

Projektna zadaća

Direktne i nulte konstante voda

Zadani podaci:

Nazivni presjek vodiča	185/30
Najveći provjes vodiča	14
Broj vodiča u snopu	2
Razmak	420
Broj trojki	1
Izolatorski lanac broj članaka	12
Izolatorski lanac vrsta članka	K170/280
Nazivni presjek zaštitnih užeta	35
Najveći provjes zaštitnog vodiča	8
Vrsta tla	Suhi krupni šljunak
Naziv stupa	Jela
X koordinata ovjesišta izolatora vodiča faze A	6
Y koordinata ovjesišta izolatora vodiča faze A	28
X koordinata ovjesišta izolatora vodiča faze B	-6
Y koordinata ovjesišta izolatora vodiča faze B	32
X koordinata ovjesišta izolatora vodiča faze	4
Y koordinata ovjesišta izolatora vodiča faze	36
X koordinata ovjesišta zaštitnog vodiča	0
Y koordinata ovjesišta zaštitnog vodiča	44

Očitavanje podataka iz tablica:

- Iz tablica s podacima o izvedbi vodiča (prilog I) određujemo sljedeće podatke:
 - Vanjski radijus vodiča: $r_1 = 9.495 \text{ mm}$
 - Stvani presjek vodiča (bez čelične jezgre): $S_{Al} = 183.783 \text{ mm}^2$
 - Radijus čelične jezgre: $r_2 = 3.4927 \text{ mm}$
- Iz tablice 2 (prilog I) određujemo vrijednosti za zaštitno uže:
 - Vanjski radijus vodiča: $r_g = 3.75 \text{ mm}$
 - Broj žica: 7
 - Stvarni presjek vodiča: $S_{\text{če}} = 34.361 \text{ mm}^2$

- Iz tablica (prilog I) određujemo otpor kod istosmjerne struje za vodič i zaštitno uže:

- $R_0 = 0.1571 \frac{\Omega}{km}$
 - $R_g = 4.1326 \frac{\Omega}{km}$

Proračun:

- Računanje prosječnih visina vodiča iznad tla:
 - $h_a = y_a - (0.7 \cdot f_{max} + 12 \cdot 0.17 + 0.3) = 15.86 \text{ m}$
 - $h_b = y_b - (0.7 \cdot f_{max} + 12 \cdot 0.17 + 0.3) = 19.86 \text{ m}$
 - $h_c = y_c - (0.7 \cdot f_{max} + 12 \cdot 0.17 + 0.3) = 23.86 \text{ m}$
- Računanje prosječne visine zaštitnog užeta iznad tla:
 - $h_p = y_p - (0.7 \cdot f_{z. užeta} + 0.3) = 38.1 \text{ m}$
- Na osnovu ovih podataka, možemo odrediti i koordinate zrcalnih slika vodiča i zaštitnog užeta u zemlji:

Vodič	X – koordinata [m]	Y – koordinata [m]
A	6	15.86
B	-6	19.86
C	4	23.86
P	0	38.1
A'	6	-15.86
B'	-6	-19.86
C'	4	-23.86
P'	0	-38.1

- Proračun međusobnih udaljenosti vodiča i zaštitnog užeta računamo formulama:

- $D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$

$$\circ H_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

- Budući da su nam udaljenosti točaka npr. A i B jednake kao i B i A, dovoljno je pisati vrijednosti s gornje strane dijagonale:

D _{ij} , H _{ij} [m]	A	B	C	P	A'	B'	C'	P'
A	-	12.65	8.246	23.035	31.72	37.68	39.77	54.292
B		-	10.77	19.2	37.68	39.72	44.849	58.269
C			-	14.791	39.77	44.849	47.72	62.089
P				-	54.292	58.269	62.089	76.2
A'					-	12.65	8.246	23.035
B'						-	10.77	19.2
C'							-	14.791
P'								-

- Formule za računanje matrica uzdužnih impedancija:

$$\circ Z_{ii} = R_{1f} + 0.05 + j \cdot 0.0628 \cdot \ln \frac{93.1\sqrt{\rho}}{D_s}$$

$$\circ Z_{ii-z} = R_g + 0.05 + j \cdot 0.0628 \cdot \ln \frac{93.1\sqrt{\rho}}{D_g}$$

$$\circ Z_{ij} = 0.05 + j \cdot 0.0628 \cdot \ln \frac{93.1\sqrt{\rho}}{D_{ij}}$$

Gdje su:

$$\blacksquare R_1 = R_0 + \frac{\pi^2}{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{f^2}{R_0} - \frac{4 \cdot \pi^4}{45} \cdot 10^{-6} \cdot \frac{f^4}{R_0^3} = 0.1576 \frac{\Omega}{km}$$

$$R_{1f} = \frac{R_1}{2} = 0.0788 \frac{\Omega}{km}$$

$$\blacksquare R_0 = 0.1571 \frac{\Omega}{km}, R_g = 4.1326 \frac{\Omega}{km}$$

$$\blacksquare \rho = 1000 \Omega/m$$

- $\frac{ds}{r_1} = 0.8227$ (očitavanje iz priloga II, tablice 2)

$$ds = 7.8115 \text{ mm}, \text{ pa je } D_s = \sqrt{ds \cdot D_{snopa}} = 57.2786 \text{ mm}$$

- $D_g = ds$, gdje je $ds = 0.727 \cdot r_g$ očitavan iz priloga II, tablice 1, pa je $D_g = 2.72625 \text{ mm}$

- Matrica uzdužnih impedancija je:

$$[Z] = \begin{bmatrix} 0.1288 + j0.6812 & 0.05 + j0.34225 & 0.05 + j0.3691 & 0.05 + j0.3046 \\ 0.05 + j0.34225 & 0.1288 + j0.6812 & 0.05 + j0.3524 & 0.05 + j0.316 \\ 0.05 + j0.3691 & 0.05 + j0.3524 & 0.1288 + j0.6812 & 0.05 + j0.3324 \\ 0.05 + j0.3046 & 0.05 + j0.316 & 0.05 + j0.3324 & 4.1826 + j0.87244 \end{bmatrix} \frac{\Omega}{\text{km}}$$

- Reduciranjem matrice uzdužnih impedancija prema formuli:

$$Z^e[i][j] = Z[i][j] - \frac{Z[i][4] \cdot Z[4][j]}{Z[4][4]}, \text{ za } i = 1, 2, 3 \text{ i } j = 1, 2, 3$$

dobivamo ekvivalentnu matricu uzdužnih impedancija:

$$[Z^e] = \begin{bmatrix} 0.148 + j0.6699 & 0.0699 + j0.3306 & 0.0711 + j0.35708 \\ 0.0699 + j0.3306 & 0.14959 + j0.6693 & 0.071355 + j0.3403 \\ 0.0711 + j0.3425 & 0.0713 + j0.3403 & 0.151 + j0.66928 \end{bmatrix} \frac{\Omega}{\text{km}}$$

- Srednje vrijednosti za vlastite i međusobne impedancije dobijemo formulama:

$$Z_s = \frac{1}{3} \cdot (Z_{aa} + Z_{bb} + Z_{cc})$$

$$Z_m = \frac{1}{3} \cdot (Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ac})$$

pa je:

$$[Z^{012}] = \begin{bmatrix} Z_s + 2 \cdot Z_m & 0 & 0 \\ 0 & Z_s - Z_m & 0 \\ 0 & 0 & Z_s - Z_m \end{bmatrix}$$

$$[Z^{012}] = \begin{bmatrix} 0.2915 + j1.35428 & 0 & 0 \\ 0 & 0.07885 + j0.3266 & 0 \\ 0 & 0 & 0.07885 + j0.3266 \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

- Iz matrice $[Z^{012}]$ očitamo vrijednosti Z_0 i Z_1 :

$$Z_0 = R_0 + j\omega L_0 = 0.2915 + j1.35428 \frac{\Omega}{km}$$

$$Z_1 = R_1 + j\omega L_1 = 0.07885 + j0.3266 \frac{\Omega}{km}$$

Pa je:

$$R_0 = 0.2915 \frac{\Omega}{km}$$

$$X_0 = 1.35428 \frac{\Omega}{km}$$

$$L_0 = 4.3106 \frac{mH}{km}$$

$$R_1 = 0.07885 \frac{\Omega}{km}$$

$$X_1 = 0.3266 \frac{\Omega}{km}$$

$$L_1 = 1.03968 \frac{mH}{km}$$

- Matrica potencijalnih koeficijenata:

Formule:

- $P_{ii} = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{H_{ii}}{D_{sc}}$

- $P_{ii-z} = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{H_{ii}}{D_{gc}}$
- $P_{ij} = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{H_{ij}}{D_{ij}}$

Gdje su:

- $D_{sc} = \sqrt{r_1 \cdot D_{snopa}} = 63.14982 \text{ mm}$
- $D_{gc} = r_g = 3.75 \text{ mm}$

$$[P] = \begin{bmatrix} 111.9454 & 19.6465 & 28.3209 & 15.4325 \\ 19.6465 & 115.9938 & 25.6776 & 19.98287 \\ 28.3209 & 25.6776 & 119.296 & 25.82189 \\ 15.4325 & 19.98287 & 25.82189 & 178.5485 \end{bmatrix} \cdot 10^6 \frac{km}{F}$$

- Reducirana matrica potencijalnih koeficijenata se računa prema formuli:

$$P^e[i][j] = P[i][j] - \frac{P[i][4] \cdot P[4][j]}{P[4][4]} \text{ za } i = 1,2,3 \text{ i } j = 1,2,3$$

pa je:

$$[P^e] = \begin{bmatrix} 110.6115 & 17.919318 & 26.089 \\ 17.919318 & 113.7573 & 22.7876 \\ 26.089 & 22.7876 & 115.5616 \end{bmatrix} \cdot 10^6 \frac{km}{F}$$

- Matrica kapacitivnih koeficijenata:

$$[K] = [P]^{-1}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 9.687 & -1.1326 & -1.9636 \\ -1.1326 & 9.28458 & -1.57513 \\ -1.9636 & -1.57513 & 9.4073 \end{bmatrix} \cdot 10^{-9} \frac{F}{km}$$

- Matrica kapacitivnih susceptancija:

$$[B] = \omega[K]$$

$$[B] = \begin{bmatrix} 3.0417 & -0.3556 & -0.616 \\ -0.3556 & 2.9153 & -0.4945 \\ -0.616 & -0.4945 & 2.95389 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6} \frac{S}{km}$$

- Matrica simetričnih komponenata za sustav ekvivalentnih faza susceptancija vodiča se dobije iz formula:

$$B_s = \frac{1}{3} \cdot (B_{aa} + B_{bb} + B_{cc})$$

$$B_m = \frac{1}{3} \cdot (B_{ab} + B_{bc} + B_{ac})$$

pa je:

$$[B^{012}] = \begin{bmatrix} 1.98 & 0 & 0 \\ 0 & 3.446 & 0 \\ 0 & 0 & 3.446 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6} \frac{S}{km}$$

- Iz matrice $[B^{012}]$ izvučemo vrijednosti B_0 i B_1 te izračunamo:

$$C_0 = \frac{B_0}{2 \cdot \omega} = 6.302 \cdot 10^{-9} \frac{F}{km}$$

$$C_1 = \frac{B_1}{\omega} = 1.09689 \cdot 10^{-8} \frac{F}{km}$$

- Najveća struja jedne faze u normalnom pogonu

$$I_{max1} = \sqrt{\frac{x_{Al80}}{x_{Cu80}} \cdot 2 \cdot r_1 \cdot 85 \cdot S_{Al}} = 428.346 \text{ A}$$

$$I_{max} = I_{max1} \cdot s = 856.693 \text{ A}$$

Gdje su:

- $x_{Al80} = 28.08 \frac{Sm}{mm^2}$
- $x_{Cu80} = 45.4 \frac{Sm}{mm^2}$
- $r_1 = 9.495 \text{ mm}$
- $S_{Al} = 183.783 \text{ mm}^2$
- $s = 2$

- Nazivni napon voda

Nazivni napon voda se očitava iz broja članaka izolatorskog lanca.

$$U_n = 110 \text{ kV}$$

- Najveća snaga u normalnom pogonu

$$S_{max} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{max} = 163.2219 \text{ MVA}$$

- Jakost električnog polja na površini vodiča

$$E_{max} = \frac{U_{max} \cdot (1 + (s - 1) \cdot \frac{r_1}{r_{snop}})}{\sqrt{3} \cdot s \cdot r_1 \cdot \ln \frac{D_m}{D_s}} = 7.408 \frac{kV}{cm}$$

Gdje su:

- $U_{max} = 1.1 \cdot U_n = 121 \text{ kV}$
- $s = 2$
- $r_1 = 9.495 \text{ mm}$
- $r_{snop} = \frac{1}{2} \cdot D_{snopa} = 200 \text{ mm}$
- $D_m = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{AC}} = 10.395 \text{ m}$
- $D_s = 57.2786 \text{ mm}$

• Kritični napon

$$U_{KR} = \frac{21.1 \cdot \sqrt{3} \cdot s \cdot r_1 \cdot \ln \frac{D_m}{D_s}}{1 + (s - 1) \cdot \frac{r_1}{r_{snopa}}} = 344.6 \frac{kV}{cm}$$

- Rješenja:

R_1	$0.07885 \frac{\Omega}{\text{km}}$
X_1	$0.3266 \frac{\Omega}{\text{km}}$
L_1	$1.03968 \frac{\text{mH}}{\text{km}}$
B_1	$3.446 \frac{\mu\text{S}}{\text{km}}$
C_1	$10.9689 \frac{\text{nF}}{\text{km}}$
R_0	$0.2915 \frac{\Omega}{\text{km}}$
X_0	$1.35428 \frac{\Omega}{\text{km}}$
L_0	$4.3106 \frac{\text{mH}}{\text{km}}$
B_0	$1.98 \frac{\mu\text{S}}{\text{km}}$
C_0	$6.3 \frac{\text{nF}}{\text{km}}$
I_{max}	856.693 A
U_n	110 kV
S_{max}	163.2219 MVA
E_{max}	$7.408 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$
U_{KR}	$344.6 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$