



Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za elektrotehniko*

ELEKTROENERGETSKA OMREŽJA IN NAPRAVE

Poročilo 4. laboratorijske vaje: Parametri daljnovodov

Avtor: Jaka Ambruš

Vpisna številka: 64180037

Profesor: dr. Boštjan Blažič

Asistentka: Janja Dolenc

Datum: 23.12.2020

Kazalo vsebine

1. Uvod	2
2. Podani podatki za izračun parametrov daljnovoda	2
3. Rezultati izračunov	4
->Geometrija voda in zaščitnega vodnika:.....	4
->Dimenzije vodnika in zaščitnega vodnika	4
-> Ohmske upornosti, reaktance in impedance	5
->Kapacitivnost nadzemnih vodov	6
->Termični tokovi in moči voda	8
4. Zaključek	9

Kazalo tabel:

Tabela 1: Ekvivalentni polmer daljnovodnih vrvi glede na njihove geometrijske polmere	3
Tabela 2: Upornost zemlje v odvisnosti od terena.....	3
Tabela 3:Rezultati termičnih tokov in moči voda	8

!!OPOMBA!!

Ker je študent Klemen Arnšek pred kratkim skoraj dokončal vajo in po pomoti vzel mojo nalogo me je prosil za zamenjavo nalog (Rekel tudi, da se strinjate). Torej imam podatke Klemena Arnška.

1. Uvod

Pri 4. laboratorijski vaji smo pozornost namenili parametrom daljnovidom s ciljem spoznati njihove osnovne električne lastnosti, dejavnike, ki vplivajo na določeno lastnost in dobili nalogo izračunati električne parametre daljnovidov (za namene simulacije). Moral sem izračunati parametre enosistemskega visokonapetostnega voda (saj je imel napetost 110kV, v Sloveniji so VN vodi med 110kV in 400kV). Po izračunu električnih parametrov podanega voda sem lahko izračunal tudi polnilno moč, naravno moč, karakteristično impedanco in termično moč.

2. Podani podatki za izračun parametrov daljnovidov

Za daljnovod napetosti 110 kV na trasi Pekre - Maribor z vodniki Al 500 mm² in zaščitno vrvjo Fe 70 mm² določite naslednje parametre:

$R_1(\Omega)$, $R_0(\Omega)$, $X_1(\Omega)$, $X_0(\Omega)$, $C_1(\mu F)$, $C_0(\mu F)$, $Q_p(\text{Mvar})$, $P_n(\text{MW})$, $Z_c(\Omega)$ in $S_{th}(\text{MVA})$ za trajno in kratkotrajno obremenitev,

upoštevajoč podatke s slike. Daljnovod je dolg 5.94 km.

Podatki:

$$a_1 = 4.50 \text{ m}$$

$$a_2 = 0.00 \text{ m}$$

$$a_3 = 4.50 \text{ m}$$

$$a_z = 5.80 \text{ m}$$

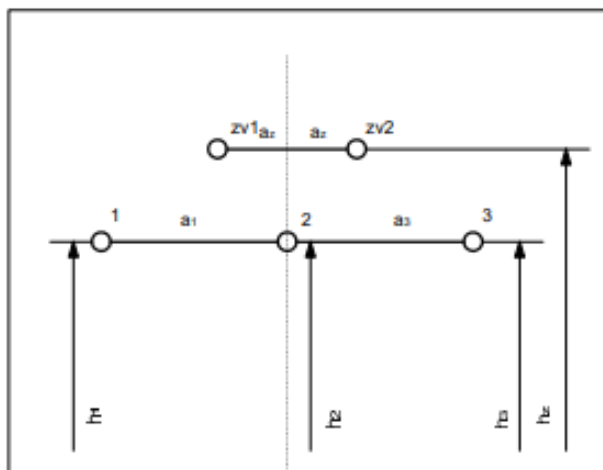
$$h_1 = 14.50 \text{ m}$$

$$h_2 = 14.50 \text{ m}$$

$$h_3 = 14.50 \text{ m}$$

$$h_z = 16.40 \text{ m}$$

$$f = 7.50 \text{ m}$$



Slika 1: Podani podatki naloge za izračun parametrov daljnovidov

Razdalja med zaščitnima vrvema je: $d_z = 2 \cdot a_z = 11600 \text{ mm}$, pretvorjeno v mm zaradi nadaljnjih računov. Upoštevamo tudi, da je $n_z = 2$.

Iz podane tabele smo razbrali specifično upornost aluminija:

material	$\rho \text{ [n}\Omega \cdot \text{m]}$
Al	28,2

Iz tabele 1 sem na podlagi podanih površin za moj primer razbral faktorja f_e za izračun dimenzij vodnika(f_{e1}) in dimenzij zaščitnega vodnika(f_{e2}):

- $f_{e1} = 0,772$

- $f_{e2} = 0,758$

Tabela 1: Ekvivalentni polmer daljnovodnih vrvi glede na njihove geometrijske polmere

	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 (0,6)
	70/12, 360/57, 475/25, 520/65	2	0,809
	108/33, 120/20, 150/25, 170/40, 240/55, 240/40, 350/80, 490/110	3	0,826
	490/65	3	0,810
Vrvi Al, Fe, Cu in AlMg1	10 – 50		0,726
	70 – 120		0,758
	150 – 185		0,768
	240 – 500		0,772
masivni vodnik			0,779

Za nadaljnje izračune ohmskih upornosti in reaktanc smo iz tabele 2 glede na podan teren, ki je povprečno vlažna zemlja odčitali:

- $\rho_z = 100 \Omega m$

- $d_c = 930 m$

Tabela 2: Upornost zemlje v odvisnosti od terena

teren	$\rho_z [\Omega m]$	$d_c [m]$
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	$3 \cdot 10^6$

3. Rezultati izračunov

->Geometrija voda in zaščitnega vodnika:

$$d_{12} = \sqrt{(a_1)^2 + (h_1 - h_2)^2} = 4,5 \text{ m}$$

$$d_{13} = \sqrt{(a_1 + a_3)^2 + (h_1 - h_3)^2} = 9 \text{ m}$$

$$d_{23} = \sqrt{(a_3)^2 + (h_2 - h_3)^2} = 4,5 \text{ m}$$

$$d_{SR} = \sqrt[3]{d_{12} d_{13} d_{23}} = 5,67 \text{ m}$$

$$d_{1z2} = d_{3z1} = \sqrt{(a_1 + a_z)^2 + (h_1 - h_z)^2} = 10,47 \text{ m}$$

$$d_{1z1} = d_{3z2} = \sqrt{(a_3 - a_z)^2 + (h_3 - h_z)^2} = 2,30 \text{ m}$$

$$d_{2z1} = d_{2z2} = \sqrt{(a_z)^2 + (h_2 - h_z)^2} = 6,10 \text{ m}$$

$$d_{SRZ} = \sqrt[6]{d_{1z2} d_{3z1} d_{1z1} d_{3z2} d_{2z1} d_{2z2}} = 5,28 \text{ m}$$

->Dimenzije vodnika in zaščitnega vodnika

$$r_v = \frac{1,3 \sqrt{A_{Al}}}{2} = 14,534 \text{ mm} = r_{ec}$$

$$r_e = r_v f_{e1} = 11,221 \text{ mm}$$

Ekvivalentni radij pa je enak ekvivalentnemu radiju snopa r_{es}

$$r_{vz} = \frac{1,3 \sqrt{A_{Fez}}}{2} = 5,438 \text{ mm}$$

$$r_{ez} = f_{e2} r_{vz} = 4,122 \text{ mm}$$

$$r_{esz} = \sqrt[n_z]{r_{ez} n_z r_{dz}^{n_z-1}} = 218,667 \text{ mm}$$

$$\text{Kjer je : } r_{dz} = \frac{d_z}{2 \sin \frac{180^\circ}{n_z}} = 5800 \text{ mm}$$

-> Ohmske upornosti, reaktance in impedance

Direktna ohmska upornost:

$$R'_1 = \frac{\rho_{Al}}{n A_{Al}} = 0,0564 \frac{\Omega}{km}$$

$$R_1 = R'_1 l = 0,335 \Omega$$

Nična upornost:

-brez zaščitne vrvi ($R'_{zem} = f \cdot 10^{-3} = 0,05 \frac{\Omega}{km}$)

$$R'_0 = R'_1 + 3R'_{zem} = 0,206 \frac{\Omega}{km}$$

-z zaščitno vrvjo ($\rho_{Fe} = 220 n\Omega m$)

$$R'_z = \frac{\rho_{fe}}{n_z A_{fez}} = 1,571 \Omega$$

Direktna reaktanca

$$X'_1 = 0,1445 \log \frac{d_{sr}}{r_{es} 0,001} = 0,391 \frac{\Omega}{km}$$

$$X_1 = X'_1 l = 2,321 \Omega$$

Nična reaktanca

-brez zaščitne vrvi

$$X'_0 = 0,1445 \log \frac{d_c^3}{d_{sr}^2 r_{es} 0,001} = 1,350 \frac{\Omega}{km}$$

-z zaščitno vrvjo

$$X'_z = 0,1445 \log \frac{d_c}{r_{esz} 0,001} = 0,524 \frac{\Omega}{km}$$

Direktna impedanca

$$Z_1 = R_1 + jX_1 = (0,335 + j2,321) \Omega$$

Nična impedanca

-brez zaščitne vrvi

$$Z'_0 = R'_0 + jX'_0 = (0,206 + j1,350) \frac{\Omega}{km}$$

$$Z_0 = Z'_0 l = (1,223 + j8,019) \Omega$$

-z zaščitno vrvjo

Potrebujemo vrednost Z'_{zm} in Z'_z :

$$Z'_{zm} = R'_{zem} + j0,1445 \log \frac{d_c}{d_{srz}} = (0,05 + j0,325) \frac{\Omega}{km}$$

$$Z'_z = R'_z + R'_{zem} + jX'_z = (1,621 + j0,524) \frac{\Omega}{km}$$

$$Z'_{0z} = Z'_0 - \frac{3 Z'^2_{zm}}{Z'_z} = (0,258 + j1,313) \frac{\Omega}{km}$$

$$Z_{0z} = Z'_{0z} l = (1,533 + j \cdot 7,799) \Omega$$

->Kapacitivnost nadzemnih vodov

Geometrija vodov

Reducirane višine vodnikov:

$$h_1^f = h_1 - \frac{2}{3} f = 9.50 \text{ m}$$

$$h_2^f = h_2 - \frac{2}{3} f = 9.50 \text{ m}$$

$$h_3^f = h_3 - \frac{2}{3} f = 9.50 \text{ m}$$

Srednjo lastna razdalja vodnikov do zrcalne slike:

$$H_{11} = 2h_1^f = 19,0 \text{ m}$$

$$H_{22} = 2h_2^f = 19,0 \text{ m}$$

$$H_{33} = 2h_3^f = 19,0 \text{ m}$$

Srednja razdalja:

$$H_L = \sqrt[3]{H_{11}H_{22}H_{33}} = 19 \text{ m}$$

$$H_{11} = \sqrt{4h_1^f h_2^f + d_{12}^2} = 19.52 \text{ m}$$

$$H_{13} = \sqrt{4h_1^f h_3^f + d_{13}^2} = 21.02 \text{ m}$$

$$H_{23} = \sqrt{4h_2^f h_3^f + d_{23}^2} = 19.52 \text{ m}$$

$$H_M = \sqrt[3]{H_{12}H_{13}H_{23}} = 20.01 \text{ m}$$

Razdalje vodnikov do zrcalne slike zaščitnega vodnika:

$$h_z^f = h_z - \frac{2}{3} f = 11.40 \text{ m}$$

$$H_{zz} = 2h_z^f = 22.80 \text{ m}$$

$$H_{1z} = \sqrt{4h_1^f h_z^f + d_{1z1}^2} = 20.94 \text{ m}$$

$$H_{2z} = \sqrt{4h_2^f h_z^f + d_{1z2}^2} = 23.30 \text{ m}$$

$$H_{3z} = \sqrt{4h_3^f h_z^f + d_{2z1}^2} = 21.69 \text{ m}$$

$$H_{zm} = \sqrt[3]{H_{1z}H_{2z}H_{3z}} = 21.95 \text{ m}$$

Direktna kapacitivnost voda in Nična kapacitivnost (z zaščitnim vodnikom)

$$C'_1 = \frac{1000}{41.4 \log \left(\frac{d_{sr}}{r_{ec}} \frac{H_L}{H_M 0.001} \right)} = 9.403 \frac{\text{nF}}{\text{km}}$$

$$C_1 = C'_1 l = 55.856 \text{ nF}$$

$$C'_0 = \frac{10^3}{41.4 \cdot 3 \left(\log \left(\frac{\sqrt[3]{H_M^2 H_L}}{\sqrt[3]{r_{ec} d_{sr}^2 0.001}} - \frac{\log^2 \left(\frac{H_{zm}}{d_{zm}} \right)}{\log \left(\frac{H_{zz} 0.001}{r_{ezc}} \right)} \right) \right)} = 5.747 \text{ nF/km}$$

$$C_0 = C'_0 \cdot l = 34.14 \text{ }\mu\text{F}$$

$$b' = \omega C' = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{d_{sr}}{r_{ec} 0,001}} = 2,93 \cdot 10^{-6} \text{ S/km}$$

$$Q'_p = b' \cdot U_n^2 = 35,45 \text{ kVAr/km}$$

$$Q_p = Q'_p \cdot l = 0,2106 \text{ MVar}$$

Karakteristična impedanca

$$Z_C = 60 \ln \frac{d_{sr}}{r_{ec} 0,001} = 357,99 \Omega$$

Naravna moč

$$P_n = \frac{U_n^2}{Z_C} = 33,80 \text{ MW}$$

->Termični tokovi in moči voda

Dodatno bomo uporabili naslednje podatke:

- temperaturna odvisnost upornosti $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$

- hitrost vetra $v = 0,6 \text{ m/s}$

- T okolice poleti ($\theta_a = 303 \text{ K}$) in pozimi ($\theta_a = 288 \text{ K}$)

- maksimalna T vodnika trajno ($\theta_{max} = 333 \text{ K}$) in kratkotrajno ($\theta_{max} = 348 \text{ K}$)

Ohmska upornost:

$$R'_{\vartheta, trajno} = R' (1 + \alpha (\vartheta_{max} - 293)) = 0,0654 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$R'_{\vartheta, kratkotrajno} = R' (1 + \alpha (\vartheta_{max} - 293)) = 0,0688 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

Termične tokove lahko zdaj izračunamo po formuli:

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

Termično moč voda pa po enačbi:

$$S_{th} = \frac{I_{th} U_n \sqrt{3} n_f}{1000}$$

Tabela 3: Rezultati termičnih tokov in moči voda

	Zima		Poletje	
	$I_{th} [\text{A}]$	$S_{th} [\text{MW}]$	$I_{th} [\text{A}]$	$S_{th} [\text{MW}]$
Trajno	621,44	118,40	524,89	100,00
Kratkotrajno	699,62	133,30	626,77	119,42

4. Zaključek

Pri vaji sem se bolje seznanil s daljnovodi in računanjem električnih parametrov daljnovodov, za dodatno vajo pa tudi izračunal nekaj parametrov porazdelitve vodnikov tudi v smreki. Za izvedbo poročila pa sem moral le pazljivo slediti primeru iz laboratorijskih vaj, ki smo ga opravljali skupaj.