

ELEKTRIČNI PARAMETRI VODOV

IMPEDANCA, ADMITANCA (na enoto dolžine)

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

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

REZISTANCA

$$R' = \frac{\rho_{Al}}{A_{Al}} \quad [\Omega/\text{km}] \quad (\text{upoštevamo le aktivni prerez – pri vrvi Al/Je le prerez Al})$$

material	ρ [$n\Omega \cdot m$]
Cu	18,8
Al	31,0
Je	220
AlMg1	35,5
AlMgSi	36,0

Simetrične komponente upornosti

$$R_1' = R_2' = \frac{\rho_{Al}}{A_{Al}}$$

$$R_0' = R_1' + 3 \cdot R_{zem}' \quad R_{zem}' = f \cdot 10^{-3} \quad [\Omega/\text{km}] \quad f = 50 \text{ Hz} : R_{zem}' = 0,05 [\Omega/\text{km}]$$

$$R_0' = R_1' + 0,15 \quad [\Omega/\text{km}]$$

INDUKTIVNOST

znotraj vodnika:

$$L_n' = \frac{1}{2} \cdot 10^{-4} \quad [\text{H}/\text{km}]$$

zunaj vodnika (do vodnika na razdalji d):

$$L_z' = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{d}{r_v} \quad [\text{H}/\text{km}]$$

skupna induktivnost:

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

$$\frac{1}{4} = \ln(e^{0,25})$$

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

Polni vodnik

$$L' = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{d}{r_e} \quad [\text{H}/\text{km}]$$

$$r_e = r_v \cdot e^{-0,25} = 0,779 \cdot r_v \quad (\text{aproksimacija s cevjo s tanko steno})$$

$$r_v = \frac{1,3 \cdot \sqrt{A}}{2} \quad \text{kjer } A - \text{ celotni presek } (A_{Al} + A_{Fe})$$

Pletena vrv

$$L' = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{d}{r_e} \quad [\text{H/km}] \quad r_e = f_e r_v$$

Tabela ekvivalentnih faktorjev f_e :

	prezezi (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
vrvi Al, Je, Cu in AlMg1	10 – 50		0,726
	70 – 120		0,758
	150 – 185		0,768
	240 – 500		0,772
masivni vodnik			0,779

Snopasti vodnik (iz dveh ali več vrvi)

$$L' = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{d}{r_{es}} \quad [\text{H/km}]$$

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

kjer je r_d radij, po katerem so razporejeni vodniki

$$r_d = \frac{a}{2 \sin \frac{\pi}{n}}$$

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

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

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

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

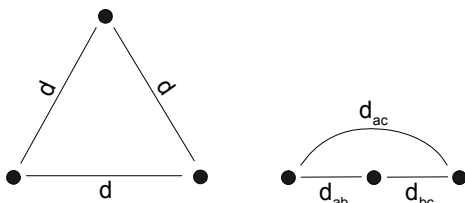
4 vrvi: $r_{es} = \sqrt[4]{r_e \cdot a^3 \cdot \sqrt{2}}$

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

3-fazni vodnik (induktivnost pozitivnega in negativnega sistema)

$L_1' = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{d}{r_e} \quad [\text{H/km}]$ vod simetričen (enake razdalje med vodniki)

$L_1' = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{d_{sr}}{r_e} \quad [\text{H/km}]$ vod ni simetričen $d_{sr} = \sqrt[3]{d_{ab} \cdot d_{bc} \cdot d_{ac}}$



Reaktanca 3-faznega vodnika

$X_1' = \omega \cdot L' = 2\pi f \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{d_{sr}}{r_e} \quad [\Omega/\text{km}]$

$X_1' = 0,1445 \cdot \log \frac{d_{sr}}{r_e} \quad [\Omega/\text{km}]$

NIČNA REAKTANCA brez zaščitne vrvi:

$$X_0' = 3 \cdot 0,1445 \cdot \log \frac{d_c}{\sqrt[3]{r_e \cdot d_{sr}^2}} \quad \text{kjer je } \sqrt[3]{r_e \cdot d_{sr}^2} \text{ ekvivalentni radij celotnega 3f voda}$$

d_c – Carsonova razdalja

$$d_c = 93,1 \cdot \sqrt{\rho_z} \quad d_c \cong 658 \cdot \sqrt{\frac{\rho_z}{f}} \quad \rho_z \text{ – upornost zemlje}$$

teren	ρ_z [Ωm]	d_c [m]
voda	0.01 – 1	9.5 – 95
močvirje	10-100	300-950
povprečno vlažna zemlja	100	930
suha tla	1000	3000
škrlavec	10^7	$0.3 \cdot 10^6$
peščenjak	10^9	$3 \cdot 10^6$

(če ni drugače navedeno, upoštevamo povprečno vlažno zemljo)

SIMETRIČNE KOMPONENTE IMPEDANCE brez zaščitne vrvi

$$[Z_s] = \begin{bmatrix} Z_l + 2Z_m & 0 & 0 \\ 0 & Z_l - Z_m & 0 \\ 0 & 0 & Z_l - Z_m \end{bmatrix} \quad \text{sledi:} \quad \begin{aligned} Z_0 &= Z_l + 2Z_m \\ Z_1 &= Z_2 = Z_l - Z_m \end{aligned}$$

$$Z_1' = R' + j \cdot 0,1445 \cdot \log \frac{d_{sr}}{r_e} \quad d_{sr} = \sqrt[3]{d_{ab} \cdot d_{bc} \cdot d_{ac}}$$

$$Z_0' = R' + 3R_{zem}' + j \cdot 3 \cdot 0,1445 \cdot \log \frac{d_c}{\sqrt[3]{d_{sr}^2 \cdot r_e}}$$

Določimo lahko še lastno in medsebojno impedanco:

$$Z_l' = R' + R_{zem}' + j \cdot 0,1445 \cdot \log \frac{d_c}{r_e}$$

$$Z_m' = R_{zem}' + j \cdot 0,1445 \cdot \log \frac{d_c}{d_{sr}}$$

SIMETRIČNE KOMPONENTE IMPEDANCE z zaščitno vrvjo

$$Z_{0z}' = Z_l' + 2Z_m' - 3 \frac{Z_{zm}'^2}{Z_z'} = Z_0' - 3 \frac{Z_{zm}'^2}{Z_z'}$$

$$Z_z' = R_{zv}' + R_{zem}' + j \cdot 0,1445 \cdot \log \frac{d_c}{r_{ez}}$$

$$Z_{zm}' = R_{zem}' + j \cdot 0,1445 \cdot \log \frac{d_c}{\sqrt[3]{d_{azv} \cdot d_{bzv} \cdot d_{czv}}}$$

KAPACITIVNOST

$$C' = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{d_{sr}}{r_{ec}}} = \frac{1}{10^6 \cdot 18 \cdot \ln \frac{d_{sr}}{r_{ec}}} \quad [\text{F/km}]$$

$r_{ec} = r_v$ za enojne vodnike
 $r_{ec} = \sqrt[n]{n \cdot r_v \cdot r_d^{n-1}}$ za snopaste vodnike

Kapacitivna prevodnost:

$$b' = \omega \cdot C' = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{d_{sr}}{r_{ec}}} \quad [\text{S/km}]$$

POLNILNA MOČ VODA

$$Q_C' = b' \cdot U_n^2 \quad [\text{MVar/km}]$$

KARAKTERISTIČNA IMPEDANCA VODA

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

$$Z_C = 60 \cdot \ln \frac{d_{sr}}{r_{ec}}$$

NARAVNA MOČ VODA

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

Simetrične komponente kapacitivnosti

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

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

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

$$H_{aa} = 2h_a$$

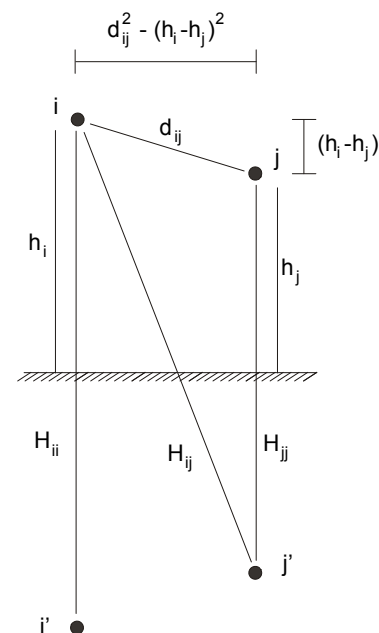
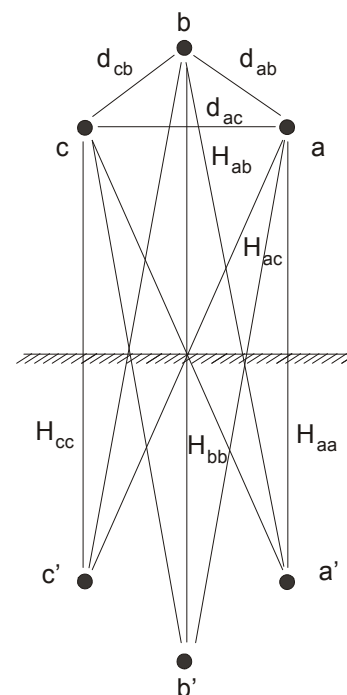
Za višino vodnika vzamemo višino obesišča zmanjšano za 2/3 povesa.

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

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:

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

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

z upoštevanjem zaščitnega vodnika

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

kjer je:

veličina	1 zaščitna vrva	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_{zz}	$\sqrt{H_{z1} \cdot H_{z2}}$
r_{ezc}	r_z	$\sqrt{r_{ez} \cdot d_{z1z2}}$

TERMIČNA OBREMENLJIVOST

Maksimalni tok:

$$I_{\max} = I_{th} = \sqrt{\frac{S}{R_g'}} (P_r + P_c) \quad \text{kjer je:}$$

$$P_r = 115 \left(\frac{\vartheta_a}{1000} \right)^3 (\vartheta_{\max} - \vartheta_a) \quad P_c = \frac{181 \cdot \sqrt{v}}{\vartheta_a^{0,123} \cdot \sqrt{2 \cdot r_v}} (\vartheta_{\max} - \vartheta_a)$$

$$I_{th} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot r_v}{R_g'} \left[115 \left(\frac{\vartheta_a}{1000} \right)^3 + \frac{181 \cdot \sqrt{v}}{\vartheta_a^{0,123} \cdot \sqrt{2 \cdot r_v}} \right] \cdot (\vartheta_{\max} - \vartheta_a)}$$

kjer je:

R_g' ohmska upornost [Ω/km]

$$R_g' = \frac{\rho}{A} (1 + \alpha (\vartheta_{\max} - 293^\circ\text{K}))$$

$$\alpha_{Al} = 4 \cdot 10^{-3}$$

v hitrost vetra (0,6 m/s)

ϑ_a temp. okolice v K

r_v dejanski polmer vodnika

$$r_v = \frac{1,3 \cdot \sqrt{A}}{2} \quad A = (A_{Al} + A_{Fe})$$

ϑ_{\max} maksimalna temperatura vodnika v K

Temperature, ki jih upoštevamo:

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

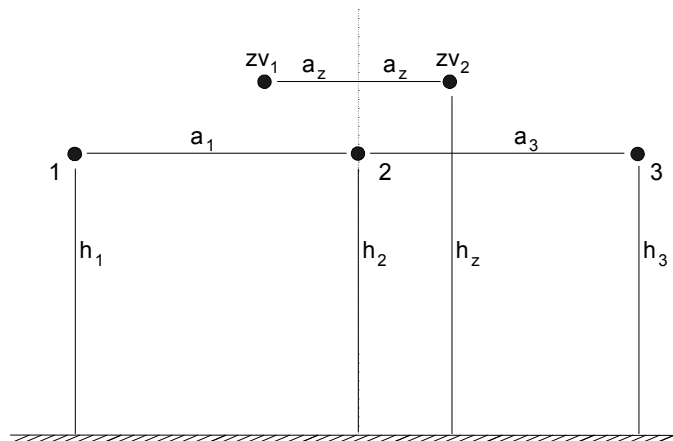
Maksimalna termična moč:

$$S_{th} = \sqrt{3} U_n I_{th}$$

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/Fe120/70 mm² določite naslednje parametre:

R_1 (Ω), R_0 (Ω), X_1 (Ω), X_0 (Ω), C_1 (μF), C_0 (μF), Q_P (Mvar), P_c (MW), Z_C (Ω) in S_{th} (MVA) za trajno in kratkotrajno obremenitev. Daljnovod je dolg 400 km.



Podatki:

$a_1=18$ m
 $a_2=0$ m
 $a_3=18$ m

$h_1=35$ m
 $h_2=35$ m
 $h_3=35$ m

$a_z=5$ m
 $h_z=40$ m
 $f=20.0$ m

Izračun geometrije voda:

razdalja med vodnikom 1 in vodnikom 2	$d_{12} = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + (a_1 + a_2)^2} = 18$ m
razdalja med vodnikom 2 in vodnikom 3	$d_{23} = \sqrt{(h_2 - h_3)^2 + (a_2 + a_3)^2} = 18$ m
razdalja med vodnikom 1 in vodnikom 3	$d_{13} = \sqrt{(h_1 - h_3)^2 + (a_1 + a_3)^2} = 36$ m

Srednja geometrijska razdalja med vodniki:

$$d_{sr} = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}} = 22,68 \text{ m}$$

Izračunamo dejanski radij faznega vodnika

$$r_v = \frac{1,3 \cdot \sqrt{A_{Al} + A_{Fe}}}{2} = 15,31 \text{ mm}$$

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

$$r_e = f_e \cdot r_v = 0,81 \cdot r_v = 12,40 \text{ mm}$$

Za snopaste vodnike velja:

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

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

$$r_{es} = \sqrt[n]{r_e \cdot n \cdot r_d^{n-1}} = 302,23 \text{ mm}$$

Izračunamo Carssonovo razdaljo:

$$d_c = 93,1 \sqrt{\rho_{zem}} = 2944 \text{ m} \quad \rho_{zem} = 1000 \text{ } \Omega\text{m}, \text{ ker gre za suho zemljo}$$

Izračun dejanskega radija zaščitnega vodnika

$$r_{vz} = \frac{1,3 \cdot \sqrt{A_{Alz} + A_{Fez}}}{2} = 8,96 \text{ mm}$$

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:

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

Izračunam ekvivalentni radij snopa dveh zaščitnih vodnikov:

$$r_{esz} = \sqrt[n_z]{r_{ez} \cdot n_z \cdot r_{dz}^{n_z-1}} = 250,43 \text{ mm}$$

Izračun razdalje vodnikov 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

$$d_{srz} = \sqrt[6]{d_{1z1} \cdot d_{2z1} \cdot d_{3z1} \cdot d_{1z2} \cdot d_{2z2} \cdot d_{3z2}} = 13,24 \text{ m}$$

Direktna impedanca:

$$Z_1' = R_1' + j \cdot X_1'$$

$$Z_1' = R_1' + j \cdot 0,1445 \cdot \log \frac{d_{sr}}{r_{es} \cdot 0,001}$$

direktna ohmska upornost:

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.

$$R_1' = \frac{\rho_{Al}}{A_{Al} \cdot n} (1 - s_{Fe}) + \frac{\rho_{Fe}}{A_{Fe} \cdot n} s_{Fe} = 0,0105 \text{ } \Omega/\text{km} \quad R_1 = R_1' \cdot l = 4,22 \text{ } \Omega$$

direktna reaktanca:

$$X_1' = 0,1445 \cdot \log \frac{d_{sr}}{r_{es} \cdot 0,001} = 0,271 \text{ } \Omega/\text{km} \quad X_1 = X_1' \cdot l = 108,4 \text{ } \Omega$$

$$\underline{Z_1 = (4,22 + j108,4) \text{ } \Omega}$$

Nična impedanca

$$Z_0' = R_0' + j \cdot X_0'$$

brez upoštevanja zaščitne vrvi:

$$Z_0' = R' + 3R_{zem}' + j \cdot 3 \cdot 0,1445 \cdot \log \frac{d_c}{\sqrt[3]{d_{sr}^2 \cdot r_{es} \cdot 0,001}} =$$

$$= R' + 0,15 + j \cdot 0,1445 \cdot \log \frac{d_c^3}{d_{sr}^2 \cdot r_{es} \cdot 0,001}$$

$$R_0' = R' + 0,15 = 0,1605 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$X_0' = 0,1445 \cdot \log \frac{d_c^3}{d_{sr}^2 \cdot r_{es} \cdot 0,001} = 1,187 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$Z_0' = (0,1605 + j1,187) \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$Z_0 = \underline{\underline{(64,2 + j474,8) \text{ } \Omega}}$$

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.

$$R_z' = \frac{\rho_{Al}}{A_{Alz} \cdot n_z} (1 - s_{Fe}) + \frac{\rho_{Fe}}{A_{Fez} \cdot n_z} s_{Fe} = 0,129 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$X_z' = 0,1445 \cdot \log \frac{d_c}{r_{esz} \cdot 0,001} = 0,588 \text{ } \Omega/\text{km}$$

lastna impedanca zaščitne vrvi:

$$Z_z' = R_z' + R_{zem}' + j \cdot 0,1445 \cdot \log \frac{d_c}{r_{esz} \cdot 0,001} = (0,179 + j0,588) \text{ } \Omega/\text{km}$$

medsebojna impedanca zaščitne vrvi:

$$Z_{zm}' = R_{zem}' + j \cdot 0,1445 \cdot \log \frac{d_c}{d_{s1z}} = (0,05 + j0,34) \text{ } \Omega/\text{km}$$

nična impedanca voda

$$Z_{0z}' = Z_0' - 3 \frac{Z_{zm}'^2}{Z_z'} = (0,162 + j0,614) \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$Z_{0z} = \underline{\underline{Z_{0z}' \cdot I = (64,90 + j245,44) \text{ } \Omega}}$$

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:

$$r_{ec} = \sqrt[n]{r_v \cdot n \cdot r_d^{n-1}} = 313,03 \text{ mm}$$

kjer je r_v 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:

$$r_{ezc} = \sqrt[n_z]{r_{vz} \cdot n_z \cdot r_{dz}^{n_z-1}} = 299,33 \text{ mm}$$

KAPACITIVNOST

Direktna kapacitivnost voda:

$$C_1' = \frac{10^3}{41,4 \cdot \log\left(\frac{d_{sr}}{r_{ec} \cdot 0,001} \cdot \frac{H_L}{H_M}\right)} = 13,427 \text{ nF/km} \quad \underline{\underline{C_1 = C_1' \cdot l = 5,37 \text{ } \mu\text{F}}}$$

Nična kapacitivnost voda:

$$C_0' = \frac{10^3}{41,4 \cdot 3 \left(\log\left(\frac{\sqrt[3]{H_M^2 H_L}}{\sqrt[3]{r_{ec} \cdot 0,001} \cdot d_{sr}^2}\right) - \frac{\log^2\left(\frac{H_{zm}}{d_{zm}}\right)}{\log\left(\frac{H_{zz}}{r_{ezc} \cdot 0,001}\right)} \right)} = 10,181 \text{ nF/km}$$

$$\underline{\underline{C_0 = C_0' \cdot l = 4,072 \text{ } \mu\text{F}}}$$

POLNILNA IN NARAVNA MOČ, KARAKTERISTIČNA IMPEDANCA:

$$b' = \omega \cdot C' = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\log\frac{d_{sr}}{r_{ec} \cdot 0,001}} = 4,075 \cdot 10^{-6} \text{ S/km}$$

polnilna moč:

$$Q_p' = b' \cdot U_n^2 = 2,292 \text{ MVar/km} \quad \underline{\underline{Q_p = Q_p' \cdot l = 916,92 \text{ MVar}}}$$

karakteristična impedanca:

$$Z_C = 60 \cdot \ln\frac{d_{sr}}{r_{ec} \cdot 0,001} = 256,973 \text{ } \Omega$$

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)
 ϑ_a temperatura okolice:
 poleti 303 K (30°C)
 pozimi 288 K (15°C)
 ϑ_{max} maksimalna temperatura vodnika:
 trajno 333 K (60°C)
 kratkotrajno 348 K (75°C)
 n_f število vrvi v snopu (ena faza)

$$R_g' = R' \cdot (1 + \alpha(\vartheta_{max} - 293)) \cdot n_f$$

termični tok

$$I_{th} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot r_v}{R_g'} \left[115 \left(\frac{\vartheta_a}{1000} \right)^3 + \frac{181 \cdot \sqrt{v}}{\vartheta_a^{0,123} \cdot \sqrt{2 \cdot r_v}} \right] \cdot (\vartheta_{max} - \vartheta_a)} \quad (A)$$

termična moč

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

- kombinacije: poletje, trajno obratovanje ($\vartheta_a = 303K$, $\vartheta_{max} = 333 K$)
 poletje, kratkotrajno obratovanje ($\vartheta_a = 303K$, $\vartheta_{max} = 348 K$)
 zima, trajno obratovanje ($\vartheta_a = 288K$, $\vartheta_{max} = 333 K$)
 zima, kratkotrajno obratovanje ($\vartheta_a = 288K$, $\vartheta_{max} = 348 K$)

	ZIMA	POLETJE
trajna obremenitev	$\vartheta_a = 15^\circ C$, $\vartheta_{max} = 60^\circ C$, R'_{60}	$\vartheta_a = 30^\circ C$, $\vartheta_{max} = 60^\circ C$, R'_{60}
kratkotrajna obremenitev	$\vartheta_a = 15^\circ C$, $\vartheta_{max} = 75^\circ C$, R'_{75}	$\vartheta_a = 30^\circ C$, $\vartheta_{max} = 75^\circ C$, 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	$I_{th} = 952,291 A$	$I_{th} = 786,929 A$
kratkotrajna obremenitev	$I_{th} = 1072,23 A$	$I_{th} = 939,789 A$

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