

Prijenos i razdjela električne energije

Auditorne vježbe 3

Prof. dr. sc. Ivica Pavić

Izv. prof. dr. sc. Marko Delimar

Frano Tomašević, dipl.ing.

Kristina Baranašić, mag.ing.

PRORAČUN INDUKTIVITETA S UTJECAJEM ZEMLJE (CARSON)

- Vlastite i međusobne impedancije vodiča s utjecajem zemlje (uz $f=50$ Hz):

$$Z_{ii} = R + 0,05 + j0,0628 \cdot \ln \frac{93 \cdot \sqrt{\rho}}{r'} \left[\frac{\Omega}{km} \right]$$

$$Z_{ik} = 0,05 + j0,0628 \cdot \ln \frac{93 \cdot \sqrt{\rho}}{D_{ik}} \left[\frac{\Omega}{km} \right]$$

- Pomoću vlastitih i međusobnih impedancija vodiča moguće je formirati matricu impedancija vodiča:

$$\begin{bmatrix} Z^{vod} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{ap} & Z_{aq} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bp} & Z_{bq} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cp} & Z_{cq} \\ Z_{pa} & Z_{pb} & Z_{pc} & Z_{pp} & Z_{pq} \\ Z_{qa} & Z_{qb} & Z_{qc} & Z_{qp} & Z_{qq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_{ap} & Z_{aq} \\ Z_{bp} & Z_{bq} \\ Z_{cp} & Z_{cq} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_{pa} & Z_{pb} & Z_{pc} \\ Z_{qa} & Z_{qb} & Z_{qc} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_{pp} & Z_{pq} \\ Z_{qp} & Z_{qq} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

- Korištenjem matrice impedancija vodiča potrebno je odrediti impedancije nadomjesnih sustava:
 - Direktnu (pogonsku) impedanciju
 - Nultu impedanciju

NEPREPLETENI VOD

- Postupak proračuna:

$$\left[Z^{vod} \right] \rightarrow \left[Z^e \right] \rightarrow \left[Z^{012} \right]$$

- Izdvajanje dozemnog užeta (blok-transformacija)-matrica ekvivalentnih faznih vodiča:

$$\left[Z^e \right] = \left[Z_I \right] - \left[Z_{II} \right] \cdot \left[Z_{IV} \right]^{-1} \cdot \left[Z_{III} \right]$$

- Matrica impedancija faznih vodiča za simetrične komponente:

$$\left[Z^{012} \right] = \left[A \right]^{-1} \cdot \left[Z^e \right] \cdot \left[A \right]$$

NEPREPLETENI VOD

- Matrica impedancija faznih vodiča za simetrične komponente :

$$\begin{bmatrix} Z^{012} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$$

- Matrica transformacija:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad a = 1 \angle 120^\circ$$

PREPLETENI VOD

- Postupak proračuna - 1. način:

$$\left[Z^{vod} \right] \rightarrow \left[Z^e \right] \rightarrow \left[Z_{pr}^e \right] \rightarrow \left[Z^{012} \right]$$

a)

$$\left[Z^{012} \right] = \left[A \right]^{-1} \cdot \left[Z_{pr}^e \right] \cdot \left[A \right]$$

b)

$$\begin{aligned} Z_0 &= Z_s^e + 2 \cdot Z_m^e \\ Z_1 &= Z_s^e - Z_m^e \end{aligned} \quad \left[Z^{012} \right] = \begin{bmatrix} Z_{00} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{11} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{22} \end{bmatrix}$$

PREPLETENI VOD

- Postupak proračuna - 2. način:

$$\left[Z^{vod} \right] \rightarrow \left[Z_{pr}^{vod} \right] \rightarrow \left[Z_{pr}^e \right] \rightarrow \left[Z^{012} \right]$$

a)

$$\left[Z^{012} \right] = \left[A \right]^{-1} \cdot \left[Z_{pr}^e \right] \cdot \left[A \right]$$

b)

$$Z_0 = Z_s^e + 2 \cdot Z_m^e$$

$$Z_1 = Z_s^e - Z_m^e$$

- Napomena: Z_1 je kod prepletenog voda moguće dobiti izravno kao:

$$Z_1 = Z_s - Z_m \quad (Z_s \neq Z_s^e, Z_m \neq Z_m^e)$$

ZADATAK 1. Izračunajte direktnu i nultu impedanciju 220 kV voda Al/Če 360/60 +2×Fe50 za slučajeve:

- a) neprepletenog voda
- b) prepletenog voda

Specifični otpor tla iznosi $\rho = 1000 \Omega\text{m}$. Podaci voda su zadani u tablici:

<i>Broj</i>	<i>Vodič</i>	<i>Otpor [Ω/km]</i>	<i>Promjer [mm]</i>	<i>x [m]</i>	<i>y [m]</i>
1	<i>a</i>	0.08	26	-6.6	12.5
2	<i>b</i>	0.08	26	0	12.5
3	<i>c</i>	0.08	26	6.6	12.5
4	<i>p</i>	3.00	9	-4.6	18.8
5	<i>q</i>	3.00	9	4.6	18.8

RJEŠENJE:

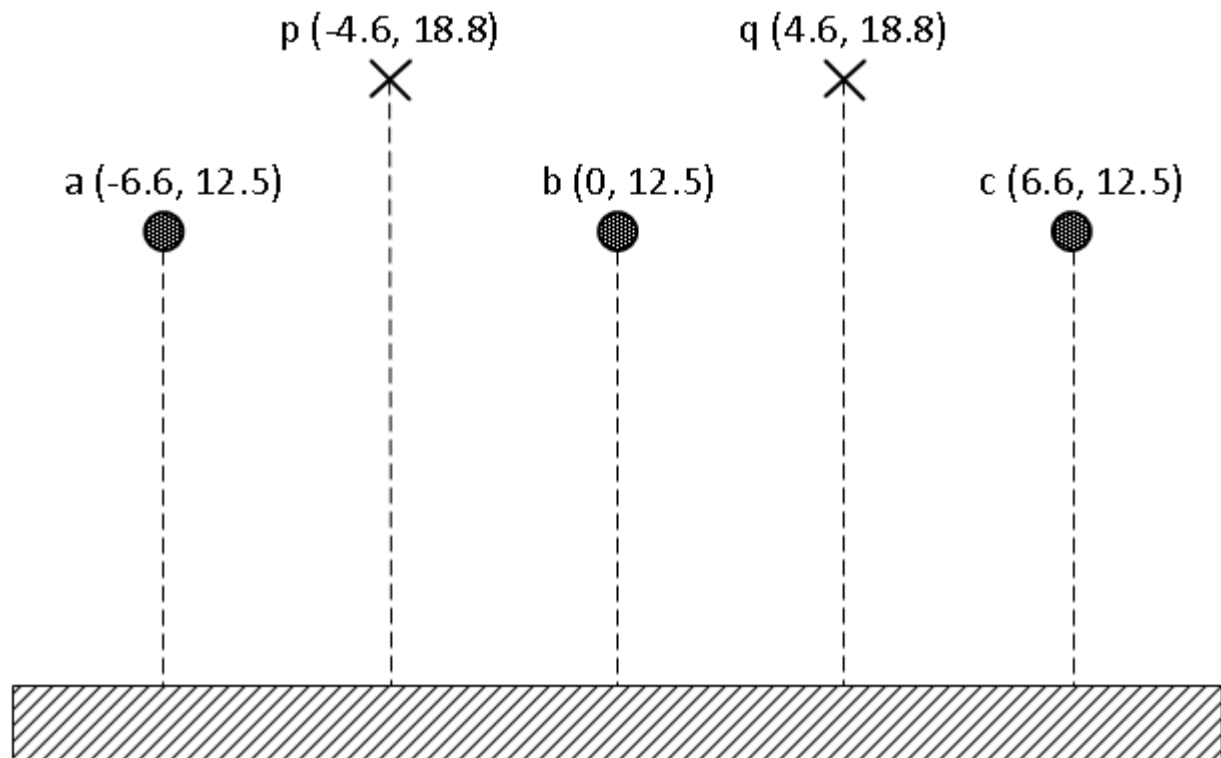
$$\rho = 1000 \, \Omega m$$

$$R_v = 0.08 \, \Omega / km$$

$$R_z = 3 \, \Omega / km$$

$$d_v = 26 \, mm$$

$$d_z = 9 \, mm$$



$$Z_{ii} = R + 0,05 + j0,0628 \cdot \ln \frac{93 \cdot \sqrt{\rho}}{r'} \left[\frac{\Omega}{km} \right]$$

$$Z_{ik} = 0,05 + j0,0628 \cdot \ln \frac{93 \cdot \sqrt{\rho}}{D_{ik}} \left[\frac{\Omega}{km} \right]$$

$$Z_{11} = Z_{22} = Z_{33} = 0.08 + 0.05 + j0.0628 \cdot \ln\left(\frac{93\sqrt{1000}}{0.010124}\right) \Omega/km = 0.13 + j0.790 \Omega/km$$

$$Z_{44} = Z_{55} = 3.0 + 0.05 + j0.0628 \cdot \ln\left(\frac{93\sqrt{1000}}{0.0035046}\right) \Omega/km = 3.05 + j0.857 \Omega/km$$

$$Z_{12} = Z_{21} = Z_{23} = Z_{32} = 0.05 + j0.0628 \cdot \ln\left(\frac{93\sqrt{1000}}{6.6}\right) \Omega/km = 0.05 + j0.383 \Omega/km$$

$$Z_{13} = Z_{31} = 0.05 + j0.0628 \cdot \ln\left(\frac{93\sqrt{1000}}{13.2}\right) \Omega/km = 0.05 + j0.3395 \Omega/km$$

...

 Z_I Z_{II}

$$[Z^{vod}] = \begin{bmatrix} 0.13 + j0.790 & 0.05 + j0.383 & 0.05 + j0.340 & 0.05 + j0.383 & 0.05 + j0.341 \\ 0.05 + j0.383 & 0.13 + j0.790 & 0.05 + j0.383 & 0.05 + j0.373 & 0.05 + j0.373 \\ 0.05 + j0.340 & 0.05 + j0.383 & 0.13 + j0.790 & 0.05 + j0.341 & 0.05 + j0.383 \\ 0.05 + j0.383 & 0.05 + j0.373 & 0.05 + j0.341 & 3.05 + j0.857 & 0.05 + j0.362 \\ 0.05 + j0.341 & 0.05 + j0.373 & 0.05 + j0.383 & 0.05 + j0.362 & 3.05 + j0.857 \end{bmatrix}$$

 Z_{III} Z_{IV}

a) Neprepleteni vod

- Matrica impedancija nadomjesnih faznih vodiča:

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

$$[Z^e] = \begin{bmatrix} 0.194 + j0.741 & 0.116 + j0.333 & 0.114 + j0.291 \\ 0.116 + j0.333 & 0.198 + j0.739 & 0.116 + j0.333 \\ 0.114 + j0.291 & 0.116 + j0.333 & 0.194 + j0.741 \end{bmatrix} [\Omega/km]$$

- Matrica impedancija faznih vodiča za simetrične komponente:

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

$$[Z^{012}] = \begin{bmatrix} 0.426 + j1.379 & 0.011 - j0.008 & -0.013 - j0.005 \\ -0.013 - j0.005 & 0.080 + j0.421 & -0.025 + j0.015 \\ 0.011 - j0.008 & 0.025 + j0.014 & 0.080 + j0.421 \end{bmatrix} [\Omega/km]$$

b) Prepleteni vod (2. način)

- Preplet voda:

$$[Z^{vod}] = \begin{bmatrix} 0.13 + j0.790 & 0.05 + j0.383 & 0.05 + j0.340 & 0.05 + j0.383 & 0.05 + j0.341 \\ 0.05 + j0.383 & 0.13 + j0.790 & 0.05 + j0.383 & 0.05 + j0.373 & 0.05 + j0.373 \\ 0.05 + j0.340 & 0.05 + j0.383 & 0.13 + j0.790 & 0.05 + j0.341 & 0.05 + j0.383 \\ 0.05 + j0.383 & 0.05 + j0.373 & 0.05 + j0.341 & 3.05 + j0.857 & 0.05 + j0.362 \\ 0.05 + j0.341 & 0.05 + j0.373 & 0.05 + j0.383 & 0.05 + j0.362 & 3.05 + j0.857 \end{bmatrix}$$

- Matrica impedancija vodiča za prepleteni vod:

Z_s
↓

Z_m
↓

$$[Z^{vod}] = \begin{bmatrix} 0.13 + j0.790 & 0.05 + j0.369 & 0.05 + j0.369 & 0.05 + j0.366 & 0.05 + j0.366 \\ 0.05 + j0.369 & 0.13 + j0.790 & 0.05 + j0.369 & 0.05 + j0.366 & 0.05 + j0.366 \\ 0.05 + j0.369 & 0.05 + j0.369 & 0.13 + j0.790 & 0.05 + j0.366 & 0.05 + j0.366 \\ 0.05 + j0.366 & 0.05 + j0.366 & 0.05 + j0.366 & 3.05 + j0.857 & 0.05 + j0.362 \\ 0.05 + j0.366 & 0.05 + j0.366 & 0.05 + j0.366 & 0.05 + j0.362 & 3.05 + j0.857 \end{bmatrix}$$

- Matrica impedancija nadomjesnih faznih vodiča za prepleteni vod:

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

$$[Z^e] = \begin{bmatrix} 0.195 + j0.741 & 0.115 + j0.320 & 0.115 + j0.320 \\ 0.115 + j0.320 & 0.195 + j0.741 & 0.115 + j0.320 \\ 0.115 + j0.320 & 0.115 + j0.320 & 0.195 + j0.741 \end{bmatrix} [\Omega/km]$$

- Matrica impedancija faznih vodiča za simetrične komponente:

a)

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

$$[Z^{012}] = \begin{bmatrix} \boxed{0.426 + j1.38} & 0 & 0 \\ 0 & \boxed{0.080 + j0.421} & 0 \\ 0 & 0 & 0.080 + j0.421 \end{bmatrix} [\Omega/km]$$

- Matrica impedancija faznih vodiča za simetrične komponente:

b)
$$Z_0 = Z_s^e + 2 \cdot Z_m^e$$

$$Z_1 = Z_s^e - Z_m^e$$

$$Z_s^e = 0.195 + j0.741 \Omega / km$$

$$Z_m^e = 0.115 + j0.320 \Omega / km$$

$$Z_0 = 0.425 + j1.381 \Omega / km$$

$$Z_1 = 0.08 + j0.421 \Omega / km$$

- Direktnu impedanciju je bilo moguće izravno izračunati iz matrice impedancija vodiča za prepleteni vod:

$$Z_1 = Z_s - Z_m$$

$$Z_s = 0.13 + j0.79 \Omega / km$$

$$Z_m = 0.05 + j0.369 \Omega / km \longrightarrow Z_1 = 0.08 + j0.421 \Omega / km$$