



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI



KEE/EZE

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby elektrárny

2021

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.



FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

KATEDRA
ELEKTROENERGETIKY

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

1. Prvotní výpočet výkonu zdroje na základě upraveného součtového výkonu všech spotřebičů
2. Volba převodu transformátoru pro zachování jmenovitého napětí při trvalém jmenovitém zatížení.
3. Kontrola rozběhu největšího jednotlivého pohonu při jistém předběžném zatížení tak aby napětí nekleslo pod 80% jmenovitého.
4. Kontrola současného rozběhu největší skupiny pohonů z nulového předběžného zatížení tak aby napětí nekleslo pod 65% jmenovitého.

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

1. Prvotní výpočet výkonu zdroje na základě upraveného součtového výkonu všech spotřebičů

$$\sum S_P = \frac{\sum P_{BI}}{\cos \varphi} \cdot \beta$$

$$\beta = \frac{k_S \cdot k_V}{\eta_m \cdot \eta_S}$$

$$S_Z \geq \sum S_P$$

kde:

$\sum P_{BI}$ - Součet jmenovitých instalovaných výkonů všech spotřebičů

$k_S = \frac{\sum P_{BN}}{\sum P_{BI}}$ - Koeficient současnosti (soudobosti)

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

1. Prvotní výpočet výkonu zdroje na základě upraveného součtového výkonu všech spotřebičů

$\sum P_{BN}$ - Součet jmenovitých výkonů spotřebičů, které jsou současně v chodu

$k_V = \frac{\sum P_B}{\sum P_{BN}}$ - Koeficient využití

$\sum P_B$ - Součet skutečně odebíraných výkonů všech spotřebičů

η_m - Střední účinnost spotřebičů při daném využití

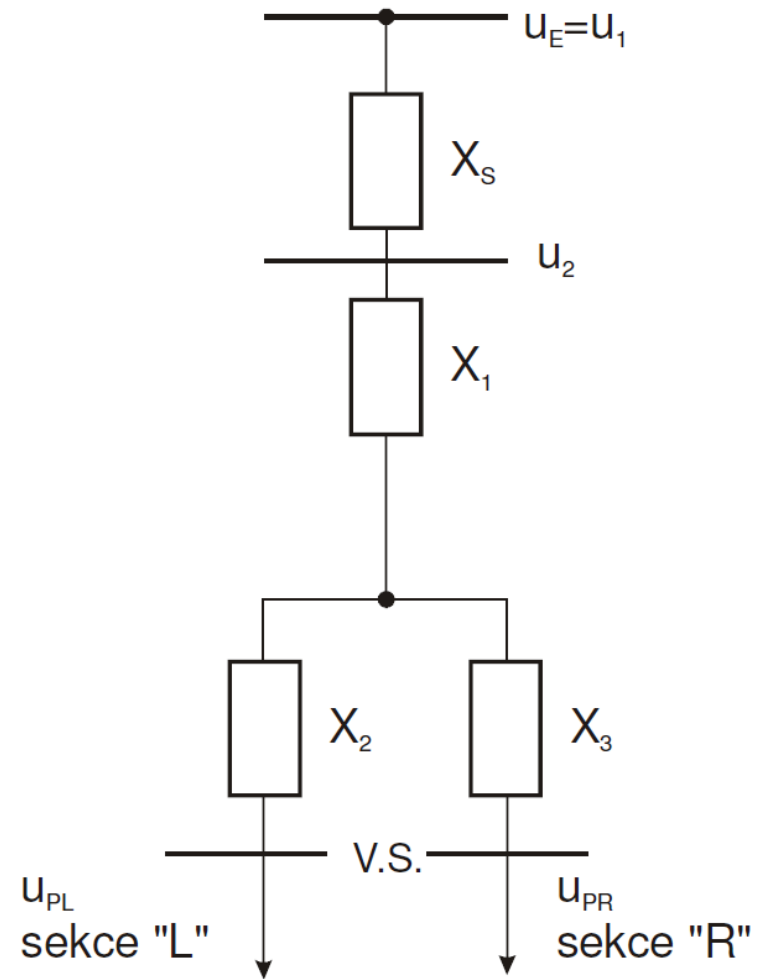
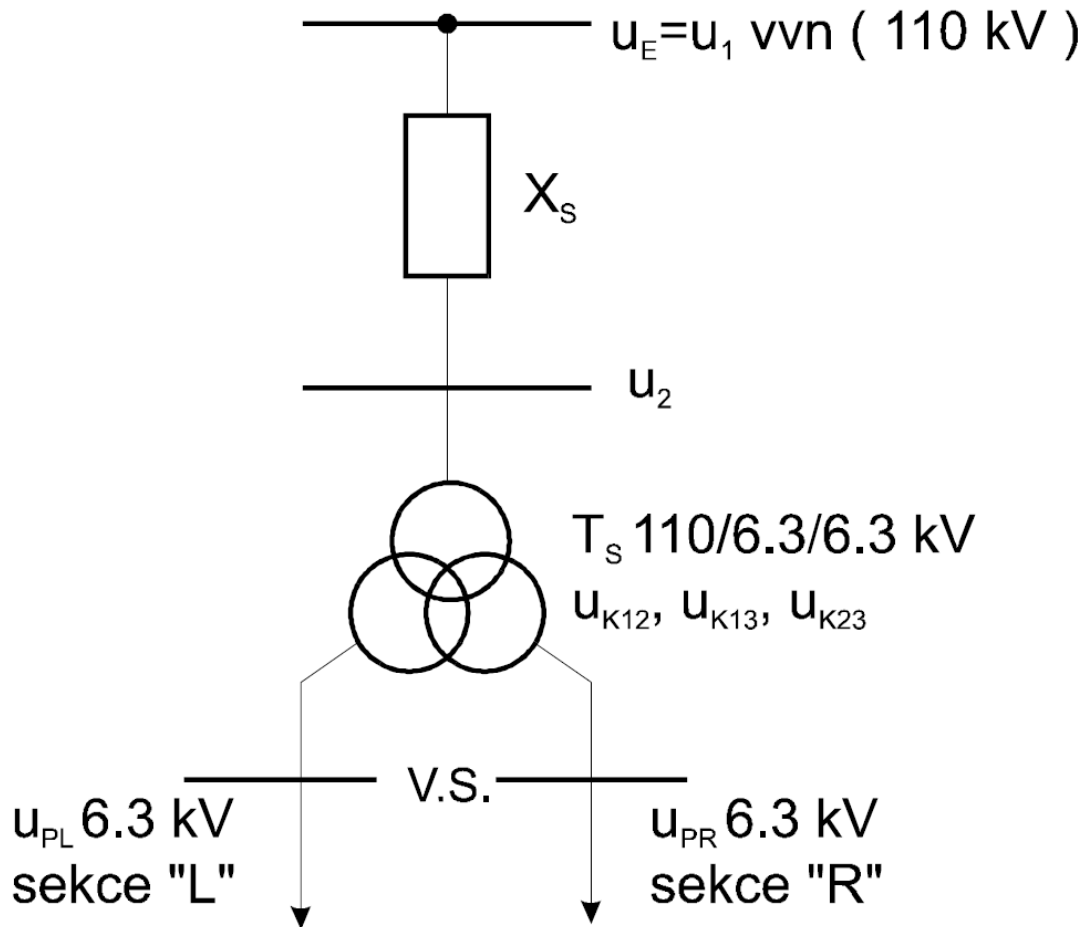
η_S - Účinnost napájecí soustavy od místa napájení V.S.

$\cos \varphi$ - Střední účiník spotřebičů

$\beta = \frac{k_S \cdot k_V}{\eta_m \cdot \eta_S}$ - Koeficient náročnosti

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

2. Volba převodu transformátoru pro zachování jmenovitého napětí při trvalém jmenovitém zatížení.



Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

2. Volba převodu transformátoru pro zachování jmenovitého napětí při trvalém jmenovitém zatížení.

u_E	-	Napětí zdroje
u_2	-	Napětí na primárních svorkách transformátoru
S_{KS}	-	Zkratový výkon napájecí soustavy
S_{NT}	-	Jmenovitý výkon transformátoru
u_{Kij}	-	Napětí nakrátko transformátoru
u_{PL}, u_{PR}	-	Napětí na přípojnicích sekcí „L“ a „R“

$$x_1 = \frac{x_{12} + x_{13} - x_{23}}{2}$$

$$x_2 = \frac{x_{12} + x_{23} - x_{13}}{2}$$

$$x_3 = \frac{x_{13} + x_{23} - x_{12}}{2}$$

Náhradní reaktance sítě:

$$X_S = \frac{U_E}{\sqrt{3}I_{KS}} = \frac{U_E^2}{S_{KS}}$$

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

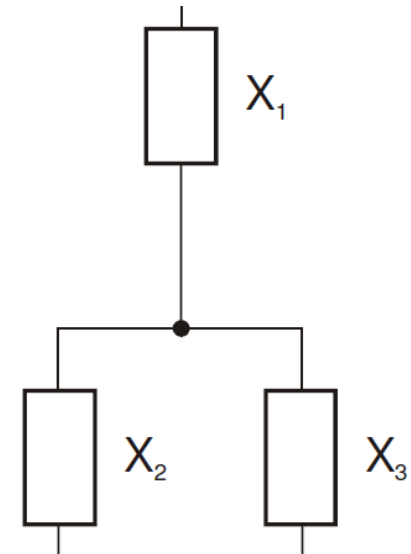
2. Volba převodu transformátoru pro zachování jmenovitého napětí při trvalém jmenovitém zatížení.

~~$$x_1 + x_2 = \frac{1}{\frac{1}{x_{13} + x_{23}} + \frac{1}{x_{12}}}, \quad x_1 + x_3 = \frac{1}{\frac{1}{x_{12} + x_{23}} + \frac{1}{x_{13}}}, \quad x_2 + x_3 = \frac{1}{\frac{1}{x_{12} + x_{13}} + \frac{1}{x_{23}}}$$~~

~~$$x_1 = \frac{x_{12}x_{13}}{x_{12} + x_{13} + x_{23}}, \quad x_2 = \frac{x_{12}x_{23}}{x_{12} + x_{13} + x_{23}}, \quad x_3 = \frac{x_{13}x_{23}}{x_{12} + x_{13} + x_{23}}$$~~

$$x_1 + x_2 = x_{12}, \quad x_1 + x_3 = x_{13}, \quad x_2 + x_3 = x_{23}$$

$$x_1 = \frac{x_{12}}{2} + \frac{x_{13}}{2} - \frac{x_{23}}{2}, \quad x_2 = \frac{x_{12}}{2} - \frac{x_{13}}{2} + \frac{x_{23}}{2}, \quad x_3 = -\frac{x_{12}}{2} + \frac{x_{13}}{2} + \frac{x_{23}}{2}$$



Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

2. Volba převodu transformátoru pro zachování jmenovitého napětí při trvalém jmenovitém zatížení.

<https://docs.sympy.org/latest/modules/solvers/solvers.html>

```
x1, x2, x3 = symbols('x1 x2 x3')  
x12, x13, x23 = symbols('x12 x13 x23')
```

```
solve([x1+x2-1/(1/x12+1/(x13+x23)), x1+x3-1/(1/x13+1/(x12+x23)), x2+x3-1/(1/x23+1/(x12+x13))], [x1, x2, x3])
```

```
{x1:  $\frac{x12*x13}{x12 + x13 + x23}$ , x2:  $\frac{x12*x23}{x12 + x13 + x23}$ , x3:  $\frac{x13*x23}{x12 + x13 + x23}$ }
```

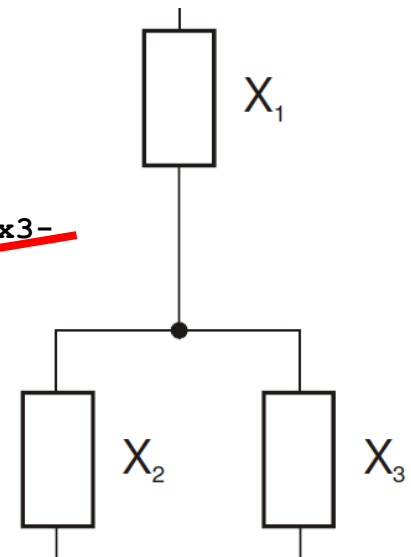
```
solve([x1+x2-x12, x1+x3-x13, x2+x3-x23], [x1, x2, x3])
```

```
{x1:  $\frac{x12}{2} + \frac{x13}{2} - \frac{x23}{2}$ , x2:  $\frac{x12}{2} - \frac{x13}{2} + \frac{x23}{2}$ , x3:  $-\frac{x12}{2} + \frac{x13}{2} + \frac{x23}{2}$ }
```

$$x_1 = \frac{x_{12} + x_{13} - x_{23}}{2}$$

$$x_2 = \frac{x_{12} + x_{23} - x_{13}}{2}$$

$$x_3 = \frac{x_{13} + x_{23} - x_{12}}{2}$$



Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

2. Volba převodu transformátoru pro zachování jmenovitého napětí při trvalém jmenovitém zatížení.

$$x_s = \frac{X_s}{X'_V} = X_s \frac{S_V}{(U'_V)^2} = X_s \frac{S_V}{(p \cdot U_V)^2} \quad \leftarrow \quad X'_V = \frac{U'_V}{S_V} \quad U'_V = p \cdot U_V$$

$$u_E = \frac{U_E}{U'_V} = \frac{U_E}{p \cdot U_V}$$

$$R \cdot I \cos \varphi < X \cdot I \sin \varphi \quad \Rightarrow \quad R \cdot I_c < X \cdot I_j$$

$$i_{jL} = \frac{I_{jL}}{I_V} = \frac{Q_L}{\sqrt{3} \cdot U_p} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_V}{S_V} = \frac{Q_L}{S_V \cdot u_p} = \frac{q_L}{u_p}$$

$$u_{PL} = u_{PR} = u_p$$

$$i_j = i_{jL} + i_{jR} = \frac{q_L + q_R}{u_p}$$

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

2. Volba převodu transformátoru pro zachování jmenovitého napětí při trvalém jmenovitém zatížení.

$$u_E = (x_S + x_1)i_j + i_{jL}x_2 + u_P$$

$$\frac{U_E}{p \cdot U_V} - X_S \frac{S_V}{p^2 U_V^2} i_j - x_1 i_j - x_2 i_{jL} = u_P$$

$$(x_1 i_j + x_2 i_{jL} + u_P) p^2 - \frac{U_E}{U_V} p + X_S \frac{S_V}{U_V^2} i_j = 0$$

$$a \cdot p^2 + b \cdot p + c = 0$$

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

2. Volba převodu transformátoru - příklad

$$u_{K12} = 10\% \quad u_{K23} = 11\% \quad u_{K31} = 12\%$$

$$x_1 = \frac{10+12-11}{200} = 0.0550 \quad x_2 = 0.0450 \quad x_3 = 0.0650$$

$$U_E = 110 \text{ kV} \quad S_{KS} = 100 \text{ MVA} \quad X_S = \frac{110^2}{100} = 121 \Omega$$

$$U_V = 6.3 \text{ kV} \quad S_V = 10 \text{ MVA} \quad u_P = 1$$

$$Q_L = Q_R = 3 \text{ MVar} \quad i_{jL} = \frac{3}{10 \cdot 1} = 0.3 \quad i_j = 0.6$$

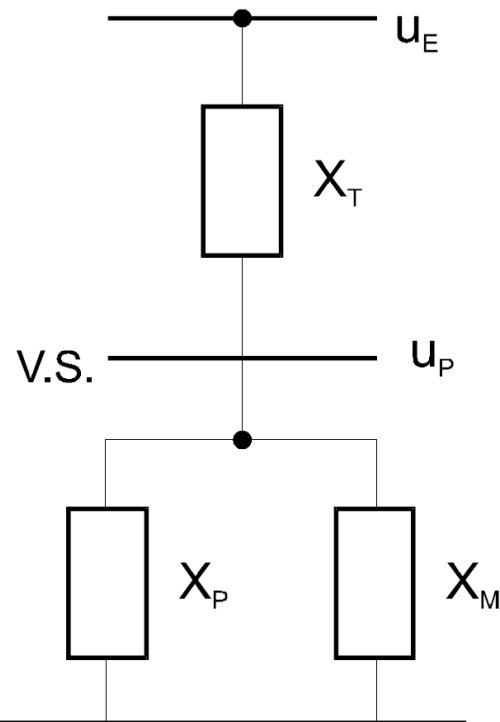
$$a \cdot p^2 + b \cdot p + c = 0 \quad a = 0.055 \cdot 0.6 + 0.045 \cdot 0.3 + 1 = 1.0465$$

$$b = -\frac{110}{6.3} = -17.4603 \quad c = 121 \frac{10}{6.3^2} 0.6 = 18.2918$$

$$p = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2a} = 15.5613 \quad u_E = \frac{U_E}{U_V'} = \frac{110}{15.5613 \cdot 6.3} = 1.1220$$

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

3. Kontrola rozběhu největšího jednotlivého pohonu při jistém předběžném zatížení tak aby napětí nekleslo pod 80% jmenovitého.



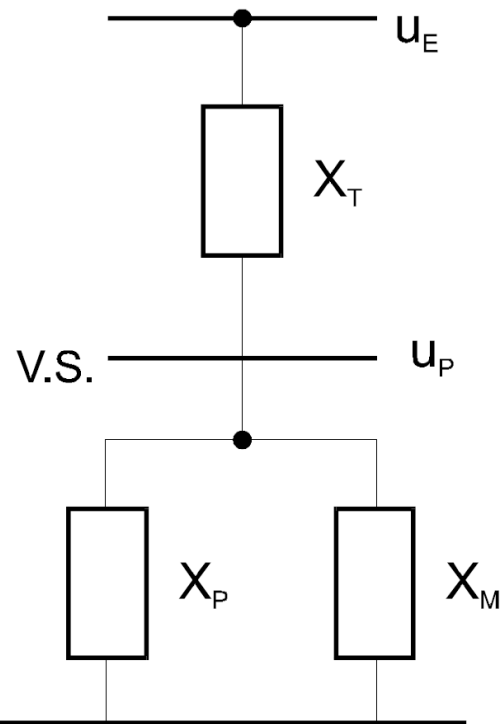
1. Nutný zkratový výkon minimálně S_{KM}

2. Proud transformátorem I_T menší než maximální dovolený

3. Nutné minimálně U_P 80% z U_N

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

3. Kontrola rozběhu největšího jednotlivého pohonu při jistém předběžném zatížení tak aby napětí nekleslo pod 80% jmenovitého.



$$\Delta u_T = u_E - u_P = i_T x_T$$

$$i_T = \frac{u_E - u_P}{x_T} = \frac{u_P}{x_Z}$$

$$x_Z = \frac{x_P \cdot x_M}{x_P + x_M}$$

$$x_P = \frac{1}{i_{jP}} = \frac{1}{q_P} = \frac{1}{\frac{Q_P}{S_T}} = \frac{1}{\sin \varphi_P} \cdot \frac{S_T}{S_P}$$

$$x_M = \frac{1}{i_K} \cdot \frac{1}{i_{NM}} = \frac{1}{i_K} \cdot \frac{1}{s_{NM}} = \frac{1}{i_K} \cdot \frac{S_T}{S_M}$$

$$i_T = \frac{u_P}{x_Z} = u_P \left(\frac{S_P \sin \varphi_P}{S_T} + i_K \frac{S_M}{S_T} \right)$$

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

3. Kontrola rozběhu největšího jednotlivého pohonu při jistém předběžném zatížení tak aby napětí nekleslo pod 80% jmenovitého.

$$S_{KM} = \frac{S_{KM}}{S_T} = i_{KM} = \frac{u_E}{x_T} = \frac{u_E}{u_E - u_P} i_T = \frac{u_E \cdot u_P}{u_E - u_P} \left(\frac{S_P \sin \varphi_P}{S_T} + i_K \frac{S_M}{S_T} \right)$$

Skutečný zkratový výkon na přípojnicích musí být:

$$S_K \geq S_{KM} = S_{KM} \cdot S_T = \frac{u_E \cdot u_P}{u_E - u_P} (S_P \sin \varphi_P + i_K \cdot S_M)$$

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

3. Kontrola rozběhu největšího jednotlivého pohonu při jistém předběžném zatížení tak aby napětí nekleslo pod 80% jmenovitého.

Kontrola na přetížení transformátoru při rozběhu:

$$i_T = \frac{u_E}{x_C} = \frac{u_E}{x_T + x_Z}$$

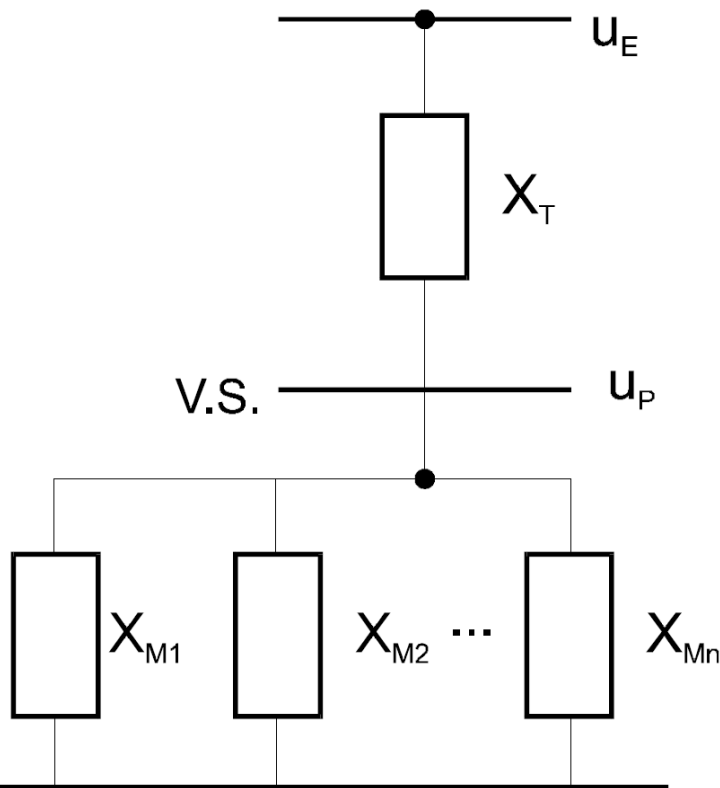
Kontrola na velikost úbytku napětí:

$$\Delta u_T = i_T \cdot x_T = \frac{u_E}{x_T + x_Z} x_T \leq 0.2$$

$$u_P = i_T \cdot x_Z = \frac{u_E}{x_T + x_Z} x_Z \geq 0.8$$

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

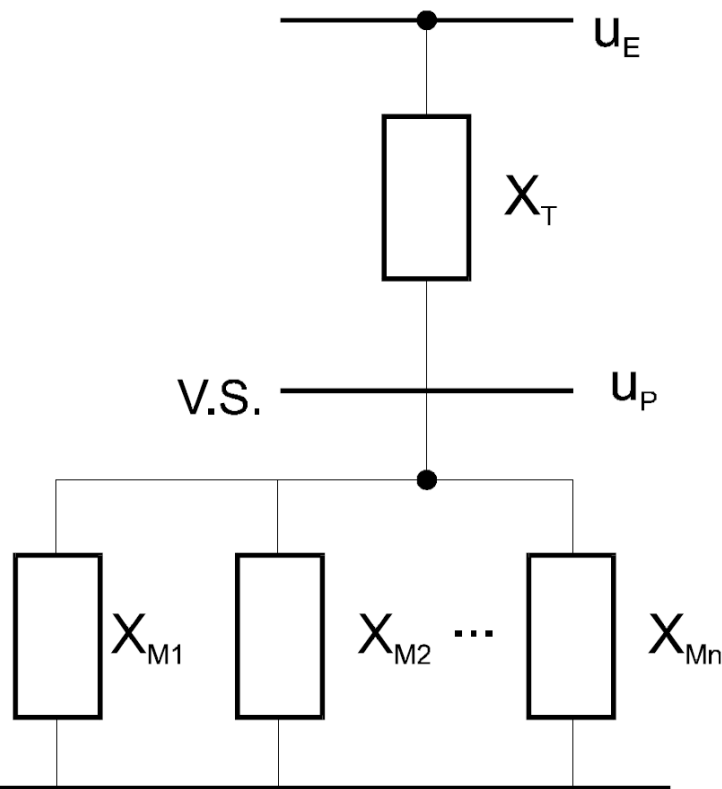
4. Kontrola současného rozběhu největší skupiny pohonů z nulového předběžného zatížení tak aby napětí nekleslo pod 65% jmenovitého.



1. Nutný zkratový výkon minimálně S_{KM}
2. Proud transformátorem I_T menší než maximální dovolený
3. Nutné minimálně U_P 65% z U_N

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

4. Kontrola současného rozběhu největší skupiny pohonů z nulového předběžného zatížení tak aby napětí nekleslo pod 65% jmenovitého.



$$x_Z = \left(\frac{1}{x_{M1}} + \frac{1}{x_{M2}} + \Lambda + \frac{1}{x_{Mn}} \right)^{-1}$$

$$x_Z = \frac{S_T}{\sum_{l=1}^n i_{Kl} \cdot S_{Ml}}$$

$$i_T = \frac{u_P}{x_Z} = \frac{u_E}{x_T + x_Z}$$

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

4. Kontrola současného rozběhu největší skupiny pohonů z nulového předběžného zatížení tak aby napětí nekleslo pod 65% jmenovitého.

$$S_{KM} = i_{KM} = \frac{u_E}{x_T} = \frac{u_E}{u_E - u_P} i_T = \frac{u_E}{u_E - u_P} \cdot \frac{u_P}{x_Z} = \frac{u_E \cdot u_P}{u_E - u_P} \cdot \frac{1}{S_T} \sum_{l=1}^n i_{Kl} \cdot S_{Ml}$$

Skutečný zkratový výkon na přípojnicích musí být:

$$S_K \geq S_{KM} = \frac{u_E \cdot u_P}{u_E - u_P} \sum_{l=1}^n i_{Kl} \cdot S_{Ml}$$

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

4. Kontrola současného rozběhu největší skupiny pohonů z nulového předběžného zatížení tak aby napětí nekleslo pod 65% jmenovitého.

Kontrola na přetížení transformátoru při rozběhu:

$$i_T = \frac{u_E}{x_C} = \frac{u_E}{x_T + x_Z}$$

Kontrola na velikost úbytku napětí:

$$\Delta u_T = i_T \cdot x_T = \frac{u_E}{x_T + x_Z} x_T < 35 \%$$

$$u_P = i_T \cdot x_Z = \frac{u_E}{x_T + x_Z} x_Z \geq 0.65$$

Kontrola napájecího zdroje vlastní spotřeby

4. Kontrola současného rozběhu největší skupiny pohonů z nulového předběžného zatížení tak aby napětí nekleslo pod 65% jmenovitého.

Pokud uvažujeme průměrnou hodnotu proudu rozbíhající se skupiny pohonů:

$$i_{CK} = (i_{K1} + i_{K2} + \dots + i_{Kn}) \frac{1}{n}, \text{ a celkový zdánlivý výkon skupiny:}$$

$$S_{CM} = S_{M1} + S_{M2} + \dots + S_{Mn}, \text{ potom:} \quad x_Z = \frac{1}{i_{CK}} \cdot \frac{S_T}{S_{CM}}$$

Protože $x_Z = \frac{x_T (u_E - \Delta u_T)}{\Delta u_T}$, je maximální celkový výkon skupiny:

$$S_{CM} \leq S_T \frac{\Delta u_T}{u_E - \Delta u_T} \cdot \frac{1}{i_{CK} \cdot x_T}$$