



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА
кафедра „Електронергетика“

№6. Изчисляване на заместващите схеми на електропроводи за честота 50Hz

проф. д.т.н. инж. мат. К. Герасимов

Търсени параметри

$$\begin{cases} \dot{Z}_1 = R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1, \Omega/\text{km}; \\ \dot{Z}_0 = R_0 + j \cdot \omega \cdot L_0, \Omega/\text{km}; \\ \dot{Y}_1 = G_1 + j \cdot \omega \cdot C_1, \text{S}/\text{km}; \\ \dot{Y}_0 = G_0 + j \cdot \omega \cdot C_0, \text{S}/\text{km}. \end{cases}$$

$$R = R_A + R_B = R_2 + R_3 = R_C + R_3 = R_\phi + R_3;$$

$$L = L_A + L_B = L_2 + L_3 = L_C + L_3 = L_\phi + L_3;$$

$$R_M = R_3;$$

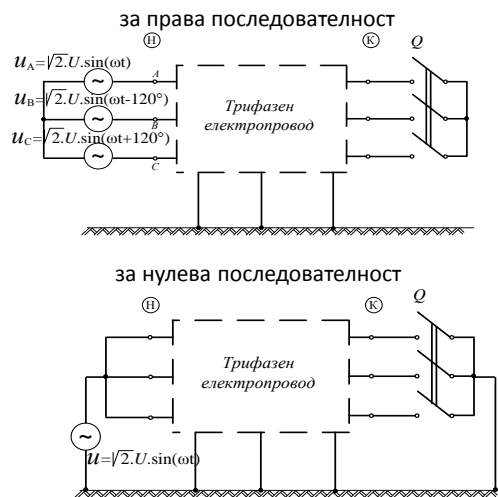
$$M = M_{AB} + L_3 = M_{AC} + L_3 = M_{BC} + L_3 = M_{\phi\phi} + L_3$$

$$\begin{cases} G_{\phi\phi} = G_{AB} = G_{AC} = G_{BC}; \\ G_{\phi 3} = G_{A3} = G_{B3} = G_{C3}; \\ G = G_{\phi 3} + 2 \cdot G_{\phi\phi}; \quad G_M = -G_{\phi\phi}; \\ C_{\phi\phi} = C_{AB} = C_{AC} = G_{BC}; \\ C_{\phi 3} = C_{A3} = C_{B3} = C_{C3}; \\ C = C_{\phi 3} + 2 \cdot G_M; \quad C_M = -C_{\phi\phi}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mathbf{R}_s = \begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 \\ 0 & 0 & R_0 \end{bmatrix}; & R_1 = R_2 = \\ & R_0 = \\ \mathbf{L}_s = \begin{bmatrix} L_1 & 0 & 0 \\ 0 & L_2 & 0 \\ 0 & 0 & L_0 \end{bmatrix}; & L_1 = L_2 = \\ & L_0 = \\ \mathbf{G}_s = \begin{bmatrix} G_1 & 0 & 0 \\ 0 & G_2 & 0 \\ 0 & 0 & G_0 \end{bmatrix}; & G_1 = G_2 = \\ & G_0 = \\ \mathbf{C}_s = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & 0 \\ 0 & C_2 & 0 \\ 0 & 0 & C_0 \end{bmatrix}; & C_1 = C_2 = \\ & C_0 = \end{cases}$$



Принципни схема за експериментално определяне на параметрите



3 / 14

Активно съпротивление R_ϕ

$$R_\phi =$$

където:

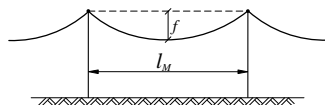
ρ_{20} - специфичното съпротивление на материала при постоянен ток и температура 20°C за 1 km , $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km}$;

$k(\omega)$ - отчита увеличаването на съпротивлението вследствие на скин ефекта, зависи от честотата ω , магнитната проникваемост на материала и радиуса на проводника;

$\varepsilon(\theta)$ - отчита изменението на съпротивлението при температура θ различна от 20°C . Изчислява се чрез израза $\varepsilon(\theta) = 1 + \alpha(\theta - 20)$, а α е температурен коефициент на материала и за Al $\alpha = 4 \cdot 10^{-3}$, $1/^\circ\text{C}$;

η - отчита, че дължината на проводника е по-голяма от дължината на електропровода, понеже проводника провисва между всеки два съседни стълба; η се изчислява по $\eta = 1 + \frac{8}{3} \cdot \left(\frac{f}{l_M}\right)$, m ; f е провеса, m ; l_M - междустълбното, m ;

s - ефективното сечение на фазовия проводник, mm^2 . При алуминиево-стоманените проводници се отчита само сечението на Al . При съставна структура се отчита сечението на всички проводници на фазата.



4 / 14



Индуктивност L_ϕ

$$L_\phi =$$

където:

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-4}$, Н/км е магнитната константа;

μ_r – относителната магнитна проницаемост на материала на проводника, (за цветните материали $\mu_r = 1$);

h – височина на окачване на проводника, м;

r_ϕ – радиус на фазовия проводник, м;

n – броя на проводниците в съставен фазов проводник.

Когато фазовия проводник е съставен от n на брой еднакви проводници, r_ϕ се изчислява чрез израза:

$$r_\phi =$$

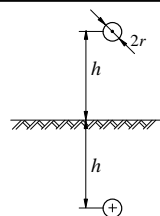
където

r_n е радиуса на отделния съставен проводник, м;

a_{cp} – средното геометрично разстояние между n -те проводници на съставния фазов проводник, м. Изчислява се чрез израза:

$$a_{cp} =$$

, където a_{ij} е разстоянието между i -тия и j -тия от съставните проводници на фазата, м



В някои литературни източници:

$$L_\phi =$$

където $r_{\phi,е} = r_\phi \cdot k$, а в зависимост от материала и конструкцията на фазовия проводник

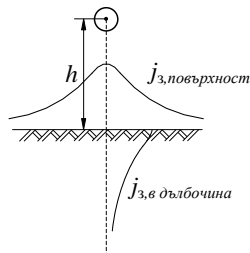
5 / 14

Активно и индуктивно съпротивление на земята (R_3 и L_3)

$$R_3 =$$

$$L_3 =$$

$$D_3 =$$



където:

f – честота на тока, Hz;

h – височина на окачване на фазовия проводник, м;

γ_3 – специфична проводимост на земята под електропровода, $1/\Omega \cdot m$
($\gamma_3 = 10^{12} \pm 10^{13} 1/\Omega \cdot m$);

За ток с честота $f=50$ Hz и средна стойност на $\gamma_3=10^{12} 1/\Omega \cdot m$ се получава $R_3=0,05 \Omega / km$ и $D_3 \approx 1000$ m.

6 / 14



Собствена индуктивност L и взаимна индуктивност M
с отчитане влиянието на земята

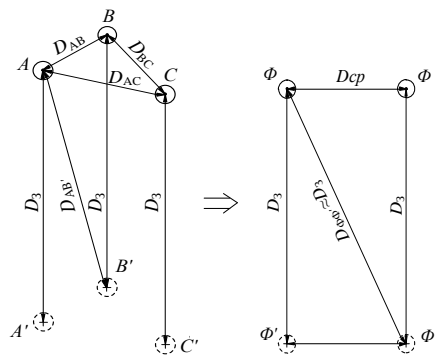
$$L =$$

$$M_{AB} =$$

$$M_{AB} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{D_3}{D_{AB}}, \text{H/km}$$

$$M_{AC} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{D_3}{D_{AC}}, \text{H/km}$$

$$M_{BC} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{D_3}{D_{BC}}, \text{H/km}$$



$$M =$$

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{AC} \cdot D_{BC}}, \text{m}$$

7 / 14

Съпротивление за права и нулева
последователност (Z_1 и Z_0)

$$L_l =$$

$$L_0 =$$

$$X_1 =$$

$$X_0 =$$

$$\dot{Z}_1 =$$

$$\dot{Z}_0 =$$

8 / 14



Капацитети за права и нилева последователност (C_1 и C_0)

$$h_{cp} = \sqrt[3]{h_A \cdot h_B \cdot h_C}, m \quad S_{cp} = \sqrt[3]{S_{AB'} \cdot S_{AC'} \cdot S_{BC'}}, m$$

$$\alpha_{\phi} =$$

$$\alpha_{\phi\phi} =$$

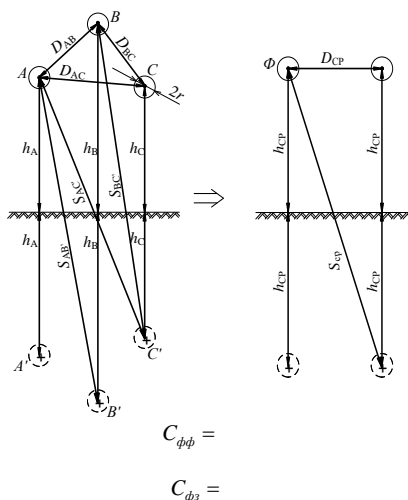
При цветни метали $\epsilon_r = 1$ и следователно:

$$\alpha_{\phi} =$$

$$\alpha_{\phi\phi} =$$

$$C_0 =$$

$$C_1 = C_2 =$$



$$C_{\phi\phi} =$$

$$C_{\phi\phi} =$$

9 / 14

Проводимости за права и нулева последователност (Y_1 и Y_0)

$$\begin{cases} \dot{Y}_1 = G_1 + j \cdot \omega \cdot C_1, S/km \\ \dot{Y}_0 = G_0 + j \cdot \omega \cdot C_0, S/km \end{cases}$$



$$\begin{cases} \dot{Y}_1 = j \cdot \omega \cdot C_1, S/km \\ \dot{Y}_0 = j \cdot \omega \cdot C_0, S/km \end{cases}$$

10 / 14



Влияние на **едно** мълниезащитно въже върху Z_0

$\dot{Z}_{V,3} =$

където:
 R_V е активното съпротивление на въжето за 1 km, при $f=50\text{Hz}$;
 r_V – радиусът на въжето в m.

$\dot{Z}_{\phi V} =$

$D_{V,cp} =$

$\dot{E}_V = 3 \cdot \dot{Z}_{\phi V} \cdot \dot{I}_0$

$\dot{I}_V = \frac{\dot{E}_V}{\dot{Z}_{V,3}} = 3 \cdot \frac{\dot{Z}_{\phi V}}{\dot{Z}_{V,3}} \cdot \dot{I}_0 \quad \dot{E}_\phi =$

$\dot{Z}_0^{(V)} =$

11 / 14

Влияние на **две** мълниезащитни въжета върху Z_0

$r_{V,e} = \sqrt{r_V \cdot D_{V1V2}}, m$

$D_{V,cp} = \xi \sqrt{D_{AV1} \cdot D_{AV2} \cdot D_{BV1} \cdot D_{BV2} \cdot D_{CV1} \cdot D_{CV2}}, m$

Всички останали формули са в сила:

$\dot{Z}_{V,3} =$

$\dot{Z}_{\phi V} =$

$\dot{Z}_0^{(V)} =$

12 / 14



Влияние на мълниезащитните въжета върху C_0

за едно въже:

$$S_{V,sp} = \sqrt[3]{S_{AV'} \cdot S_{BV'} \cdot S_{CV'}}, m$$

за две въжета:

$$S_{V,sp} = \sqrt[6]{S_{AV'_1} \cdot S_{AV'_2} \cdot S_{BV'_1} \cdot S_{BV'_2} \cdot S_{CV'_1} \cdot S_{CV'_2}}, m$$

$$\alpha_V =$$

$$\alpha_{\phi V} =$$

$$\alpha_0^{(V)} =$$

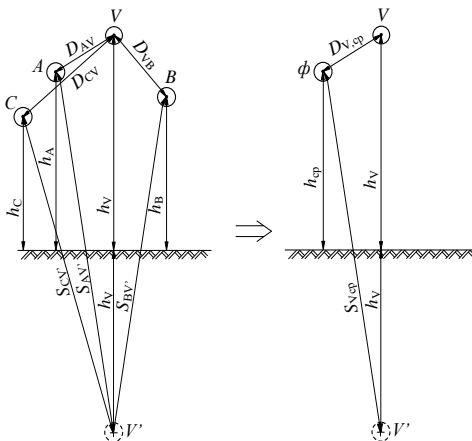
$$C_0^{(V)} =$$

където:

α_0 е потенциалния коефициент за нулевата последователност на електропровода без м.з. въже;

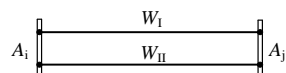
$\alpha_{\phi V}$ - средната стойност на взаимния потенциален коефициент между фазов проводник и въжето;

α_V - собствения потенциален коефициент на м.з. въже.

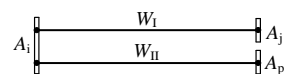


13 / 14

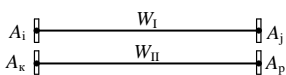
Двойни електропроводи



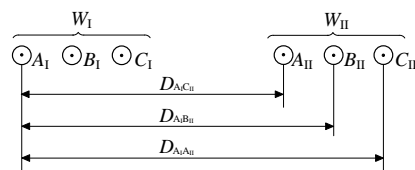
$$D_{i,sp}^{I-II} =$$



$$D_{j,sp}^{I-II} =$$



$$Z_i^{I-II} =$$



$$Z_{ij}^{I-II} =$$

$$Z_1' =$$

$$Z_0' =$$

$$Z_1'' =$$

$$Z_0'' =$$

14 / 14