈА ОТИЧЕ ЗАШТИТНИМ ПРОВОДНИЦИМА УСЛЕД МАГНЕТСКЕ СПРЕТЕ СА ФАЗНИМ ПРОВОДНИЦИМА