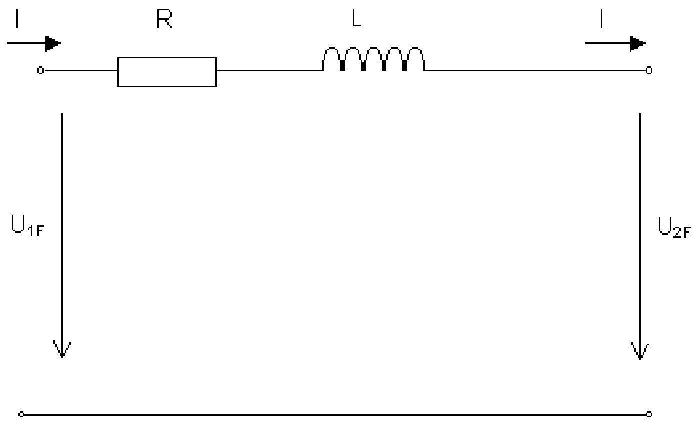
– **Výpočet střídavých sítí VN a NN**

Při výpočtu střídavých vedení VN a NN budou respektovány parametry vedení **R** a **L**. Vedení bude tedy nahrazeno podélnou impedancí **Z**. V případě trojfázového vedení bude uvažován symetrický provoz. Poměry v každé fázi budou stejné, pouze elektricky pootočené o 120° resp. 240°. Proto je možno použít jednofázový model vedení.



Obr. 5. 1

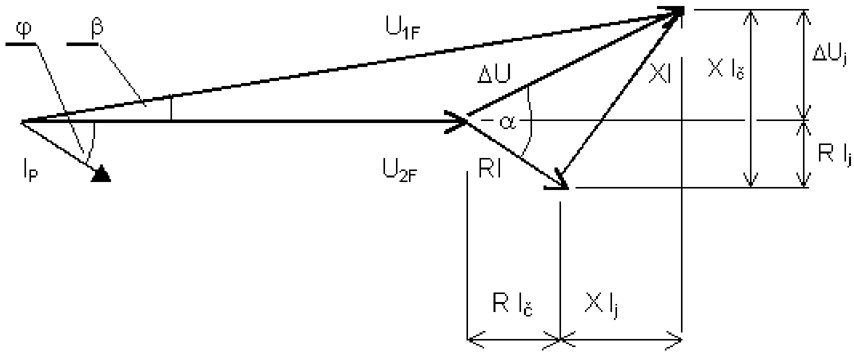
Napětí $\mathbf{U_{1F}}$ a $\mathbf{U_{2F}}$ na modelu vedení jsou napětí fázová. Pro tato napětí platí vztah :

$$\overline{U}_{1F} = \overline{U}_{2F} + \Delta\overline{U}_{F} = \overline{U}_{2F} + \overline{Z}\,\overline{I} = \overline{U}_{2F} + (R + jX)(I\cos\varphi \pm jI\sin\varphi) \qquad (5.\ 1)$$

Ve vztahu 5.1 platí znaménko **–** pro induktivní zátěž a znaménko **+** pro kapacitní zátěž. Pro úbytek napětí pro induktivní zátěž platí :

$$\Delta\overline{U}_{F} = (R + jX)(I_{č} - jI_{j}) = (R\,I_{č} + X\,I_{j}) + j(X\,I_{č} - R\,I_{j}) \qquad (5.\ 2)$$

Úbytek napětí má svou reálnou i imaginární složku, to vyplývá ze vztahu 5.2 i z fázorového diagramu na obr. 5.2.



Obr. 5. 2

Úhel α je tzv. úhel vedení, jeho tangenta je rovna **X/R**, což je poměr induktivní reaktance a odporu vedení. Je-li $\alpha = \varphi$ je hodnota jalové složky úbytku napětí $\mathbf{\Delta U_j}$ rovna nule.

Úhel β je tzv zátěžný úhel. U běžných vedení VN a NN je jeho hodnota velmi malá, nabývá hodnot do 3°.

Při praktických výpočtech se zanedbává jalová složka úbytku napětí, a proto je možno napsat následující vztah :

$$\Delta U_F = R\,.\,I\cos\varphi + X\,.\,I\sin\varphi \qquad (5.\ 3)$$

Hodnotu úbytku napětí je možno také vyjádřit z výkonu $\mathbf{P_2}$ a $\mathbf{Q_2}$ na konci vedení :

$$I_č = I\,.\cos\varphi = \frac{P_2}{3\,U_{F2}} \qquad\qquad I_j = I\,.\sin\varphi = \frac{Q_2}{3\,U_{F2}} \qquad (5.\ 4)$$

$$\Delta \bar{U}_F = \frac{R\,P_2 + X\,Q_2}{3\,U_{F2}} + j\frac{X\,P_2 - R\,Q_2}{3\,U_{F2}} \qquad (5.\ 5)$$

Pro vyjádření procentního fázového úbytku napětí pak platí :

$$\Delta U_{\%} = \frac{R\,P_2 + X\,Q_2}{3\,U_{F2}^2}100 + j\,\frac{X\,P_2 - R\,Q_2}{3\,U_{F2}^2} \qquad (5.\ 6)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{R\,P_2 + X\,Q_2}{U_2^2}100 + j\,\frac{X\,P_2 - R\,Q_2}{U_2^2} \qquad (5.\ 7)$$

Ve vztahu 5.7 jsou fázová napětí nahrazena sdruženými. Pro stanovení sdruženého úbytku napětí je nutno hodnotu fázového úbytku napětí vynásobit √3.

Pro stanovení úbytku napětí na střídavém vedení se nejčastěji používá vztah 5.3. Tento vztah má dvě části. První část $\Delta \mathbf{U_1}$ je závislá na průřezu (obsahuje odpor **R**), druhá část $\Delta \mathbf{U_2}$ je v podstatě na průřezu nezávislá. Pro výpočet průřezu pak platí :

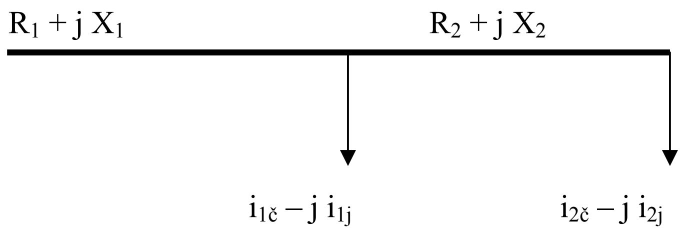
$$\Delta U_1 = \Delta U_{DOV} - \Delta U_2 = \Delta U_{DOV} - X\,I_j = \Delta U_{DOV} - X\,I\sin\varphi = R\,I\cos\varphi = \rho\frac{1}{S}I\cos\varphi \qquad (5.\ 8)$$

Z rovnice 5.8 se pak vypočte průřez vedení **S**.

– Výpočtové metody střídavých vedení

Na střídavá vedení je možno aplikovat stejné výpočtové metody jako na vedení stejnosměrná. Jednofázová vedení jsou dvouvodičová (úbytek napětí vzniká v obou vodičích). V případě trojfázových vedení je v této kapitole uvažován symetrický provoz, nulovým vodičem neprotéká žádný proud, úbytek napětí vzniká pouze na fázovém vodiči.

Při výpočtu je nutno respektovat podélnou impedanci vedení, tedy činný odpor a induktivní reaktanci. Většinou se aplikuje metoda konstantního průřezu.



Obr. 5. 3

Pro fázovou hodnotu úbytku napětí sítě dle obr. 5.3 platí :

$$\Delta\overline{U}_F = \left(R_1 + j X_1\right)\left(i_{1č} - j i_{1j}\right) + \left(R_1 + j X_1 + R_2 + j X_2\right)\left(i_{2č} - j i_{2j}\right) \qquad (5.\ 9)$$

Obecně pak :

$$\Delta\overline{U}_F = \left[\sum R\, i_č + \sum X\, i_j\right] + j\left[\sum X\, i_č - \sum R\, i_j\right] \qquad (5.\ 10)$$

Při zanedbání jalové složky platí :

$$\Delta U_F = \Delta U_1 + \Delta U_2 = \sum R\, i_č + \sum X\, i_j \qquad (5.\ 11)$$

$$\Delta U_1 = \Delta U_{DOV} - \sum X\, i_j \qquad (5.\ 12)$$

$$\Delta U_1 = \rho \frac{l_1}{S} I_1 \cos\varphi_1 + \rho \frac{l_2}{S} I_2 \cos\varphi_2 + \ldots\ldots + \rho \frac{l_N}{S} I_N \cos\varphi_N \qquad (5.\ 13)$$

$$\Delta U_1 = \frac{\rho}{S} \sum_{K=1}^{N} l_K\, I_K \cos\varphi_K \qquad (5.\ 14)$$

l_K … délka k-tého úseku vedení [m]
$\mathbf{I_K}$ … proud v k-tém úseku vedení [A]
$\cos\varphi_K$ … účiník v k-tém úseku vedení

Pro průřez vedení pak platí :

$$S = \frac{\rho}{\Delta U_1} \sum_{K=1}^{N} l_K \ I_K \cos \varphi_K \qquad (5.\ 15)$$

Pro jednofázové (dvouvodičové) vedení platí stejný vztah, pouze čitatel je násoben dvěma.

Výkonové ztráty

Pro určení výkonových ztrát se vychází ze základních vztahů :

$$\Delta \overline{S} = 3\,\Delta \overline{U}_F\ \overline{I}^* = 3\,\overline{Z}\,\overline{I}\,\overline{I}^* = 3\,\overline{Z}\,I^2 = 3\left(R + j\,X\right) I^2 = 3\,R\,I^2 + j\,3\,X\,I^2 = \Delta P + j\,\Delta Q$$

(5. 16)

ΔP … činné ztráty [W]
ΔQ … jalové ztráty [var]

Pro činné ztráty platí :

$$\Delta P = 3\,R\,I^2 = 3\,R\left(I_č^2 + I_j^2\right) \qquad (5.\ 17)$$

Činné ztráty způsobuje jak činná tak i jalová složka proudu. S použitím odebíraného výkonu lze pro činné ztráty napsat :

$$\Delta P = 3\,R\,\frac{P^2}{3\,U_S^2 \cos^2\varphi} = \rho\,\frac{1}{S}\,\frac{P^2}{U_S^2 \cos^2\varphi} \qquad (5.\ 18)$$

Z dovolené hodnoty výkonových ztrát lze rovněž vypočítat průřez vedení :

$$S = \rho\,\frac{1}{\Delta P_{DOV}}\,\frac{P^2}{U_S^2 \cos^2\varphi} \qquad (5.\ 19)$$

ΔP_{DOV} … dovolená hodnota výkonových ztrát [W]
U_S … sdružené napětí [V]
P … odebíraný výkon [W]
$\cos \varphi$ … účiník odběru

Metoda konstantní proudové hustoty

Pro tuto metodu platí následující základní vztah pro ΔU_1 :

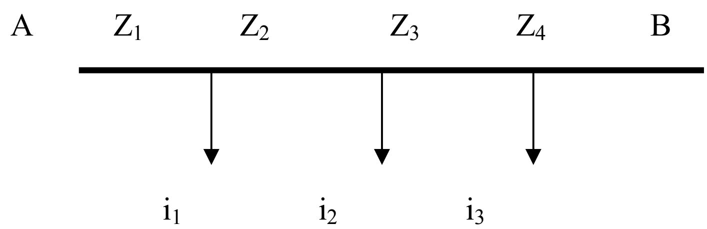
$$\Delta U_1 = \rho\, \sigma \sum l \cos\varphi \qquad (5.\ 20)$$

Pozn. Použité symboly jsou stejné jako u stejnosměrného vedení.

– Vedení napájené ze dvou stran

Opět se předpokládá aplikace metody konstantního průřezu. Podélná impedance vedení je úměrná délce vedení **Z** = **Z$_K$** . **l**.

Z$_{AB}$ je pak impedance vedení mezi oběma napáječi. Příklad vedení napájeného ze dvou stran je na obr. 5.4.



Obr. 5. 4

Pro napájecí proudy platí :

$$\bar{I}_A = \frac{1}{\bar{Z}_{AB}} \sum_B \bar{i}_X\, \bar{Z}_{XB} \qquad \bar{I}_B = \frac{1}{\bar{Z}_{AB}} \sum_A \bar{i}_X\, \bar{Z}_{XA} \qquad (5.\ 22)$$

Za předpokladu, že napětí v odběrech jsou soufázná s napájecími napětími, lze vztahy 5. 22 zjednodušit.

$$\bar{I}_A = \frac{1}{L_{AB}} \sum_B \bar{i}_X\, l_{XB} \qquad \bar{I}_B = \frac{1}{L_{AB}} \sum_A \bar{i}_X\, l_{XA} \qquad (5.\ 23)$$

Další řešení je analogické s řešením stejnosměrné sítě.