

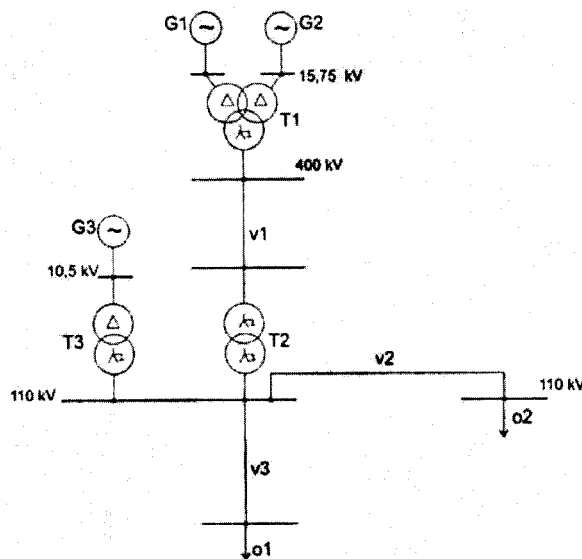
# 1 PARAMETRE ELEKTRICKÝCH ZARIADENÍ

## Príklad 1.1

Vypočítajte parametre zariadení časti elektrizačnej sústavy podľa obr. 1.1 v pomerných hodnotách, ak  $S_{vz} = 100 \text{ MVA}$  a  $U_{vz} = 400 \text{ kV}$ . Zostavte náhradné schémy v súslednej, spätnej a netočivej zložkovej sústave.

### Zadané parametre:

- G1 = G2:  $S_n = 200 \text{ MVA}$ ,  $U_n = 15,75 \text{ kV}$ ,  $x_{d\%} = 195 \%$ ,  
 G3:  $S_n = 100 \text{ MVA}$ ,  $U_n = 10,5 \text{ kV}$ ,  $x_{d\%} = 180 \%$ ,  
 T1:  $S_n = 450 \text{ MVA}$ ,  $p = (415/16/16) \text{ kV}$ ,  $u_{k12} = 16 \%$ ,  $u_{k13} = 15 \%$ ,  $u_{k23} = 17 \%$ ,  
 $\Delta P_{k12} = 700 \text{ kW}$ ,  $\Delta P_{k13} = 750 \text{ kW}$ ,  $\Delta P_{k23} = 720 \text{ kW}$ ,  $i_0 = 6 \%$ ,  $\Delta p_0 = 1,2 \%$ ,  
 T2:  $S_n = 400 \text{ MVA}$ ,  $p = (420/120) \text{ kV}$ ,  $u_k = 13 \%$ ,  $\Delta P_k = 700 \text{ kW}$ ,  $i_0 = 5,5 \%$ ,  
 $\Delta p_0 = 1,2 \%$ ,  
 T3:  $S_n = 120 \text{ MVA}$ ,  $p = (115/11) \text{ kV}$ ,  $u_k = 15 \%$ ,  $\Delta P_k = 360 \text{ kW}$ ,  $i_0 = 4,5 \%$ ,  
 $\Delta p_0 = 1,4 \%$ ,  
 v1:  $Z_1 = 0,29 \cdot e^{j86^\circ} \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $l = 120 \text{ km}$ ,  
 v2:  $Z_1 = 0,4 \cdot e^{j70^\circ} \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $l = 35 \text{ km}$ ,  
 v3:  $Z_1 = 0,42 \cdot e^{j68^\circ} \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $l = 55 \text{ km}$ ,  
 o1:  $S = 40 \text{ MVA}$ ,  $\cos \varphi = 0,92$ , indukčný charakter záťaže,  
 o2:  $P = 25 \text{ MW}$ ,  $\cos \varphi = 0,95$ , indukčný charakter záťaže.



Obr. 1.1 Zapojenie časti elektrizačnej sústavy

### Riešenie:

Výpočet parametrov na hladinu menovitého (nominálneho) napätia:

G1 = G2:

$$X_{dG1} = X_{dG2} = \frac{X_{d\%}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{195}{100} \cdot \frac{15,75^2}{200} = 2,419 \Omega$$

G3:

$$X_{dG3} = \frac{X_{d\%}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{180}{100} \cdot \frac{10,5^2}{110} = 1,804 \Omega$$

T1:

$$Z_{T1p} = \frac{0,5 \cdot (u_{k12} + u_{k13} - u_{k23})}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{0,5 \cdot (16 + 15 - 17)}{100} \cdot \frac{415^2}{450} = 26,7906 \Omega$$

$$Z_{T1s} = \frac{0,5 \cdot (u_{k12} + u_{k23} - u_{k13})}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{0,5 \cdot (16 + 17 - 15)}{100} \cdot \frac{415^2}{450} = 34,445 \Omega$$

$$Z_{T1t} = \frac{0,5 \cdot (u_{k13} + u_{k23} - u_{k12})}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{0,5 \cdot (15 + 17 - 16)}{100} \cdot \frac{415^2}{450} = 30,6178 \Omega$$

$$R_{T1p} = \frac{\Delta P_{k12} + \Delta P_{k13} - \Delta P_{k23}}{2} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{(700 + 750 - 720) \cdot 10^3}{2} \cdot \frac{(415 \cdot 10^3)^2}{(450 \cdot 10^6)^2} = 0,3104 \Omega$$

$$R_{T1s} = \frac{\Delta P_{k12} + \Delta P_{k23} - \Delta P_{k13}}{2} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{(700 + 720 - 750) \cdot 10^3}{2} \cdot \frac{(415 \cdot 10^3)^2}{(450 \cdot 10^6)^2} = 0,2849 \Omega$$

$$R_{T1t} = \frac{\Delta P_{k13} + \Delta P_{k23} - \Delta P_{k12}}{2} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{(720 + 750 - 700) \cdot 10^3}{2} \cdot \frac{(415 \cdot 10^3)^2}{(450 \cdot 10^6)^2} = 0,3274 \Omega$$

$$\varphi_{T1p} = \arccos\left(\frac{R_{T1p}}{Z_{T1p}}\right) = 89,3361^\circ$$

$$\varphi_{T1s} = \arccos\left(\frac{R_{T1s}}{Z_{T1s}}\right) = 89,5261^\circ$$

$$\varphi_{T1t} = \arccos\left(\frac{R_{T1t}}{Z_{T1t}}\right) = 89,3872^\circ$$

$$Y_{T1} = \frac{i_0}{100} \cdot \frac{S_n}{U_n^2} = \frac{6}{100} \cdot \frac{450}{415^2} = 0,15677 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$\varphi_{YT1} = -\arccos\left(\frac{\Delta p_0}{i_0}\right) = -\arccos\left(\frac{1,2}{6}\right) = -78,46^\circ$$

T2:

$$Z_{T2} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{13}{100} \cdot \frac{420^2}{400} = 57,33 \Omega$$

$$\varphi_{T2} = \arccos\left(\frac{\Delta P_k}{\frac{u_k}{100} \cdot S_n}\right) = \arccos\left(\frac{700 \cdot 10^3}{\frac{13}{100} \cdot 400 \cdot 10^6}\right) = 89,23^\circ$$

$$Y_{T2} = \frac{i_0}{100} \cdot \frac{S_n}{U_n^2} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{400}{420^2} = 0,1247 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$\varphi_{YT2} = -\arccos\left(\frac{\Delta p_0}{i_0}\right) = -\arccos\left(\frac{1,2}{5,5}\right) = -77,4^\circ$$

T3:

$$Z_{T3} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{15}{100} \cdot \frac{115^2}{120} = 16,53 \Omega$$

$$\varphi_{T2} = \arccos \left( \frac{\Delta P_k}{\frac{u_k}{100} \cdot S_n} \right) = \arccos \left( \frac{360 \cdot 10^3}{\frac{15}{100} \cdot 120 \cdot 10^6} \right) = 88,85^\circ$$

$$Y_{T3} = \frac{i_0}{100} \cdot \frac{S_n}{U_n^2} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{120}{115^2} = 0,4083 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$\varphi_{YT3} = -\arccos \left( \frac{\Delta p_0}{i_0} \right) = -\arccos \left( \frac{1,4}{4,5} \right) = -71,87^\circ$$

v1:

$$Z_{v1} = Z_1 \cdot l = 0,29 \cdot e^{j86^\circ} \cdot 120 = 34,8 \cdot e^{j86^\circ} \Omega$$

v2:

$$Z_{v2} = Z_1 \cdot l = 0,4 \cdot e^{j70^\circ} \cdot 35 = 14 \cdot e^{j70^\circ} \Omega$$

v3:

$$Z_{v3} = Z_1 \cdot l = 0,42 \cdot e^{j68^\circ} \cdot 55 = 23,1 \cdot e^{j68^\circ} \Omega$$

o1:

$$Z_{o1} = \frac{U^2}{S^*} = \frac{110^2}{40 \cdot e^{-j23,07^\circ}} = 302,5 \cdot e^{j23,07^\circ} \Omega$$

o2:

$$Z_{o2} = \frac{U^2}{S^*} = \frac{U^2}{\frac{P}{\cos \varphi} \cdot e^{-j\varphi}} = \frac{110^2}{\frac{25}{0,95} \cdot e^{-j18,19^\circ}} = 459,8 \cdot e^{j18,19^\circ} \Omega$$

Prepočet na hladinu  $U_{vz} = 400 \text{ kV}$ :

G1 = G2:

$$X_{dG1(400)} = 2,419 \cdot \left( \frac{415}{16} \right)^2 = 1627,39 \Omega$$

G3:

$$X_{dG3(400)} = 1,804 \cdot \left( \frac{115}{11} \right)^2 \cdot \left( \frac{420}{120} \right)^2 = 2415,33 \Omega$$

T1:

$$Z_{T1p(400)} = 26,7906 \cdot e^{j89,3361^\circ} \Omega$$

$$Z_{T1s(400)} = 34,445 \cdot e^{j89,5261^\circ} \Omega$$

$$Z_{T1t(400)} = 30,6178 \cdot e^{j89,3872^\circ} \Omega$$

$$Y_{T1(400)} = 0,15677 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j78,46^\circ} \text{ S}$$

T2:

$$\mathbf{Z}_{T2(400)} = 57,33 \cdot e^{j89,23^\circ} \Omega$$

$$\mathbf{Y}_{T2(400)} = 0,1247 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j77,4^\circ} \text{ S}$$

T3:

$$\mathbf{Z}_{T3(400)} = 16,53 \cdot e^{j88,85^\circ} \cdot \left(\frac{420}{120}\right)^2 = 202,49 \cdot e^{j88,85^\circ} \Omega$$

$$\mathbf{Y}_{T3(400)} = 0,4083 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j71,87^\circ} \cdot \left(\frac{120}{420}\right)^2 = 0,03 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j71,87^\circ} \text{ S}$$

v1:

$$\mathbf{Z}_{v1(400)} = 34,8 \cdot e^{j86^\circ} \Omega$$

v2:

$$\mathbf{Z}_{v2(400)} = 14 \cdot e^{j70^\circ} \cdot \left(\frac{420}{120}\right)^2 = 171,5 \cdot e^{j70^\circ} \Omega$$

v3:

$$\mathbf{Z}_{v3(400)} = 23,1 \cdot e^{j68^\circ} \cdot \left(\frac{420}{120}\right)^2 = 282,975 \cdot e^{j68^\circ} \Omega$$

o1:

$$\mathbf{Z}_{o1(400)} = 302,5 \cdot e^{j23,07^\circ} \cdot \left(\frac{420}{120}\right)^2 = 3705,625 \cdot e^{j23,07^\circ} \Omega$$

o2:

$$\mathbf{Z}_{o2(400)} = 459,8 \cdot e^{j18,19^\circ} \cdot \left(\frac{420}{120}\right)^2 = 5632,55 \cdot e^{j18,19^\circ} \Omega$$

Výpočet pomerných hodnôt:

$$\mathbf{Z}_{vz} = \frac{U_{vz}^2}{S_{vz}} = \frac{400^2}{100} = 1600 \Omega$$

G1 = G2:

$$X_{dG1} = X_{dG2} = \frac{1627,39}{1600} = 1,017 \text{ p.u.}$$

G3:

$$X_{dG3} = \frac{2415,33}{1600} = 1,51 \text{ p.u.}$$

T1:

$$Z_{T1p} = \frac{26,7906 \cdot e^{j89,3361^\circ}}{1600} = 0,017 \cdot e^{j89,3361^\circ} \text{ p.u.}$$

$$Z_{T1s} = \frac{34,445 \cdot e^{j89,5261^\circ}}{1600} = 0,022 \cdot e^{j89,5261^\circ} \text{ p.u.}$$

$$Z_{T1t} = \frac{30,6178 \cdot e^{j89,3872^\circ}}{1600} = 0,019 \cdot e^{j89,3872^\circ} \text{ p.u.}$$

$$y_{T1} = 0,15677 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j78,46^\circ} \cdot 1600 = 0,2508 \cdot e^{-j78,46^\circ} \text{ p.u.}$$

T2:

$$Z_{T2} = \frac{57,33 \cdot e^{j89,23^\circ}}{1600} = 0,036 \cdot e^{j89,23^\circ} \text{ p.u.}$$

$$y_{T2} = 0,1247 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j77,4^\circ} \cdot 1600 = 0,2 \cdot e^{-j77,4^\circ} \text{ p.u.}$$

T3:

$$Z_{T3} = \frac{202,49 \cdot e^{j88,85^\circ}}{1600} = 0,127 \cdot e^{j88,85^\circ} \text{ p.u.}$$

$$y_{T3} = 0,03 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j71,87^\circ} \cdot 1600 = 0,048 \cdot e^{-j71,87^\circ} \text{ p.u.}$$

v1:

$$Z_{v1} = \frac{34,89 \cdot e^{j86^\circ}}{1600} = 0,022 \cdot e^{j86^\circ} \text{ p.u.}$$

v2:

$$Z_{v2} = \frac{171,5 \cdot e^{j70^\circ}}{1600} = 0,107 \cdot e^{j70^\circ} \text{ p.u.}$$

v3:

$$Z_{v3} = \frac{282,975 \cdot e^{j68^\circ}}{1600} = 0,177 \cdot e^{j68^\circ} \text{ p.u.}$$

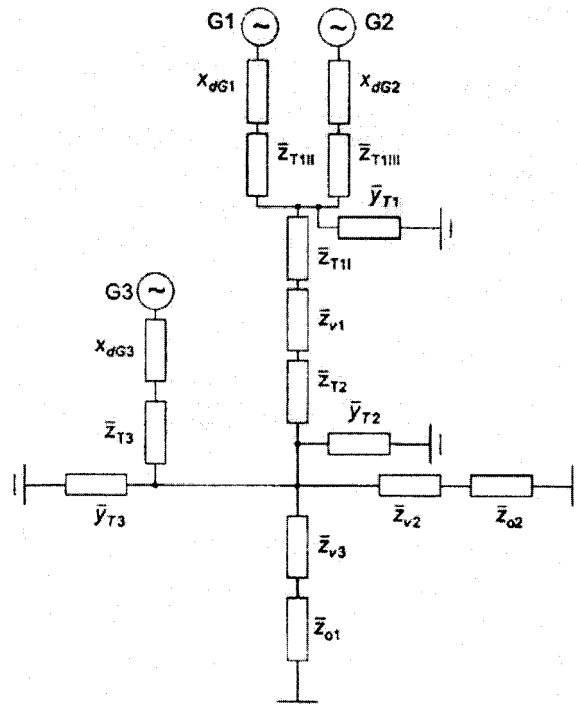
o1:

$$Z_{o1} = \frac{3705,625 \cdot e^{j23,07^\circ}}{1600} = 2,32 \cdot e^{j23,07^\circ} \text{ p.u.}$$

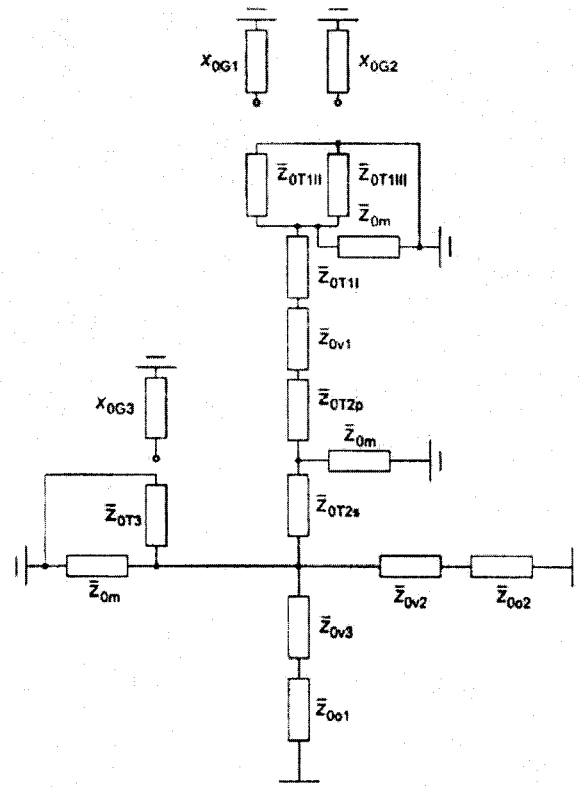
o2:

$$Z_{o2} = \frac{5632,55 \cdot e^{j18,19^\circ}}{1600} = 3,52 \cdot e^{j18,19^\circ} \text{ p.u.}$$

Náhradná schéma v spätnej zložkovej sústave je v podstate zapojením identická ako súsledná, v spätnej sa však neuplatňujú zdroje napätia (nekreslia sa zdroje). Spätá sústava sa odlišuje od súslednej hodnotami impedancií, resp. reaktancií točivých strojov, t.j. generátorov G1, G2, a G3. Náhradné schémy v súslednej a netočivej zložkovej sústave sú na obr.1.2 a obr.1.3.



Obr.1.2 Náhradná schéma pre súradnú zložkovú



Obr.1.3 Náhradná schéma pre netočivú zložkovú sústavu

## 2 PARAMETRE VONKAJŠÍCH VEDENÍ

### Príklad 2.1

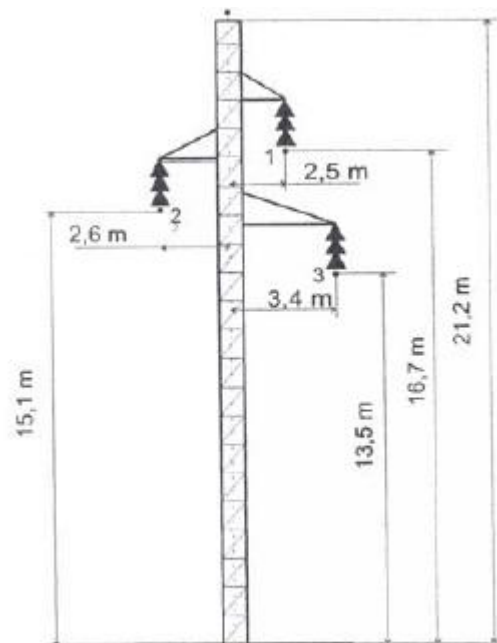
Vypočítajte parametre elektrického vedenia o napätí 110 kV  $L_1, Z_1, G_1, C_1, C_0, C_{vz}, Y_1$  podľa obr. 2.1 s fázovými vodičmi AlFe6 s parametrami:

- priemer lana  $d = 19 \cdot 10^{-3}$  m
- koeficient  $\zeta = 0,809$
- jednotková rezistancia lana  $R_1 = 0,156 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$
- maximálny priehyb fázových vodičov  $f_{\max} = 7,5$  m
- činné straty v priečnej vetve  $\Delta P_{\text{priečne}} = 100 \text{ W} \cdot \text{km}^{-1}$

Pri výpočte kapacít uvažujte vplyv uzemňovacieho lana.

Parametre uzemňovacieho lana AlFe6:

- priemer lana  $d = 16 \cdot 10^{-3}$  m
- maximálny priehyb fázových vodičov  $f_{\max} = 7,5$  m



### **Riešenie:**

Vzájomné vzdialenosti fázových vodičov:

$$D_{12} = \sqrt{(2,5 + 2,6)^2 + (16,7 - 15,1)^2} = 5,345 \text{ m}$$

$$D_{23} = \sqrt{(2,6 + 3,4)^2 + (15,1 + 13,5)^2} = 6,21 \text{ m}$$

$$D_{13} = \sqrt{(3,4 - 2,5)^2 + (16,7 - 13,5)^2} = 3,324 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}} = \sqrt[3]{5,345 \cdot 6,21 \cdot 3,324} = 4,796 \text{ m}$$

Indukčnosť vodiča na jednotku dĺžky:

$$L_1 = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{\sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{23}}}{r \cdot \zeta} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{4,796}{9,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,809} = 1,287 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot \text{km}^{-1}$$

Impedancia vodiča na jednotku dĺžky:

$$Z_1 = R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1 = 0,156 + j \cdot \omega \cdot 1,287 \cdot 10^{-3} = 0,433 \cdot e^{j68,9^\circ} \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

Výška vodičov nad zemou:

$$h_1 = H_1 - \frac{2}{3} \cdot f_{\max} = 16,7 - \frac{2}{3} \cdot 7,5 = 11,7 \text{ m}$$

$$h_2 = H_2 - \frac{2}{3} \cdot f_{\max} = 15,1 - \frac{2}{3} \cdot 7,5 = 10,1 \text{ m}$$

$$h_3 = H_3 - \frac{2}{3} \cdot f_{\max} = 13,5 - \frac{2}{3} \cdot 7,5 = 8,5 \text{ m}$$

$$h = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3} = \sqrt[3]{11,7 \cdot 10,1 \cdot 8,5} = 10,05 \text{ m}$$

Vlastný potenciálový koeficient:

$$p = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{2 \cdot h}{r} = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{2 \cdot 10,015}{9,5 \cdot 10^{-3}} = 137,77 \cdot 10^6 \text{ km} \cdot \text{F}^{-1}$$

Vzdialenosti vodičov a zrkadlových obrazov:

$$D_{12'} = \sqrt{(2,5 + 2,6)^2 + (11,7 + 10,1)^2} = 22,389 \text{ m}$$

$$D_{23'} = \sqrt{(2,6 + 3,4)^2 + (10,1 + 8,5)^2} = 19,544 \text{ m}$$

$$D_{13'} = \sqrt{(3,4 - 2,5)^2 + (11,7 + 8,5)^2} = 20,22 \text{ m}$$

$$D' = \sqrt[3]{D_{12'} \cdot D_{13'} \cdot D_{23'}} = \sqrt[3]{22,389 \cdot 20,22 \cdot 19,544} = 20,683 \text{ m}$$

Vzájomný potenciálový koeficient, vypočítaný metódou zrkadlenia:

$$p_{\text{vz}} = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{D'}{D} = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{20,683}{4,796} = 26,307 \cdot 10^6 \text{ km} \cdot \text{F}^{-1}$$

Výška uzemňovacieho lana nad zemou:

$$h_{z1} = H_{z1} - \frac{2}{3} \cdot f_{\max} = 21,2 - \frac{2}{3} \cdot 7,5 = 16,2 \text{ m}$$

Vzdialenosti fázových vodičov a uzemňovacieho lana:

$$D_{1z1} = \sqrt{2,5^2 + (16,2 - 11,7)^2} = 5,148 \text{ m}$$

$$D_{2z1} = \sqrt{2,6^2 + (16,2 - 10,1)^2} = 6,631 \text{ m}$$

$$D_{3z1} = \sqrt{3,4^2 + (16,2 - 8,5)^2} = 8,417 \text{ m}$$

Vzdialenosti fázových vodičov a obrazu uzemňovacieho lana:

$$D_{1z1'} = \sqrt{2,5^2 + (16,2 + 11,7)^2} = 28,01 \text{ m}$$

$$D_{2z1'} = \sqrt{2,6^2 + (16,2 + 10,1)^2} = 26,43 \text{ m}$$

$$D_{3z1'} = \sqrt{3,4^2 + (16,2 + 8,5)^2} = 24,93 \text{ m}$$



Potenciálový koeficient uzemňovacieho lana:

$$p_{z1,z1} = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{2 \cdot h_{z1}}{r_{z1}} = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{2 \cdot 16,2}{8 \cdot 10^{-3}} = 149,52 \cdot 10^6 \text{ km} \cdot \text{F}^{-1}$$

Vzájomný potenciálový koeficient fázový vodič – uzemňovacie lano:

$$p_{v,z1} = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \sqrt[3]{\frac{D_{1z1'} \cdot D_{2z1'} \cdot D_{3z1'}}{D_{1z1} \cdot D_{2z1} \cdot D_{3z1}}} = 24,98 \cdot 10^6 \text{ km} \cdot \text{F}^{-1}$$

Koeficient  $p_s$  – vplyv uzemňovacieho lana:

$$p_s = \frac{ZL \cdot p_{v,z1}^2}{p_{z1,z1} + (ZL - 1) \cdot p_{z1,z12}} = \frac{1 \cdot (24,98 \cdot 10^6)^2}{149,52 \cdot 10^6 + 0} = 4,173 \cdot 10^6 \text{ km} \cdot \text{F}^{-1}$$

Kapacita vodiča na jednotku dĺžky:

$$C_1 = \frac{1}{(p - p_s) - (p_{vz} - p_s)} = \frac{1}{(137,77 - 26,307) \cdot 10^6} = 8,97 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \text{km}^{-1}$$

Kapacita vodiča voči zemi:

$$C_0 = \frac{1}{(p - p_s) + 2 \cdot (p_{vz} - p_s)} = \frac{1}{((137,77 - 4,173) + 2 \cdot (26,307 - 4,173)) \cdot 10^6} = 5,62 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \text{km}^{-1}$$

Vzájomná kapacita medzi vodičmi:

$$C_{vz} = C_1 \cdot C_0 \cdot (p_{vz} - p_s) = 8,97 \cdot 10^{-9} \cdot 5,62 \cdot 10^{-9} \cdot (26,307 - 4,173) \cdot 10^6 = 1,116 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \text{km}^{-1}$$

Zvod vodiča:

$$G_1 = \frac{\Delta P_{\text{priecne}}}{U_n^2} = \frac{100}{(110 \cdot 10^3)^2} = 8,26 \cdot 10^{-9} \text{ S} \cdot \text{km}^{-1}$$

Admitancia vodiča na jednotku dĺžky:

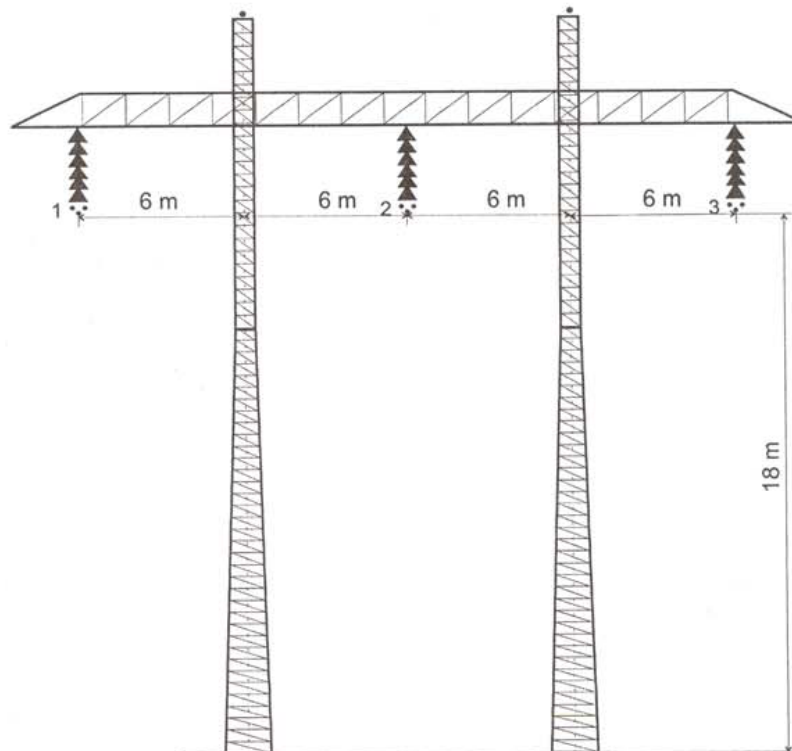
$$Y_1 = G_1 + j \cdot \omega \cdot C_1 = 8,26 \cdot 10^{-9} + j \cdot \omega \cdot 8,97 \cdot 10^{-9} = 2,28 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j \cdot 89,83^\circ} \text{ S} \cdot \text{km}^{-1}$$

### Príklad 2.2

Vypočítajte parametre elektrického vedenia o napätí 400 kV  $L_1, Z_1, G_1, C_1, C_0, C_{vz}, Y_1$  podľa obr. 2.2 s fázovými vodičmi AlFe6, usporiadané v trojzväzku, s parametrami:

- priemer lana  $d = 29,63 \cdot 10^{-3}$  m
- koeficient  $\zeta = 0,8177$
- jednotková rezistancia lana  $R_1 = 0,0645 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$
- zväzkový krok  $a = 0,4$  m
- maximálny priehyb fázových vodičov  $f_{\max} = 9$  m
- činné straty v priečnej vetve  $\Delta P_{\text{priečne}} = 300 \text{ W} \cdot \text{km}^{-1}$

Pri výpočte kapacít zanedbajte vplyv uzemňovacích lán.



Obr. 2.2 Stožiar 400 kV vedenia – typ portál

### Riešenie:

Vzájomné vzdialenosti fázových vodičov:

$$D_{12} = D_{23} = 12 \text{ m}$$

$$D_{13} = 24 \text{ m}$$

Geometrická vzdialenosť vodičov:

$$D = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}} = \sqrt[3]{12 \cdot 12 \cdot 24} = 15,12 \text{ m}$$

Náhradný polomer zväzku:

$$r_{zv} = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot \rho^{(n-1)}} = \sqrt[3]{3 \cdot \frac{29,63 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 0,231^{(3-1)}} = 0,133 \text{ m}$$

Kde: polomer kružnice trojzväzku  $\rho$ :

$$\rho = \frac{a}{2 \cdot \sin \frac{\pi}{n}} = \frac{0,4}{2 \cdot \sin \frac{\pi}{3}} = 0,231 \text{ m}$$

Indukčnosť vodiča na jednotku dĺžky:

$$L_1 = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{\sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}}}{r_{zv} \cdot \sqrt[n]{\xi}} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{\sqrt[3]{12 \cdot 12 \cdot 24}}{0,133 \cdot \sqrt[3]{0,8177}} = 0,9596 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot \text{km}^{-1}$$

Impedancia vodiča na jednotku dĺžky:

$$Z_1 = \frac{R_1}{n} + j \cdot \omega \cdot L_1 = \frac{0,0645}{3} + j \cdot \omega \cdot 0,9596 \cdot 10^{-3} = 0,302 \cdot e^{j \cdot 84,85^\circ} \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

Výška vodičov nad zemou:

$$h_1 = h_2 = h_3 = H - \frac{2}{3} \cdot f_{\max} = 18 - \frac{2}{3} \cdot 9 = 12 \text{ m}$$

$$h = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3} = \sqrt[3]{12 \cdot 12 \cdot 12} = 12 \text{ m}$$

Vlastný potenciálový koeficient:

$$p = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{2 \cdot h}{r_{zv}} = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{2 \cdot 12}{0,133} = 93,52 \cdot 10^6 \text{ km} \cdot \text{F}^{-1}$$

Vzájomný potenciálový koeficient, vypočítaný zjednodušenou metódou:

$$p_{vz} = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{\sqrt{4 \cdot h^2 + D^2}}{D} = 18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{\sqrt{4 \cdot 12^2 + 15,12^2}}{15,12} = 11,32 \cdot 10^6 \text{ km} \cdot \text{F}^{-1}$$

Kapacita vodiča na jednotku dĺžky:

$$C_1 = \frac{1}{p - p_{vz}} = \frac{1}{(93,52 - 11,32) \cdot 10^6} = 12,17 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \text{km}^{-1}$$

Kapacita vodiča voči zemi:

$$C_0 = \frac{1}{p + 2 \cdot p_{vz}} = \frac{1}{(93,52 + 2 \cdot 11,32) \cdot 10^6} = 8,61 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \text{km}^{-1}$$

Vzájomná kapacita medzi vodičmi:

$$C_{vz} = C_1 \cdot C_0 \cdot p_{vz} = 12,17 \cdot 10^{-9} \cdot 8,61 \cdot 10^{-9} \cdot 11,32 \cdot 10^6 = 1,186 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \text{km}^{-1}$$

Zvod vodiča:

$$G_1 = \frac{\Delta P_{\text{priecne}}}{U_n^2} = \frac{300}{(400 \cdot 10^3)^2} = 1,875 \cdot 10^{-9} \text{ S} \cdot \text{km}^{-1}$$

Admitancia vodiča na jednotku dĺžky:

$$Y_1 = G_1 + j \cdot \omega \cdot C_1 = 1,875 \cdot 10^{-9} + j \cdot \omega \cdot 12,17 \cdot 10^{-9} = 3,823 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j \cdot 89,97^\circ} \text{ S} \cdot \text{km}^{-1}$$

### 3 PARAMETRE KÁBLOVÝCH VEDENÍ

#### Príklad 3.1

Vypočítajte veľkosť strát zvodom na vedení o napätí 220 kV a dĺžke  $l = 100$  km. Izolačný odpor vedenia  $R_i = 6 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ .

Straty na 1 km dĺžky vedenia:

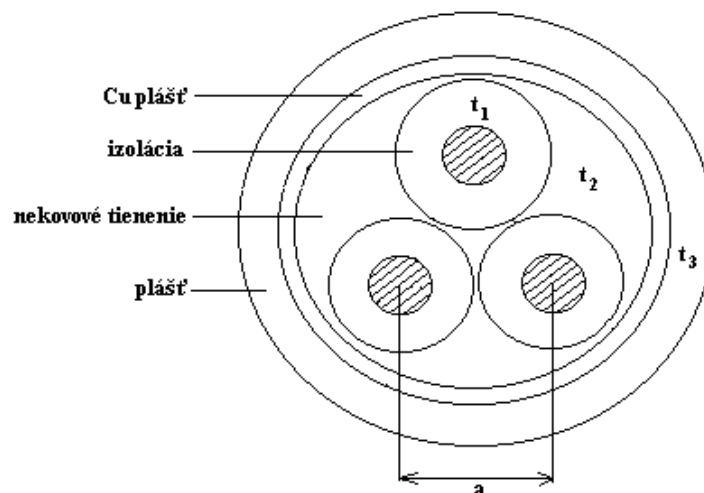
$$P_{z1} = 3 \cdot U_f \cdot I_{zvod} = 3 \cdot U_f \cdot \frac{U_f}{R_i} = \frac{U_z^2}{R_i} = \frac{(220 \cdot 10^3)^2}{6 \cdot 10^6} = 8066,667 \text{ W} \cdot \text{km}^{-1}$$

Straty na celej dĺžke vedenia  $l = 100$  km:

$$P_z = P_{z1} \cdot l = 8066,667 \cdot 100 = 806,667 \text{ kW}$$

#### Príklad 3.2

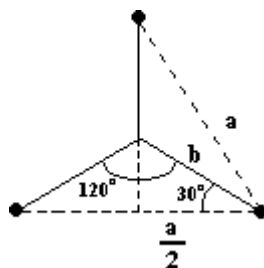
Vypočítajte  $C_1, L_1, X_L, I_C, I_G, \Delta P_G, G$  kábla: 10 – AYKCY  $3 \times 150 \text{ mm}^2$ , ak sú známe parametre:  $t_1 = 4,5 \text{ mm}, t_2 = 0,5 \text{ mm}, t_3 = 3,6 \text{ mm}, \epsilon_r = 4, \text{tg } \delta = 10 \cdot 10^{-2}$ .



$$S = \pi \cdot r^2 \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{150}{\pi}} = 6,91 \text{ mm}$$

$$a = 2 \cdot r + 2 \cdot t_1 = 2 \cdot 6,91 + 2 \cdot 4,5 = 22,82 \text{ mm}$$

$$\cos(30^\circ) = \frac{a}{b} \quad \Rightarrow \quad b = \frac{a}{\cos(30^\circ)} = \frac{22,82}{\cos(30^\circ)} = 13,175 \text{ mm}$$



$$R = b + r + t_{1,0} + t_2 = 13,175 + 6,91 + 4,5 + 0,5 = 25,085 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{1}{0,0242 \cdot \epsilon_r} \cdot \log \frac{R^2 - b^2}{R \cdot r} = \frac{1}{0,0242 \cdot 4} \cdot \log \frac{25,085^2 - 13,175^2}{25,085 \cdot 6,91} = 4,3364 \mu\text{F}$$

$$\delta' = \frac{1}{0,0242 \cdot \epsilon_r} \cdot \log \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R}{b}\right)^2 + \left(\frac{b}{R}\right)^2}{3}} = \frac{1}{0,0242 \cdot 4} \cdot \log \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{25,085}{13,175}\right)^2 + \left(\frac{13,175}{25,085}\right)^2}{3}} = 1,101 \text{ km} \cdot \mu\text{F}^{-1}$$

$$C_1 = \frac{1}{\delta - \delta'} = \frac{1}{4,3364 - 1,101} = 0,3091 \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C = \frac{1}{\delta + 2 \cdot \delta'} = \frac{1}{4,3364 + 2 \cdot 1,101} = 0,1529 \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C' = C_1 \cdot C \cdot \delta' = 0,3091 \cdot 0,1529 \cdot 1,101 = 0,052 \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$L_1 = 0,46 \cdot \log \frac{a}{r} + 0,05 = 0,46 \cdot \log \frac{22,82}{6,91} + 0,05 = 0,2887 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,2887 \cdot 10^{-3} = 0,0907 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

$$\text{tg } \delta = \frac{I_G}{I_C} \Rightarrow I_G = I_C \cdot \text{tg } \delta$$

$$G = \frac{1}{R_i} = \frac{I_G}{U_f} = \frac{I_C \cdot \text{tg } \delta}{U_f} = \frac{\omega \cdot C_1 \cdot U_f \cdot \text{tg } \delta}{U_f} = \omega \cdot C_1 \cdot \text{tg } \delta = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,3091 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 9,71 \cdot 10^{-6} \text{ S} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$I_C = \omega \cdot C_1 \cdot U_f = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,3091 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 0,5606 \text{ A} \cdot \text{km}^{-1}$$

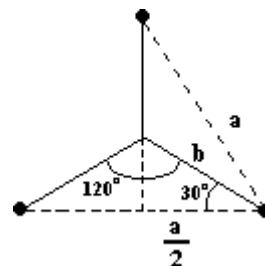
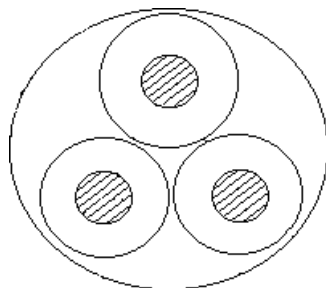
$$I_G = I_C \cdot \text{tg } \delta = 0,5606 \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 0,0561 \text{ A} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$\Delta P_G = U_f \cdot I_G = \frac{10 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 0,0561 = 323,893 \text{ W} \cdot \text{km}^{-1}$$

### Príklad 3.3

Vypočítajte parametre 3 – žilového kábla s Al plášťom, ktorého rozmery sú:  
vodič Al 300 mm<sup>2</sup>

hrúbka izolácie:  $t_1 = 3,75 \text{ mm}$   
 $\epsilon_r = 4,2$



$$S = \pi \cdot r^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{300}{\pi}} = 9,772 \text{ mm}$$

$$a = 2 \cdot r + 2 \cdot t_1 = 2 \cdot 9,772 + 2 \cdot 3,75 = 27,044 \text{ mm}$$

$$\cos(30^\circ) = \frac{a/2}{b} \Rightarrow b = \frac{a/2}{\cos(30^\circ)} = \frac{27,044/2}{\cos(30^\circ)} = 15,614 \text{ mm}$$

$$R = b + r + t_1 = 29,136 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{1}{0,0242 \cdot \varepsilon_r} \cdot \log \frac{R^2 - b^2}{R \cdot r} = \frac{1}{0,0242 \cdot 4,2} \cdot \log \frac{29,134^2 - 15,614^2}{29,134 \cdot 9,772} = 3,2208 \text{ km} \cdot \mu\text{F}^{-1}$$

$$\delta' = \frac{1}{0,0242 \cdot \varepsilon_r} \cdot \log \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R}{b}\right)^2 + \left(\frac{b}{R}\right)^2}{3}} = \frac{1}{0,0242 \cdot 4,2} \cdot \log \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{29,134}{15,614}\right)^2 + \left(\frac{15,614}{29,134}\right)^2}{3}} = 0,9902 \text{ km} \cdot \mu\text{F}^{-1}$$

$$C_1 = \frac{1}{\delta - \delta'} = \frac{1}{3,2208 - 0,9902} = 0,4483 \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C = \frac{1}{\delta + 2 \cdot \delta'} = \frac{1}{3,2208 + 2 \cdot 0,9902} = 0,192 \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$$

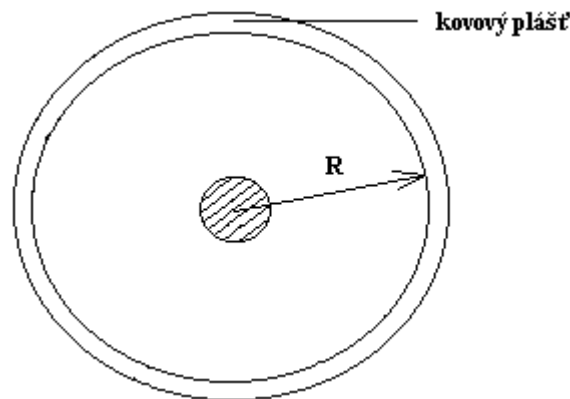
$$C' = C_1 \cdot C \cdot \delta' = 0,4483 \cdot 0,192 \cdot 0,9902 = 0,082 \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$L_1 = 0,46 \cdot \log \frac{a}{r} + 0,05 = 0,46 \cdot \log \frac{27,044}{9,772} + 0,05 = 0,2534 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,2534 \cdot 10^{-3} = 0,0796 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

### Príklad 3.4

Vypočítajte  $L_1$ ,  $C_1$  jednožilového kábla s parametrami:  $S = 240 \text{ mm}^2$ , hrúbka izolácie  $t = 20 \text{ mm}$ ,  $\varepsilon_r = 3,4$ .



$$S = \pi \cdot r^2 \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{240}{\pi}} = 8,74 \text{ mm}$$

$$R = r + t = 8,74 + 20 = 28,74 \text{ mm}$$

$$L_1 = 0,46 \cdot \log \frac{R}{r} + 0,05 = 0,46 \cdot \log \frac{28,74}{8,74} + 0,05 = 0,2878 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$$

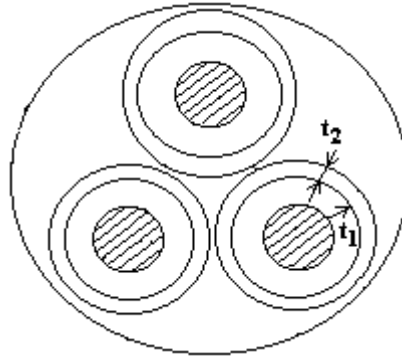
$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 90,41 \cdot 10^{-3} = 0,0904 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C_1 = \frac{0,0242 \cdot \varepsilon_r}{\log \frac{R}{r}} = \frac{0,0242 \cdot 3,4}{\log \frac{28,74}{8,74}} = 0,159 \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$L_1 = \frac{1,11 \cdot 10^{-2} \cdot \varepsilon_r}{C_1} + 0,05 = \frac{1,11 \cdot 10^{-2} \cdot 3,4}{0,159} + 0,05 = 0,2874 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$$

### Príklad 3.5

Vypočítajte  $L_1$ ,  $C_1$  3-žilového kábla s parametrami:  $S = 300 \text{ mm}^2$ ,  $\varepsilon_r = 4,2$ ,  $t_1 = 4 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 2 \text{ mm}$ , pričom každá žila má kovový plášť.



$$S = \pi \cdot r^2 \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{300}{\pi}} = 9,77 \text{ mm}$$

$$R = r + t_1 = 9,77 + 4 = 13,77 \text{ mm}$$

$$L_1 = 0,46 \cdot \log \frac{R}{r} + 0,05 = 0,46 \cdot \log \frac{13,77}{9,77} + 0,05 = 0,118 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C_1 = \frac{0,0242 \cdot \varepsilon_r}{\log \frac{R}{r}} = \frac{0,0242 \cdot 4,2}{\log \frac{13,77}{9,77}} = 0,682 \text{ } \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$$

## 4 DLHÉ VEDENIA

### Príklad 4.1

Vedenie 400 kV dĺžky  $l = 150$  km má nasledovné parametre:

$$\mathbf{Z}_1 = 0,3 \cdot e^{j85^\circ} \Omega \cdot \text{km}^{-1}, \mathbf{Y}_1 = 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j88^\circ} \text{ S} \cdot \text{km}^{-1}.$$

Vypočítajte:

- komplexný koeficient šírenia vln  $\gamma$
- vlnovú impedanciu  $\mathbf{Z}_0$ ,
- prirodzený výkon vedenia  $S_p$ ,

Pomocou telegrafných rovníc **homogénneho vedenia** vypočítajte:

- hodnoty napätia  $U_{1f}$ , prúdu  $I_1$  a výkonu  $S_1$  na začiatku vedenia,
- celkové výkonové straty  $\Delta S_c$ ,
- úbytok napätia  $\Delta U$ .

Pomocou náhradného  $\Pi$ -článku vypočítajte:

- hodnoty napätia  $U_{1f}$ , prúdu  $I_1$  a výkonu  $S_1$  na začiatku vedenia,
- celkové straty  $\Delta S_c$ , pozdĺžne straty  $\Delta S_{\text{pozdĺžne}}$ , priečne straty  $\Delta S_{\text{priečne}}$ , a kapacitný nabíjací výkon  $Q_C$ .
- úbytok napätia  $\Delta U$ .

Ak na konci vedenia je napätie  $U_{2f} = 230 \cdot e^{j0^\circ}$  kV a odoberaný výkon je induktívneho charakteru  $P_2 = 600$  MW a  $\cos \varphi_2 = 0,95$ .

**Riešenie:**

$$\gamma = \sqrt{\mathbf{Z}_1 \cdot \mathbf{Y}_1} = \sqrt{0,3 \cdot e^{j85^\circ} \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j88^\circ}} = 1,0677 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j86,5^\circ} \text{ rad} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$\mathbf{Z}_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{Z}_1}{\mathbf{Y}_1}} = \sqrt{\frac{0,3 \cdot e^{j85^\circ}}{3,8 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j88^\circ}}} = 280,9757 \cdot e^{-j1,5^\circ} \Omega$$

$$S_p = \frac{U^2}{\mathbf{Z}_0^*} = \frac{(400 \cdot 10^3)^2}{280,9757 \cdot e^{j1,5^\circ}} = 569,44 \cdot e^{-j1,5^\circ} \text{ MVA}$$

Rovnice homogénneho vedenia:

$$U_{1f} = U_{2f} \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + I_2 \cdot \mathbf{Z}_0 \cdot \sinh(\gamma \cdot l)$$

$$I_1 = I_2 \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + \frac{U_{2f}}{\mathbf{Z}_0} \cdot \sinh(\gamma \cdot l)$$

Najskôr musíme vypočítať prúd na konci vedenia:

$$I_2 = \frac{S_2^*}{3 \cdot U_{2f}^*} = \frac{\frac{P_2}{\cos \varphi_2} \cdot e^{-j\varphi_2}}{3 \cdot U_{2f}^*} = \frac{600 \cdot 10^6}{3 \cdot 230 \cdot 10^3} \cdot e^{-j18,1949^\circ} = 915,3318 \cdot e^{-j18,1949^\circ} \text{ A}$$

**Riešenie pomocou homogénneho vedenia:**

$$U_{1f} = 230 \cdot 10^3 \cdot e^{j0^\circ} \cdot \cosh(1,0677 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j86,5^\circ} \cdot 150) + 915,3318 \cdot e^{-j18,1949^\circ} \cdot 280,9757 \cdot e^{-j1,5^\circ} \cdot \sinh(1,0677 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j86,5^\circ} \cdot 150)$$

$$U_{1f} = 246,17 \cdot e^{j8,8955^\circ} \text{ kV}$$



$$I_1 = 915,3318 \cdot e^{-j18,1949^\circ} \cdot \cosh(1,0677 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j86,5^\circ} \cdot 150) + \frac{230 \cdot 10^3 \cdot e^{j0^\circ}}{280,9757 \cdot e^{-j1,5^\circ}} \cdot \sinh(1,0677 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j86,5^\circ} \cdot 150)$$

$$I_1 = 876,4461 \cdot e^{-j9,8784^\circ} \text{ A}$$

$$S_1 = 3 \cdot U_{1f} \cdot I_1^* = 3 \cdot 246,17 \cdot 10^3 \cdot e^{j8,8955^\circ} \cdot 876,4461 \cdot e^{j9,8784^\circ} = 647,27 \cdot e^{j18,7739^\circ} \text{ MVA}$$

$$\Delta S_c = S_1 - S_2 = S_1 - \frac{P_2}{\cos \varphi_2} \cdot e^{j\varphi_2} = 647,27 \cdot 10^6 \cdot e^{j18,7739^\circ} - \frac{600 \cdot 10^6}{0,95} \cdot e^{j18,1949^\circ}$$

$$\Delta S_c = 16,974 \cdot e^{j40,8614^\circ} \text{ MVA}$$

$$\Delta U = U_{1f} - U_{2f} = 246,17 \cdot e^{j8,8955^\circ} - 230 \cdot e^{j0^\circ} = 40,294 \cdot e^{j70,858^\circ} \text{ kV}$$

### Riešenie pomocou náhradného článku II:

$$\begin{bmatrix} U_{1f} \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{2f} \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Prenosové konštanty:

$$\gamma = \sqrt{Z_1 \cdot Y_1} = \sqrt{0,3 \cdot e^{j85^\circ} \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j88^\circ}} = 1,0677 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j86,5^\circ} \text{ rad} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$A = D = 1 + \frac{Z \cdot Y}{2} = 1 + \frac{0,3 \cdot e^{j85^\circ} \cdot 150 \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j88^\circ} \cdot 150}{2} = 0,9873 \cdot e^{j0,0907^\circ}$$

$$B = Z = 0,3 \cdot e^{j85^\circ} \cdot 150 = 45 \cdot e^{j85^\circ}$$

$$C = Y \cdot \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{4}\right) = 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j88^\circ} \cdot 150 \cdot \left(1 + \frac{0,3 \cdot e^{j85^\circ} \cdot 150 \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j88^\circ} \cdot 150}{4}\right) = 5,6637 \cdot 10^{-4} \cdot e^{j88,0451^\circ}$$

$$U_{1f} = A \cdot U_{2f} + B \cdot I_2$$

$$U_{1f} = 0,9873 \cdot e^{j0,0907^\circ} \cdot 230 \cdot 10^3 \cdot e^{j0^\circ} + 45 \cdot e^{j85^\circ} \cdot 915,3318 \cdot e^{-j18,1949^\circ} = 246,28 \cdot e^{j8,9278^\circ} \text{ kV}$$

$$I_1 = C \cdot U_{2f} + D \cdot I_2$$

$$I_1 = 5,6637 \cdot 10^{-4} \cdot e^{j88,0451^\circ} \cdot 230 \cdot 10^3 \cdot e^{j0^\circ} + 0,9873 \cdot e^{j0,0907^\circ} \cdot 915,3318 \cdot e^{-j18,1949^\circ}$$

$$I_1 = 876,4271 \cdot e^{-j9,8961^\circ} \text{ A}$$

$$S_1 = 3 \cdot U_{1f} \cdot I_1^* = 3 \cdot 246,28 \cdot 10^3 \cdot e^{j8,9278^\circ} \cdot 876,4271 \cdot e^{j9,8961^\circ} = 647,54 \cdot e^{j18,824^\circ} \text{ MVA}$$

$$\Delta S_c = S_1 - S_2 = S_1 - \frac{P_2}{\cos \varphi_2} \cdot e^{j\varphi_2} = 647,54 \cdot 10^6 \cdot e^{j18,824^\circ} - \frac{600 \cdot 10^6}{0,95} \cdot e^{j18,1949^\circ}$$

$$\Delta S_c = 17,434 \cdot e^{j42,2608^\circ} \text{ MVA}$$

$$\Delta U = U_{1f} - U_{2f} = 246,28 \cdot e^{j8,9278^\circ} - 230 \cdot e^{j0^\circ} = 40,466 \cdot e^{j70,8192^\circ} \text{ kV}$$

$$\Delta S_{\text{pozdlnne}} = \frac{3 \cdot \Delta U^2}{Z^*} = \frac{3 \cdot (40,466 \cdot 10^3)^2}{0,3 \cdot e^{-j \cdot 85^\circ} \cdot 150} = 108,24 \cdot e^{j \cdot 85^\circ} \text{ MVA}$$

$$\Delta S_{\text{pricne}} = \frac{1}{2} \cdot Y^* \cdot (3 \cdot U_{f1}^2 + 3 \cdot U_{f2}^2) = \frac{1}{2} \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-j \cdot 88^\circ} \cdot 150 \cdot [3 \cdot (246,28 \cdot 10^3)^2 + 3 \cdot (230 \cdot 10^3)^2]$$

$$\Delta S_{\text{pricne}} = 97,088 \cdot e^{-j \cdot 88^\circ} \text{ MVA}$$

$$Q_c = \text{Im}(\Delta S_{\text{pricne}}) = 97,029 \text{ MVAr}$$

### Príklad 4.2

Vedením 400 kV sa má dodávať výkon 500 MW s účinníkom  $\cos \varphi = 0,95$ . Určte presným riešením napätie a prúd, výkon a účinník na začiatku vedenia, ak predpokladáme na konci vedenia napätie  $U_2 = 400$  kV.

$$\begin{aligned} R_1 &= 0,0293 \Omega \cdot \text{km}^{-1} & C_1 &= 12,25 \text{ nF} \cdot \text{km}^{-1} & L_1 &= 0,9645 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1} \\ X_1 &= 0,303 \Omega \cdot \text{km}^{-1} & G_1 &= 0 & l &= 400 \text{ km} \end{aligned}$$

$$U_1 = A \cdot U_2 + B \cdot I_2 \quad U_1 = U_2 \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + I_2 \cdot Z_0 \cdot \sinh(\gamma \cdot l)$$

$$I_1 = C \cdot U_2 + D \cdot I_2 \quad I_1 = \frac{U_2}{Z_0} \cdot \sinh(\gamma \cdot l) + I_2 \cdot \cosh(\gamma \cdot l)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z_1}{Y_1}} = \sqrt{\frac{R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1}{G_1 + j \cdot \omega \cdot C_1}} = \sqrt{\frac{0,0293 + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,9645 \cdot 10^{-3}}{0 + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 12,25 \cdot 10^{-9}}} = \sqrt{\frac{0,3044 \cdot e^{j84,47^\circ}}{3,8485 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j90^\circ}}} =$$

$$Z_0 = 281,2397 \cdot e^{-j2,77^\circ} \Omega$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \sqrt{Z_1 \cdot Y_1} = \sqrt{(R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1) \cdot (G_1 + j \cdot \omega \cdot C_1)} = \sqrt{(0,0293 + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,9645 \cdot 10^{-3}) \cdot (j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 12,25 \cdot 10^{-9})} = \\ \gamma &= \sqrt{-1,1661 \cdot 10^{-6} + j \cdot 0,1128 \cdot 10^{-6}} = \sqrt{1,1715 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j174,475^\circ}} = 1,0823 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j87,238^\circ} \text{ rad} \cdot \text{km}^{-1} \end{aligned}$$

$$\gamma = \beta + j \cdot \alpha = 52,1531 \cdot 10^{-6} + j \cdot 1,081 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$\gamma \cdot l = (0,0209 + j \cdot 0,4324) \text{ rad} \quad \alpha \cdot l = 0,4324 \text{ rad} = 24,7747^\circ$$

$$\cosh(j \cdot \alpha \cdot l) = \cos(\alpha \cdot l) \quad \sinh(j \cdot \alpha \cdot l) = j \cdot \sin(\alpha \cdot l)$$

$$\begin{aligned} \sinh(\gamma \cdot l) &= \sinh(\beta \cdot l + j \cdot \alpha \cdot l) = \\ &= \sinh(\beta \cdot l) \cdot \cosh(j \cdot \alpha \cdot l) + \cosh(\beta \cdot l) \cdot \sin(j \cdot \alpha \cdot l) = \\ &= \sinh(\beta \cdot l) \cdot \cos(\alpha \cdot l) + j \cdot \cosh(\beta \cdot l) \cdot \sin(\alpha \cdot l) = \\ &= \sinh(0,0209) \cdot \cos(24,7747^\circ) + j \cdot \cosh(0,0209) \cdot \sin(24,7747^\circ) = \\ &= 0,01898 + j \cdot 0,4191 = 0,4195 \cdot e^{j87,407^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cosh(\gamma \cdot l) &= \cosh(\beta \cdot l + j \cdot \alpha \cdot l) = \\ &= \cosh(\beta \cdot l) \cdot \cosh(j \cdot \alpha \cdot l) + \sinh(\beta \cdot l) \cdot \sinh(j \cdot \alpha \cdot l) = \\ &= \cosh(\beta \cdot l) \cdot \cos(\alpha \cdot l) + j \cdot \sinh(\beta \cdot l) \cdot \sin(\alpha \cdot l) = \\ &= \cosh(0,0209) \cdot \cos(24,7747^\circ) + j \cdot \sinh(0,0209) \cdot \sin(24,7747^\circ) = \\ &= 0,9082 + j \cdot 0,00876 = 0,9082 \cdot e^{j0,553^\circ} \end{aligned}$$

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot \cos \varphi_2} = \frac{500 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 759,6714 \cdot e^{-j18,195^\circ} \text{ A}$$

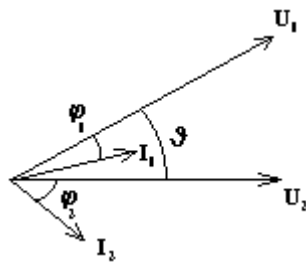
$$\begin{aligned}
U_{1f} &= U_{2f} \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + I_2 \cdot Z_0 \cdot \sinh(\gamma \cdot l) = \\
&= \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 0,9082 \cdot e^{j0,553^\circ} + 759,6714 \cdot e^{-j18,195^\circ} \cdot 281,2397 \cdot e^{-j2,77^\circ} \cdot 0,4195 \cdot e^{j87,407^\circ} = \\
&= 0,209739 \cdot 10^6 \cdot e^{j553^\circ} + 89,6261 \cdot 10^3 \cdot e^{j66,442^\circ} = \\
&= 209,73 \cdot 10^3 + j \cdot 2,024 \cdot 10^3 + 35,8215 \cdot 10^3 + j \cdot 82,1563 \cdot 10^3 = \\
&= 245,5515 \cdot 10^3 + j \cdot 84,1803 \cdot 10^3 = 259,58 \cdot e^{j18,923^\circ} \text{ kV}
\end{aligned}$$

$$U_{2f} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 230,94 \text{ kV}$$

$$U_{1f} = 259,58 \text{ kV} \quad (\vartheta = 18,923^\circ)$$

$$U_{1z} = \sqrt{3} \cdot U_{1f} = 449,6057 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned}
I_1 &= I_2 \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + \frac{U_2}{Z_0} \cdot \sinh(\gamma \cdot l) = \\
&= 759,6714 \cdot e^{-j18,195^\circ} \cdot 0,9082 \cdot e^{j0,553^\circ} + \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 281,2397 \cdot e^{-j2,77^\circ}} \cdot 0,4195 \cdot e^{j87,407^\circ} = \\
&= 689,9335 \cdot e^{-j17,642^\circ} + 344,4726 \cdot e^{j90,177^\circ} = 656,4208 + j \cdot 135,3739 = 670,2346 \cdot e^{j11,652^\circ} \text{ A} \\
\Rightarrow \quad \alpha &= 11,652^\circ \quad \varphi = \vartheta - \alpha = 18,923^\circ - 11,652^\circ = 7,27^\circ
\end{aligned}$$



$$P = \sqrt{3} \cdot U_{1z} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 517,7422 \text{ MW}$$

### Príklad 4.3

Je dané 400 kV vedenie nasledovných parametrov:  $R_1 = 0$ ,  $G_1 = 0$ ,  $L_1 = 0,95 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $C_1 = 12 \text{ nF} \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $l = 400 \text{ km}$ . Vypočítajte  $U_2$  a  $I_1$  pri chode naprázdno za predpokladu, že  $U_{1z} = 420 \text{ kV}$ .

$$U_1 = A \cdot U_2 + B \cdot I_2 \quad \Rightarrow \quad U_2 = \frac{U_1}{A}$$

$$I_1 = C \cdot U_2 + D \cdot I_2 \quad \Rightarrow \quad I_1 = C \cdot U_2$$

$$\gamma = \sqrt{Z_1 \cdot Y_1} = \sqrt{(R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1) \cdot (G_1 + j \cdot \omega \cdot C_1)} = j \cdot \omega \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1}$$

$$\gamma = \beta + j \cdot \alpha$$

$$\alpha = \omega \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1} = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \sqrt{(0,95 \cdot 10^{-3} \cdot 400) \cdot (12 \cdot 10^{-9} \cdot 400)} = 1,0607 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$\alpha \cdot l = 1,0607 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = 0,42429 \text{ rad}$$

$$A = \cosh(\gamma \cdot l) = \cosh(j \cdot \alpha \cdot l) = \cos(\alpha \cdot l) = \cos(0,42429) = 0,91133$$

$$U_{2z} = \frac{U_{2z}}{A} = \frac{420}{0,91133} = 460,865 \text{ kV}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z_1}{Y_1}} = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \sqrt{\frac{0,95 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 10^{-9}}} = 281,36 \Omega$$

$$I_1 = C \cdot U_2 \Rightarrow C = \frac{1}{Z_0} \cdot \sinh(\gamma \cdot l) = \frac{j}{281,36} \cdot \sin(0,42429) = j \cdot 1,463 \cdot 10^{-3}$$

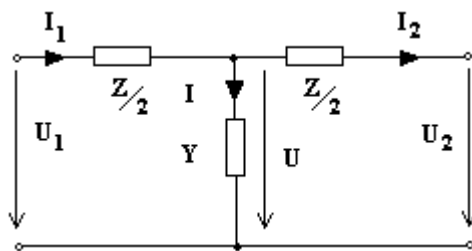
$$I_1 = C \cdot U_{2f} = j \cdot 1,463 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{460,865 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = j \cdot 0,3893 \text{ kA} \quad I_1 - \text{kapacitný prúd}$$

$$Q_{c1f} = \frac{U_{1z}}{\sqrt{3}} \cdot I_1 = 94,39 \text{ MVar} \quad Q_{c3f} = U_{1f} \cdot I_1 = \sqrt{3} \cdot 420 \cdot 0,3893 = 283,18 \text{ MVar}$$

#### Príklad 4.4

Vedením 220 kV, dĺžky 100 km je zásobovaný odberateľ s výkonom  $P_2 = 100 \text{ MW}$ ,  $\cos \varphi_2 = 0,85$  ind. Vypočítajte výkon  $P_1$  na začiatku vedenia, ak sú známe parametre:  $Z_1 = 0,085 + j \cdot 0,43 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $Y_1 = j \cdot 2,685 \cdot 10^{-6} \text{ S} \cdot \text{km}^{-1}$ .

Použite náhradný „T“ článok.



$$U_1 = A \cdot U_2 + B \cdot I_2$$

$$I_1 = C \cdot U_2 + D \cdot I_2$$

$$A = D = 1 + \frac{Z \cdot Y}{2} \quad B = Z \cdot \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{4}\right) \quad C = Y$$

$$Z = Z_1 \cdot l = (0,085 + j \cdot 0,43) \cdot 100 = 8,5 + j \cdot 43 = 43,83 \cdot e^{j78,8^\circ} \Omega$$

$$Y = Y_1 \cdot l = j \cdot 2,685 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = j \cdot 2,685 \cdot 10^{-4} \text{ S} = 2,685 \cdot 10^{-4} \cdot e^{j90^\circ} \text{ S}$$

$$Z \cdot Y = (8,5 + j \cdot 43) \cdot j \cdot 2,685 \cdot 10^{-4} = -0,011546 + j \cdot 0,002286$$

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot \cos \varphi_2} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 10^3 \cdot 0,85} = 308,743 \cdot e^{-j31,79^\circ} \text{ A}$$

$$\cos \varphi_2 = 0,85 \Rightarrow \varphi_2 = \arccos(0,85) = 31,79^\circ$$

$$I_{2e} = I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 308,743 \cdot 0,85 = 262,4319 \text{ A}$$

$$I_{2j} = I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 308,743 \cdot 0,527 = -j \cdot 162,6405 \text{ A}$$

$$I_2 = 262,4319 - j \cdot 162,6405 \text{ A}$$

$$A = D = 1 + \frac{Z \cdot Y}{2} = 1 + \frac{(-0,011546 + j \cdot 0,002286)}{2} = 0,994227 + j \cdot 0,001143 = 0,994227 \cdot e^{j0,066^\circ}$$

$$B = Z \cdot \left(1 + \frac{Z \cdot Y}{4}\right) = 43,83 \cdot e^{j78,8^\circ} \cdot \left(1 + \frac{(-0,011546 + j \cdot 0,002286)}{4}\right) = 43,704 \cdot e^{j78,81^\circ}$$

$$U_1 = A \cdot U_2 + B \cdot I_2 = 0,994227 \cdot e^{j0,066^\circ} \cdot \frac{220 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} + 43,704 \cdot e^{j78,81^\circ} \cdot 308,743 \cdot e^{-j31,79^\circ} =$$

$$= 126,2838 \cdot 10^3 \cdot e^{j0,066^\circ} + 13,493 \cdot 10^3 \cdot e^{j47,02^\circ} =$$

$$= 126283,7 + j \cdot 145,468 + 9198,759 + j \cdot 9871,367 = 135482,46 + j \cdot 10016,84 =$$

$$= 135852,3 \cdot e^{j4,23^\circ} \text{ V}$$

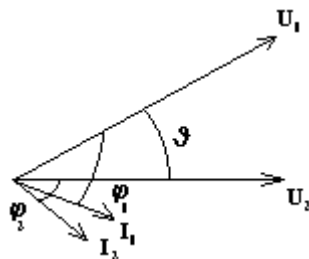
$$U_1 = 135852,3 \cdot e^{j4,23^\circ} \text{ V} \quad \vartheta = 4,23^\circ$$

$$C = Y = j \cdot 2,685 \cdot 10^{-4}$$

$$I_1 = C \cdot U_2 + D \cdot I_2 = 2,685 \cdot 10^{-4} \cdot e^{j90^\circ} \cdot \frac{220 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} + 0,994227 \cdot e^{j0,066^\circ} \cdot 308,743 \cdot e^{-j31,79^\circ} =$$

$$= 34,104 \cdot e^{j90^\circ} + 306,961 \cdot e^{-j31,72^\circ} = j \cdot 34,104 + 261,1095 - j \cdot 161,3904 =$$

$$= 261,1095 - j \cdot 127,286 = 290,482 \cdot e^{-j25,79^\circ} \text{ A}$$

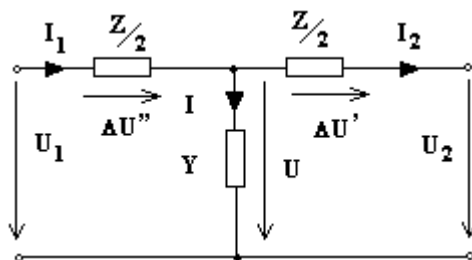


$$\varphi_1 = \langle U_1 \rangle - \langle I_1 \rangle = 4,23^\circ - (-25,79^\circ) = 30,02^\circ$$

$$P_1 = 3 \cdot U_{1r} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 3 \cdot 135852 \cdot 290,482 \cdot \cos(30,02^\circ) = 102,506 \text{ MW}$$

$$\Delta p_{\%} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{102,506 - 100}{102,506} \cdot 100 = 2,45 \%$$

alebo iným spôsobom:



$$I_2 = 262,432 - j \cdot 162,639 = 308,743 \cdot e^{-j31,79^\circ} \text{ A}$$

$$Z = 8,5 + j \cdot 43 \Omega \quad \frac{Z}{2} = \frac{8,5 + j \cdot 43}{2} = 4,25 + j \cdot 21,5 = 21,916 \cdot e^{j78,818^\circ} \Omega$$

$$Y = j \cdot 2,685 \cdot 10^{-4} \text{ S}$$

$$\Delta U' = I_2 \cdot \frac{Z}{2} = 308,743 \cdot e^{-j31,79^\circ} \cdot 21,916 \cdot e^{j78,818^\circ} = 6766,411 \cdot e^{j47,03^\circ} \text{ V}$$

$$\Delta U' = 4612,089 + j \cdot 4951,055 \text{ V}$$

$$U_2 = \frac{220 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 127017,059 \text{ V}$$

$$U = \Delta U' + U_2 = 4612,089 + j \cdot 4951,055 + 127017,059 = 131629,148 + j \cdot 4951,055 = \\ = 131722,229 \cdot e^{j2,154^\circ} \text{ V}$$

$$I = U \cdot Y = 131722,229 \cdot e^{j2,154^\circ} \cdot 2,685 \cdot 10^{-4} \cdot e^{j90^\circ} = 35,367 \cdot e^{j92,154^\circ} = -1,329 + j \cdot 35,342 \text{ A}$$

$$I_1 = I_2 + I = U \cdot Y = 262,432 - j \cdot 162,639 + (-1,329 + j \cdot 35,342) = \\ = 261,103 - j \cdot 127,297 = 290,481 \cdot e^{-j25,991^\circ} \text{ A}$$

$$\Delta U'' = I_1 \cdot \frac{Z}{2} = 290,481 \cdot e^{-j25,991^\circ} \cdot 21,916 \cdot e^{j78,818^\circ} =$$

$$= 6366,182 \cdot e^{j52,827^\circ} = 3846,598 + j \cdot 5072,668 \text{ V}$$

$$U_1 = \Delta U'' + U = 3846,598 + j \cdot 5072,668 + 131629,148 + j \cdot 4951,055 =$$

$$= 135475,746 + j \cdot 10023,723 = 135846,063 \cdot e^{j4,23^\circ} \text{ V}$$

$$\varphi_1 = \langle U_1 \rangle - \langle I_1 \rangle = 4,23^\circ - (-25,991^\circ) = 30,221^\circ$$

$$P_1 = 3 \cdot U_{1f} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 3 \cdot 135846 \cdot 290,481 \cdot \cos(30,221^\circ) = 102,291 \text{ MW}$$

#### Príklad 4.5

Vypočítajte pomery na začiatku vedenia, ak sú známe elektrické parametre 400 kV vedenia, dĺžky 300 km, a na konci vedenia sa odoberá výkon  $P_2 = 440 \text{ MW}$  pri  $\cos \varphi_2 = 0,95$ ,  $U_2 = 400 \text{ kV}$ ,  $R_1 = 0,087 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $L_1 = 0,964 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $C_1 = 12,184 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $G = 0$ . Počet vodičov vo zväzku  $n = 3$ . Riešte „ $\pi$ “ článkom.

$$Z = Z_1 \cdot l = (R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1) \cdot l = \left( \frac{R_1}{3} + j \cdot X_1 \right) \cdot l =$$

$$= \left( \frac{0,087}{3} + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,964 \cdot 10^{-3} \right) \cdot 300 = 8,7 + j \cdot 90,8 = 91,27 \cdot e^{j84,53^\circ} \Omega$$

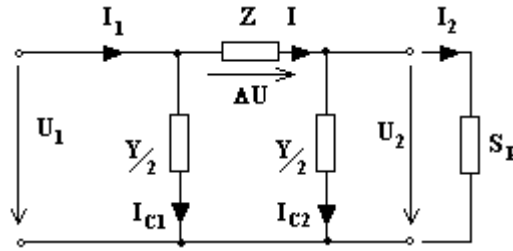
$$Y = Y_1 \cdot l = (G_1 + j \cdot \omega \cdot C_1) \cdot l = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 12,184 \cdot 10^{-9} \cdot 300 = j \cdot 1,147 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$\frac{Y}{2} = j \cdot 0,573 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_{2z} \cdot \cos \varphi_2} = \frac{440 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 668,5 \cdot e^{-j18,1^\circ} \text{ A}$$

$$\cos \varphi_2 = 0,95 \Rightarrow \varphi_2 = \arccos(0,95) = 18,1^\circ$$

$$I_2 = 668,5 \cdot e^{-j18,1^\circ} = 637,075 - j \cdot 208,74 \text{ A}$$



$$I_{c2} = U_2 \cdot \frac{Y}{2} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot j \cdot 0,573 \cdot 10^{-3} = j \cdot 132,33 \text{ A}$$

$$I = I_{c2} + I_2 = j \cdot 132,33 + 637,075 - j \cdot 208,74 = 635,835 - j \cdot 75,67 = 647,322 \cdot e^{-j \cdot 6,79^\circ} \text{ A}$$

$$\Delta U = I \cdot Z = 647,322 \cdot e^{-j \cdot 6,79^\circ} \cdot 91,27 \cdot e^{j \cdot 84,53^\circ} = 12545,76 + j \cdot 57733,68 = 59081,079 \cdot e^{j \cdot 77,74^\circ} \text{ V}$$

$$U_1 = U_2 + \Delta U = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} + 12545,76 + j \cdot 57733,68 =$$

$$= 243485,87 + j \cdot 57733,68 = 250,237 \cdot 10^3 \cdot e^{j \cdot 13,34^\circ} \text{ V}$$

$$I_{c1} = U_1 \cdot \frac{Y}{2} = 250,237 \cdot 10^3 \cdot e^{j \cdot 13,34^\circ} \cdot 0,573 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j \cdot 90^\circ} = -33,084 + j \cdot 139,521 = 143,39 \cdot e^{j \cdot 103,34^\circ} \text{ A}$$

$$I_1 = I_{c1} + I = -33,084 + j \cdot 139,521 + 635,835 - j \cdot 75,67 = 602,751 + j \cdot 63,851 = 606,124 \cdot e^{j \cdot 6,05^\circ} \text{ A}$$

$$\varphi_1 = \langle U_1 \rangle - \langle I_1 \rangle = 13,34^\circ - 6,05^\circ = 7,29^\circ$$

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1z} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = \sqrt{3} \cdot (\sqrt{3} \cdot 250,237) \cdot 606,124 \cdot \cos(7,29^\circ) = 451,346 \text{ MW}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 451,346 - 440 = 11,346 \text{ MW}$$

$$\Delta p_{\%} = \frac{\Delta P}{P_1} \cdot 100 = \frac{11,346}{451,346} \cdot 100 = 2,51 \%$$

#### Príklad 4.6

Určite presným riešením napätie a prúd na začiatku 300 km vedenia, ak  $Z_2 = Z_0$ , a vedenie je bezstratové. Ďalej sú známe parametre:  $R_1 = 0 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $L_1 = 1 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $C_1 = 12 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $G = 0$ ,  $U_2 = 400 \text{ kV}$ ,  $S_2 = S_p$ .

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z_1}{Y_1}} = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 10^{-9}}} = 288,675 \Omega$$

$$\gamma = \sqrt{Z_1 \cdot Y_1} = \sqrt{(R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1) \cdot (G_1 + j \cdot \omega \cdot C_1)} = j \cdot \omega \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1} = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \sqrt{1 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-9}}$$

$$\gamma = \beta + j \cdot \alpha$$

$$\gamma = \alpha = 1,08828 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$\alpha \cdot l = 1,08828 \cdot 10^{-3} \cdot 300 = 0,326483885 \text{ rad}$$

$$\cosh(j \cdot \alpha \cdot l) = \cos(\alpha \cdot l) = \cos(0,3264838856) = 0,9471758656$$

$$\sinh(j \cdot \alpha \cdot l) = j \cdot \sin(\alpha \cdot l) = j \cdot \sin(0,3264838856) = j \cdot 0,320714639$$

$$I_2 = \frac{U_{2f}}{Z_0} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 288,675} = 800 \text{ A}$$



$$\begin{aligned}
U_1 &= U_2 \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + I_2 \cdot Z_0 \cdot \sinh(\gamma \cdot l) = \\
&= \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 0,947176 + 800 \cdot 288,675 \cdot j \cdot 0,3207146 = \\
&= 218740,9274 + j \cdot 74065,83875 = 230940,126 \cdot e^{j18,706^\circ} \text{ V}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_1 &= \frac{U_2}{Z_0} \cdot \sinh(\gamma \cdot l) + I_2 \cdot \cosh(\gamma \cdot l) = \\
&= \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 288,675} \cdot 0,3207146 + 800 \cdot 0,947176 = 757,7408 + j \cdot 256,5718 = 800 \cdot e^{j18,706^\circ} \text{ A}
\end{aligned}$$

#### Príklad 4.7

Určite presným riešením napätie a prúd na začiatku 300 km vedenia, ak predpokladáme na konci vedenia  $Z_2 = Z_0$ . Ďalej sú známe parametre:  
 $R_1 = 0,03 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $L_1 = 1 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $C_1 = 12 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $G = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ S} \cdot \text{km}^{-1}$ ,  
 $U = U_2 = 400 \text{ kV}$ ,  $U_{2f} = 230 \text{ kV}$ ,  $S_2 = S_p$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ .

$$Z_1 = R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1 = 0,03 + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0,03 + j \cdot 0,31416 = 0,315589 \cdot e^{j84,545^\circ} \Omega$$

$$\begin{aligned}
Y_1 &= G_1 + j \cdot \omega \cdot C_1 = 1,5 \cdot 10^{-8} + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 12 \cdot 10^{-9} = \\
&= 1,5 \cdot 10^{-8} + j \cdot 3,7699 \cdot 10^{-6} = 3,76993 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j89,772^\circ} \text{ S}
\end{aligned}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z_1}{Y_1}} = \sqrt{\frac{0,315589 \cdot e^{j84,545^\circ}}{3,76993 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j89,772^\circ}}} = 289,33 \cdot e^{-j2,6135^\circ} = 289,029 - j \cdot 13,193 \Omega$$

$$\begin{aligned}
\gamma &= \sqrt{Z_1 \cdot Y_1} = \sqrt{0,315589 \cdot e^{j84,545^\circ} \cdot 3,76993 \cdot 10^{-6} \cdot e^{j89,772^\circ}} = 1,0907559 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j87,1585^\circ} = \\
&= 5,407226 \cdot 10^{-5} - j \cdot 1,089415 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \cdot \text{km}^{-1}
\end{aligned}$$

$$\gamma \cdot l = \beta \cdot l + j \cdot \alpha \cdot l = 0,01622 - j \cdot 0,32682 \text{ rad} \quad \alpha \cdot l = 0,32682 \text{ rad} = 18,7254^\circ$$

$$\cosh(j \cdot \alpha \cdot l) = \cos(\alpha \cdot l) \quad \sinh(j \cdot \alpha \cdot l) = j \cdot \sin(\alpha \cdot l)$$

$$\begin{aligned}
\cosh(\gamma \cdot l) &= \cosh(\beta \cdot l + j \cdot \alpha \cdot l) = \\
&= \cosh(\beta \cdot l) \cdot \cosh(j \cdot \alpha \cdot l) + \sinh(\beta \cdot l) \cdot \sin(j \cdot \alpha \cdot l) = \\
&= \cosh(\beta \cdot l) \cdot \cos(\alpha \cdot l) + j \cdot \sinh(\beta \cdot l) \cdot \sin(\alpha \cdot l) = \\
&= \cosh(0,01622) \cdot \cos(18,7254^\circ) + j \cdot \sinh(0,01622) \cdot \sin(18,7254^\circ) = \\
&= X + j \cdot Y = 0,9472055 \cdot e^{j0,31503^\circ}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sinh(\gamma \cdot l) &= \sinh(\beta \cdot l + j \cdot \alpha \cdot l) = \\
&= \sinh(\beta \cdot l) \cdot \cosh(j \cdot \alpha \cdot l) + \cosh(\beta \cdot l) \cdot \sin(j \cdot \alpha \cdot l) = \\
&= \sinh(\beta \cdot l) \cdot \cos(\alpha \cdot l) + j \cdot \cosh(\beta \cdot l) \cdot \sin(\alpha \cdot l) = \\
&= \sinh(0,01622) \cdot \cos(18,7254^\circ) + j \cdot \cosh(0,01622) \cdot \sin(18,7254^\circ) = \\
&= X + j \cdot Y = 0,32144685 \cdot e^{j87,2605^\circ}
\end{aligned}$$

$$\mathbf{Z}_2 = \frac{U_2^2}{S_p} \Rightarrow S_p = \frac{U_2^2}{\mathbf{Z}_2} = \frac{U_2^2}{\mathbf{Z}_0}$$

$$S_p = \frac{U_2^2}{\mathbf{Z}_2} = \frac{U_2^2}{\mathbf{Z}_0} = \frac{400^2}{289,33 \cdot e^{j \cdot 3,6135^\circ}} = 553,002 \cdot e^{-j \cdot 2,6135^\circ} = 552426797 - j \cdot 25215986 \text{ MVA}$$

$$\cos \varphi = \frac{S_p}{P_p} = \frac{553,002 \cdot 10^3}{552426797} = 0,999$$

$$\mathbf{I}_2 = \frac{S_2^*}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{553,002 \cdot e^{+j \cdot 2,6135^\circ}}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10^3} = 798,19 \cdot e^{j \cdot 2,6135^\circ} \text{ A}$$

$$U_{1f} = U_{2f} \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + \mathbf{I}_2 \cdot \mathbf{Z}_0 \cdot \sinh(\gamma \cdot l) =$$

$$= \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 0,9472055 \cdot e^{j \cdot 0,31503^\circ} + 798,19 \cdot e^{j \cdot 87,2605^\circ} \cdot 289,33 \cdot e^{-j \cdot 2,6135^\circ} \cdot 0,32144685 \cdot e^{j \cdot 87,2605^\circ} =$$

$$= 2187447,74 \cdot e^{j \cdot 0,31503^\circ} + 74235,04 \cdot e^{j \cdot 87,2605^\circ} = 222292,5 + j \cdot 75352,94 = 234716,9 \cdot e^{j \cdot 18,726^\circ} \text{ V}$$

$$\mathbf{I}_1 = \frac{U_{2f}}{\mathbf{Z}_0} \cdot \sinh(\gamma \cdot l) + \mathbf{I}_2 \cdot \cosh(\gamma \cdot l) =$$

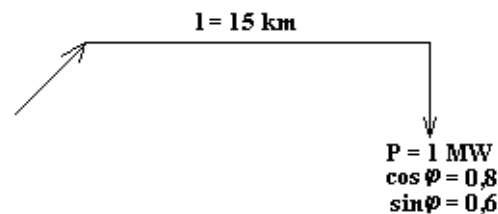
$$= \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 289,33 \cdot e^{-j \cdot 2,6135^\circ}} \cdot 0,32144685 \cdot e^{j \cdot 87,2605^\circ} + 798,19 \cdot e^{j \cdot 2,6135^\circ} \cdot 0,9472055 \cdot e^{j \cdot 0,31503^\circ} =$$

$$= 756,05 \cdot e^{j \cdot 2,6135^\circ} + 256,575 \cdot e^{j \cdot 89,874^\circ} = 755,83 + j \cdot 291,05 = 809,929 \cdot e^{j \cdot 21,06^\circ} \text{ A}$$

## 5 KOMPENZÁCIA VEDENÍ

### Príklad 5.1

Kompenzujte reaktanciu 6 kV vedenia sériovým kondenzátorom tak aby sa úbytok napätia zmenšil na 1/3 hodnoty úbytku napätia nekompenzovaného vedenia. Kondenzátor umiestnite tak, aby bola zaistená čo najväčšia stálosť napätia pozdĺž vedenia. Parametre vedenia sú:  $R_1 = 0,61 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $X_1 = 0,35 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ .



$$R = R_1 \cdot l = 0,61 \cdot 15 = 9,15 \Omega$$

$$X = X_1 \cdot l = 0,35 \cdot 15 = 5,25 \Omega$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{1 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 120,281 \text{ A}$$

úbytok napätia pred kompenzáciou:

$$\Delta u = R \cdot I_c + X \cdot I_j$$

$$\Delta u = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi = 9,15 \cdot 120,281 \cdot 0,8 + 5,25 \cdot 120,281 \cdot 0,6 = 1259,34 \text{ V}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta u}{U} \cdot 100 = \frac{1259,34}{\frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}} \cdot 100 = 36,35 \%$$

úbytok napätia po kompenzácii:

$$\Delta u_K = \frac{1}{3} \cdot \Delta u = \frac{1}{3} \cdot 1259,34 = 419,781 \text{ V}$$

$$\Delta u_{K\%} = \frac{\Delta u_K}{U} \cdot 100 = \frac{419,781}{\frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}} \cdot 100 = 12,12 \%$$

$$\Delta u_K = R \cdot I \cdot \cos \varphi + (X - X_C) \cdot I \cdot \sin \varphi = R \cdot I \cdot \cos \varphi + k \cdot X \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$\text{kde: } k = \frac{X - X_C}{X}$$

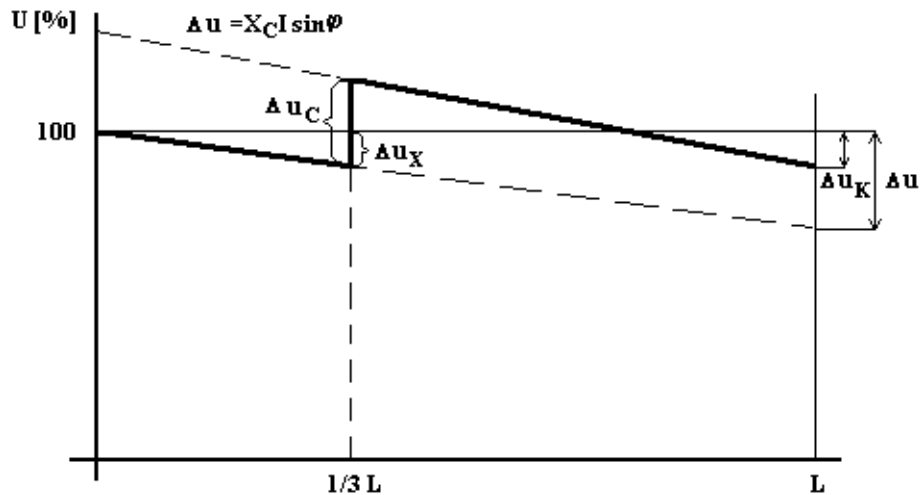
$$\Rightarrow k \cdot X \cdot I \cdot \sin \varphi = \Delta u_K - R \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$k = \frac{\Delta u_K - R \cdot I \cdot \cos \varphi}{X \cdot I \cdot \sin \varphi} = \frac{419,78 - 9,15 \cdot 120,281 \cdot 0,8}{5,25 \cdot 120,281 \cdot 0,8} = -1,2159$$

$$X_C = -k \cdot X + X = X \cdot (1 - k) = 5,25 \cdot (1 + 1,2159) = 11,633 \Omega$$

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 11,633} = 273,627 \mu\text{F}$$

Najväčšia stálosť napätia sa zaistí, ak kondenzátor umiestnime do 1/3 vzdialenosti od začiatku vedenia.



Na konci vedenia je napätie  $U_K$ .

$$U_{Kf} = \frac{U_N}{\sqrt{3}} + \Delta u_C - \Delta u = \frac{U_N}{\sqrt{3}} + X_C \cdot I \cdot \sin \varphi - (R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi)$$

$$U_{Kf} = \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} + 11,633 \cdot 120,281 \cdot 0,6 - 1259,34 = 3044,299 \text{ V}$$

$$U_{Kz} = \sqrt{3} \cdot U_{Kf} = \sqrt{3} \cdot 3044,299 = 5272,88 \text{ V}$$

$$\Delta u_{Kf} = 419,78 \text{ V} \quad \Delta u_{Kz} = 727,08 \text{ V}$$

$$\Delta u_z = \sqrt{3} \cdot \Delta u_f = \sqrt{3} \cdot 1259,34 = 2181,24 \text{ V}$$

$$\Delta u_{Kz} = \frac{1}{3} \cdot \Delta u_z = 727,08 \text{ V}$$

všeobecne:  $\Delta u_x = \frac{\Delta u_C}{2}$

$$\Delta u \cdot l_x = \frac{\Delta u_C \cdot l}{2}$$

$$\frac{1259,34}{15} \cdot l_x = 419,78$$

$$l_x = 5 \text{ km}$$

### Príklad 5.2

Je dané 400 kV vedenie nasledovných parametrov:  $3 \times 3 \times 350$  AlFe 6;

$L_1 = 0,9675 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $C_1 = 12 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $l = 500 \text{ km}$ .

Vypočítajte  $U_2$ ,  $I_1$  a nabíjaci výkon  $Q_c$  pri chode naprázdno za predpokladu, že  $U_{1z} = 420 \text{ kV}$  ( $R$  zanedbajte).

Navrhňte kompenzáciu chodu naprázdno pri zachovaní podmienky  $U_{2z} = 440 \text{ kV}$ . Tlmičku treba zapojiť na koniec vedenia.

$$I_2 = 0$$

$$U_2 = \frac{U_1}{A} \quad \gamma = \sqrt{Z_1 \cdot Y_1} = \sqrt{j \cdot \omega \cdot L \cdot j \cdot \omega \cdot C} = j \cdot \omega \cdot \sqrt{L \cdot C} = j \cdot \alpha$$

$$\alpha = \omega \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1} = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \sqrt{0,9675 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-9}} = 1,07045 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$\alpha \cdot l = 0,53522 \text{ rad}$$

$$A = \cosh(j \cdot \alpha \cdot l) = \cos(\alpha \cdot l) = 0,860156$$

$$U_2 = \frac{U_1}{A} = \frac{420}{0,86017} = 488,2832 \text{ kV}$$

$$Z_v = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \sqrt{\frac{0,9675 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 10^{-9}}} = 283,945 \Omega$$

$$I_1 = C \cdot U_2 \quad C = j \cdot \frac{1}{Z_v} \cdot \sin(\alpha \cdot l) = j \cdot \frac{1}{283,945} \cdot \sin(0,53522) = j \cdot 1,79623 \cdot 10^{-3}$$

$$I_1 = C \cdot U_2 = j \cdot 1,79623 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{488,2832 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = j \cdot 0,50638 \text{ kA}$$

$$|I_1| = 0,50638 \text{ kA} \quad = \text{nabíjací prúd naprázdno, lebo } G = 0$$

$$\text{Nabíjací výkon: } Q_c = \sqrt{3} \cdot 420 \cdot 0,50638 \cdot 10^3 = 368,368 \text{ MVAr}$$

Kompenzácia chodu naprázdno:

$$U_1 = A \cdot U_2 + B \cdot I_2$$

$$B = j \cdot Z_v \cdot \sin(\alpha \cdot l) = j \cdot 281,36 \cdot \sin(0,53522) = j \cdot 144,823311$$

$$420 = 0,86017 \cdot 440 + j \cdot 144,82331 \cdot \sqrt{3} \cdot (-j) \cdot I_2$$

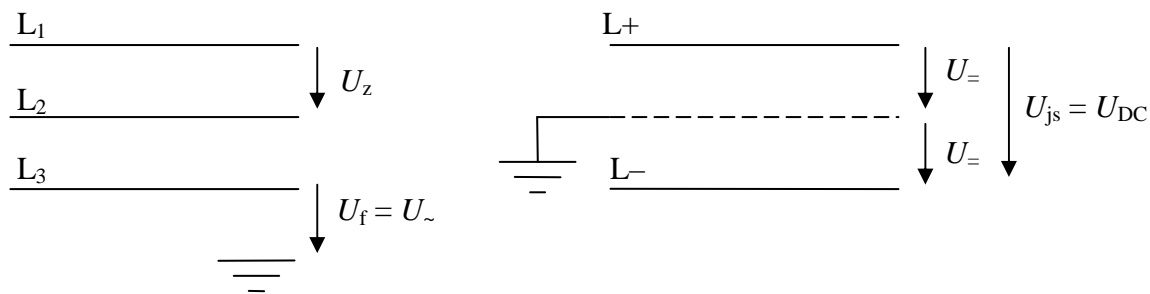
$$420 - 378,466 = 250,54433 \cdot I_2$$

$$I_2 = \frac{41,534}{250,54433} = 0,16578 \text{ kA}$$

Výkon tlmivky:

$$Q_u = 3 \cdot \frac{440}{\sqrt{3}} \cdot 0,16578 = 126 \text{ MVAr}$$

## 6 JEDNOSMERNÉ PRENOSY



### Príklad 6.1

$$P_{js} = P_{DC} = ?$$

Aká je prenosová schopnosť jednosmerného prenosu s napätím blízky kritickému napätiu koróny, ak prenosová schopnosť striedavého prenosu s napätím blízky kritickému napätiu je 500 MVA?

$$I_{js} = \frac{I_{\sim}}{0,95}$$

$$U_{k\sim} = k \cdot r \cdot \log \frac{d}{r}$$

$$U_{k=} = 2 \cdot k \cdot r \cdot \log \frac{d}{r}$$

$$\frac{U_{k\sim}}{U_{k=}} = \frac{1}{2} \quad U_{k\sim} = U_f = \frac{U_z}{\sqrt{3}} \quad U_{k=} = U_+ = \frac{U_{js}}{2} \Rightarrow U_{js} = 2 \cdot U_{k=}$$

$$U_{js} = 2 \cdot U_{k=} = 2 \cdot 2 \cdot U_{k\sim} = 4 \cdot \frac{U_z}{\sqrt{3}}$$

$$U_{k=} = 2 \cdot U_{k\sim}$$

Zaťažiteľnosť pri striedavom je nižšia,  $I_{js} = \frac{I_{\sim}}{0,95}$

$S_{st} = \sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_{\sim}$  – výkon pri striedavom prúde

$$P_{js} = U_{js} \cdot I_{js} = 4 \cdot \frac{U_z}{\sqrt{3}} \cdot \frac{I_{\sim}}{0,95} = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_{\sim}}{0,95} = \frac{4}{3 \cdot 0,95} \cdot S_{st}$$

$$P_{js} = 1,404 \cdot S = 1,404 \cdot 500 = 701,754 \text{ MW}$$

### Príklad 6.2

$$P_{js} = P_{DC} = ?$$

Aká je prenosová schopnosť jednosmerného prenosu, ak jednosmerné vedenie má rovnakú hmotnosť ako striedavé vedenie a prenosová schopnosť striedavého vedenia je 500 MVA?

$$G_{\sim} = G_{js}$$

$$3 \cdot L \cdot \pi \cdot r_{\sim}^2 \cdot \gamma = 2 \cdot L \cdot \pi \cdot r_{js}^2 \cdot \gamma$$

$$3 \cdot r_{\sim}^2 = 2 \cdot r_{js}^2 \Rightarrow r_{js} = r_{\sim} \cdot \sqrt{\frac{3}{2}}$$

$$r_{\sim} = r_{js} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}};$$

Ak je väčší polomer, môže byť väčšie aj napätie.

Kritické napätie koróny je lineárne závislé od polomeru vodiča, takže je možné zvýšiť napätie jednosmerného prenosu.

$$\frac{U_{k\sim}}{U_{k=}} = \frac{k \cdot r_{\sim} \cdot \log \frac{d}{r_{\sim}}}{2 \cdot k \cdot r_{js} \cdot \log \frac{d}{r_{js}}} = \frac{r_{js} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \log \frac{d}{r_{js} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}}}{2 \cdot r_{js} \cdot \log \frac{d}{r_{js}}} = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}}}{2} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}$$

sa zanedbá

Nebude rovnaký prierez, ale bude rovnaká hustota prúdu.

$$\sigma = \frac{I_{\sim}}{A_{\sim}} = \frac{I_{js}}{A_{js}}$$

$$I_{js} = I_{\sim} \cdot \frac{A_{js}}{A_{\sim}} = I_{\sim} \cdot \frac{\pi \cdot r_{js}^2}{\pi \cdot r_{\sim}^2} = I_{\sim} \cdot \frac{r_{js}^2}{\frac{2}{3} \cdot r_{js}^2} = I_{\sim} \cdot \frac{3}{2} = 1,5 \cdot I_{\sim}$$

Prenosové schopnosti pri jednosmernom prenose:

$$P_{js} = U_{js} \cdot I_{js}$$

$$\text{Ak } U_{k\sim} = U_{k=} ; U_{k\sim} = \frac{U_{k=}}{\sqrt{3}} ; U_{k=} = U_{=} = \frac{U_{js}}{2}$$

$$\frac{U_{k\sim}}{U_{k=}} = \frac{U_{k\sim}}{U_{js}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \Rightarrow U_{js} = \frac{2 \cdot U_{k\sim} \cdot 2}{\sqrt{\frac{2}{3}}} = \frac{4 \cdot U_z}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}} = \frac{4}{\sqrt{2}} \cdot U_z$$

$$P_{js} = U_{js} \cdot I_{js} = \frac{4}{\sqrt{2}} \cdot U_z \cdot 1,5 \cdot I_{\sim} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} = \frac{4 \cdot 1,5}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3}} \cdot S_{\sim} = 2,45 \cdot S_{\sim}$$

$$P = 2,45 \cdot 500 = 1225 \text{ MW}$$

### Príklad 6.3

$$P_{js} = P_{DC} = ?$$

Aká je prenosová schopnosť jednosmerného prenosu, ak prenosová schopnosť striedavého prenosu je  $S = 500 \text{ MVA}$  pri rovnakých izolačných hladinách ( $U_r$ ) a prierezoch?

Skúšobné rázové napätie  $U_r$ .

$$U_f = \frac{1}{4} \cdot U_r \quad U_{=} = \frac{U_r}{1,7}$$

$$4 \cdot U_f = 1,7 \cdot U_{=}$$

$$4 \cdot U_f = 1,7 \cdot \frac{U_{js}}{2}$$

$$U_{js} = \frac{2}{1,7} \cdot 4 \cdot U_f$$

$$U_{js} = \frac{2}{1,7} \cdot 4 \cdot \frac{U_z}{\sqrt{3}} = 2,72 \cdot U_z$$

$$I_{js} = \frac{I_{\sim}}{0,95}$$

$$P_{js} = U_{js} \cdot I_{js} = 2,72 \cdot U_z \cdot \frac{I_{\sim}}{0,95} = 1,653 \cdot S$$

$$P_{js} = 1,653 \cdot 500 = 826,5 \text{ MW}$$



#### Príklad 6.4

$$\Delta P_{js} = \Delta P_{DC} = ?$$

Aké sú straty výkonu pri jednosmernom a striedavom prenose s napätím blízky kritickému napätiu koróny, ak sa prenáša rovnaký výkon pri striedavom aj jednosmernom prenose  $S_N = 500 \text{ MVA}$ ,  $\cos \varphi = 0,95$ ,  $R = 0,03 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $l = 200 \text{ km}$ ,  $U_z = 400 \text{ kV}$ . Aký je pomer strát?

$$\Delta P_{\sim} = 3 \cdot R_{\sim} \cdot I_{\sim}^2 = 3 \cdot R \cdot \left( \frac{I_W}{\cos \varphi} \right)^2$$

$$\Delta P_{js} = 2 \cdot R_{js} \cdot I_{js}^2$$

$$P_{\sim} = P_{js}; U_{js} \neq U_z$$

$$P_{\sim} = \sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_{\sim} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_W; P_{js} = U_{js} \cdot I_{js} \Rightarrow U_{js} \cdot I_{js} = \sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_W$$

$$I_{js} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_W}{U_{js}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_W}{\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot U_z} = \frac{3}{4} \cdot I_W$$

$$\text{Pre rovnaké kritické napätie koróny } U_{js} = \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot U_z;$$

$$\Delta P_{js} = 2 \cdot R_{js} \cdot I_{js}^2 = 2 \cdot R_{js} \cdot \left( \frac{3}{4} \right)^2 \cdot I_W^2 = \frac{9}{8} \cdot R_{js} \cdot I_W^2$$

$$\Delta P_{\sim} = 3 \cdot R_{\sim} \cdot \frac{I_W^2}{\cos^2 \varphi}$$

$$R_{\sim} = R_{js}; I_{\sim} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_z} = \frac{500 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10^3} = 721,687 \text{ A}$$

$$I_W = I_{\sim} \cdot \cos \varphi = 721,687 \cdot 0,95 = 685,6 \text{ A}$$

$$\Delta P_{\sim} = 3 \cdot 0,03 \cdot 200 \cdot (721,687)^2 = 9,375 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{js} = \frac{9}{8} \cdot R_{js} \cdot I_W^2 = \frac{9}{8} \cdot 0,03 \cdot 200 \cdot (685,6)^2 = 3,173 \text{ MW}$$

$$\frac{\Delta P_{js}}{\Delta P_{\sim}} = \frac{3}{8} \cdot \cos^2 \varphi = 0,95^2 \cdot \frac{3}{8} = 0,338; \frac{\Delta P_{js}}{\Delta P_{\sim}} = \frac{3,173}{9,375} = 0,338$$

### Príklad 6.5

$$\Delta P_{js} = \Delta P_{DC} = ?$$

Aké sú straty výkonu pri jednosmernom a striedavom prenose, ak jednosmerné vedenie má rovnakú hmotnosť ako striedavé vedenie a prenáša sa rovnaký výkon pri oboch vedeniach. Aký je pomer strát?

$$S_N = 500 \text{ MVA}, \cos \varphi = 0,95, R = 0,03 \Omega \cdot \text{km}^{-1}, l = 200 \text{ km}, U_z = 400 \text{ kV}.$$

$$\Delta P_{js} = ?, \Delta P_{\sim} = ?$$

$$P_{js} = P_{\sim}$$

$$U_{js} \cdot I_{js} = \sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_w$$

$$I_{js} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_w}{U_{js}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_w}{\frac{4}{\sqrt{2}} \cdot U_z} = \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot U_z \cdot I_w}{4} = \frac{\sqrt{6}}{4} \cdot U_z \cdot I_w, U_{js} = \frac{4}{\sqrt{2}} \cdot U_z$$

$$G_{\sim} = G_{js}$$

$$3 \cdot L \cdot \pi \cdot r_{\sim}^2 \cdot \gamma = 2 \cdot L \cdot \pi \cdot r_{js}^2 \cdot \gamma$$

$$3 \cdot r_{\sim}^2 = 2 \cdot r_{js}^2$$

$$r_{\sim} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot r_{js}$$

$$R_{js} = \rho \cdot \frac{l}{A_{js}} = \rho \cdot \frac{l}{\pi \cdot r_{js}^2} = \rho \cdot \frac{l}{\pi \cdot r_{\sim}^2 \cdot \frac{3}{2}} = \rho \cdot \frac{l}{\pi \cdot r_{\sim}^2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{2}{3} \cdot R_{\sim}$$

$$\Delta P_{js} = 2 \cdot R_{js} \cdot I_{js}^2 = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot R_{\sim} \cdot \left( \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2}}{4} \cdot I_w \right)^2 = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2}{3 \cdot 16} \cdot R_{\sim} \cdot I_w^2 = \frac{1}{2} \cdot R_{\sim} \cdot I_w^2$$

$$I_{\sim} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_z} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 400} = 721,687 \text{ A}, I_w = \cos \varphi \cdot I_{\sim} = 0,95 \cdot 721,687 = 685,603 \text{ A}$$

$$\Delta P_{\sim} = 3 \cdot R_{\sim} \cdot I_{\sim}^2 = 3 \cdot 0,03 \cdot 200 \cdot 721,687^2 = 9,375 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{js} = \frac{1}{2} \cdot R_{\sim} \cdot I_w^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,03 \cdot 200 \cdot 685,603^2 = 1,41 \text{ MW}$$

Pomer strát:

$$\frac{\Delta P_{js}}{\Delta P_{\sim}} = \frac{1,41}{9,375} = 0,1504$$

$$\frac{\Delta P_{js}}{\Delta P_{\sim}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot R_{\sim} \cdot I_w^2}{3 \cdot R_{\sim} \cdot \left( \frac{I_w}{\cos \varphi} \right)^2} = \frac{1}{6} \cdot \cos^2 \varphi = 0,1504$$

### Príklad 6.6

$$\Delta P_{js} = \Delta P_{DC} = ?$$

Aké sú výkonové straty jednosmerného prenosu, ak predpokladáme rovnaké izolačné hladiny a rovnaký prierez ako pri striedavom prenose? Prenáša sa rovnaký výkon obidvoma vedeniami.

$$S_N = 500 \text{ MVA}, \cos \varphi = 0,95, R_{\sim} = R_{js} = 0,03 \Omega \cdot \text{km}^{-1}, l = 200 \text{ km}, U_z = 400 \text{ kV}.$$

**Riešenie:**

$$P_{js} = P_{\sim}$$

$$U_{js} \cdot I_{js} = \sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_w$$

$$I_{js} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_w}{U_{js}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_w}{\frac{2 \cdot 4}{1,7 \cdot \sqrt{3}} \cdot U_z} = \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot 1,7}{2 \cdot 4} \cdot I_w = 0,6375 \cdot I_w$$

$$\text{Pre rovnaké izolačné hladiny } U_{js} = \frac{2 \cdot 4}{1,7 \cdot \sqrt{3}} \cdot U_z$$

$$\text{Pre rovnaký prierez } A_n = A_{js} \text{ potom } R = R_{js} = R_{\sim}$$

$$\Delta P_{js} = 2 \cdot R_{js} \cdot I_{js}^2 = 2 \cdot R \cdot 0,6375^2 \cdot I_w^2 = 0,8128 \cdot R \cdot I_w^2$$

$$\Delta P_{\sim} = 3 \cdot R \cdot I_{\sim}^2$$

$$I_{\sim} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_z} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 400} = 721,687 \text{ A}; \quad I_w = I_{\sim} \cdot \cos \varphi = 685,603 \text{ A}$$

$$\Delta P_{js} = 0,8128 \cdot 0,03 \cdot 200 \cdot 685,603^2 = 2,2923 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{\sim} = 3 \cdot 0,03 \cdot 200 \cdot 721,687^2 = 9,375 \text{ MW}$$

$$\frac{\Delta P_{js}}{\Delta P_{\sim}} = \frac{2,2923}{9,375} = 0,2445$$

$$\frac{\Delta P_{js}}{\Delta P_{\sim}} = \frac{0,8128 \cdot R \cdot I_w^2}{3 \cdot R \cdot \left( \frac{I_w}{\cos \varphi} \right)^2} = \frac{0,8128}{3} \cdot \cos^2 \varphi = 0,270933 \cdot \cos^2 \varphi = 0,2445$$

### Príklad 6.7

$$\Delta U_{js} = \Delta U_{DC} = ?$$

Aký je úbytok napätia jednosmerného prenosu pri prevádzke s napätím blízky kritickému napätiu koróny, ak poznáme pomery striedavého prenosu?

$$S_{\sim} = 500 \text{ MVA}, \cos \varphi = 0,95, R = 0,03 \Omega \cdot \text{km}^{-1}, l = 200 \text{ km}, X_L = 0,3 \Omega \cdot \text{km}^{-1}, U_z = 400 \text{ kV}.$$

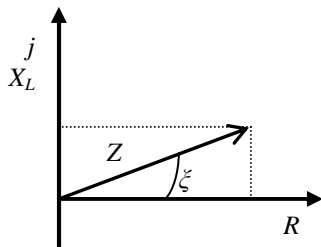
**Riešenie:**

$$\Delta U_{\sim} = R_{\sim} \cdot I_w + X_L \cdot I_L \qquad \Delta U_{js} = 2 \cdot R_{js} \cdot I_{js}$$

$$R = R_{js} = R_{\sim} \qquad U_{js} \neq U_{\sim} \qquad I_{js} = \frac{3}{4} \cdot I_w \quad \text{ak } P_{\sim} = P_{js}$$

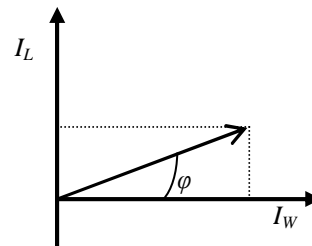
$$\Delta U_{js} = 2 \cdot R_{js} \cdot I_{js} = 2 \cdot R_{js} \cdot \frac{3}{4} \cdot I_w = \frac{3}{2} \cdot R \cdot I_w$$

$$\frac{U_{\sim}}{U_{js}} = \frac{R \cdot I_w + X_L \cdot I_L}{\frac{3}{2} \cdot R \cdot I_w} = \frac{2}{3} \cdot \left( 1 + \frac{X_L \cdot I_L}{R \cdot I_w} \right) = \frac{2}{3} \cdot (1 + \text{tg } \xi \cdot \text{tg } \varphi)$$



$$\text{tg } \xi = \frac{X_L}{R} = \frac{0,3}{0,03} = 10$$

$$\xi = 84,289^\circ$$



$$\cos \varphi = 0,95$$

$$\varphi = 18,195^\circ$$

$$\text{tg}(18,195) = 0,3287$$

$$I = \frac{S_{\sim}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{500 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 721,688 \text{ A}$$

$$I_w = I \cdot \cos \varphi = 721,69 \cdot 0,95 = 685,603 \text{ A}$$

$$I_L = I \cdot \sin \varphi = 721,69 \cdot 0,31225 = 225,348 \text{ A} \qquad \text{tg } \varphi = \frac{I_L}{I_w} = 0,3287$$

$$\Delta U_{js} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{(1 + \text{tg } \xi \cdot \text{tg } \varphi)} \cdot \Delta U_{\sim} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{(1 + 10 \cdot 0,3287)} \cdot \Delta U_{\sim} = 0,35 \cdot 17634,5 = 6170,22 \text{ V}$$

$$\Delta U_{\sim} = R \cdot I_w + X_L \cdot I_L = 0,03 \cdot 200 \cdot 685,603 + 0,3 \cdot 200 \cdot 225,348 = 4113,618 + 13520,88 = 17634,5 \text{ V}$$

### Príklad 6.8

Aký je úbytok napätia jednosmerného prenosu za predpokladu rovnakej hmotnosti vedenia ako má vedenie striedavého prenosu? Porovnajme úbytky napätí. Vedeniami sa prenáša rovnaký výkon.

$S_{\sim} = 500 \text{ MVA}$ ,  $\cos \varphi = 0,95$ ,  $R = 0,03 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $l = 200 \text{ km}$ ,  $X_L = 0,3 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $U_z = 400 \text{ kV}$ .

**Riešenie:**

$$R_{js} \neq R_{\sim} \quad P_{\sim} = P_{js} \Rightarrow I_{js} = \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2}}{4} \cdot I_W \quad R_{js} = \frac{2}{3} \cdot R_{\sim}$$

$$\Delta U_{js} = 2 \cdot R_{js} \cdot I_{js} = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot R_{\sim} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2}}{4} \cdot I_W = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot R_{\sim} \cdot I_W$$

$$\frac{\Delta U_{\sim}}{\Delta U_{js}} = \frac{R_{\sim} \cdot I_W + X_L \cdot I_L}{\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot R_{\sim} \cdot I_W} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \cdot \left( 1 + \frac{X_L \cdot I_L}{R_{\sim} \cdot I_W} \right) = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \cdot (1 + \text{tg } \xi \cdot \text{tg } \varphi)$$

$$\text{tg } \xi = 10$$

$$\text{tg } \varphi = 0,3287 \quad \Delta U_{js} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3} \cdot (1 + 10 \cdot 0,3287)} \cdot \Delta U_{\sim}$$

$$I_W = 685,603 \text{ A}$$

$$\Delta U_{js} = 0,1905 \cdot 17634,5 = 3359,4 \text{ V}$$

$$I_L = 225,348 \text{ A}$$

$$\Delta U_{\sim} = 17634,5 \text{ V}$$

### Príklad 6.9

Aký je úbytok napätia jednosmerného prenosu pri rovnakých izolačných hladinách a prierezoch jednosmerného a striedavého prenosu? Vedeniami sa prenáša rovnaký výkon.

**Riešenie:**

$$r_{js} = r_{\sim}; R_{js} = R_{\sim}$$

$$P_{js} = P_{\sim} \Rightarrow I_{js} = \frac{3 \cdot 1,7}{8} \cdot I_w$$

$$\Delta U_{js} = 2 \cdot R_{js} \cdot I_{js} = 2 \cdot R_{\sim} \cdot \frac{3 \cdot 1,7}{8} \cdot I_w = \frac{3 \cdot 1,7}{4} \cdot R_{\sim} \cdot I_w$$

$$\frac{\Delta U_{\sim}}{\Delta U_{js}} = \frac{R_{\sim} \cdot I_w + X_L \cdot I_L}{\frac{3 \cdot 1,7}{4} \cdot R_{\sim} \cdot I_w} = \frac{4}{3 \cdot 1,7} \cdot (1 + \operatorname{tg} \xi \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

$$\Delta U_{js} = \frac{3 \cdot 1,7}{4 \cdot (1 + \operatorname{tg} \xi \cdot \operatorname{tg} \varphi)} \cdot \Delta U_{\sim} = \frac{5,1}{4 \cdot (1 + 10 \cdot 0,3287)} \cdot \Delta U_{\sim} = 0,2974 \cdot \Delta U_{\sim}$$

$$\Delta U_{\sim} = 17634,5 \text{ V}$$

$$\Delta U_{js} = 0,2974 \cdot 17634,5 = 5244,7 \text{ V}$$