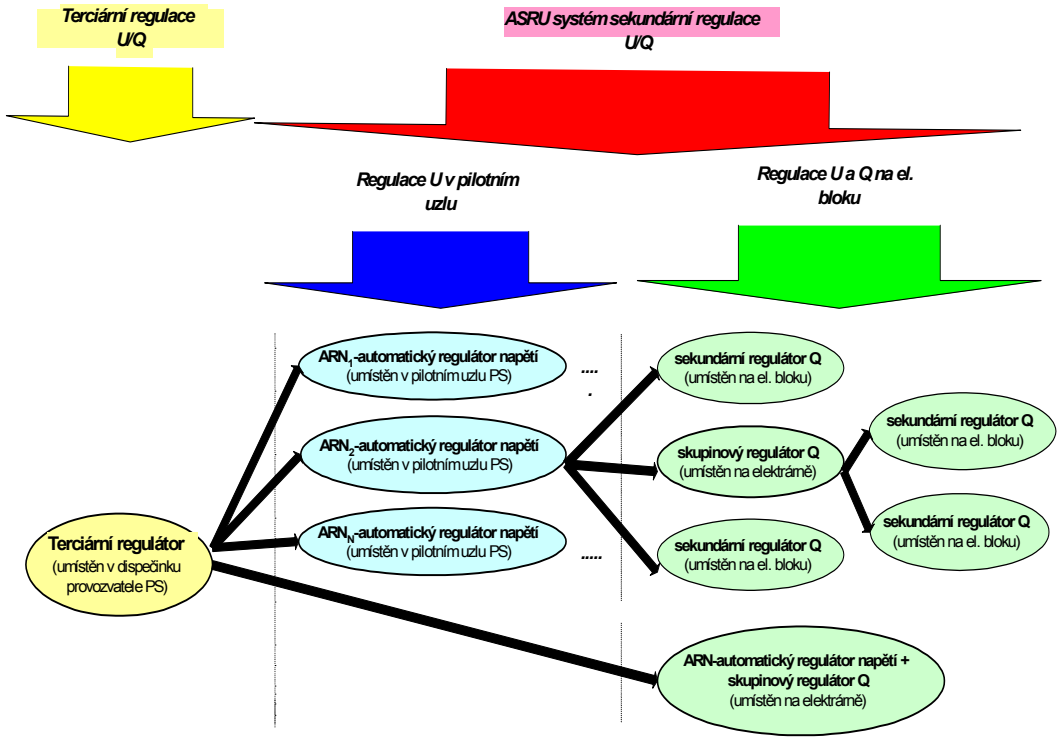
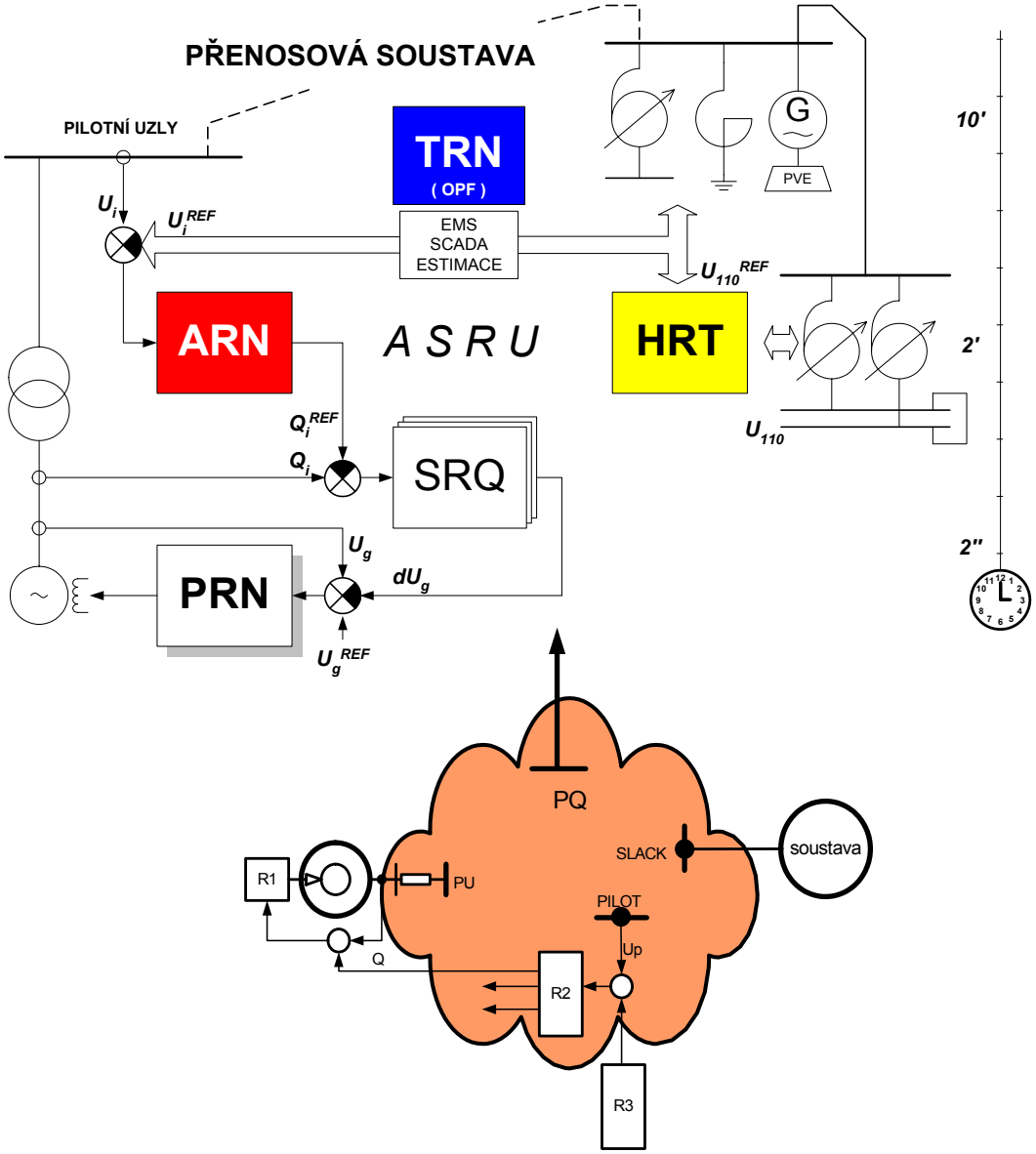

Terciární regulace U/Q
ASRU systém sekundární regulace U/Q
Regulace U v pilotním uzlu
Regulace U a Q na el. bloku
ARN1-automatický regulátor napětí (umístěn v pilotním uzlu PS)
ARN2-automatický regulátor napětí (umístěn v pilotním uzlu PS)
ARNN-automatický regulátor napětí (umístěn v pilotním uzlu PS)
sekundární regulátor Q (umístěn na el. bloku)
skupinový regulátor Q (umístěn na elektrámě)
sekundární regulátor Q (umístěn na el. bloku)
sekundární regulátor Q (umístěn na el. bloku)
sekundární regulátor Q (umístěn na el. bloku)
Terciární regulátor (umístěn v dispečinku provozvatele PS)
ARN-automatický regulátor napětí + skupinový regulátor Q (umístěn na elektrámě)


PŘENOSOVÁ SOUSTAVA
PILOTNÍ UZLY
TRN
(OPF)
EMS
SCADA
ESTIMACE
ARN
A S R U
HRT
SRQ
PRN
PVE
G
10'
2'
2''
PQ
SLACK
soustava
PILOT
PU
R1
R2
R3
Q
Up

- **Primární regulace**
- $$U = U_w - \frac{1}{B_q}.Q$$ (polohový tvar) ,
- $$\Delta U + \frac{1}{B_q}\Delta Q = 0$$ (přírůstkový tvar)

$1/B_q$: statika primární regulace,
U_w : žádané napětí naprázdno, zadává terc.reg.
Q : jalový výkon stroje

- **Sekundární regulace** generuje požadované hodnoty pro jednotlivé obvody primární regulace na základě řešení regulační rovnice sekundárního regulátoru řízené lokality.
  - (ARN) automatické regulátory napětí
  - HRT (hladinová regulace transformátoru) s cílem udržet hladinu napětí sekundární strany na zadané hodnotě.

- **Terciární regulace (TRN)** je centralizovaná služba, koordinující toky jalových výkonů a velikost napětí pro bezpečný a ekonomický provoz ES jako celku.

$$\hat{S} = \frac{e_Q.U}{X_\Sigma}e^{-j\psi} + j\frac{U^2}{X_\Sigma} \ldots rovnice\ kružnice\ v\{P,Q\}$$

$$poloměr = \frac{e_Q.U}{X_\Sigma}, \quad střed = \left\{0; j\frac{U^2}{X_\Sigma}\right\}$$

Citlivostní matice.

Krok výpočtu ustáleného chodu:

dekompozice ($\Delta\overline{P} = \overline{0}$):

$$\begin{bmatrix}\Delta\overline{P}\\ \Delta\overline{Q}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\frac{\partial\overline{P}}{\partial\overline{\theta}} & \frac{\partial\overline{P}}{\partial\overline{U}}\\ \frac{\partial\overline{Q}}{\partial\overline{\theta}} & \frac{\partial\overline{Q}}{\partial\overline{U}}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta\overline{\vartheta}\\ \Delta\overline{U}\end{bmatrix} \Rightarrow \left[\Delta\overline{U}\right] = \left[C_u\right]^{-1}\left[\Delta\overline{Q}\right] = \left[Z\right]\left[\Delta\overline{I}\right]$$

$$\left[C_u\right] = \left[\frac{\partial\overline{Q}}{\partial\overline{U}} - \frac{\partial\overline{Q}}{\partial\overline{\theta}}\frac{\partial\overline{P}}{\partial\overline{\theta}}^{-1}\frac{\partial\overline{P}}{\partial\overline{U}}\right] = \overline{\Delta} * \overline{\Lambda}_{\%} * \underline{\Delta}$$

$\left[C_u\right]$ ..... citlivostní matice napětí ve které i-tý diagonální prvek určuji vlastní citlivost uzlu

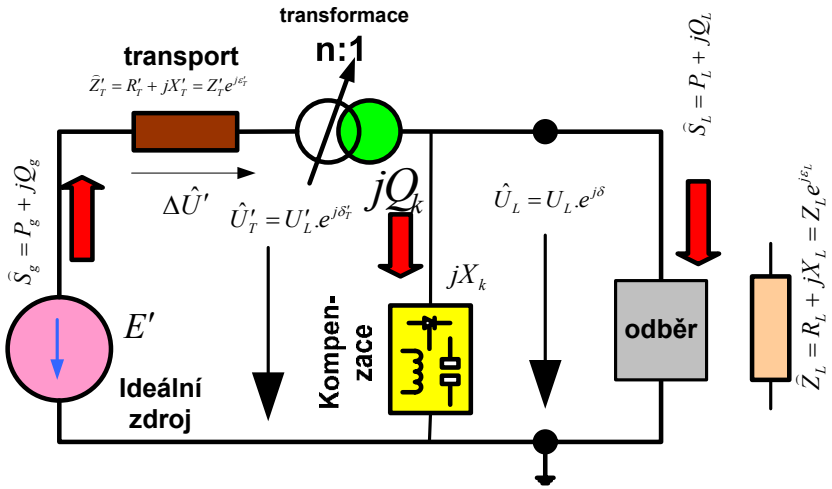
$\overline{\Delta}, \underline{\Delta}$ ..... horní (dolní) trojúhelníková matice obsahující vlastní vektory matice Cu

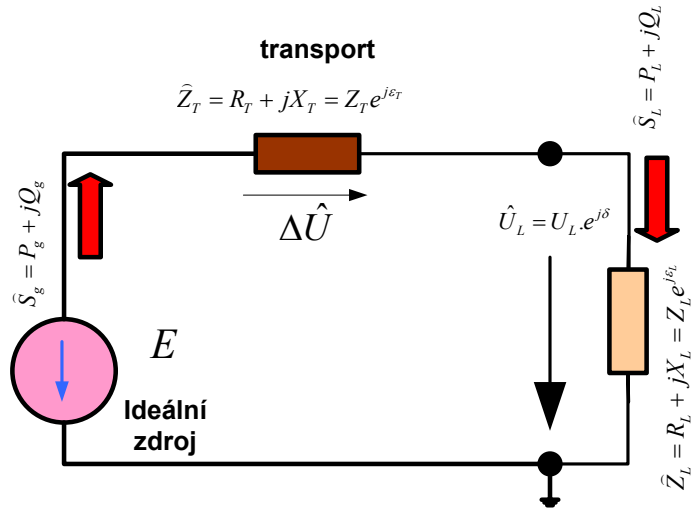
... $\overline{\Lambda}_{\%}$ ..... diagonální čtvercová matice vlastních čísel matice Cu.

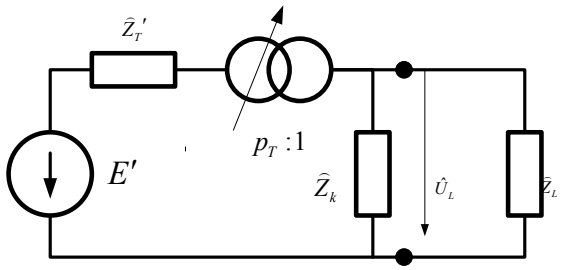
$\Delta\overline{I}, \Delta\overline{U}$. vektory změn uzlových proudů a napětí

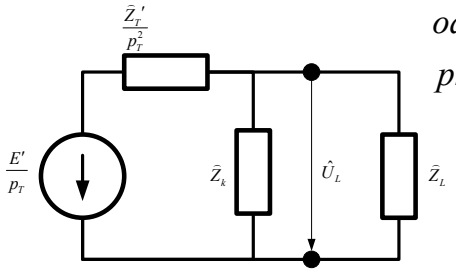
$\left[Z\right] = \left[Y\right]^{-1}$ .... impedanční uzlová matice soustavy

Ekvivalentové uspořádání:





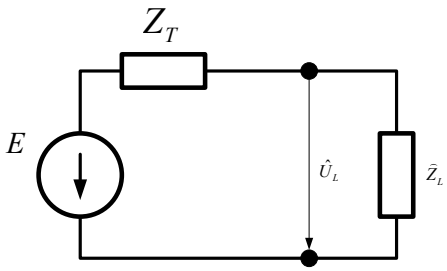




odstranění transformátoru přepočtem na U_L

$$Z_k = \begin{cases} -j\dfrac{1}{\omega C_k} \ldots\ldots kapacita \\ j\omega L_k \ldots\ldots indukčnost \end{cases}$$

Teveninův ekvivalent



$$Z_T = \frac{\dfrac{\hat{Z}_T'}{p_T^2} . Z_k}{\dfrac{\hat{Z}_T'}{p_T^2} + Z_k} = \frac{\hat{Z}_T' Z_k}{\hat{Z}_T' + p_T^2 Z_k}$$

$$E = \frac{\dfrac{E'}{p_T} Z_k}{\dfrac{Z_T'}{p_T^2} + Z_K} = \frac{E' . Z_k}{Z_T' + Z_k} p_T$$

$$\hat{I}^* = \frac{E - U_L e^{-j\delta}}{Z_T e^{-j\varepsilon_T}} \quad , \hat{S}_L = U_L e^{j\delta} . \frac{E - U_L e^{-j\delta}}{Z_T e^{-j\varepsilon_T}} = P_L \left(1 + tg\varphi\right)$$

$$pro\ \varepsilon = \pi / 2\ a\ zkratový\ \ výkon : S''_K = \frac{E^2}{X_T}$$

$$\hat{S}_L = \overbrace{-\frac{U_L E}{X_T} \sin\delta}^{P} + j \overbrace{\left\{ \frac{U_L E}{X_T} \cos\delta - \frac{U_L^2}{X_T} \right\}}^{Q} ..ze\ strany\ zdroje$$

$$\hat{S}_L = U_L^2 \left(G_L + j.tg\varphi \right) \quad G_L ..vodivost\ \ zátěže$$

$$\left(Q + \frac{U_L^2}{X_T} \right)^2 + P^2 = \left(\frac{E.U_L}{X_T} \right)^2$$

$$řešení\ \ pro\ U_L^2 : U_L^2 = \frac{E^2}{2} - Q.X_T \pm \sqrt{\left(\frac{S''_k}{2} \right)^2 - \left(P^2 + QS''_k \right)}$$

$$\left(P^2 + QS''_k \right) \le \left(\frac{S''_k}{2} \right)^2 \text{ podmínka pro reálné řešení}$$

maximální hodnoty

$$\mathrm{P}_{\max} = \left(\frac{S''_k}{2} \right) \ \ při\ Q = 0$$

$$Q_{\max} = \left(\frac{S''_k}{4} \right) \ \ při\ P = 0$$

$$vztažné\ \ hodnoty :$$

$$S_b = S''_k, \ \ U_b = E, \ \ Z_b = \frac{U_b^2}{S_b} = X_T, G_b = \frac{1}{Z_b} = \left(\frac{1}{X_T} \right)$$

$$poměrné\ \ hodnoty :$$

$$p_L = \frac{P_L}{S_b}, \ q_L = \frac{Q_L}{S_b}, \ u_L = \frac{U_L}{E}, \ \ g_L = \frac{G_L}{\left(\frac{1}{X_T} \right)}$$

$$hledané\ napětí : \quad u_L = \frac{1}{\sqrt{g_L^2 + \left(1 + g_L.tg\varphi\right)^2}}$$

```
clc;clear all
% vypocet pv krivek
tgfi=[ 20 7 2 1 0.5 0.25 0 -0.25 -0.5 ];
g=(0:0.01:200)';
jjj=ones(1,size(tgfi,2));
  ww=1./sqrt(g.^2*jjj+(1+g*tgfi).^2);% napětí
  pp=ww.^2 .*(g*jjj); % činný výkon
  for s=1:size(tgfi,2)
     qq(:,s)=pp(:,s)*tgfi(s);% jalový výkon
  end
  plot3(pp,qq,ww,'LineWidth',2); grid
title('normované p-q-v charakteristiky ')
legend('20', '7', '2' ,'1', '0.5' ,'0.25' ,'0' ,'-0.25', '-0.5')
xlabel('==>     p{p.u)');ylabel('==> q{p.u)');
zlabel ('==>u(p.u)')
```

$$\left(Q+\left\{\frac{U_L^2}{X_T}\right\}\right)^2+P^2=\left(\frac{E.U_L}{X_T}\right)^2$$

$$Q^2+2Q\left\{\frac{U_L^2}{X_T}\right\}+\left\{\frac{U_L^2}{X_T}\right\}^2+P^2=\left(\frac{E.U_L}{X_T}\right)^2 \qquad /*\,X_T^2$$

$$\left\{Q^2+P^2\right\}X_T^2+2QX_T\left\{U_L^2\right\}+\left\{U_L^2\right\}^2=E^2.\left\{U_L^2\right\}$$

$$\left\{U_L^2\right\}^2+\left(2QX_T-E^2\right)\left\{U_L^2\right\}+\left\{Q^2+P^2\right\}X_T^2=0$$

$$\left\{U_L^2\right\}_{1,2}=\frac{E^2}{2}-QX_T\pm\sqrt{\frac{\left(2QX_T-E^2\right)^2}{4}-\left\{Q^2+P^2\right\}X_T^2}$$

$$\left\{U_L^2\right\}_{1,2}=\frac{E^2}{2}-QX_T\pm\sqrt{\frac{\left[4Q^2X_T^2-4QX_TE^2+E^4\right]}{4}-\left\{Q^2+P^2\right\}X_T^2}$$

$$\left\{U_L^2\right\}_{1,2}=\frac{E^2}{2}-QX_T\pm X_T\sqrt{\frac{E^4}{4X_T^2}-\left\{P^2+\frac{QE^2}{X_T}\right\}}$$

$$\left\{U_L^2\right\}_{1,2}=\frac{E^2}{2}-QX_T\pm X_T\sqrt{\left\{\frac{S_K''}{2}\right\}^2-\left\{P^2+Q.S_K''\right\}}$$

$$\left\{u_L^2\right\}_{1,2}=\frac{1}{2}-\frac{QX_T}{E^2}\pm\frac{X_T}{E^2}\sqrt{\left\{\frac{S_K''}{2}\right\}^2-\left\{P^2+Q.S_K''\right\}}$$

$$\left\{u_L^2\right\}_{1,2}=\frac{1}{2}-\frac{Q}{S_K''}\pm\frac{1}{S_K''}\sqrt{\left\{\frac{S_K''}{2}\right\}^2-\left\{P^2+Q.S_K''\right\}}$$

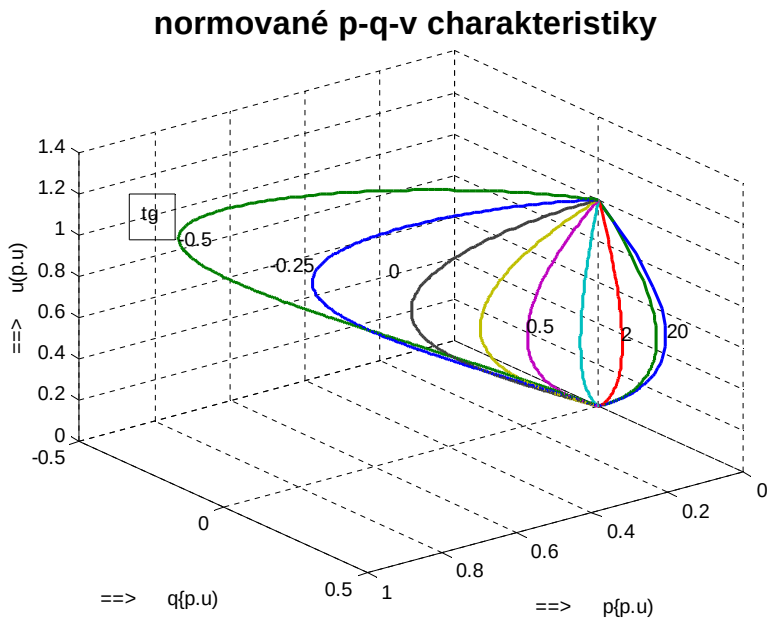
$$\left\{u_L^2\right\}=\frac{1}{2}-q\pm\sqrt{\frac{1}{4}-\left\{p^2+q\right\}}$$

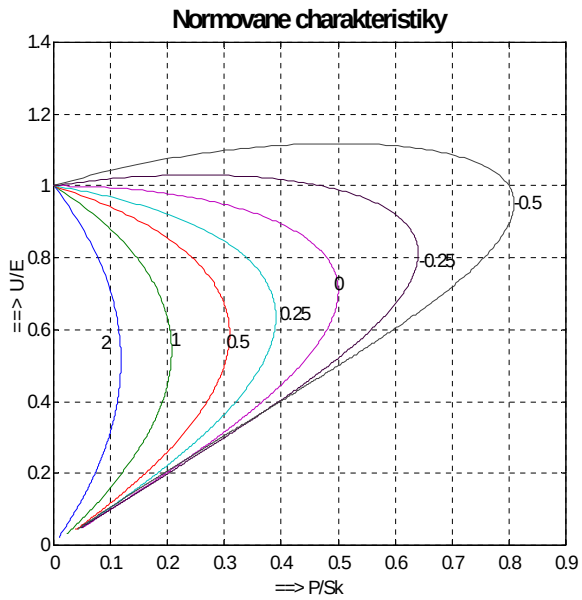
$$p=u_L^2g,\quad q=u_L^2g.tg\varphi$$

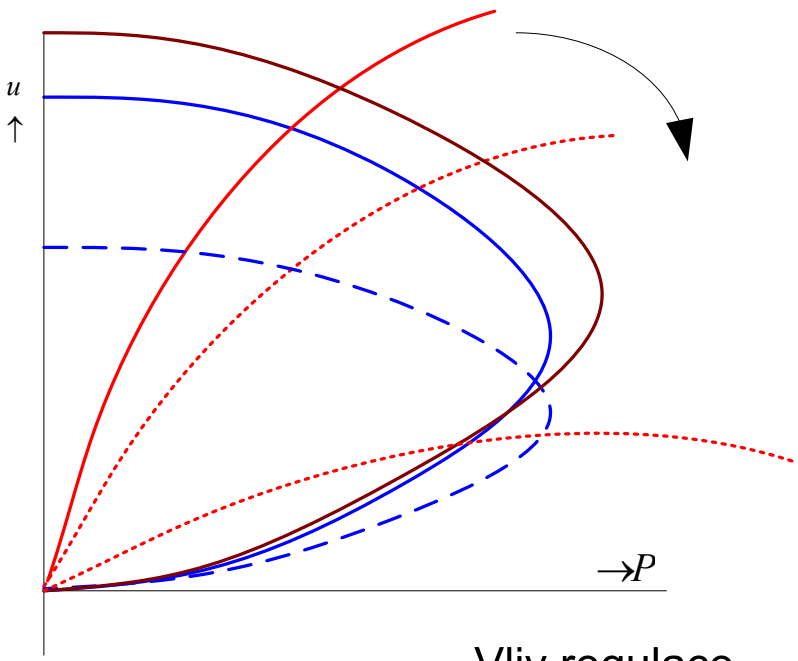
$$u_L^2=\frac{1}{2}-u_L^2g.tg\varphi\pm\sqrt{\frac{1}{4}-\left\{\left(u_L^2g\right)^2+u_L^2g.tg\varphi\right\}}$$

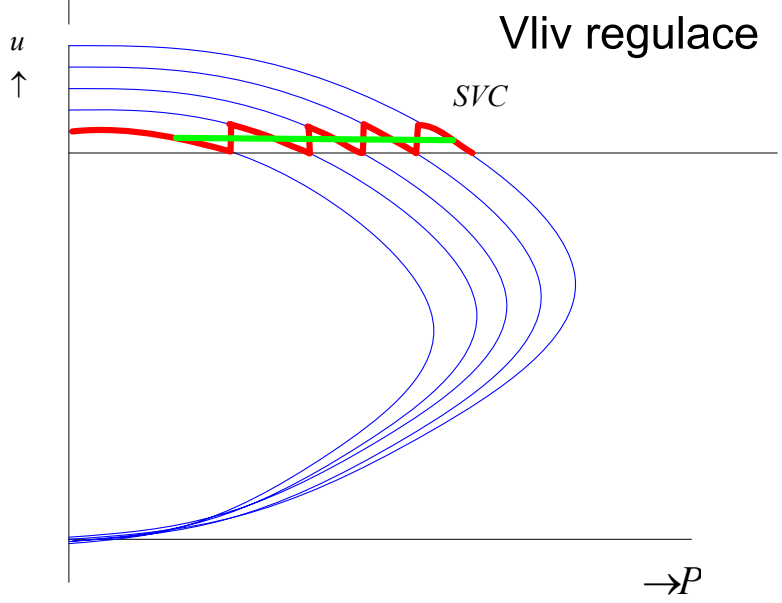
$$u_L^2\left(1+g.tg\varphi\right)=\frac{1}{2}\pm\sqrt{\frac{1}{4}-\left\{\left(u_L^2g\right)^2+u_L^2g.tg\varphi\right\}}=\frac{1\pm\sqrt{1-4\left\{\left(u_L^2g\right)^2+u_L^2g.tg\varphi\right\}}}{2}$$

$$u_L=\frac{1}{\sqrt{g_L^2+\left(1+g_L.tg\varphi\right)^2}}$$









$$\hat{Z}_\Sigma = \hat{Z}_T + \hat{Z}_L$$

$$\hat{S}_L = \hat{U}.\hat{I}^* = \frac{\overbrace{\hat{E}.\hat{Z}_L}^{\hat{U}}}{\hat{Z}_\Sigma}.\frac{\overbrace{\hat{E}^*}^{\hat{I}^*}}{\hat{Z}_\Sigma^*} = \frac{E^2.Z_L e^{-j\varepsilon_L}}{\left|\hat{Z}_\Sigma\right|^2}$$

$$\left|\hat{Z}_\Sigma\right|^2 = \hat{Z}_L^2 + \hat{Z}_T^2 + \hat{Z}_T\hat{Z}_L^* + \hat{Z}_L\hat{Z}_T^* = \hat{Z}_L^2 + \hat{Z}_T^2 + Z_T Z_L\left\{e^{j(\varepsilon_T-\varepsilon_L)} + e^{-j(\varepsilon_T-\varepsilon_L)}\right\}$$

$$\left|\hat{Z}_\Sigma\right|^2 = Z_L^2 + Z_T^2 + 2.Z_T Z_L\cos\left(\varepsilon_T - \varepsilon_L\right)$$

$$\hat{S}_L = \frac{E^2.Z_L e^{-j\varepsilon_L}}{Z_L^2 + Z_T^2 + 2.Z_T Z_L\cos\left(\varepsilon_T - \varepsilon_L\right)} = P_L + jQ_L$$

$Q_L > 0$ *kapacitní odběr*, *induktivní dodávka*

$Q_L < 0$ *induktivní odběr*, *kapacitní dodávka*

$P_L > 0$ *činný odběr* $P_L < 0$ *činná dodávka*

pro maximální předaný výkon $\left(\hat{Z}_L = \hat{Z}_T^*\right)$a

zkratový výkon $S_k = E^2/Z_T$ platí:

$$P_{L\max} = \frac{E^2.\cos\varepsilon_L}{2Z_T\left\{1+\cos\left(\varepsilon_T-\varepsilon_L\right)\right\}} = \frac{1}{2}\frac{S_k\cos\varepsilon_L}{\left\{1+\cos\left(\varepsilon_T-\varepsilon_L\right)\right\}}$$

$$\hat{U} = \frac{e^{j\varepsilon_L}}{e^{j\varepsilon_T}+e^{j\varepsilon_L}}\hat{E} = \frac{1}{e^{j(\varepsilon_T-\varepsilon_L)}+1}\hat{E}$$

Stanovení Z_L pro maximalizaci P

polární tvar:

$$\frac{\partial P}{\partial Z_L} = \frac{E^2 \cos\varepsilon_L \left[J - Z_L \left(2Z_L + 2Z_T \cos\{\varepsilon_T - \varepsilon_L\} \right) \right]}{J^2} =$$

$$= 0 = \frac{E^2 \cos\varepsilon_L \left[Z_T^2 - Z_L^2 \right]}{J^2} \Rightarrow Z_T = Z_L \quad \text{rovnost modulů}$$

$$\frac{\partial P}{\partial \varepsilon_L} = \frac{E^2 Z_L}{J^2} \left\{ -J.\sin\varepsilon_L - 2Z_T Z_L \cos\varepsilon_L \sin\left(\varepsilon_T - \varepsilon_L\right) \right\} =$$

$$= 0 = \frac{E^2 Z_L}{J^2} \left\{ -\left(Z_T^2 + Z_L^2 \right) \sin\varepsilon_L - 2Z_T Z_L \sin\varepsilon_T \right\}$$

při podmínce modulů $Z_T = Z_L = Z$

$$\frac{\partial P}{\partial \varepsilon_L} = 0 = \frac{E^2 Z_L}{J^2} \left\{ -2Z^2 \sin\varepsilon_L - 2Z^2 \sin\varepsilon_T \right\} \Rightarrow \varepsilon_L = -\varepsilon_T$$

kartézský tvar:

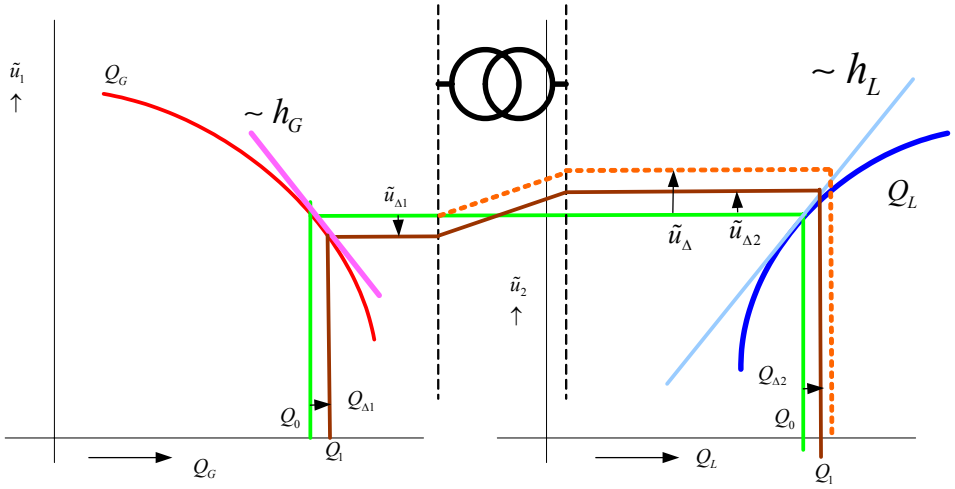
$$\hat{Z}_\Sigma = \left(R_T + R_L \right) + j\left(X_T + X_L \right); \quad \left| Z_\Sigma \right|^2 = \left(R_T + R_L \right)^2 + \left(X_T + X_L \right)^2$$

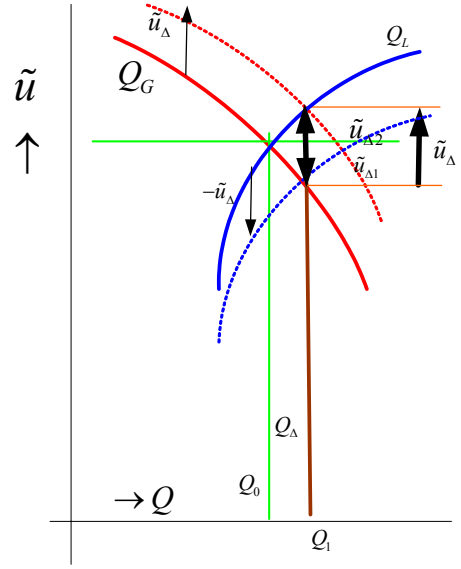
$$\hat{I} = \frac{\hat{E}}{\hat{Z}_\Sigma}, \qquad P_L = R_L I^2 = \frac{R_L E^2}{\left| Z_\Sigma \right|^2}$$

$$\frac{\partial P_L}{\partial X_L} = -\frac{2R_L E^2 \left(X_T + X_L \right)}{\left| Z_\Sigma \right|^4} = 0 \Rightarrow X_T + X_L = 0$$

$$\frac{\partial P_L}{\partial R_L} = \frac{E^2 \left| Z_\Sigma \right|^2 - 2R_L E^2 \left(R_T + R_L \right)}{\left| Z_\Sigma \right|^4} = 0 \Rightarrow \left(R_T + R_L \right) - 2R_L = 0$$

Impedance transportu a zátěže jsou navzájem konjugované





bilanční podmínka pro Q

pro změnu způsobenou $\tilde{u}_\Delta$:

$$Q_{\Delta G} = Q_{\Delta L} = Q_\Delta$$

$$Q_\Delta = \underbrace{-h_G \tilde{u}_{\Delta 1}}_{Q_{\Delta G}} = \underbrace{h_L \tilde{u}_{\Delta 2}}_{Q_{\Delta L}}$$

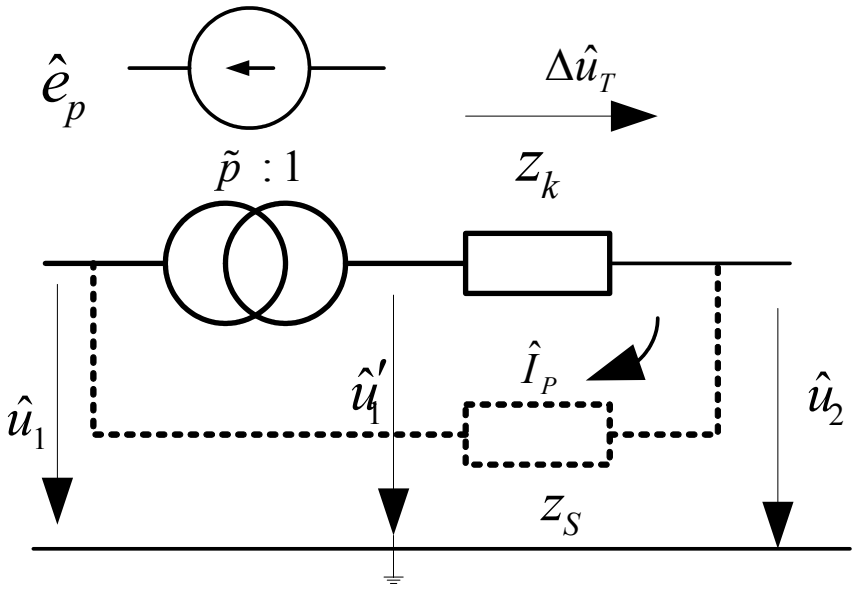
$$\tilde{u}_\Delta = \tilde{u}_{\Delta 2} - \tilde{u}_{\Delta 1}$$

$$\tilde{u}_\Delta = \frac{Q_\Delta}{h_L} + \frac{Q_\Delta}{h_G} = Q_\Delta \overbrace{\left(\frac{h_G + h_L}{h_G.h_L} \right)}^{1/h_\Delta}$$

h_Δ... *výkonové číslo napěťové diference*

$$u_{\Delta 2} = \frac{Q_\Delta}{h_L} = \frac{h_\Delta}{h_L} u_\Delta, \quad u_{\Delta 1} = -\frac{Q_\Delta}{h_G} = \frac{h_\Delta}{h_G} u_\Delta \text{.....změny napětí}$$

Jednoduchý model transformátoru



z_s, z_k... *impedance sítě, impedance nakrátko trafa*

$\tilde{p}$...*poměrný převod trafa* $\Delta\hat{u}_T$...*úbytek napětí na trafu*

$\hat{e}_p, \hat{i}_p$...*přídavná napětí a proudu*

$$\text{smyčky}: \ \hat{u}_1' - \hat{u}_2 - \Delta\hat{u}_T = \hat{0}; \qquad \tilde{u}_1 - \hat{u}_1' + \hat{e}_p = \hat{0}$$

$$\frac{\hat{u}_1}{\tilde{p}} = \frac{\hat{u}_1'}{1}, \quad \hat{u}_1' = \hat{u}_2 + \Delta\hat{u}_T = \frac{\hat{u}_1}{\tilde{p}}$$

$$\hat{u}_1 = \tilde{p}(\hat{u}_2 + \Delta\hat{u}_T),$$

$$\hat{e}_p = \hat{u}_1' - \hat{u}_1 = \hat{u}_1\left(\frac{1-\tilde{p}}{\tilde{p}}\right), \quad \hat{i}_p = \frac{\hat{e}_p}{z_s + z_k}$$

Regulační transformátor a metodika výpočtu napětí.

Předpoklady: Transformátor je bezeztrátový

Vztažná napětí jsou napětí sítě.

$U_{nT1}, U_{nT2}, U_{nS1}, U_{nS1}$.... *jmenovitá napětí trafa a sítě*

$$p_S = \frac{U_{nS1}}{U_{nS2}}, p_T = \frac{U_{nT1}}{U_{nT2}}, \quad \tilde{p}_S = 1, \tilde{p}_T = \frac{p_T}{p_{Tb}} \quad \text{převody soustavy, trafa}$$

U_1, U_2, u_1, u_2.....*skutečná napětí v SI a p.u.*

$\tilde{u}_1 = \dfrac{U_{nT1}}{U_{nS1}}, \tilde{u}_2 = \dfrac{U_{nT2}}{U_{nS2}}$....*poměry jmenovitých napětí*

---

zobrazování skutečných napětí v p.u. charakteristikách

$$U_2 = \frac{U_1}{p_T} \Rightarrow u_2 = \frac{U_1}{p_T}\frac{1}{U_{nS2}} = \frac{u_1 U_{nS1}}{p_T}\frac{1}{U_{nS2}} = u_1\frac{p_S}{p_T} \Rightarrow$$

$je-li\ \dfrac{p_S}{p_T} \neq 1$ nezobrazí se pracovní body primáru a sekundáru

do jednoho bodu $\Rightarrow$ vzniká $\tilde{u}_\Delta$

$U_{\Delta 1} = U_{nT1} - U_{nS1}, U_{\Delta 2} = U_{nT2} - U_{nS2}$....*diference jmenovitých napětí*

$\tilde{u}_{\Delta 1} = \dfrac{U_{\Delta 1}}{U_{nS1}}, \tilde{u}_2 = \dfrac{U_{\Delta 2}}{U_{nS2}}$.....*poměrné hodnoty diferencí*

$\tilde{u}_\Delta = \tilde{u}_2 - \tilde{u}_1 = \tilde{u}_{\Delta 2} - \tilde{u}_{\Delta 1}$...*rezultující diference (nesoulad) napětí*

$k_\Delta = \dfrac{\tilde{u}_2}{\tilde{u}_1} = \dfrac{p_S}{p_T}$.....*koeficient napěťových diferencí*

$$k_\Delta = \frac{\overbrace{U_{nS2} + U_{\Delta 2}}^{U_{nT2}}}{\underbrace{U_{nS1} + U_{\Delta 1}}_{U_{nT1}}} \cdot \frac{U_{nS1}}{U_{nS2}} = \frac{1+\tilde{u}_{\Delta 2}}{1+\tilde{u}_{\Delta 1}} \doteq (1+\tilde{u}_{\Delta 2})(1-\tilde{u}_{\Delta 1}) \doteq 1 + \overbrace{(\tilde{u}_{\Delta 2} - \tilde{u}_{\Delta 1})}^{\tilde{u}_\Delta}$$

vazba mezi h_Δ, k_Δ *a* $\tilde{u}_\Delta$

známé výsledky $h_\Delta = \dfrac{h_G.h_L}{h_G + h_L}$, $k_\Delta = \dfrac{u_2}{u_1}$

$$\tilde{u}_{\Delta 2} = \frac{Q_\Delta}{h_L} = \frac{h_\Delta}{h_L}\tilde{u}_\Delta, \quad \tilde{u}_{\Delta 1} = -\frac{Q_\Delta}{h_G} = -\frac{h_\Delta}{h_G}\tilde{u}_\Delta$$

$$\tilde{u}_\Delta = u_2 - u_1 = (k_\Delta - 1)u_1 = (k_\Delta - 1)(u_0 + \tilde{u}_{\Delta 1})$$

$$\tilde{u}_\Delta = (k_\Delta - 1)\left(u_0 - \frac{h_\Delta}{h_G}\tilde{u}_\Delta\right)$$

$$\tilde{u}_\Delta \left\{1 + (k_\Delta - 1)\frac{h_\Delta}{h_G}\right\} = (k_\Delta - 1)u_0$$

$$\tilde{u}_\Delta \left\{1 + (k_\Delta - 1)\frac{h_\Delta}{h_G}\right\} = \tilde{u}_\Delta \left\{1 + (k_\Delta - 1)\frac{h_L}{h_G + h_L}\right\} =$$

$$= \tilde{u}_\Delta \left\{\frac{h_G + h_L - h_L + k_\Delta h_L}{h_G + h_L}\right\} = \tilde{u}_\Delta \left\{\frac{h_G + k_\Delta h_L}{h_G + h_L}\right\}$$

$$\tilde{u}_\Delta = \frac{h_G + h_L}{h_G + k_\Delta h_L}(k_\Delta - 1)u_0$$

$U_1 = (U_2 + \Delta U_T).p_T = (U_2 + \Delta U_T)\dfrac{p_S}{k_\Delta}$.....model transformátoru

$u_1 = (u_2 + \Delta u_T)\dfrac{1}{k_\Delta}$.....model v poměrných hodnotách

$$u_2 = k_\Delta u_1 - \Delta u_T = 1 + \Delta u_2 = \overbrace{(1 + \tilde{u}_\Delta)}^{k_\Delta}(1 + \Delta u_1) - \Delta u_T$$

$$\Delta u_2 = \Delta u_1 + \tilde{u}_\Delta - \Delta u_T \Rightarrow u_2 = u_1 + \tilde{u}_\Delta - \Delta u_T \ldots \textit{výsledek}$$

jiný způsob:

$$\Delta u_1 = \frac{U_1 - U_{ns1}}{U_{ns1}}, \quad \Delta u_2 = \frac{U_1 - U_{ns2}}{U_{ns2}}, \quad \Delta u_T = \frac{\Delta U_T}{U_{ns2}} \quad (a)$$

dosazením (a) do modelu transformátoru:

$$\underbrace{\Delta u_1 U_{ns1} + U_{ns1}}_{U_1} = \left(\underbrace{\Delta u_2 U_{ns2} + U_{ns2}}_{U_2} + \underbrace{\Delta u_T U_{ns2}}_{\Delta U_T}\right).p_T$$

$$\Delta u_1 + 1 = \overbrace{\left(\frac{U_{ns2}}{U_{ns1}}\right)}^{1/p_S} p_T(\Delta u_2 + 1 + \Delta u_T).$$

$$\Delta u_1 = \frac{p_T}{p_S}(\Delta u_2 + 1 + \Delta u_T).p_T - 1 \qquad (b)$$

– –

vyjádření převodu trafa pomocí sítě:

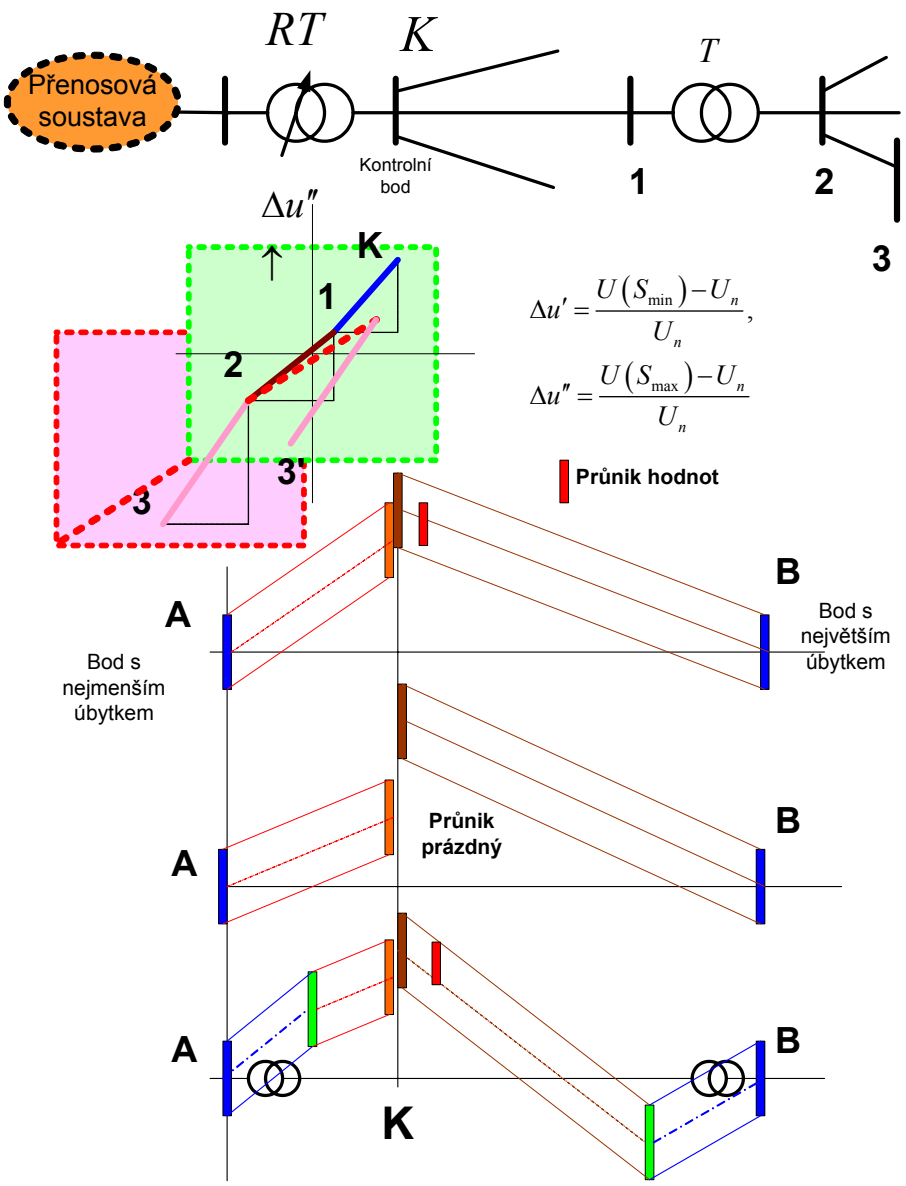
$$p_T = \frac{U_{nT1}}{U_{nT2}} = \frac{U_{\Delta 1} + U_{ns1}}{U_{\Delta 2} + U_{ns2}} = \frac{U_{ns1}}{U_{ns2}}\frac{1 + u_{\Delta 1}}{1 + u_{\Delta 2}} \doteq p_s(1 + u_{\Delta 1})(1 - u_{\Delta 2})$$

$$p_T = p_s(1 + \tilde{u}_{\Delta 1} - \tilde{u}_{\Delta 2}) = p_S(1 - \tilde{u}_\Delta) \qquad (c)$$

$b \to c$:

$$\Delta u_1 = \overbrace{(1 - \tilde{u}_\Delta)}^{p_T/p_S}(1 + \Delta u_2 + \Delta u_T) - 1 = -\tilde{u}_\Delta + \Delta u_2 + \Delta u_T$$

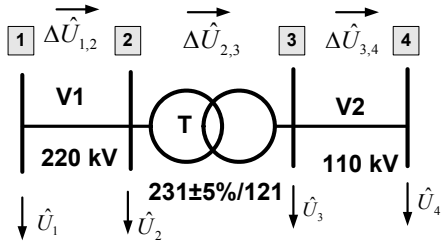
$$\Delta u_2 = \Delta u_1 + \tilde{u}_\Delta - \Delta u_T \Rightarrow u_2 = u_1 + \tilde{u}_\Delta - \Delta u_T \ldots \textit{výsledek}$$



$$\Delta u' = \frac{U(S_{\min}) - U_n}{U_n},$$

$$\Delta u'' = \frac{U(S_{\max}) - U_n}{U_n}$$

P1:Stanovte napěťový profil schématu:



	1-2	ΔU_T	3-4
$\Delta u'(\%)$	3	2	4
$\Delta u''(\%)$	6	4	7

vliv převodu:

$$T: \tilde{u}_\Delta = \tilde{u}_{\Delta 2} - \tilde{u}_{\Delta 1} = \frac{U_{nT2} - U_{nS2}}{U_{nS2}} - \frac{U_{nT1} - U_{nS1}}{U_{nS1}} = \frac{U_{nT2}}{U_{nS2}} - \frac{U_{nT1}}{U_{nS1}} = u_{T2} - u_{T1}$$

$$+5\%: \tilde{u}_\Delta = \frac{121}{110} - \frac{231 + 5*2.31}{220} = 1.1 - 1.1025 \doteq 0\%$$

$$0\%: \tilde{u}_\Delta = \frac{121}{110} - \frac{231}{220} = 1.1 - 1.05 \doteq 5\%$$

$$-5\%: \tilde{u}_\Delta = \frac{121}{110} - \frac{231 - 5*2.31}{220} = 1.1 - 0.9975 \doteq 10\%$$

Napěťový profil

		Δu_1	$\Delta u_2 = \Delta u_1 + \Delta u_{12}$	$\Delta u_3 = \Delta u_2 - \tilde{u}_{T_\Delta} + \Delta u_T$	$\Delta u_4 = \Delta u_3 + \Delta u_{34}$
$\Delta u''$	+5%	-3	-3+6=3	3-0+4=7	7+7=14
	0%			3-5+4=2	2+7=9
	-5%			3-10+4=-3	-3+7=4
$\Delta u'$	+5%	-5	-5+3=-2	-2-0+2=0	0+4=4
	0%			-2-5+2=-5	-5+4=-1
	-5%			-2-10+2=-10	-10+4=-6

Příklady:

P2:V transformační stanici T1: 400/121/10.5 napájené zdrojem ∞ výkonu přenášející na odbočce

$U_{nT2} = 110kV$ **výkon** $\hat{S}_0 = (180 + j90)\,MVA$

do zátěže s $H_L = 5MVAr/kV$

Stanovte změny při přepnutí $U_{nT2} \to U'_{nT2} = 121\ kV$

výchozí stav:

$$\tilde{u}_1 = \frac{U_{nT1}}{U_{nS1}} = \frac{400}{400} = 1; \qquad \tilde{u}_2 = \frac{U_{nT2}}{U_{nS2}} = \frac{110}{110} = 1; \qquad k_\Delta = \frac{\tilde{u}_2}{\tilde{u}_1} = 1$$

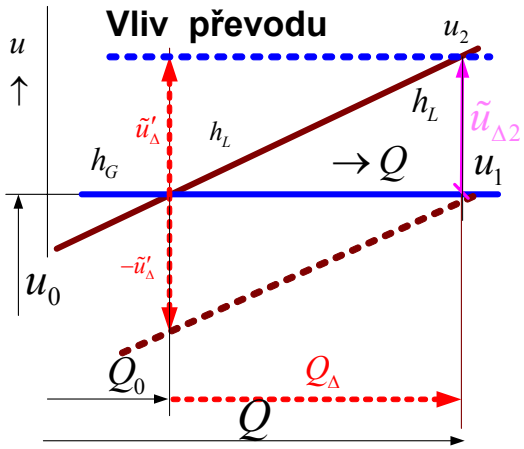
$$h_L = H_L U_{nS2} = 5*110 = 550\ MVAr$$

stav po přepnutí: $\tilde{u}'_2 = \frac{U'_{nT2}}{U_{nS2}} = \frac{121}{110} = 1.1 \qquad k'_\Delta = \frac{\tilde{u}'_2}{\tilde{u}_1} = 1.1$

$$\tilde{u}_{\Delta 1} = 1 - 1 = 0, \qquad \tilde{u}'_\Delta = \tilde{u}_{\Delta 2} = \tilde{u}'_2 - \tilde{u}_1 = 1.1 - 1 = 0.1$$

$Q_\Delta = h_L * \tilde{u}'_\Delta = 550*0.1 = 55MVAr;$ *změna výkonu vlivem převodu*

$$Q = Q_0 + Q_\Delta = 90 + 55 = 145\ MVAr.$$



P2: V Transformovně T1 z P1 napájené zdrojem konečného výkonu s H_G=10MVAr/kV stanovte U_1, U_2 a Q

a) Při ΔQ=50 MVAr a zachování charakteru zátěže.

b) Při přepnutí $U_{nT2} = 110\,kV \to U'_{nT2} = 121\ kV$

c) a + b

případ a)

$$h_G = H_G U_{nS1} = 100*400 = 4000MVAr$$

$$h'_L = h_L \frac{Q}{Q_0} = 550\frac{90+50}{90} = 855.56\ MVAr$$

$$h_S = h_G + h_L = 4000 + 855.56 = 4855.6\ MVAr$$

$$\Delta u = -\frac{\Delta Q}{h_s} = \frac{50}{4855.6} = -0.0103,$$

$$u = u_0 + \Delta u = 1 - 0.0103 = 0.9897$$

$$\Delta Q_G = -h_G \Delta u = -4000*(-0.0103) = 41.2\ MVAr$$

$$\Delta Q_L = h_L \Delta u = 855.56*(-0.0103) = -8.8\ MVAr$$

$$\Delta Q = \Delta Q_G - \Delta Q_L = 41.2 - (-8.8) = 50\ MVAr.....kontrola$$

$$Q_G = Q_L = Q_0 + \Delta Q_G = 90 + 41.2 = 131.2\ MVAr$$

$$jinak: Q_L = Q_0 + \Delta Q + \Delta Q_L = 90 + 50 - 8.8 = 131.2\ MVAr$$

$$U_1 = U_{10} + \underbrace{\Delta u * U_{nS1}}_{\Delta U_1} = 400 + \underbrace{(-0.0103)*400}_{-4.12} = 395.88\ kV$$

$$U_2 = U_{20} + \underbrace{\Delta u * U_{nS2}}_{\Delta U_2} = 110 + \underbrace{(-0.0103)*110}_{-1.133} = 108.867\ kV$$

případ b)

stav po přepnutí :

$$\tilde{u}_2' = \frac{U_{nT2}'}{U_{nS2}} = \frac{121}{110} = 1.1 \qquad k_\Delta' = \frac{\tilde{u}_2}{\tilde{u}_1} = \frac{1.1}{1} = 1.1$$

$$\Delta u = \tilde{u}_2' - \tilde{u}_1 = 1.1 - 1 = 0.1$$

$$\tilde{u}_\Delta = \frac{h_G + h_L}{h_G + k_\Delta h_L}(k_\Delta - 1)u_0 = \frac{4000 + 550}{4000 + 1.1 * 550}(1.1 - 1).1 = 0.098806$$

$$h_\Delta = \frac{h_G h_L}{h_G + h_L} = \frac{4000 * 550}{4000 + 550} = 483.5165$$

$$\tilde{u}_{\Delta 1} = -\frac{h_\Delta}{h_G} u_\Delta = \frac{483.5165}{4000} 0.098806 = -0.011944$$

$$\tilde{u}_{\Delta 2} = \frac{h_\Delta}{h_L} u_\Delta = \frac{483.5165}{550} 0.098806 = 0.08686$$

$$u_1 = u_0 + \tilde{u}_{\Delta 1} = 1 - 0.011944 = 0.98806$$

$$U_1 = u_1 U_{nS1} = 0.98806 * 400 = 395.224 \ kV$$

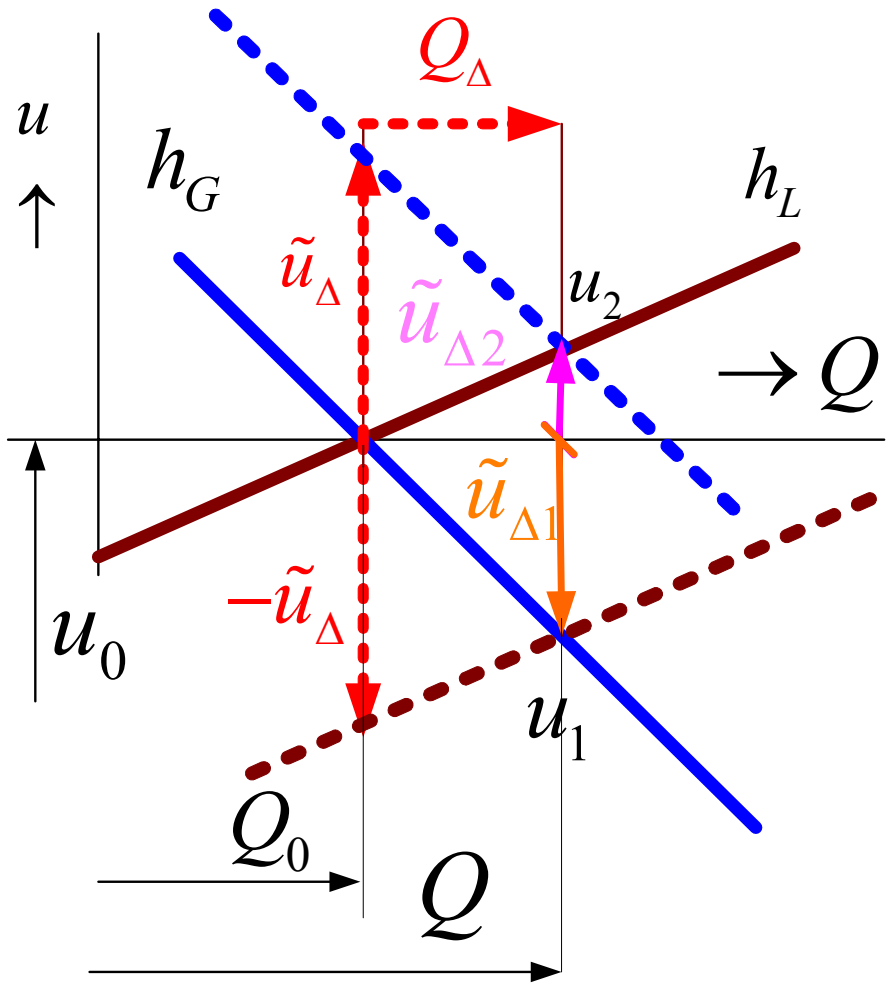
$$u_2 = u_0 + \tilde{u}_{\Delta 2} = 1 + 0.08686 = 1.08686$$

$$U_2 = u_2 U_{nS2} = 1.08686 * 110 = 119.555 \, kV$$

$$Q_\Delta = h_\Delta * \tilde{u}_\Delta = 483.5165 * 0.98806 = 47.774 MVAr;$$

$$Q = Q_0 + Q_\Delta = 90 + 47.774 = 137.774 \, MVAr.$$

Vliv převodu



případ c) na výsledky případu a) se seperponuje případ b):

výsledky a:

$u_0 = 0.9897,\ Q_0' = 131.2 MVAr$

$h_G = 4000\,MVAr,\ h_L = 855.6\,MVAr,\ k_\Delta = 1.1$

$$\tilde{u}_\Delta = \frac{h_G + h_L}{h_G + k_\Delta h_L}(k_\Delta - 1)u_0 =$$

$$= \frac{4000 + 855.6}{4000 + 1.1 * 855.6}(1.1 - 1).0.9897 = 0.097256$$

$$h_\Delta = \frac{h_G h_L}{h_G + h_L} = \frac{4000 * 855.6}{4000 + 855.6} = 704.8085$$

$$\tilde{u}_{\Delta 1} = -\frac{h_\Delta}{h_G}\tilde{u}_\Delta = -\frac{704.8085}{4000}0.097256 = -0.0171367$$

$$\tilde{u}_{\Delta 2} = \frac{h_\Delta}{h_L}\tilde{u}_\Delta = -\frac{704.8085}{855.6}0.097256 = 0.08012$$

$$u_1 = u_0 + \tilde{u}_{\Delta 1} = 0.9897 + (-0.0171367) = 0.97256$$

$$U_1 = u_1 U_{nS1} = 0.97256 * 400 = 389.024\ kV$$

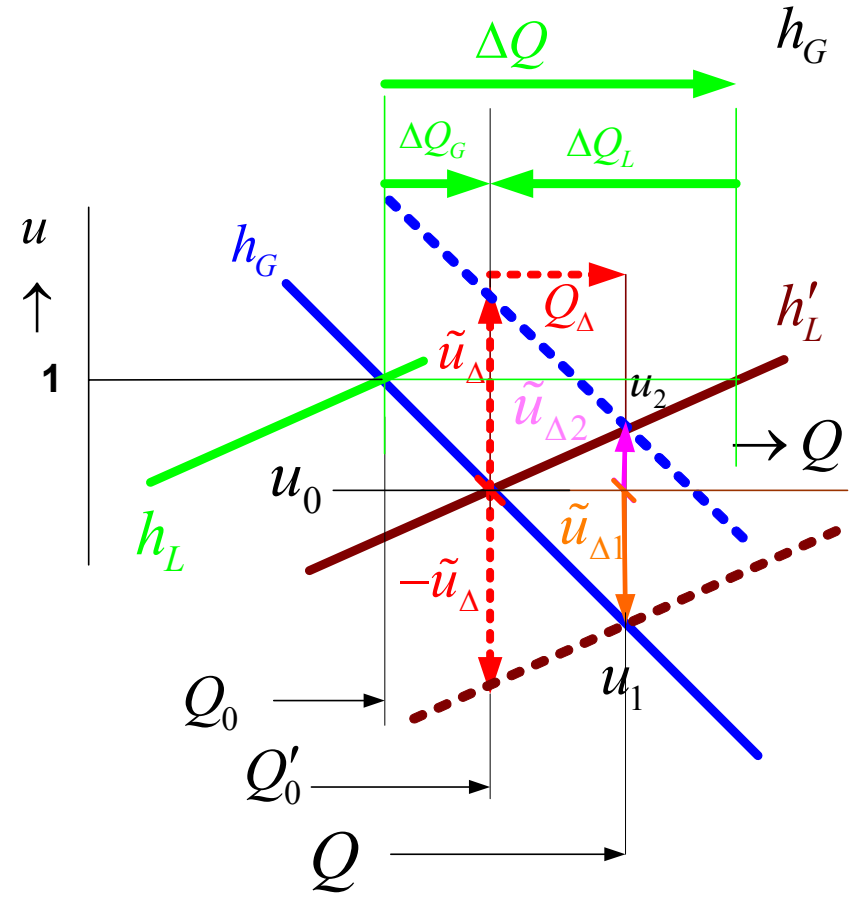
$$u_2 = u_0 + \tilde{u}_{\Delta 2} = 0.9897 + 0.08012 = 1.0698$$

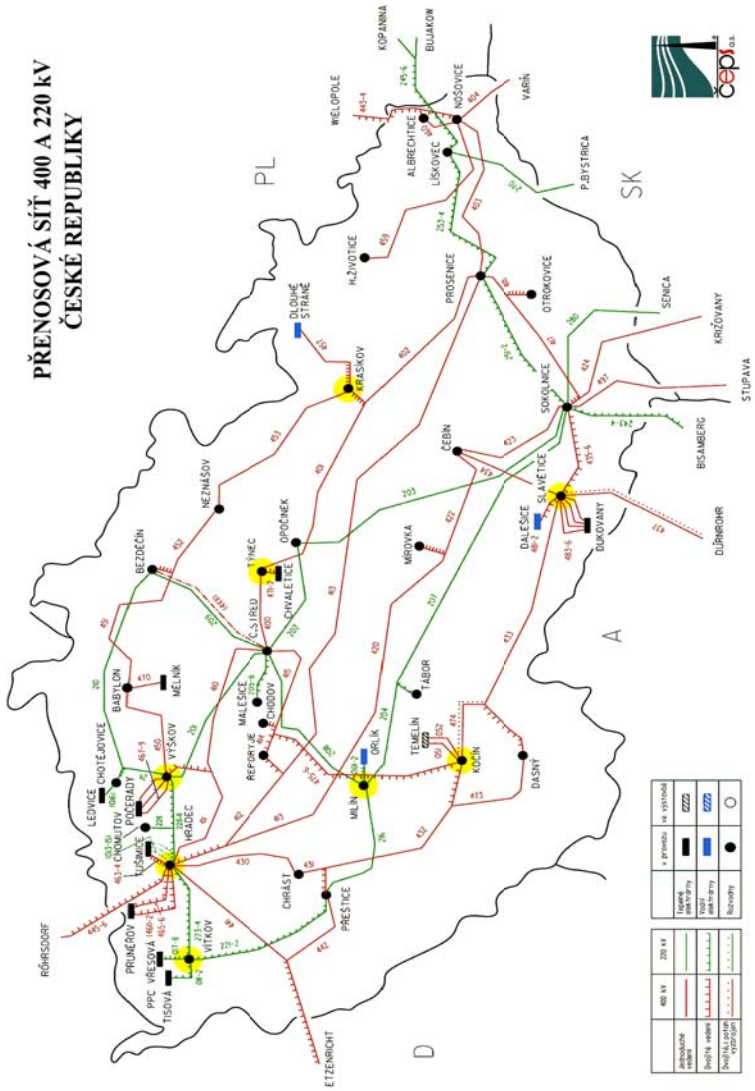
$$U_2 = u_2 U_{nS2} = 1.0698 * 110 = 117.678\,kV$$

$$Q_\Delta = h_\Delta * \tilde{u}_\Delta = 704.8085 * 0.097256 = 68.547 MVAr;$$

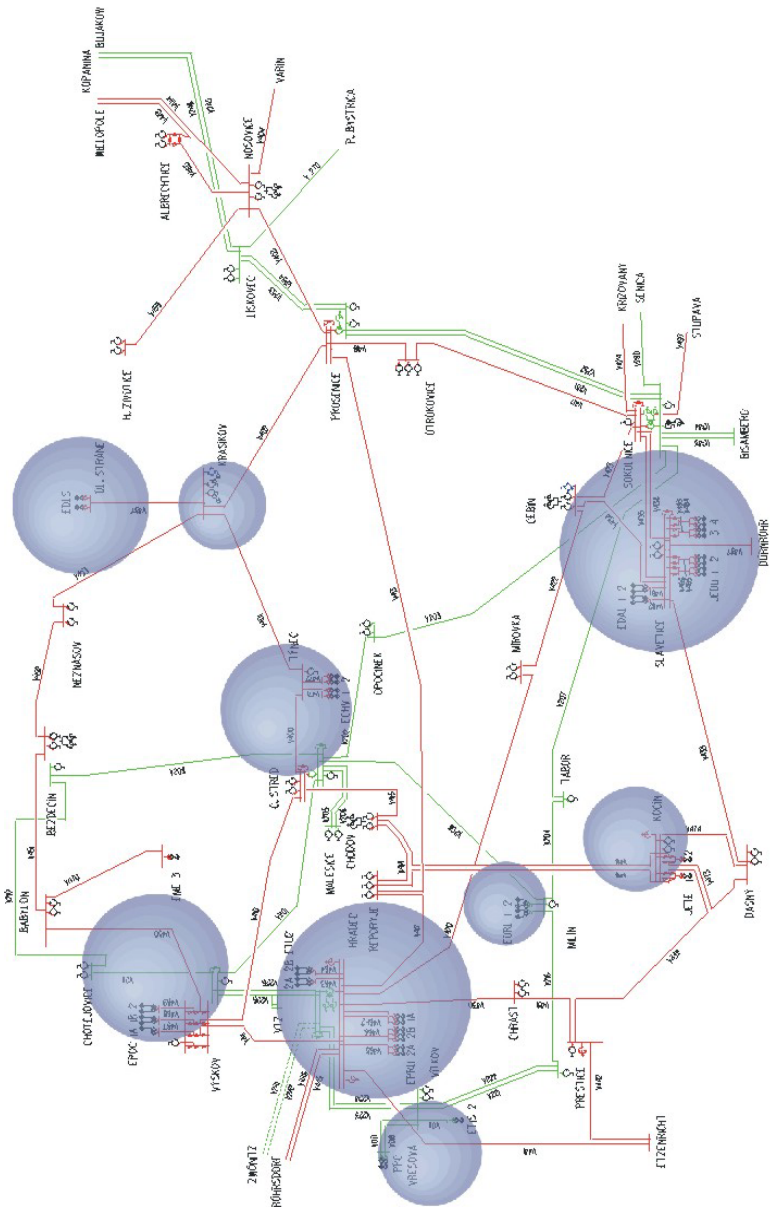
$$Q = Q_0' + Q_\Delta = 131.2 + 68.547 = 199.747\,MVAr$$

Vliv převodu+změna zatížení




PŘENOSOVÁ SÍŤ 400 A 220 kV
ČESKÉ REPUBLIKY
PL
SK
A
D
WELCPOLE
KOPANINA
BLUMAU
ALBRECHTICE
LÍSKOVEC
NOŠOVICE
VARÍŇ
P.BYSTRICA
HŽIVOTICE
PROSENICE
OTROKOVICE
DLOUHÉ STRANĚ
KRASKOV
SENICA
KRIŽOVANY
STUPAVA
SOKOLNICE
ČEBÍN
SLAVĚTICE
BISAMBERG
DÜRNROHR
DALEŠICE
DUKOVANY
MIROVKA
NEZNÁŠOV
OPOČANEK
BEZDĚČÍN
TÝNEC
CHVALETICE
Č.SÍŘED
BABYLON
MĚLNÍK
MALEŠICE
CHODOV
REPORYJE
LEDVICE
CHOTĚJOVICE
VYŠKOV
PODĚRADY
CHOMUTOV
KUŠNICE
HRADEC
TABOR
TEMELÍN
KOČÍN
DASNÝ
MILÍN
ORLÍK
CHRÁST
PŘEŠTICE
RÖHRSDORF
PRUNÉROV
PPC
VRŠOVA
TISOVÁ
VITKOV
ETZENRICHT
400 kV
220 kV
Jednoduché vedení
Dvojité vedení
Dvojitý systém (2x220 kV)
Vedení elektrárny
Rozvodny
v provozu
na výstavbě
ČEPS a.s.

Regulace napětí



Regulace napětí