

KOMPENZACE PŘI KONSTANTNÍM ČINNÉM VÝKONU

Před kompenzací $Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi$

Po kompenzaci $Q_k = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_k \cdot \sin \varphi_k \quad (\text{VAr}; \text{V}, \text{A})$

Kompenzační výkon

$$Q_c = Q - Q_k = \sqrt{3} \cdot U \cdot (I \cdot \sin \varphi - I_k \cdot \sin \varphi_k) \quad (\text{VAr}; \text{V}, \text{A})$$

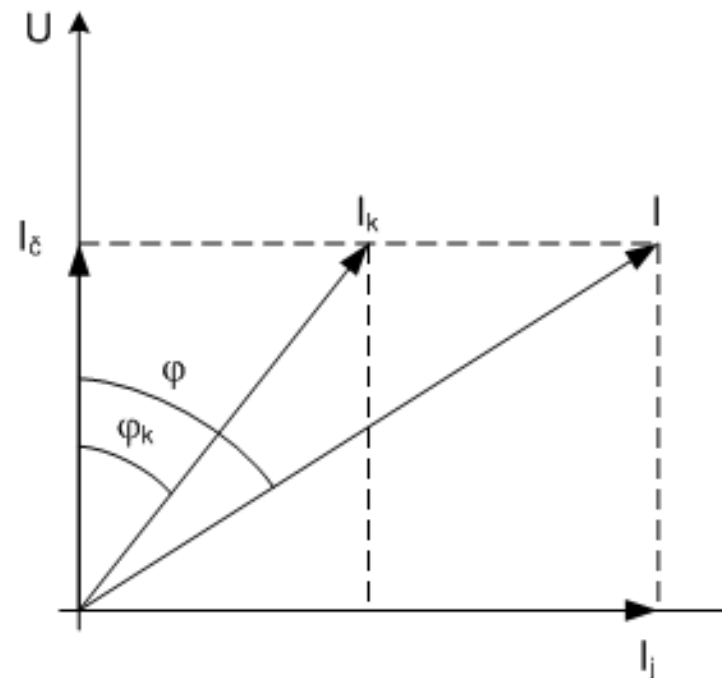
$$I_{\check{c}} = I \cdot \cos \varphi = I_k \cdot \cos \varphi_k$$

Velikost kapacity

$$I_{\text{kap}} = \frac{U}{X_{\text{kap}}} = U \cdot \omega \cdot C \quad (\text{A}; \text{V}, \Omega)$$

$$Q_c = Q_{\text{kap}} = \omega \cdot C \cdot U^2$$

$$C = \frac{Q_c}{\omega \cdot U^2} \quad (\text{F}; \text{VAr}, \text{s}^{-1}, \text{V})$$



KOMPENZACE PŘI KONSTANTNÍM ZDÁNLIVÉM VÝKONU

Před kompenzací $Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi$

Po kompenzaci $Q_k = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi_k \quad (\text{VAr}; \text{V}, \text{A})$

Kompenzační výkon

$$Q_c = Q - Q_k = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot (\sin \varphi - \sin \varphi_k)$$

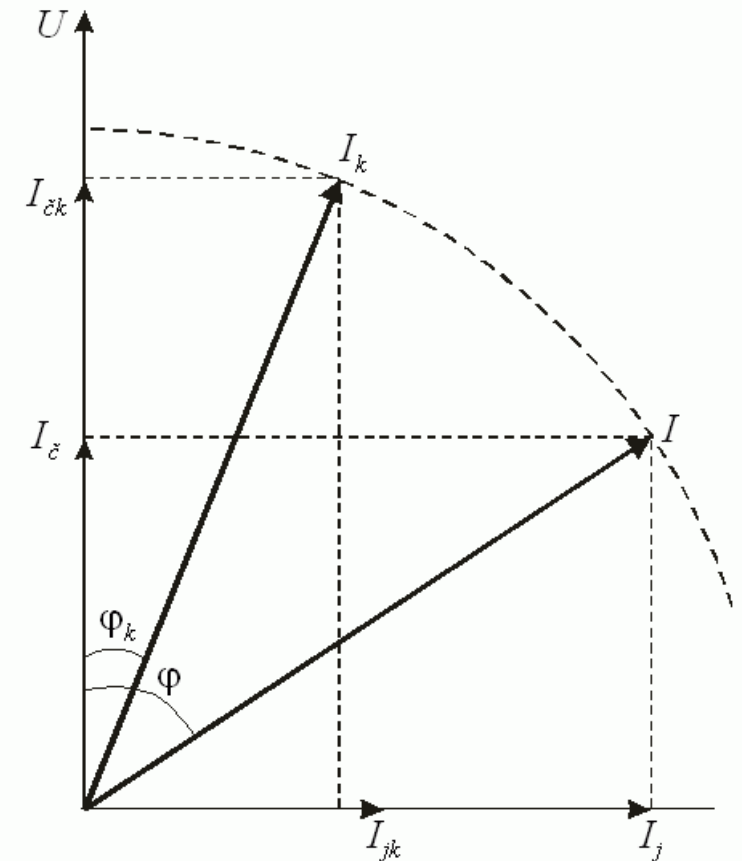
$$I_{\check{k}} = I_k \cdot \cos \varphi_k$$

Nárůst činného výkonu

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

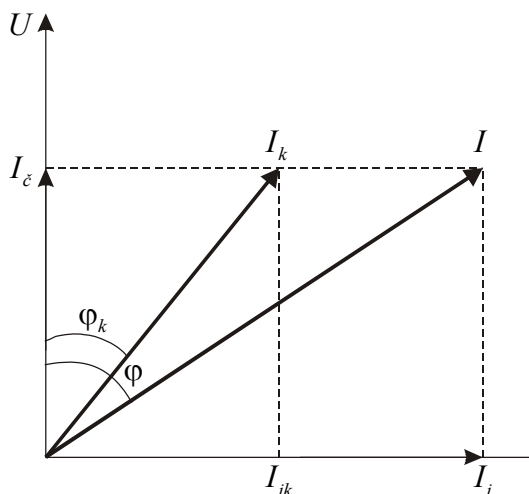
$$P_k = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi_k$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_k - P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot (\cos \varphi_k - \cos \varphi) = \\ &= S \cdot (\cos \varphi_k - \cos \varphi) \quad (\text{W}; \text{V}, \text{A}) \end{aligned}$$



KOMPENZACE JALOVÉHO VÝKONU - PŘÍKLAD

1. Průmyslový závod odebírá činný výkon $P = 1280 \text{ kW}$ při účinníku $\cos \varphi = 0,76$. Určete odebraný zdánlivý výkon a vypočítejte, na jakou hodnotu se zlepší účinník, když přidáme kompenzační kondenzátorovou baterii o velikosti $Q_c = 550 \text{ kVar}$.



obr. 1

Fázorový diagram poměrů při kompenzaci

Zdánlivý výkon určíme ze vztahu:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{1280}{0,76} = 1684 \text{ kVA} . \quad (0.1)$$

Hodnotě účinníku $\cos \varphi = 0,76$ odpovídá $\sin \varphi = 0,65$, takže jalový výkon bude:

$$Q = S \cdot \sin \varphi = 1684 \cdot 0,65 \doteq 1095 \text{ kVAr} \quad (0.2)$$

Přidáním kondenzátorové baterie (viz. obr. 1) vykompenzujeme částečně jalový výkon Q na hodnotu:

$$Q_k = Q - Q_c = 1095 - 550 = 545 \text{ kVAr} . \quad (0.3)$$

Před kompenzací bude:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P} = \frac{1095}{1280} \doteq 0,86 , \quad (0.4)$$

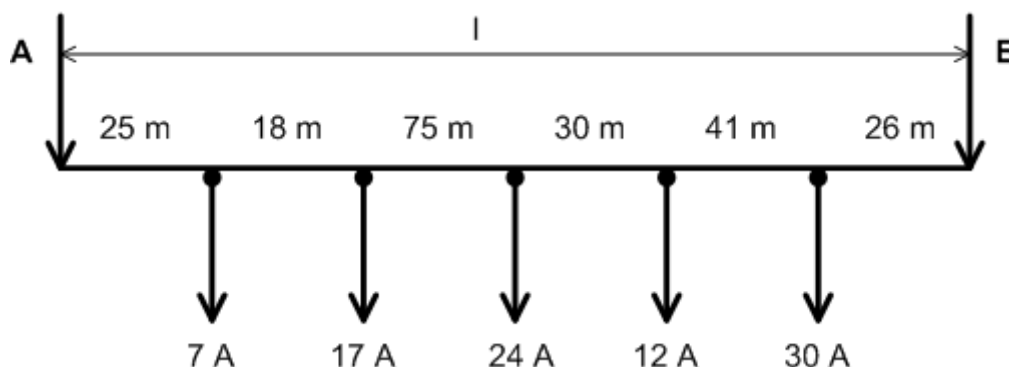
a této hodnotě odpovídá fázový úhel $\varphi \doteq 40,7^\circ$. Po provedení kompenzace dostaneme:

$$\operatorname{tg} \varphi_k = \frac{Q_k}{P} = \frac{545}{1280} \doteq 0,43 , \quad (0.5)$$

a odpovídající fázový úhel $\varphi_k \doteq 23^\circ$. Účinník po provedené kompenzaci potom bude mít hodnotu $\cos \varphi_k = 0,92$.

Jednoduchá stejnosměrná vedení

Př. 1: Stejnosměrné dvou vodičové vedení o jmenovitém napětí 220 V se napájí ze dvou stran podle obrázku. Napětí obou napáječů jsou stejná ($U_A = U_B = 231$ V). Hliníkové vodiče mají jmenovitý průřez 16 mm^2 . Jaký bude maximální úbytek napětí? Zjistěte úbytek napětí při výpadku jednoho z napáječů.



Celková délka vedení:

$$l = 25 + 18 + 75 + 30 + 41 + 26 = 215 \text{ m}$$

Součet odběrových proudů:

$$I = \sum_1^5 I_K = 7 + 17 + 24 + 12 + 30 = 90 \text{ A}$$

Proud z napáječe A (momentová věta k napáječi B):

$$I_A = \frac{\sum_1^5 I_K \cdot l_{KB}}{l} = \frac{30 \cdot 26 + 12 \cdot (41 + 26) + 24 \cdot (30 + 41 + 26) + 17 \cdot (75 + 30 + 41 + 26) + 7 \cdot (18 + 75 + 30 + 41 + 26)}{215} = 38 \text{ A}$$

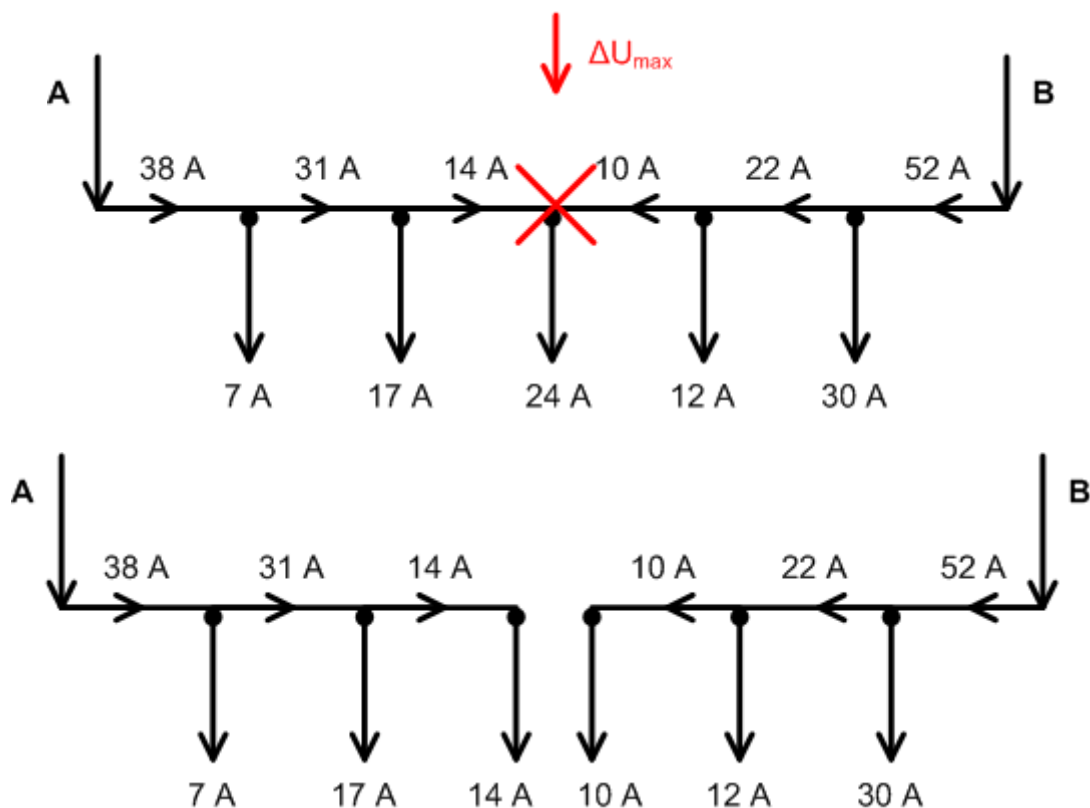
Proud z napáječe B (momentová věta k napáječi A):

$$I_B = \frac{\sum_1^5 I_K \cdot l_{KA}}{l} = \frac{7 \cdot 25 + 17 \cdot (18 + 25) + 24 \cdot (75 + 18 + 25) + 12 \cdot (30 + 75 + 18 + 25) + 30 \cdot (41 + 30 + 75 + 18 + 25)}{215} = 52 \text{ A}$$

Pro kontrolu:

$$I = I_A + I_B \Rightarrow 90 \text{ A} = (38 + 52) \text{ A} \Rightarrow \text{souhlasí}$$

Rozdělení proudů je na obrázku. Místem největšího úbytku napětí je bod označený křížkem. V tomto místě se provede rozdělení na dvě jednostranně napájená vedení.



Řešení jednostranně napájeného vedení napáječem A.

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \rho}{S} \cdot \sum_{k=1}^3 I_k \cdot l_k = \frac{2 \cdot 0,03}{16} \cdot [7 \cdot 25 + 17 \cdot (25 + 18) + 14 \cdot (25 + 18 + 75)] = 9,5 \text{ V}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_n} = \frac{9,5}{220} = 4,4 \%$$

Stejné řešení při výpočtu pro jednostranně napájené vedení napáječem B.

Výpadek napáječe B:

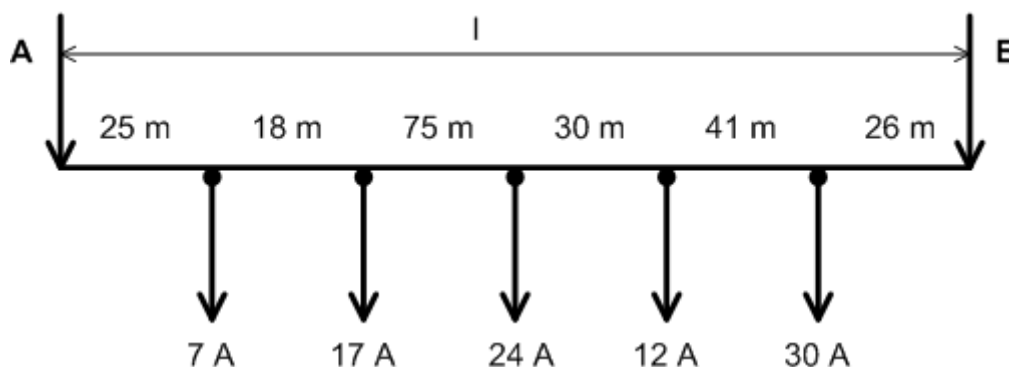
$$\varepsilon_{\max A} = \frac{2 \cdot \rho}{S \cdot U_n} \cdot \sum_{k=1}^5 I_k \cdot l_k = 19,1 \%$$

Výpadek napáječe A:

$$\varepsilon_{\max B} = \frac{2 \cdot \rho}{S \cdot U_n} \cdot \sum_{k=1}^5 I_k \cdot (l - l_k) = 13,9 \%$$

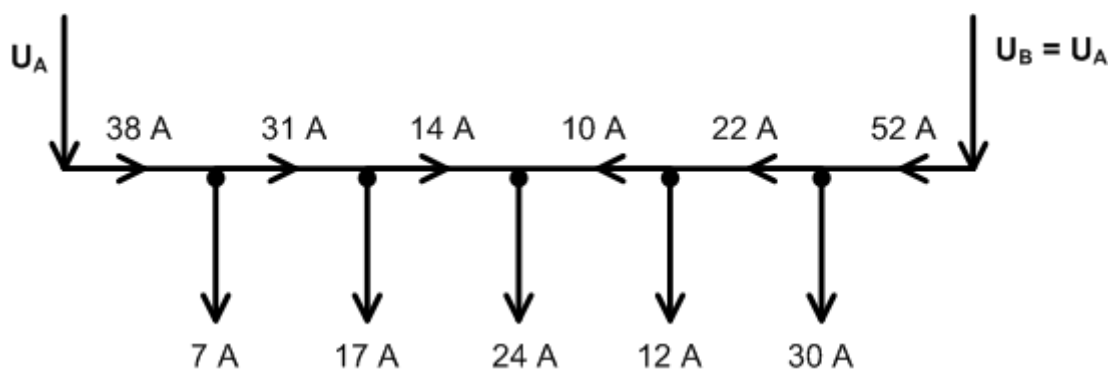
(Pro oba případy havarijního stavu jsou úbytky napětí příliš vysoké.)

Př. 2: Stejnoseměrné dvou vodičové vedení má jmenovité napětí 220 V. Napájení je provedeno ze dvou stran podle obrázku, napětí napáječů jsou různá: $U_A = 231$ V a $U_B = 240$ V. Najděte místo největšího úbytku napětí a vypočítejte největší procentní úbytek napětí. Vedení je provedeno jednotným vodičem AY 16 mm².

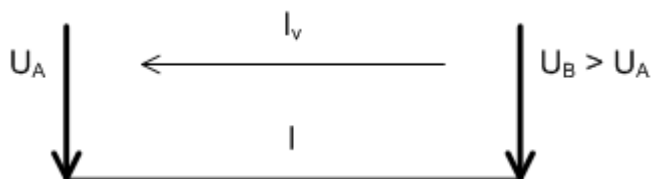


Nejprve se předpokládá, že napětí napáječů jsou stejná a stanoví se zatěžovací proudy napáječe A i napáječe B. Pak se provede rozdělení proudů na vedení.

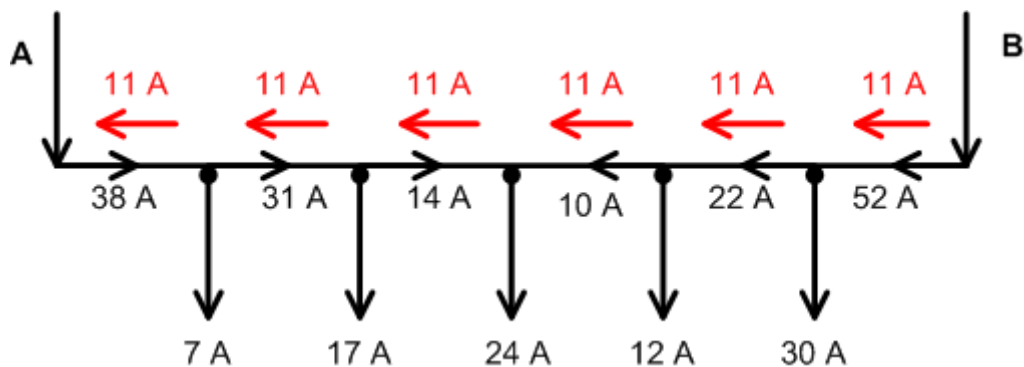
Příklad je zadán stejně jako předchozí příklad kromě různých napětí napáječů, takže se převezmou výsledky z předchozího výpočtu.



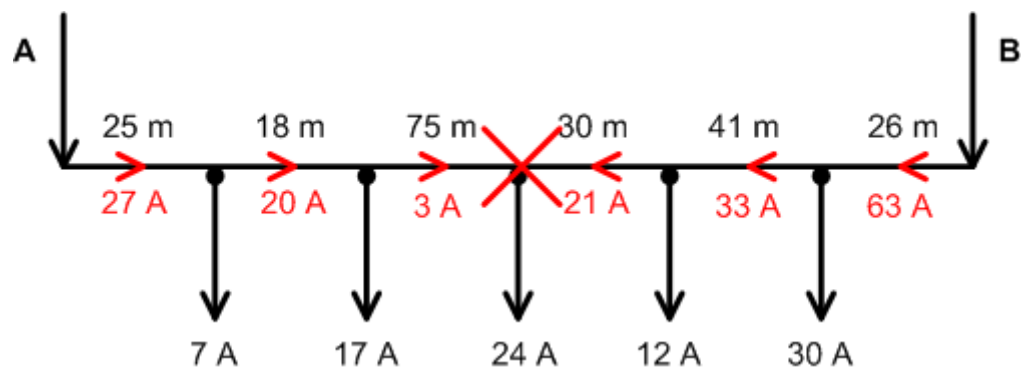
Vyrovňovací proud vyvolaný různými napětími napáječů:



$$I_v = \frac{U_B - U_A}{\frac{2 \cdot \rho \cdot l}{S}} = \frac{240 - 231}{\frac{2 \cdot 0,03}{16} \cdot 215} \doteq 11 \text{ A}$$



Rozdělení proudů je na obrázku. Místem největšího úbytku napětí je bod označený křížkem.



Úbytek napětí od napáječe A do místa s nejvyšším úbytkem napětím:

$$\Delta U_{\max A} = \frac{2 \cdot \rho}{S} \cdot \sum_{k=1}^3 I_K \cdot l_K = \frac{2 \cdot 0,03}{16} \cdot [7 \cdot 25 + 17 \cdot (25 + 18) + 3 \cdot (25 + 18 + 75)] = 4,6 \text{ V}$$

$$\varepsilon_{\max A} = \frac{\Delta U_{\max A}}{U_n} = 2,1 \%$$

Úbytek napětí od napáječe B do místa s největším úbytkem napětím:

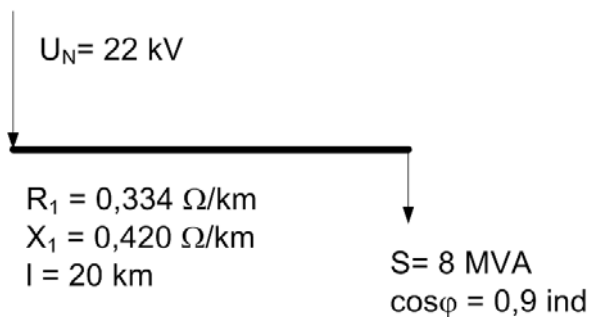
$$\Delta U_{\max B} = \frac{2 \cdot \rho}{S} \cdot \sum_{k=3}^5 I_K \cdot (l - l_K) = \frac{2 \cdot 0,03}{16} \cdot [30 \cdot 26 + 12 \cdot (26 + 41) + 21 \cdot (26 + 41 + 30)] = 13,6 \text{ V}$$

$$\varepsilon_{\max B} = \frac{\Delta U_{\max B}}{U_n} = 6,2 \%$$

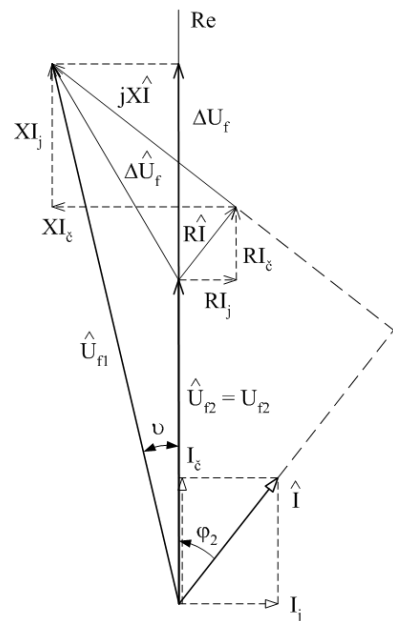
Střídavé úbytky

Příklad 1:

Trojfázové vedení VN o jmenovitém napětí $U = 22 \text{ kV}$ má činný odpor $R_1 = 0,334 \text{ } \Omega/\text{km}$, indukční reaktanci $X_1 = 0,42 \text{ } \Omega/\text{km}$ a délku $l = 20 \text{ km}$ viz. obr. 1. Určete úbytek napětí při zatížení na konci vedení výkonem $S = 8 \text{ MVA}$ a $\cos\varphi = 0,9 \text{ ind.}$



Obr. 1



Obr. 2: Fázorový diagram

$$R = R_1 \cdot l = 6,68 \text{ } \Omega$$

$$X = X_1 \cdot l = 8,4 \text{ } \Omega$$

$$P = S \cdot \cos\varphi = 7,2 \text{ MW}$$

$$Q = S \cdot \sin\varphi = 3,487 \text{ MVar}$$

$$\hat{U}_{f2} = U_{f2} = \frac{U}{\sqrt{3}} = 12,7 \text{ kV}$$

Komplexní úbytek napětí (pro jalový výkon induktivního charakteru):

$$\Delta \hat{U}_f = \hat{Z}_1 \cdot \hat{I} = (R + jX) \cdot (I_\epsilon - jI_j) = (R \cdot I_\epsilon + X \cdot I_j) + j(X \cdot I_\epsilon - R \cdot I_j)$$

příčná složka podélná složka

Známe-li výkony:

$$\Delta \hat{U}_f = [(R \cdot I_\epsilon + X \cdot I_j) + j(X \cdot I_\epsilon - R \cdot I_j)] \frac{3 \cdot U_f}{3 \cdot U_f} = \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{3 \cdot U_f} + j \frac{X \cdot P - R \cdot Q}{3 \cdot U_f} = 2,03 + j0,98 \text{ kV}$$

$$|\Delta \hat{U}_f| = 2,25 \text{ kV}$$

ALE!

$$\hat{U}_{f1} = \hat{U}_{f2} + \Delta \hat{U}_f = 14,73 + j0,98 \text{ kV}$$

$$U_{f1} = |\hat{U}_{f1}| = 14,76 \text{ kV}$$

$$\Delta U_f = |\hat{U}_{f1}| - |\hat{U}_{f2}| = 2,06 \text{ kV}$$

Při zanedbání příčné složky můžeme úbytek napětí napsat jako:

$$\Delta \hat{U}_f \cong (R \cdot I_\varepsilon + X \cdot I_j) \cdot \frac{3 \cdot U_f}{3 \cdot U_f} = \frac{R \cdot 3 \cdot U_f \cdot I_\varepsilon + X \cdot 3 \cdot U_f \cdot I_j}{3 \cdot U_f} = \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{3 \cdot U_f} = 2,03 \text{ kV}$$

Procentní úbytek napětí bude:

$$\varepsilon_{\%} = \frac{\Delta U_f}{U_f} \cdot 100 = \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{3 \cdot U_f^2} \cdot 100 = \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U^2} \cdot 100 = 16 \%$$

Výkon na obou koncích vedení:

$$\hat{S}_2 = P_2 + jQ_2 = 7,2 \text{ MW} + j 3,5 \text{ MVar}$$

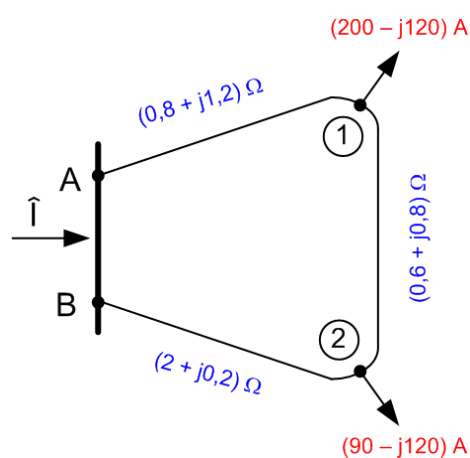
$$\hat{I}_1 = \hat{I}_2 = \left(\frac{\hat{S}_2}{3 \hat{U}_{f2}} \right)^* = (189 - j92) \text{ A}$$

$$\hat{S}_1 = 3 \hat{U}_{f1} \hat{I}_1^* = 8,1 \text{ MW} + j 4,6 \text{ MVar}$$

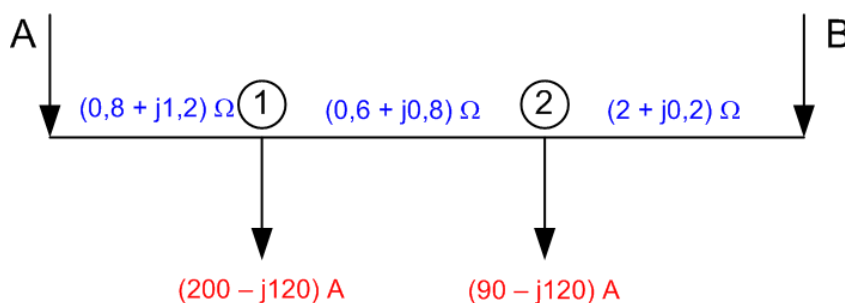
$$\Delta \hat{S} \cong 0,9 \text{ MW} + j 1,1 \text{ MVar}$$

Příklad 2:

Trojfázové okružní vedení VN se zadanými podélnými impedancemi $\hat{Z}_{lk}$ jednotlivých úseků a zadanými odběry je uvedeno na obr. 3. Na obr. 4 je totéž vedení překreslené po rozdělení v napáječi. Určete zatížení napáječe, proudové rozložení ve vedení a místo s největším úbytkem napětí.



Obr. 3



Obr. 4

Dílčí proudy napáječů $\hat{U}_A = \hat{U}_B$ budou:

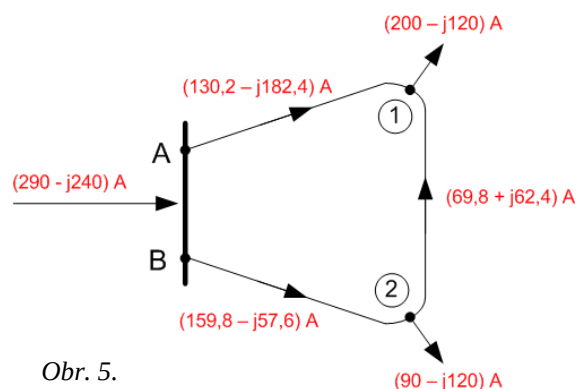
$$\hat{I}_B = \frac{\sum_{k=1}^2 \hat{I}_k \cdot \hat{Z}_{lk}}{\hat{Z}_{IAB}} = \frac{(200 - j120)(0,8 + j1,2) + (90 - j120)(1,4 + j2)}{3,4 + j2,2} = (159,8 - j57,6) \text{ A}$$

$$\hat{I}_A = \frac{\sum_{k=1}^2 \hat{I}_k \cdot (\hat{Z}_{IAB} - \hat{Z}_{lk})}{\hat{Z}_{IAB}} = \frac{(90 - j120)(2 + j0,2) + (200 - j120)(2,6 + j1)}{3,4 + j2,2} = (130,2 - j182,4) \text{ A}$$

Rozdělení proudů a zatížení napáječe je na obr. 5. Z obrázku je zřejmé, že činný proud má předěl v místě 1, jalový proud má předěl v místě 2. Rozhodnutí o místě s největším úbytkem napětí se provede podle vztahu:

$$\Delta U_f = R \cdot I_\epsilon \pm X \cdot I_j$$

+ induktivní
- kapacitní



Obr. 5.

Úbytek napětí mezi místem A a místem 1 (pozor na znaménka u proudů, kromě znaménka pro $I_{j \text{ ind}}$ nebo $I_{j \text{ kap}}$) určíme znaménko podle zvoleného směru z místa A do místa 1:

$$\Delta U_{fA1} = 0,8 \cdot 130,2 + 1,2 \cdot 182,4 = 323 \text{ V}$$

$$\Delta U_{f12} = -0,6 \cdot 69,8 - (-0,8 \cdot 62,4) = 8,04 \text{ V}$$

$$\Delta U_{fA2} = \Delta U_{fA1} + \Delta U_{f12} = 323 + 8,04 = 331 \text{ V}$$

Místo s největším úbytkem napětí je místo 2.

$$\Delta U_{fB2} = 2 \cdot 159,8 + 0,2 \cdot 57,6 = \Delta U_{fA2} = 331 \text{ V}$$