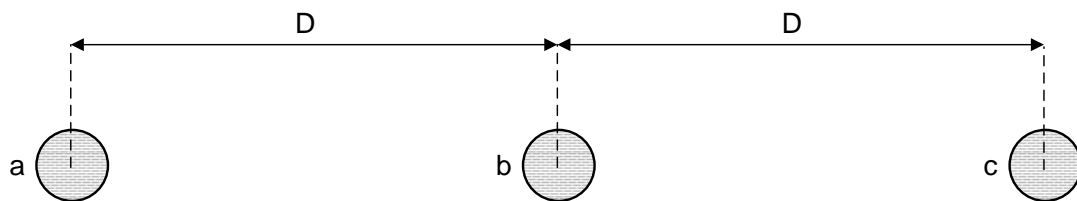


## Prijenos i razdjela električne energije – auditorne vježbe

1. Izračunati pogonsku reaktanciju jednostrukog trofaznog voda s horizontalnim rasporedom vodiča za slučaj : a) neprepletenog voda; b) prepletenog voda. Međusobna udaljenost vodiča je  $D=6.6$  m, a vodiči su kružnog presjeka, polumjera  $r=13.3$  mm.



### RJEŠENJE:

Metodom SGU jedinični induktivitet se računa kao :

$$L = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{D_m}{D_s} [H/km]$$

- a) Trofazni neprepleteni vod

Srednje geometrijske vrijednosti pojedinih faza:

Faza a:  $D_m = \sqrt[2]{D \cdot 2D} = D\sqrt{2}$

$$D_s = D_{aa} = r' = 0.7788 \cdot r$$

Faza b:  $D_m = \sqrt[2]{D \cdot D} = D$

$$D_s = D_{bb} = r' = 0.7788 \cdot r$$

Faza c:  $D_m = \sqrt[2]{D \cdot 2D} = D\sqrt{2}$

$$D_s = D_{cc} = r' = 0.7788 \cdot r$$

Jedinični induktiviteti pojedinih faza su:

$$L_a = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{D \cdot \sqrt{2}}{0.7788 \cdot r} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{6.6 \cdot \sqrt{2}}{0.7788 \cdot 13.3 \cdot 10^{-3}} = 1.36 \cdot 10^{-3} [H/km]$$

$$L_b = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{D}{0.7788 \cdot r} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{6.6}{0.7788 \cdot 13.3 \cdot 10^{-3}} = 1.29 \cdot 10^{-3} \text{ [H/km]}$$

$$L_c = L_a = 1.36 \cdot 10^{-3} \text{ [H/km]}$$

Pogonska reaktancija pojedinih faza:

$$X_a = \omega \cdot L_a = 0.427 \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X_b = 0.405 \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X_c = 0.427 \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Srednja vrijednost pogonske reaktancije:

$$X_1 = \frac{X_a + X_b + X_c}{3} = \frac{0.427 + 0.405 + 0.427}{3} = 0.42 \text{ [\Omega/km]}$$

b) Trofazni prepleteni vod

Srednje geometrijske udaljenosti sve tri faze (simetrija) su:

$$D_m = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = D \cdot \sqrt[3]{2}$$

$$D_s = r' = 0.7788 \cdot r$$

Jedinični induktiviteti sve tri faze:

$$\begin{aligned} L_a = L_b = L_c &= 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{D \cdot \sqrt[3]{2}}{0.7788 \cdot r} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{6.6 \cdot \sqrt[3]{2}}{0.7788 \cdot 13.3 \cdot 10^{-3}} \\ &= 1.34 \cdot 10^{-3} \text{ [H/km]} \end{aligned}$$

$$L_1 = 1.34 \cdot 10^{-3} \text{ [H/km]}$$

Pogonska reaktancija je:

$$X_1 = \omega \cdot L_1 = 0.42 \text{ [\Omega/km]}$$

2. Za stup prikazan slikom su poznati sljedeći podaci:

Koordinate ovjesišta izolatorskih lanaca:

a (-14.50, 33.00)    b (0.00, 33.00)                      c (14.50, 33.00)

Koordinate pričvršćenja zaštitnih užeta:

p (-9.00, 41.50)      q (9.00, 41.50)

Broj vodiča u snopu: 2

Razmak vodiča u snopu: 390 mm

Najveći provjes vodiča: 18m

Otpor vodiča:  $R_1 = 0.0837 \text{ } \Omega/\text{km}$

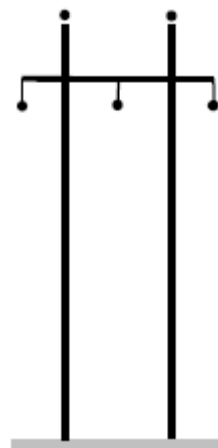
Polumjer vodiča:  $r_1 = 13.45 \text{ mm}$

Broj zaštitnih užeta: 2

Najveći provjes zašt. užeta: 18m

Otpor zašt. užeta:  $R_g = 1.5225 \text{ } \Omega/\text{km}$

Polumjer užeta:  $r_g = 6.25 \text{ mm}$



Duljina ovjesnog izolatora:  $16 \cdot 0.17 \text{ m} = 2.72 \text{ m}$  (16 izolat. članaka duljine 0.17m)

Duljina nosača voda : 0.3m

Otpor tla:  $300 \text{ } \Omega\text{m}$

Zadani su još reducirani radijusi vodiča i zaštitnih užadi:

$$r' = 11.2442 \text{ mm}$$

$$r'_z = 4.7375 \text{ mm}$$

Potrebno je izračunati matricu impedancije simetričnih komponenti i matricu susceptancija simetričnih komponenti.

### **RJEŠENJE:**

Visine vodiča:

$$h_a = y_a - (0.7 \cdot f_{max} + 2.72 + 0.3) = 17.38 \text{ m}$$

$$h_b = 17.38 \text{ m}$$

$$h_c = 17.38 \text{ m}$$

Visine zaštitnih užadi:

$$h_p = y_p - (0.7 \cdot f'_{max} + 0.3) = 28.6 \text{ m}$$

$$h_q = 28.6 \text{ m}$$

Koordinate zrcalnih slika vodiča i zašt. užadi:

$$a' (-14.50, -17.38) \quad b' (0.00, -17.38) \quad c' (14.50, -17.38)$$

$$p' (-9.00, -28.6) \quad q' (9.00, -28.6)$$

Međusobne udaljenosti vodiča i zašt. užeta:

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

Međusobne udaljenosti vodiča i zašt. užeta prema svim zrcalnim slikama vodiča:

$$H_{ij'} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (\text{uz } H_{ij'} = H_{i'j}; j \in \{a,b,c,p,q\})$$

### **IMPEDANCIJE VODIČA:**

Vlastita imp. vodiča:

$$Z_{ii} = \frac{R_1}{2} + 0.05 + j0.0628 \ln \frac{93.1 \sqrt{\rho}}{D_S}$$

$$D_S = \sqrt{r' \cdot D_{vodiča}} = 66.2211 \text{ mm}$$

Vlastita impedancija zašt. užeta:

$$Z_{ii-Z} = R_g + 0.05 + j0.0628 \ln \frac{93.1\sqrt{\rho}}{D_g}$$

$$D_g = r'_Z = 4.7375 \text{ mm}$$

Međusobna impedancija:

$$Z_{ij} = 0.05 + j0.0628 \ln \frac{93.1\sqrt{\rho}}{D_{ij}}$$

### **MATRICA IMPEDANCIJA:**

$[Z^{vod}] =$

$$\begin{bmatrix} 0.0918 + j0.6343 & 0.05 + j0.2959 & 0.05 + j0.2523 & 0.05 + j0.3052 & 0.05 + j0.2591 \\ & 0.0918 + j0.6343 & 0.05 + j0.2959 & 0.05 + j0.2964 & 0.05 + j0.2964 \\ & & 0.0918 + j0.6343 & 0.05 + j0.2591 & 0.05 + j0.3052 \\ & & & 1.5725 + j0.7999 & 0.05 + j0.2823 \\ & & & & 1.5725 + j0.7999 \end{bmatrix}$$

### **REDUKCIJA ZAŠTITNOG UŽETA:**

a) BLOK TRANSFORMACIJA

$$[Z^e] = [Z^I] - [Z^{II}] \cdot [Z^{IV}]^{-1} \cdot [Z^{III}]$$

b) „korak po korak“ redukcija matrice

i. Pivot =  $Z[5][5]$

$$Z'[i][j] = Z[i][j] - \frac{Z[i][5] \cdot Z[5][j]}{Z[5][5]}$$

Uz  $i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, 3, 4$

ii. Pivot = Z[4][4]

$$Z'[i][j] = Z[i][j] - \frac{Z[i][4] \cdot Z[4][j]}{Z[5][5]}$$

Uz i=1, 2, 3; j=1, 2, 3,

$$[Z^e] = \begin{bmatrix} 0.1422 + j0.5661 & 0.1028 + j0.2250 & 0.0991 + j0.1846 \\ 0.1028 + j0.2250 & 0.1478 + j0.5604 & 0.1028 + j0.2250 \\ 0.0991 + j0.1846 & 0.1028 + j0.2250 & 0.1422 + j0.5661 \end{bmatrix}$$

### **PREPLET VODA:**

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

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

$$[Z^e]_{prepl} = \begin{bmatrix} 0.1441 + j0.5642 & 0.1016 + j0.2116 & 0.1016 + j0.2116 \\ 0.1016 + j0.2116 & 0.1441 + j0.5642 & 0.1016 + j0.2116 \\ 0.1016 + j0.2116 & 0.1016 + j0.2116 & 0.1441 + j0.5642 \end{bmatrix}$$

### **MATRICA IMPEDANCIJA ZA SIMETRIČNE KOMPONENTE:**

$$[Z^{012}] = [A]^{-1} \cdot [Z^e]_{prepl} \cdot [A]$$

$$[Z^{012}] = \begin{bmatrix} 0.3471 + j0.9874 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0425 + j0.3527 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0425 + j0.3527 \end{bmatrix}$$

### **MATRICA POTENCIJALNIH KOEFICIJENATA:**

Dijagonalni članovi matrice P za vodiče:

$$P_{ii} = 18 \cdot 10^6 \ln \frac{H_{ii}}{D_{SC}} \quad [\text{F/km}]$$

$$D_{SC} = \sqrt{r_1 \cdot D_{vodiča}} = 72.4258 \text{ mm}$$

Dijagonalni članovi matrice P za zaštitnu užad:

$$P_{ii} = 18 \cdot 10^6 \ln \frac{H_{ii}}{D_{gc}} \quad [\text{F/km}]$$

$$D_{gC} = r_g = 6.25 \text{ mm}$$

Vandijagonalni članovi matrice P:

$$P_{ij} = 18 \cdot 10^6 \ln \frac{H_{ij}}{D_{ij}} \quad [\text{F/km}]$$

$$[P] = \begin{bmatrix} 11.1126 & 1.7180 & 0.8016 & 2.3569 & 1.2324 \\ & 11.1126 & 1.7180 & 2.126 & 2.126 \\ & & 11.1126 & 1.2324 & 2.3569 \\ & & & 16.4191 & 2.16625 \\ & & & & 16.4191 \end{bmatrix} \cdot 10^7$$

$$[B] = \omega \cdot [P]^{-1} \quad ; \quad [B]^{-1} = \frac{1}{\omega} \cdot [P]$$

### **REDUKCIJA ZAŠTITNOG UŽETA:**

$$[B^e]^{-1} = [B_I^{-1}] - [B_{II}^{-1}] \cdot [B_{IV}^{-1}]^{-1} \cdot [B_{III}^{-1}]$$

$$[B^e] = \begin{bmatrix} 29.7784 & -3.5464 & -0.9546 \\ -3.5464 & 30.4373 & -3.5464 \\ -0.9546 & -3.5464 & 29.7784 \end{bmatrix} \cdot 10^{-7}$$

### **PREPLET VODA:**

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

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

$$[B^e]_{prepl} = \begin{bmatrix} 29.998 & -2.6825 & -2.6825 \\ -2.6825 & 29.998 & -2.6825 \\ -2.6825 & -2.6825 & 29.998 \end{bmatrix} \cdot 10^{-7}$$

### **MATRICA SUSCEPTANCIJA ZA SIMETRIČNE KOMPONENTE:**

$$[B^{012}] = [A]^{-1} \cdot [B^e]_{prepl} \cdot [A]$$

$$[B^{012}] = \begin{bmatrix} 2.4631 \cdot 10^{-6} & 0 & 0 \\ 0 & 3.26805 \cdot 10^{-6} & 0 \\ 0 & 0 & 3.26805 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix}$$

3. Primjer redukcije zaštitnog užeta metodom „pivotiranja“.

Zadana je matrica impedancije vodiča za vod sa jednim zaštitnim užetom:

$$[Z^{vod}] = \begin{bmatrix} 0.11095 + j0.649 & 0.05 + j0.3168 & 0.05 + j0.3568 & 0.05 + j0.3102 \\ & 0.11095 + j0.649 & 0.05 + j0.325 & 0.05 + j0.3264 \\ & & 0.11095 + j0.649 & 0.05 + j0.348 \\ & & & 1.472 + j0.8073 \end{bmatrix}$$

Pivotni element je  $Z[4][4]$ .

$$\begin{aligned} Z'[1][1] &= Z[1][1] - \frac{Z[1][4] \cdot Z[4][1]}{Z[4][4]} \\ &= 0.11095 + j0.649 - \frac{(0.05 + j0.3102) \cdot (0.05 + j0.3102)}{1.472 + j0.8073} = 0.151 + j0.606 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z'[1][2] &= Z[1][2] - \frac{Z[1][4] \cdot Z[4][2]}{Z[4][4]} \\ &= 0.05 + j0.3168 - \frac{(0.05 + j0.3102) \cdot (0.05 + j0.3264)}{1.472 + j0.8073} = 0.092 + j0.272 \end{aligned}$$

$$Z'[1][3] = Z[1][3] - \frac{Z[1][4] \cdot Z[4][3]}{Z[4][4]} = 0.096 + j0.309$$

$$Z'[2][1] = Z[2][1] - \frac{Z[2][4] \cdot Z[4][1]}{Z[4][4]}$$

$$Z'[2][2] = Z[2][2] - \frac{Z[2][4] \cdot Z[4][2]}{Z[4][4]}$$

⋮

$$Z'[3][3] = Z[3][3] - \frac{Z[3][4] \cdot Z[4][3]}{Z[4][4]}$$

$$[Z^e] = \begin{bmatrix} 0.151 + j0.606 & 0.092 + j0.272 & 0.096 + j0.309 \\ & 0.156 + j0.602 & 0.098 + j0.276 \\ & & 0.163 + j0.597 \end{bmatrix}$$