

ELEKTRIČNI PARAMETRI VODOV

IMPEDANCA

$$Z' = R' + jX'$$

$$Y' = G' + jB'$$

REZISTANCA

$$R' = \frac{\rho}{A} \quad [\Omega/\text{km}] \quad (\text{pri Al/Fe upoštevam le presek Al})$$

| material | ρ [$n\Omega/\text{mm}$] |
|----------|--------------------------------|
| Cu | 18.8 |
| Al | 31.0 |
| Je | 220 |
| AlMg1 | 35.5 |
| AlMgSi | 36.0 |

SIMETRIČNE KOMPONENTE UPORNOSTI

$$R_1' = R_2' = \frac{\rho}{A}$$

$$R_0' = R_1' + 3 \cdot R_z' \quad R_z' = f \cdot 10^{-3} \quad [\Omega/\text{km}] \quad f = 50\text{Hz}: \quad R_z' = 0.05\Omega/\text{km}$$

$$R_0' = R_1' + 0.15 \quad \Omega/\text{km}$$

LASTNA INDUKTIVNOST

znotraj vodnika:

$$L_n = \frac{1}{2} \cdot 10^{-7} \quad [\text{H}/\text{m}]$$

zunaj vodnika:

$$L_z = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{d}{r_{vf}} \quad [\text{H}/\text{m}]$$

skupna induktivnost:

$$L = L_n + L_z = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{r_v} \right) \quad [\text{H}/\text{m}] \quad \frac{1}{4} = \ln(e^{0.25})$$

POLNI VODNIK

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{r_v} \right) = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{d}{r_e} \quad [\text{H}/\text{m}] \quad r_e = r_v \cdot e^{-0.25} = 0.779 \cdot r_v$$

(aproximacija z cevjo s tanko steno)

PLETENA VRV

$$r_{ekv} = \sqrt[n^2]{d_{11} \cdot \dots \cdot d_{mm}}$$

kjer: n - število žic v vrvi, d - razdalja med žicami

$$r_v = \frac{1.3 \cdot \sqrt{A}}{2}$$

kjer A - celotni presek

Tabela ekvivalentnih faktorjev f_e :

| | prerezi (mm ²) | št. plasti | f_e |
|----------------------------|---------------------------------|------------|--------------|
| vrvi: Al/Fe AlMg1/Fe | 50/30, 75/80, 95/55, 120/70 | 1 | 0.55 - 0.700 |
| | 70/12, 360/57 | 2 | 0.809 |
| | 170/40, 240/55, 350/80, 490/110 | 3 | 0.826 |
| | 490/65 | 3 | 0.810 |
| polni vodnik | 10 – 50 | | 0.726 |
| | 50 – 120 | | 0.758 |
| Al, Cu in AlMg1 | 150 – 185 | | 0.768 |
| | 240 – 500 | | 0.772 |

SNOPASTI VODNIK (iz dveh ali več vrvi)

$$r_{es} = \sqrt[n]{r_e \cdot \prod_{i=2}^n a_{ii}} = \sqrt[n]{n \cdot r_e \cdot r_d^{n-1}}$$

primeri:

$$2 \text{ vrvi: } r_{es} = \sqrt{r_e \cdot a}$$

kjer je r_e – ekvivalentni radij ene vrvi, a – razdalja med vodniki

$$3 \text{ vrvi: } r_{es} = \sqrt[3]{r_e \cdot a^2}$$

kjer je r_e – ekvivalentni radij ene vrvi, a – razdalja med vodniki

$$4 \text{ vrvi: } r_{es} = \sqrt[4]{r_e \cdot a^3 \cdot \sqrt{2}}$$

kjer je r_e – ekvivalentni radij ene vrvi, a – razdalja med vodniki

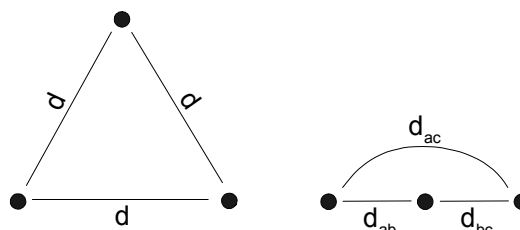
3 fazni vodnik:

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{d}{r_{ek}} \quad [H/m]$$

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{d_{sr}}{r_{ek}} \quad [H/m], \text{ če vod ni simetričen} \quad d_{sr} = \sqrt[3]{d_{ab} \cdot d_{bc} \cdot d_{ac}}$$

$$X' = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{d_{sr}}{r_{ek}} \quad [\Omega/m]$$

$$X' = 0.1445 \cdot \log \frac{d_{sr}}{r_{ek}} \quad [\Omega/km]$$

**NIČNA REAKTANCA brez zaščitne vrvi:**

$$X_0' = 3 \cdot 0.1445 \cdot \log \frac{d_c}{\sqrt[3]{r_{ek} \cdot d_{sr}^2}}$$

kjer je $\sqrt[3]{r_{ek} \cdot d_{sr}^2}$ ekvivalentni radij celotnega 3f voda d_c – Carsonova razdalja

$$d_c = 95 \cdot \sqrt{\rho_z}$$

$$d_c \cong 672 \cdot \sqrt{\frac{\rho_z}{f}}$$

 ρ_z – upornost zemlje

| teren | ρ_z [Ωm] | d_c [m] |
|-------------------------|-------------------------|------------------|
| voda | 0.01 – 1 | 9.5 – 95 |
| močvirje | 10-100 | 300-950 |
| povprečno vlažna zemlja | 100 | 950 |
| suha tla | 1000 | 3000 |
| škrlavec | 10^7 | $0.3 \cdot 10^6$ |
| peščenjak | 10^9 | $3 \cdot 10^6$ |

(če ni podatka, vzameš povprečno vlažno zemljo)

SIMETRIČNE KOMPONENTE IMPEDANCE brez zaščitne vrvi

$$[Z]_S = \begin{bmatrix} Z_l + 2Z_m & 0 & 0 \\ 0 & Z_l - Z_m & 0 \\ 0 & 0 & Z_l - Z_m \end{bmatrix}$$

sledi: $Z_0 = Z_l + 2Z_m$
 $Z_1 = Z_2 = Z_l - Z_m$

$$Z_1' = R' + j \cdot 0.1445 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{d_{ab} \cdot d_{bc} \cdot d_{ca}}}{r_{ek}}$$

določimo lastno in medsebojno impedanco

$$Z_0' = R' + 0.15 + j \cdot 3 \cdot 0.1445 \cdot \log \frac{d_c}{\sqrt[3]{d_{sr}^2 \cdot r_{ek}}}$$

$$Z_l' = R_z' + 0.05 + j \cdot 0.1445 \cdot \log \frac{d_c}{r_{ekz}}$$

$$Z_{m(ab)}' = 0.5 + j \cdot 0.1445 \cdot \log \frac{d_c}{d_{(ab)}}$$

SIMETRIČNE KOMPONENTE IMPEDANCE z zaščitno vrvo

$$\begin{bmatrix} [Z] & [Z_{zm}] \\ [Z_{zm}] & [Z_z] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I] \\ [I_z] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [U_{\Delta f}] \\ [U_{\Delta z}] \end{bmatrix}$$

[Z] matrika impedanc voda brez ZV

[Z_z] matrika impedanc ZV[Z_{zm}] matrika medsebojnih impedanc (ZV-vod)

[I] vektor faznih tokov

[I_z] vektor toka v ZV[U_{Δf}] vektor padcev napetosti v fazah[U_{Δz}] vektor padcev napetosti v ZV

po pretvorbi dobimo:

$$Z_0' = Z_l' + 2Z_m' - 3 \frac{Z_{zm}^2}{Z_z'}$$

$$Z_1' = Z_2' = Z_l' - Z_m'$$

$$Z_z' = R_{zd}' + 0.05 + j \cdot 0.1445 \cdot \log \frac{d_c}{r_{ekz}}$$

$$Z_{zm}' = 0.05 + j \cdot 0.1445 \cdot \log \frac{d_c}{\sqrt[3]{d_{ab} \cdot d_{bc} \cdot d_{ca}}}$$

KAPACITIVNOST

$$C = \frac{2\pi\xi}{\ln \frac{d_{sr}}{R_{ekf}}} = \frac{1}{10^6 \cdot 18 \cdot \ln \frac{d_{sr}}{R_{ekf}}} \quad [F/km]$$

Kapacitivna prevodnost:

$$b = \omega \cdot C = \frac{7.58 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{d_{sr}}{R_{ekf}}} \quad [S/km]$$

POLNILNA MOČ VODA

$$Q_C = b \cdot U_n^2 \quad [MVar / km]$$

KARAKTERISTIČNA IMPEDANCA VODA

$$Z_C = \frac{U_f}{I} = \sqrt{\frac{x}{b}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{če upoštevamo L in C, dobimo:}$$

$$Z_C = 60 \cdot \ln \frac{d_{sr}}{R_{ekf}}$$

NARAVNA MOČ VODA

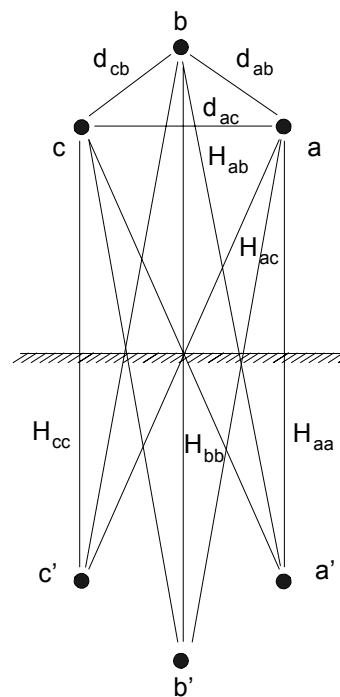
$$P_n = \sqrt{3} \frac{U_f^2}{Z_C} = \frac{U_n^2}{Z_C}$$

Simetrične komponente kapacitivnosti

$$d_{sr} = \sqrt[3]{d_{ab} \cdot d_{bc} \cdot d_{ac}}$$

$$H_l = \sqrt[3]{H_{aa} \cdot H_{bb} \cdot H_{cc}}$$

$$H_m = \sqrt[3]{H_{ab} \cdot H_{bc} \cdot H_{ac}}$$



za višino vodnika vzamemo višino obesišča zmanjšano za 2/3 povesa.

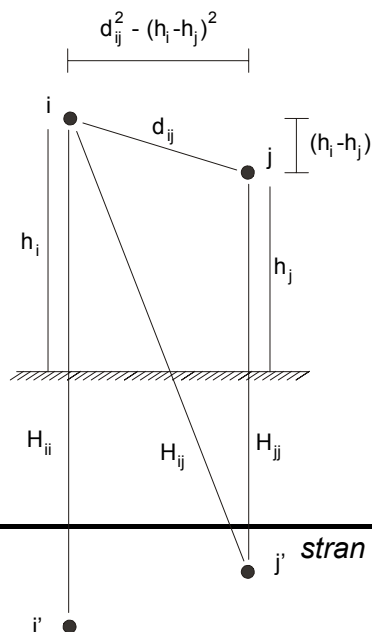
$$h = h_{oz} - \frac{2}{3} f$$

Višine do zrcalnih slik določimo:

$$H_{ij}^2 = (h_j + h_i)^2 + d_{ij}^2 - (h_j - h_i)^2$$

$$H_{ij} = \sqrt{4h_j h_i + d_{ij}^2}$$

dobimo:



brez upoštevanja zaščitnega vodnika:

$$C_1 = C_2 = \frac{10^{-6}}{41,4 \cdot \log\left(\frac{d_{sr}}{R_{ekf}} \frac{H_l}{H_m}\right)} \quad [F/km]$$

$$C_0 = \frac{10^{-6}}{41,4 \cdot 3 \cdot \log\left(\frac{\sqrt[3]{H_m^2 H_l}}{\sqrt[3]{R_{ekf} \cdot d_{sr}^2}}\right)} = \frac{10^{-6}}{41,4 \cdot 3 \cdot \log\frac{H_{ek}}{R_{ek}}} \quad [F/km]$$

kjer je:

$$R_{ek} = \sqrt[3]{R_{ekf} \cdot d_{sr}^2} \quad \text{ekvivalentni polmer treh faznih vodnikov}$$

$$H_{ek} = \sqrt[3]{H_m^2 H_l} \quad \text{ekvivalentna razdalja vodnikov do njihovih zrcalnih slik}$$

z upoštevanjem zaščitnega vodnika

$$C_0 = \frac{10^{-6}}{41,4 \cdot 3 \cdot \left(\log\left(\frac{\sqrt[3]{H_m^2 H_l}}{\sqrt[3]{R_{ekf} \cdot d_{sr}^2}}\right) - \frac{\log^2\left(\frac{H_{zm}}{d_{zm}}\right)}{\log\left(\frac{H_z}{R_{ekz}}\right)} \right)} \quad [F/km]$$

kjer je:

| veličina | 1 zaščitna vrh | 2 zaščitni vrvi |
|----------|--|---|
| H_{zm} | $\sqrt[3]{H_{az} \cdot H_{bz} \cdot H_{cz}}$ | $\sqrt[6]{H_{az1} \cdot H_{bz1} \cdot H_{cz1} \cdot H_{az2} \cdot H_{bz2} \cdot H_{cz2}}$ |
| d_{zm} | $\sqrt[3]{d_{az} \cdot d_{bz} \cdot d_{cz}}$ | $\sqrt[6]{d_{az1} \cdot d_{bz1} \cdot d_{cz1} \cdot d_{az2} \cdot d_{bz2} \cdot d_{cz2}}$ |
| H_z | H_z | $\sqrt{H_{z1} \cdot H_{z2}}$ |
| r_z | r_z | $\sqrt{r_z \cdot d_{z1z2}}$ |

TERMIČNA OBREMENLJIVOST

Maksimalni tok:

$$I_{\max} = I_{th} = \sqrt{\frac{S}{R_t'} (P_r + P_c)} \quad \text{kjer je: } P_r = 115 \left(\frac{T_a}{1000} \right)^3 \cdot \Delta \vartheta$$

$$P_c = \frac{181 \cdot \sqrt{v}}{T_a^{0.123} \cdot \sqrt{2 \cdot R_v}}$$

$$I_{th} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot r_{vf}}{R_t'} \left[115 \left(\frac{T_a}{1000} \right)^3 + \frac{181 \cdot \sqrt{v}}{T_a^{0.123} \cdot \sqrt{2 \cdot r_{vf}}} \right] \cdot (T_{\max} - T_a)}$$

kjer je:

 R_t' rezistanca 1 km dolgega voda [Ω] v hitrost vetra (0.6 m/s) T_a temp. okolica v K r_{vf} dejanski polmer vodnika T_{\max} maksimalna temperatura vodnika v K

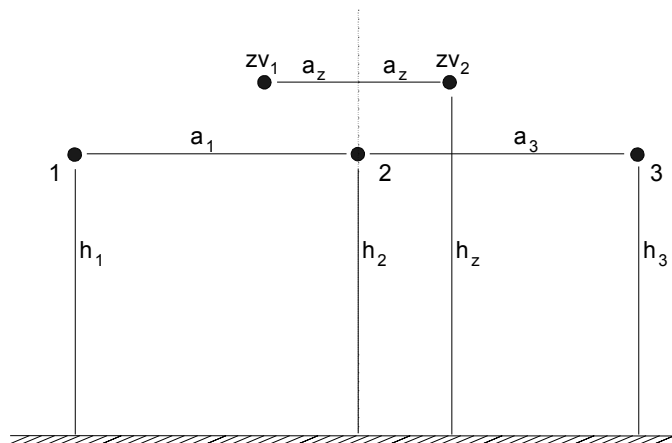
Temperature, ki jih upoštevamo:

| | zima | poletje |
|------------------|--|--|
| | $T_a = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ | $T_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| trajni režim: | $T_{\max} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ | $T_{\max} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| začasni (20 min) | $T_{\max} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ | $T_{\max} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ |

VAJA 4 – Električni parametri daljnovoda

Za daljnovod napetosti 750 kV v Južni Afriki z vodniki 6 x Al/Fe 490/65 mm² in zaščitno vrvjo Al/Fe 120/70 mm² določite naslednje parametre:

$R_1(\Omega)$, $R_0(\Omega)$, $X_1(\Omega)$, $X_0(\Omega)$, $C_1(\mu F)$, $C_0(\mu F)$, $Q_P(\text{Mvar})$, $P_c(\text{MW})$, $Z_C(\Omega)$ in $S_{th}(\text{MVA})$ za trajno in kratkotrajno obremenitev. Daljnovod je dolg 400 km.



Podatki:

$$a_1 = 18 \text{ m}$$

$$a_2 = 0 \text{ m}$$

$$a_3 = 18 \text{ m}$$

$$h_1 = 35 \text{ m}$$

$$h_2 = 35 \text{ m}$$

$$h_3 = 35 \text{ m}$$

$$a_z = 5 \text{ m}$$

$$h_z = 40 \text{ m}$$

$$f = 20.0 \text{ m}$$

Izračun geometrije voda:

razdalja med vodnikom 1 in vodnikom 2

$$d_{12} = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + (a_1 - a_2)^2} = 18 \text{ m}$$

razdalja med vodnikom 2 in vodnikom 3

$$d_{23} = \sqrt{(h_2 - h_3)^2 + (a_2 - a_3)^2} = 18 \text{ m}$$

razdalja med vodnikom 1 in vodnikom 3

$$d_{13} = \sqrt{(h_1 - h_3)^2 + (a_1 + a_3)^2} = 36 \text{ m}$$

Srednja geometrijska razdalja med vodniki:

$$d_{sr} = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}} = 22.68 \text{ m}$$

Izračunam dejanski radij faznega vodnika

$$r_{vf} = \frac{1.3 \cdot \sqrt{A_{Al} + A_{Fe}}}{2} = 15.31 \text{ mm}$$

Izračunam ekvivalentni radij faznega vodnika. Za podani prerez faznega vodnika velja:

$$r_{ef} = f_{ef} \cdot r_{vf} = 0.81 \cdot r_{vf} = 12.40 \text{ mm}$$

Za snopaste vodnike velja:

$$r_{df} = \frac{a}{2 \sin \frac{\pi}{nf}} = 400 \text{ mm} \quad nf=6 \text{ (št. vodnikov v snopu), } a=400 \text{ mm (običajna vrednost)}$$

Izračunam ekvivalentni radij snopa šestih faznih vodnikov (6x Al/Je 490/65 mm²):

$$r_{esf} = \sqrt[nf]{r_{ef} \cdot nf \cdot R^{nf-1}} = 302.23 \text{ mm}$$

Izračunam Carssonovo razdaljo:

$$d_c = 95\sqrt{\rho_{zem}} = 3004 \text{ m} \quad \rho_{zem} = 1000 \text{ } \Omega\text{m}, \text{ ker gre za suho zemljo}$$

Izračun dejanskega radija zaščitnega vodnika

$$r_{vz} = \frac{1.3 \cdot \sqrt{A_{zAl} + A_{zFe}}}{2} = 8.96 \text{ mm}$$

Izračunam ekvivalentni radij zaščitnega vodnika. Za podani prerez zaščitnega vodnika velja:

$$r_{ez} = f_{ez} \cdot r_{vz} = 0.7 \cdot r_{vz} = 6.27 \text{ mm}$$

Ker imamo dve zaščitni vrvi (kot snop) izračunam:

$$r_{dz} = \frac{dz}{2 \sin \frac{\pi}{nz}} = 5000 \text{ mm} \quad dz = 2 \cdot a_z \cdot 1000 \text{ (v mm)}, \quad nz - \text{število zaščitnih vrvi}$$

Izračunam ekvivalentni radij snopa dveh zaščitnih vodnikov:

$$r_{esz} = \sqrt[nz]{r_{ez} \cdot nz \cdot R_z^{nz-1}} = 250.43 \text{ mm}$$

Izračun razdalje vodikov do zaščitne vrvi:

$$d_{1z2} = d_{3z1} = \sqrt{(h_1 - h_z)^2 + (a_1 + a_z)^2} = 23.54 \text{ m}$$

$$d_{1z1} = d_{3z2} = \sqrt{(h_3 - h_z)^2 + (a_3 - a_z)^2} = 13.93 \text{ m}$$

$$d_{2z1} = d_{2z2} = \sqrt{(h_2 - h_z)^2 + (a_2 - a_z)^2} = 7.07 \text{ m}$$

Dobim srednjo razdaljo med vodniki in zaščitno vrvjo

$$d_{zm} = \sqrt[6]{d_{1z1} \cdot d_{2z1} \cdot d_{3z1} \cdot d_{1z2} \cdot d_{2z2} \cdot d_{3z2}} = 13.24 \text{ m}$$

Direktna impedanca:

$$Z_1' = R_{fd}' + j \cdot X_{fd}'$$

$$Z_1' = R_{fd}' + j \cdot 0.1445 \cdot \log \frac{d_{sr}}{r_{esf} \cdot 0.001}$$

direktna rezistanca:

Uvedemo spremenljivko s_{Fe} , katere vrednost je 1, če je v vrvi samo jeklo, oz. je njena vrednost 0, če je vrv Al/Fe. Torej, če je vodnik pleten iz Al/Fe, upoštevamo le presek aluminija, če pa je smo jeklena vrv, upoštevamo seveda jeklo.

$$R_{fd}' = \frac{\rho_{Al}}{A_{fAl} \cdot nf} (1 - s_{Fe}) + \frac{\rho_{Fe}}{A_{fFe} \cdot nf} s_{Fe} = 0.0105 \text{ } \Omega / \text{km} \quad R_1 = R_{fd}' \cdot l = 4.22 \text{ } \Omega$$

direktna reaktanca:

$$X_{fd}' = 0.1445 \cdot \log \frac{d_{sr}}{r_{esf} \cdot 0.001} = 0.271 \text{ } \Omega / \text{km} \quad X_1 = X_{fd}' \cdot l = 108.4 \text{ } \Omega$$

$$Z_1 = (4.22 + j108.4) \text{ } \Omega$$

Nična impedanca

$$Z_0' = R_{fn}' + j \cdot X_{fn}'$$

brez upoštevanja zaščitne vrvi:

$$Z_0' = R_{fd}' + 0.15 + j \cdot 3 \cdot 0.1445 \cdot \log \frac{d_c}{\sqrt[3]{d_{sr}^2 \cdot r_{esf} \cdot 0.001}} = R_{fd}' + 0.15 + j \cdot 0.1445 \cdot \log \frac{d_c^3}{d_{sr}^2 \cdot r_{esf} \cdot 0.001}$$

$$R_{fn}' = R_{fd}' + 0.15 = 0.1605 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$X_{fn}' = 0.1445 \cdot \log \frac{d_c^3}{d_{sr}^2 \cdot r_{esf} \cdot 0.001} = 1.191 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$Z_0' = (0.1605 + j1.191) \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$Z_0 = (64.2 + j476.4) \text{ } \Omega$$

z upoštevanjem zaščitne vrvi:

Uvedemo spremenljivko s_{Fe} , katere vrednost je 1, če je v zaščitni vrvi samo jeklo, oz. je njena vrednost 0, če je zaščitna vrv Al/Fe. Torej, če je vodnik pleten iz Al/Fe, upoštevamo le presek aluminija, če pa je smo jeklena vrv, upoštevamo seveda samo jeklo.

$$R_{zd}' = \frac{\rho_{Al}}{A_{zAl} \cdot nz} (1 - s_{Fe}) + \frac{\rho_{Fe}}{A_{zFe} \cdot nz} s_{Fe} = 0.129 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$X_{zd}' = 0.1445 \cdot \log \frac{d_c}{r_{esz} \cdot 0.001} = 0.589 \text{ } \Omega / \text{km}$$

nična impedanca zaščitne vrvi:

$$Z_z' = R_{zd}' + 0.05 + j \cdot 0.1445 \cdot \log \frac{d_c}{r_{esz} \cdot 0.001} = (0.179 + j0.589) \text{ } \Omega / \text{km}$$

nična impedanca med fazami in zaščitno vrvjo

$$Z_{zm}' = 0.05 + j \cdot 0.1445 \cdot \log \frac{d_c}{d_{zm}} = (0.05 + j0.34) \text{ } \Omega / \text{km}$$

nična impedanca voda

$$Z_{0z}' = Z_0' - 3 \frac{Z_{zm}'^2}{Z_z'} = (0.163 + j0.614) \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$Z_{0z} = Z_{0z}' \cdot l = (65.013 + j245.732) \text{ } \Omega$$

Izračun kapacitivnosti:

Izračun reduciranih višin vodnikov

$$h_1^f = h_1 - \frac{2}{3} f = 21.67 \text{ m} \quad H_{11} = 2 \cdot h_1^f = 43.33 \text{ m}$$

$$h_2^f = h_2 - \frac{2}{3} f = 21.67 \text{ m} \quad H_{22} = 2 \cdot h_2^f = 43.33 \text{ m}$$

$$h_3^f = h_3 - \frac{2}{3} f = 21.67 \text{ m} \quad H_{33} = 2 \cdot h_3^f = 43.33 \text{ m}$$

srednja lastna razdalja vodnikov do zrcalne slike (m):

$$H_L = \sqrt[3]{H_{11} \cdot H_{22} \cdot H_{33}} = 43.33 \text{ m}$$

$$H_{12} = \sqrt{4h_1^f h_2^f + d_{12}^2} = 46.92 \text{ m}$$

$$H_{13} = \sqrt{4h_1^f h_3^f + d_{13}^2} = 56.34 \text{ m}$$

$$H_{23} = \sqrt{4h_2^f h_3^f + d_{23}^2} = 46.92 \text{ m}$$

srednja medsebojna razdalja vodnikov do zrcalne slike:

$$H_M = \sqrt[3]{H_{13} \cdot H_{12} \cdot H_{23}} = 49.872 \text{ m}$$

Ekvivalentni radij faznega vodnika za izračun kapacitivnosti:

$$R_{ekf} = \sqrt[nf]{r_{vf} \cdot nf \cdot R^{nf-1}} = 313.03 \text{ mm}$$

kjer je r_{vf} dejanski radij faznega vodnika!

Srednja lastna razdalja zaščitnih vodnikov do zrcalne slike

$$h_z^f = h_z - \frac{2}{3} f = 26.67 \text{ m} \quad H_{ZZ} = 2 \cdot h_z^f = 53.33 \text{ m}$$

$$H_{1z1} = H_{3z2} = \sqrt{4h_1^f h_{z1}^f + d_{1z1}^2} = 50.06 \text{ m}$$

$$H_{1z2} = H_{3z1} = \sqrt{4h_1^f h_{z2}^f + d_{1z2}^2} = 53.53 \text{ m}$$

$$H_{2z2} = H_{2z1} = \sqrt{4h_2^f h_{z1}^f + d_{2z1}^2} = 48.60 \text{ m}$$

srednja geometrijska razdalja vodnikov do zrcalne slike zaščitnega vodnika:

$$H_{zm} = \sqrt[6]{H_{1z1} \cdot H_{1z2} \cdot H_{2z1} \cdot H_{2z2} \cdot H_{3z1} \cdot H_{3z2}} = 50.681 \text{ m}$$

Ekvivalentni radij zaščitnega vodnika za izračun kapacitivnosti:

$$R_{ekz} = \sqrt[nz]{r_{vz} \cdot nz \cdot R^{nz-1}} = 299.33 \text{ mm}$$

KAPACITIVNOST

Direktna kapacitivnost voda:

$$C_d' = \frac{10^3}{41.4 \cdot \log\left(\frac{d_{SR}}{R_{ekf} \cdot 0.001} \cdot \frac{H_L}{H_M}\right)} = 13.427 \text{ nF/km}$$

$$C_d = C_d' \cdot l = 5.37 \text{ } \mu\text{F}$$

Nična kapacitivnost voda:

$$C_0' = \frac{10^3}{41.4 \cdot 3 \left[\log\left(\frac{\sqrt[3]{H_M^2 H_L}}{\sqrt[3]{R_{ekf} \cdot 0.001 \cdot d_{sr}^2}}\right) - \frac{\log^2\left(\frac{H_{zm}}{d_{zm}}\right)}{\log\left(\frac{H_{ZZ}}{R_{ekz} \cdot 0.001}\right)} \right]} = 10.181 \text{ nF/km}$$

$$C_0 = C_0' \cdot l = 4.072 \text{ } \mu\text{F}$$

POLNILNA IN NARAVNA MOČ, KARAKTERISTIČNA IMPEDANCA:

$$b = \omega \cdot C = \frac{7.58 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{d_{SR}}{R_{ekf} \cdot 0.001}} = 4.075 \cdot 10^{-6} \text{ S/km}$$

polnilna moč:

$$Q_p' = b \cdot U_n^2 = 2.292 \text{ MVar/km}$$

$$Q_p = Q_p' \cdot l = 916.92 \text{ MVar}$$

karakteristična impedanca:

$$Z_C = 60 \cdot \ln \frac{d_{SR}}{R_{ekf} \cdot 0.001} = 256.973 \Omega$$

naravna moč:

$$P_n = \frac{U_n^2}{Z_C} = 2188.9 \text{ MW}$$

TERMIČNI TOK VODA IN MOČ

dodatni podatki

| | |
|----------------------------|--|
| $v = 0,6$ | hitrost vetra (m/s) |
| $\alpha = 4 \cdot 10^{-3}$ | temperaturna odvisnost upornosti (1/K) |
| T_a | temperatura okolice: |
| | poleti 303K (30°C) |
| | pozimi 288K (15°C) |
| T_{max} | maksimalna temperatura vodnika: |
| | trajno 333K (60°C) |
| | kratkotrajno 348K (75°C) |

$$R_t' = R_{fd}'(1 + \alpha(T_{max} - 293)) \cdot nf$$

termični tok

$$I_{th} = \sqrt{\frac{2\pi r_{vf}}{R_t'} \left(115 \left(\frac{T_a}{1000} \right)^3 + \frac{181\sqrt{v}}{T_a^{0,123} \sqrt{2r_{vf}}} \right) (T_{max} - T_a)} \quad (A)$$

termična moč

$$S_{th} = \frac{I_{th} U_n \sqrt{3} nf}{1000} \quad (\text{MVA})$$

kombinacije: poletje, trajno obratovanje ($T_a = 303\text{K}$, $T_{max} = 333\text{K}$)
 poletje, kratkotrajno obratovanje ($T_a = 303\text{K}$, $T_{max} = 348\text{K}$)
 zima, trajno obratovanje ($T_a = 288\text{K}$, $T_{max} = 333\text{K}$)
 zima, kratkotrajno obratovanje ($T_a = 288\text{K}$, $T_{max} = 348\text{K}$)

| | ZIMA | POLETJE |
|--------------------------|---|---|
| trajna obremenitev | $T_A=15^{\circ}\text{C}$, $T_V=60^{\circ}\text{C}$, R'_{60} | $T_A=30^{\circ}\text{C}$, $T_V=60^{\circ}\text{C}$, R'_{60} |
| kratkotrajna obremenitev | $T_A=15^{\circ}\text{C}$, $T_V=75^{\circ}\text{C}$, R'_{75} | $T_A=30^{\circ}\text{C}$, $T_V=75^{\circ}\text{C}$, R'_{75} |

Glede na zgornjo tabelo vstavimo vrednosti v enačbo za tok in moč. Izračunani tokovi in moči so v spodnjih tabelah:

| | ZIMA | POLETJE |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| trajna obremenitev | $I_{th}=952.291 \text{ A}$ | $I_{th}=786.929 \text{ A}$ |
| kratkotrajna obremenitev | $I_{th}=1072.23 \text{ A}$ | $I_{th}=939.789 \text{ A}$ |

| | ZIMA | POLETJE |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| trajna obremenitev | $S_{th}=7422 \text{ MVA}$ | $S_{th}=6134 \text{ MVA}$ |
| kratkotrajna obremenitev | $S_{th}=8357 \text{ MVA}$ | $S_{th}=7325 \text{ MVA}$ |