

## ▼ 4.9 ÚBYTEK VELIKOSTI NAPĚTÍ

Úbytek velikosti napětí definujeme jako rozdíl velikostí napětí mezi začátkem a koncem sledovaného úseku vyjádřený ve fyzikální jednotce (voltech), nebo poměrné hodnotě vztažené k napětí jmenovitému. Poměrnou hodnotu často uvádíme v procentech:

$$\Delta u_{\%} = \frac{|U_1| - |U_2|}{U_N} \cdot 100 = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 \quad (\%)$$

### Výpočet stejnosměrného úbytku velikosti napětí

Výpočet zjednodušené hodnoty velikosti úbytku napětí, pouze jako stejnosměrného úbytku na podélném činném odporu  $R_P$ , je vhodný kromě skutečně stejnosměrných obvodů i pro krátká střídavá vedení nízkého napětí (nn), kde je hodnota  $R_P$  větší nebo alespoň porovnatelná s podélnou induktivní reaktancí  $X_P$  a současně má zatížení převážně činný charakter. Potom můžeme uvažovat, pro tyto obvody:

$$\Delta U = R_P \cdot I_{SS} \quad (V)$$

Pro jednofázové harmonické střídavé obvody nn s téměř čistě činnou zátěží platí pro jejich efektivní hodnoty veličin obdobně:

$$\Delta U = R_P \cdot I \quad (V)$$

Pro zmíněné stejnosměrné a jednofázové obvody je nezbytné do  $R_P$  zahrnout i činný odpor zpětné cesty, obvykle se počítá s dvojnásobkem činného odporu jednoho vodiče, potom:

$$R_P = 2 \cdot R_{P1V}$$

$$R_{P1V} = \rho \frac{l}{S}$$

Pro trojfázové harmonické střídavé obvody nn (opět zatížené pouze činným odběrem) není zpětná cesta relevantní a je nezbytné uvážit vztah mezi fázovými a sdruženými velikostmi napětí:

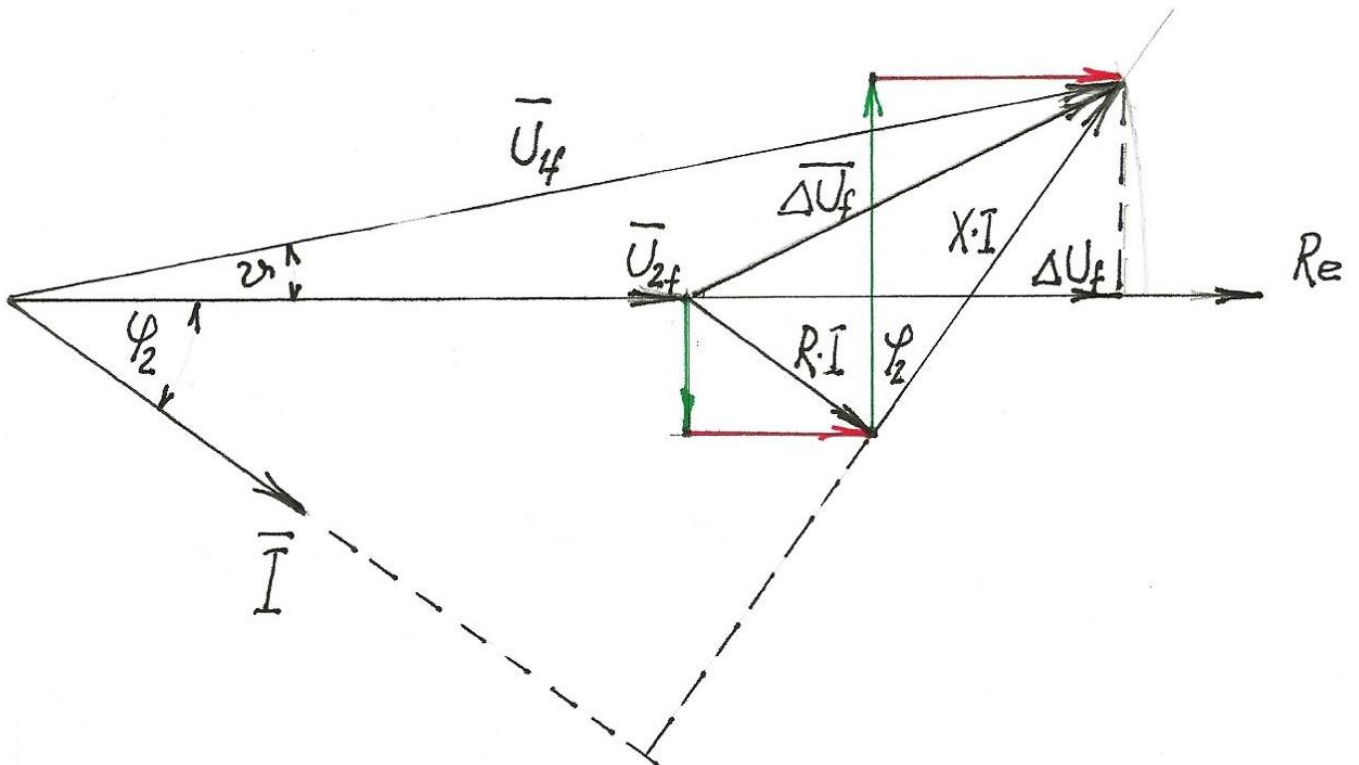
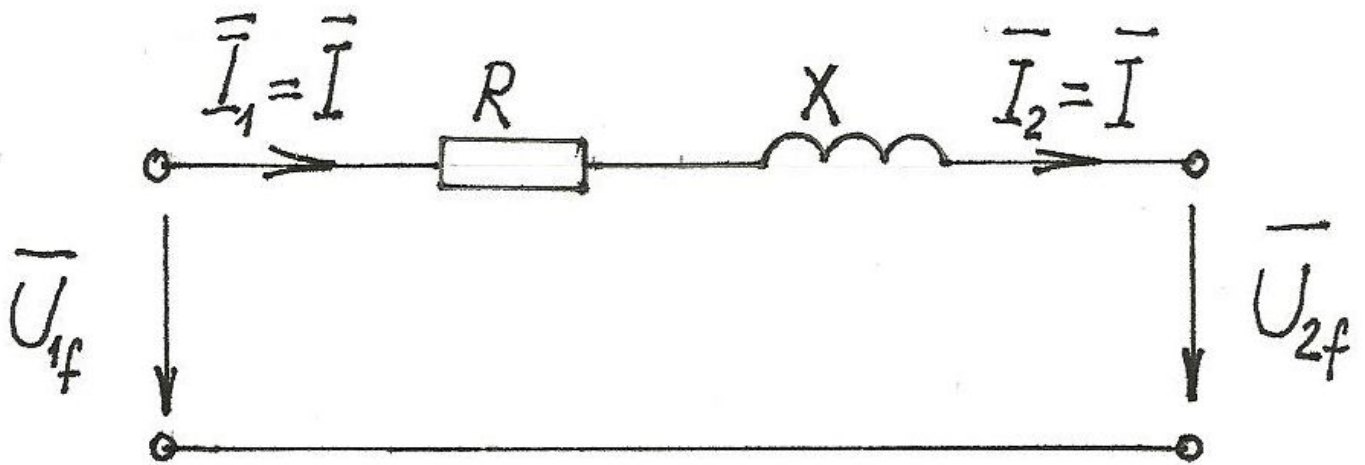
$$\Delta U_f = R_P \cdot I \quad (V) \quad \Delta U = \Delta U_f \cdot \sqrt{3} \quad (V)$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U_f}{U_{fN}} \cdot 100 = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 \quad (\%)$$

Činný odpor  $R_P$  tentokrát uvažujeme bez zpětné cesty.

### ▼ Výpočet úbytku velikosti napětí

Pro střídavé harmonické obvody zatížené obecným odběrem obsahujícím tentokrát jak činnou, tak i nezanedbatelnou jalovou složku odpovídá hodnota velikosti úbytku napětí následujícímu schématu a fázorovému diagramu:



Pozor na častou chybu, kdy je zaměňován žádaný rozdíl velikosti napětí  $|\vec{U}_{1f}| - |\vec{U}_{2f}|$  za velikost rozdílu napětí  $|\Delta \vec{U}_f| = |\vec{U}_{1f} - \vec{U}_{2f}|$ , tedy:

$$\Delta U_f = |\vec{U}_{1f}| - |\vec{U}_{2f}| \neq |\Delta \vec{U}_f| = |\vec{U}_{1f} - \vec{U}_{2f}|$$

Zavedeme-li  $I_\varepsilon = I \cdot \cos \varphi$  a  $I_j = I \cdot \sin \varphi$  a uvážíme, že reálná část  $\Delta \vec{U}_f$  je přibližně požadované  $|\vec{U}_{1f}| - |\vec{U}_{2f}|$ , potom lze přibližně určit:

$$\Delta U_f = Re \{ \Delta \vec{U}_f \} \approx |\vec{U}_{1f}| - |\vec{U}_{2f}|$$

Tato podstatná část úbytku velikosti napětí  $\Delta U_f$  a její dílčí součásti (na obrázku červeně) jsou:

$$\Delta U_f = \Delta U_R \pm \Delta U_X = R \cdot I \cdot \cos \varphi \pm X \cdot I \cdot \sin \varphi = R \cdot I_\varepsilon \pm X \cdot I_j$$

Přičemž kladná znaménka platí pro induktivní charakter zátěže (právě tak jako proudu a výkonu) a záporná pro její kapacitní charakter.

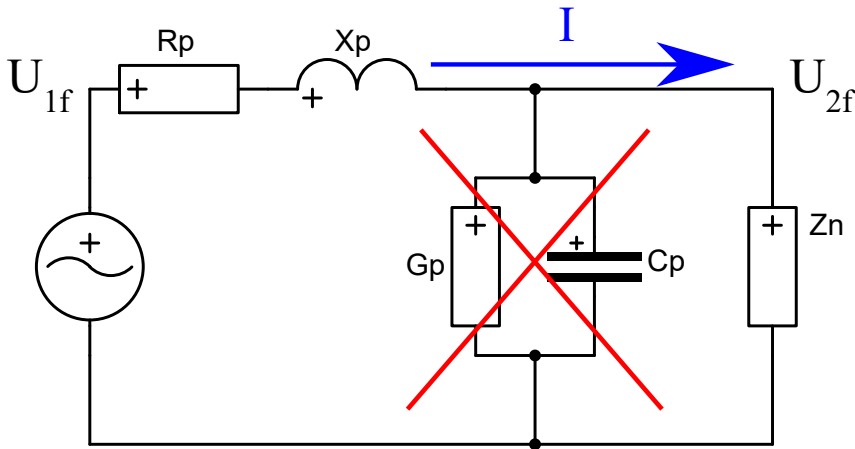
Při vyjádření pomocí činného a jalového příkonu zátěže:

$$\Delta U_f = \frac{R \cdot 3 \cdot U_{fN} \cdot I \cdot \cos\varphi \pm X \cdot 3 \cdot U_{fN} \cdot I \cdot \sin\varphi}{3 \cdot U_{fN}} = \frac{R \cdot P \pm X \cdot Q}{3 \cdot U_{fN}}$$

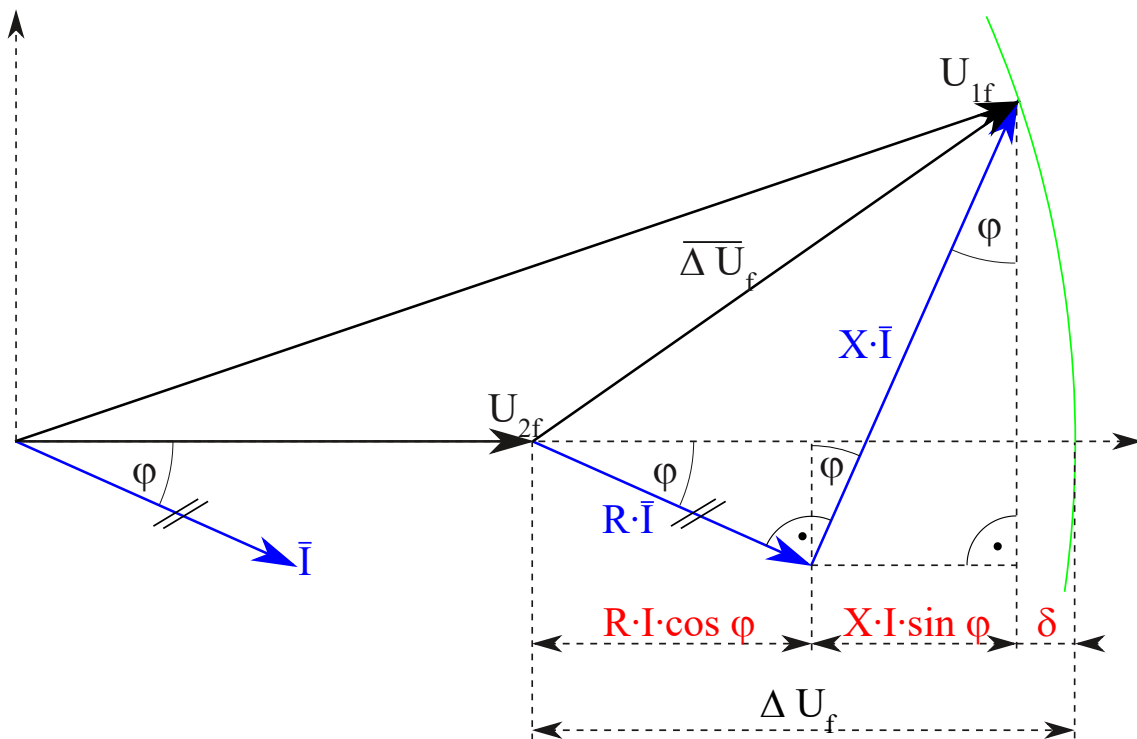
$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U_f}{U_{fN}} \cdot 100 \approx \frac{R \cdot P \pm X \cdot Q}{3 \cdot U_{fN}^2} \cdot 100 = \frac{R \cdot P \pm X \cdot Q}{U_N^2} \cdot 100$$

### Zpřesněný výpočet úbytku velikosti napětí

I v tomto o něco přesnějším výpočtu je stále zanedbávána příčná část náhradního schématu vedení:



Fázorový diagram doplníme o malou zbyvajících část  $\delta$ :



Přesná hodnota fázového úbytku velikosti napětí je dána vztahem:

$$\Delta U_f = \Delta U_R \pm \Delta U_X + \delta \quad \delta = \frac{(X \cdot I \cdot \cos\varphi \mp R \cdot I \cdot \sin\varphi)^2}{2 \cdot U_{fN}}$$

Po dosazení za  $\delta$ :

$$\Delta U_f = R \cdot I \cdot \cos\varphi \pm X \cdot I \cdot \sin\varphi + \frac{(X \cdot I \cdot \cos\varphi \mp R \cdot I \cdot \sin\varphi)^2}{2 \cdot U_{fN}}$$

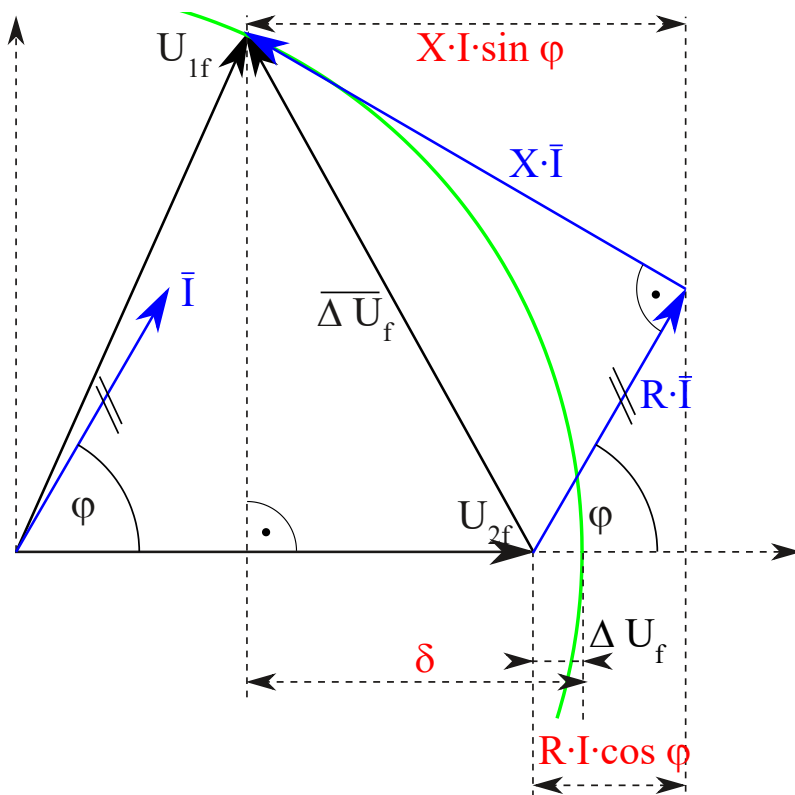
Tedy s využitím výkonových parametrů a sdružených hodnot napětí:

$$\Delta U_f = \frac{R \cdot P \pm X \cdot Q}{3 \cdot U_{fN}} + \frac{(X \cdot P \mp R \cdot Q)^2}{18 \cdot U_{fN}^3}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U_f}{U_{fN}} \cdot 100 = \left( \frac{R \cdot P \pm X \cdot Q}{3 \cdot U_{fN}^2} + \frac{(X \cdot P \mp R \cdot Q)^2}{18 \cdot U_{fN}^4} \right) \cdot 100$$

$$\Delta u_{\%} = \left( \frac{R \cdot P \pm X \cdot Q}{U_N^2} + \frac{(X \cdot P \mp R \cdot Q)^2}{2 \cdot U_N^4} \right) \cdot 100$$

Výše zmiňovaná odlišnost žádaného úbytku velikosti napětí  $\Delta U_f$  a velikosti rozdílu napětí  $|\overline{\Delta U}_f|$  i nezbytnost uvažovat zbývající doplňkovou část  $\delta$  jsou patrné zejména pro kapacitní zatížení a velký fázový rozdíl napětí  $\overline{U}_{1f}$  a  $\overline{U}_{2f}$ :



## ► Příprava interaktivního prostředí v jazyce python

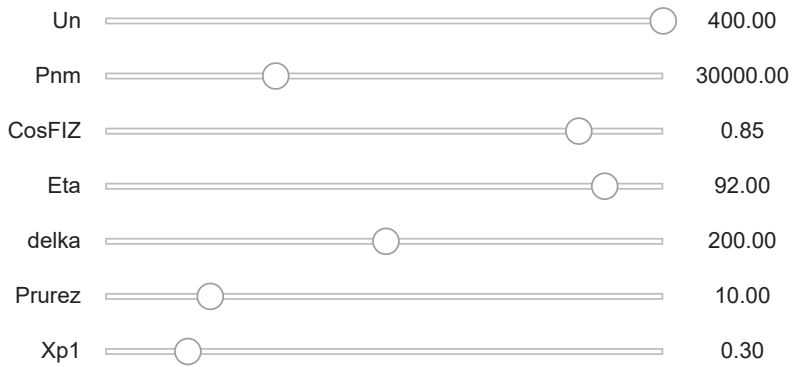
Poznámka:

Pro správnou funkčnost interaktivních prvků tohoto dokumentu je nezbytné provést prvotní přepočítání (běh, spuštění) všech buněk. Tedy spustit v menu Runtime položku Run all (menu Běh položka Spustit vše) nebo použít klávesovou zkratku CTRL+F9.

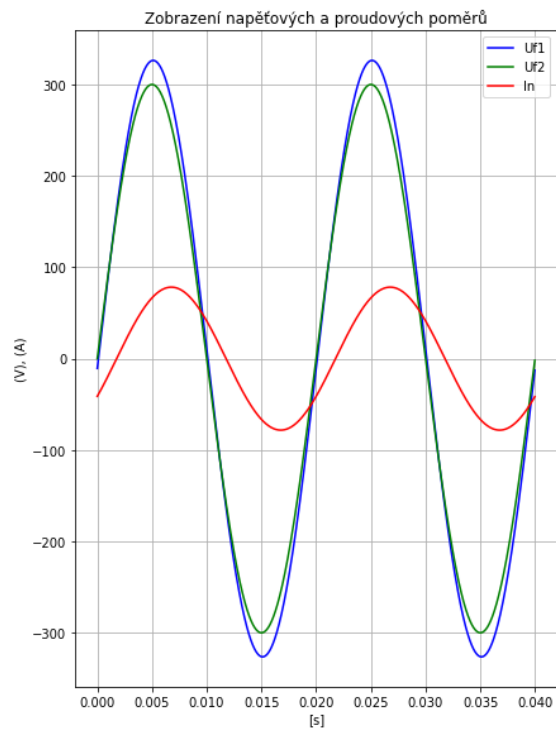
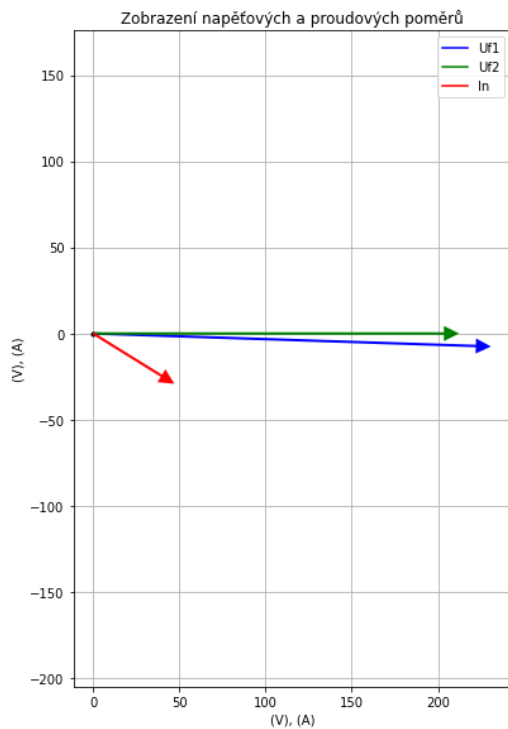
↳ 6 buněk je skryto

## ▼ Příklad výpočtu velikosti úbytku napětí na vodiči

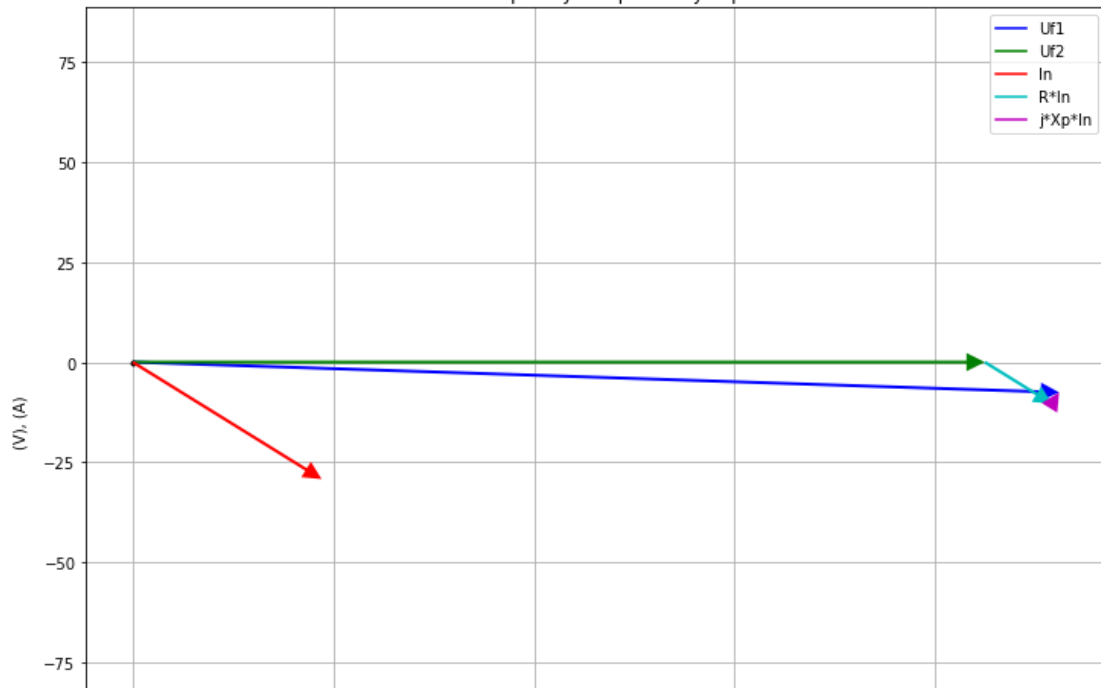
Ověřte správnost návrhu vodiče 4 x CYKY10 mm<sup>2</sup>, který napájí trojfázový motor o mechanickém výkonu  $P_N = 30 \text{ kW}$ , pracující s účinností 92% a účínkem  $\cos \varphi = 0.85$ . Motor je připojen k napájecí síti se jmenovitým napětím  $U_N = 400 \text{ V}$ . Délka vodiče je 200 m. Induktivní reaktance kabelu je 0.302  $\Omega/\text{km}$ .



Veličina	Velikost	Jednotka
Jmenovité napětí	400.000	V
Výkon motoru	30,000.000	kW
Účinník	0.850	-
Účinnost	92.000	%
Délka vodiče	200.000	m
Délka vodiče	200.000	m
Průřez kabelu	10.000	mm <sup>2</sup>
Induktivní reaktance kabelu	0.302	ohm/km
Rezistivita kabelu	0.018	Ohm*mm <sup>2</sup> /m
Celkový odpor kabelu	0.356	Ohm/km
Celková reaktance kabelu	0.060	Ohm/km
Činný výkon	32,608.696	kW
Zdánlivý výkon	38,363.171	kVA
Fázové napětí	230.940	V
Jmenovitý proud	55.372	A
Fázový úbytek velikosti napětí	18.518	V
Poměrná hodnota úbytku velikosti napětí	8.018	%



Zobrazení napěťových a proudových poměrů



✓ 1 s vyplněno 0:03

