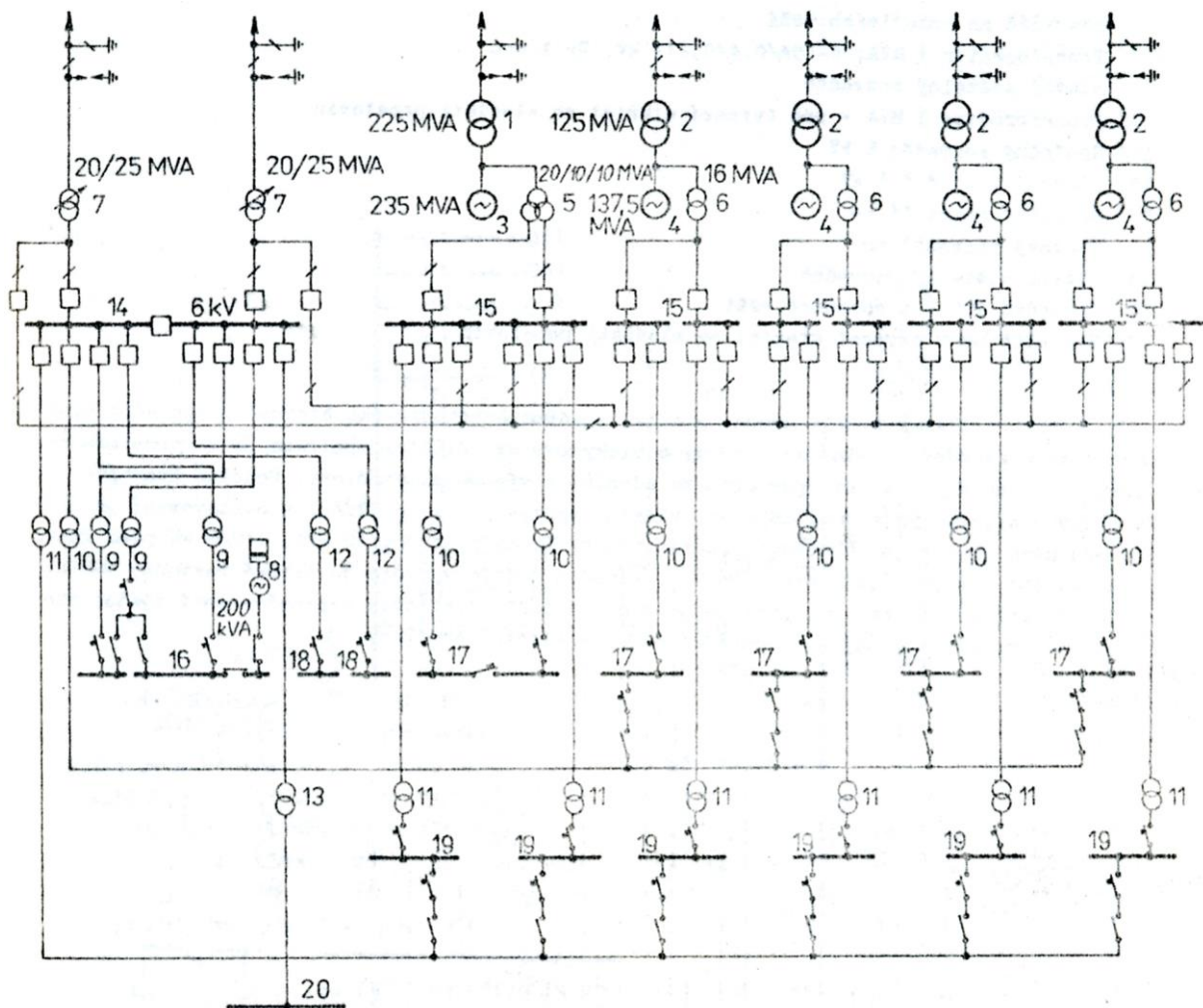


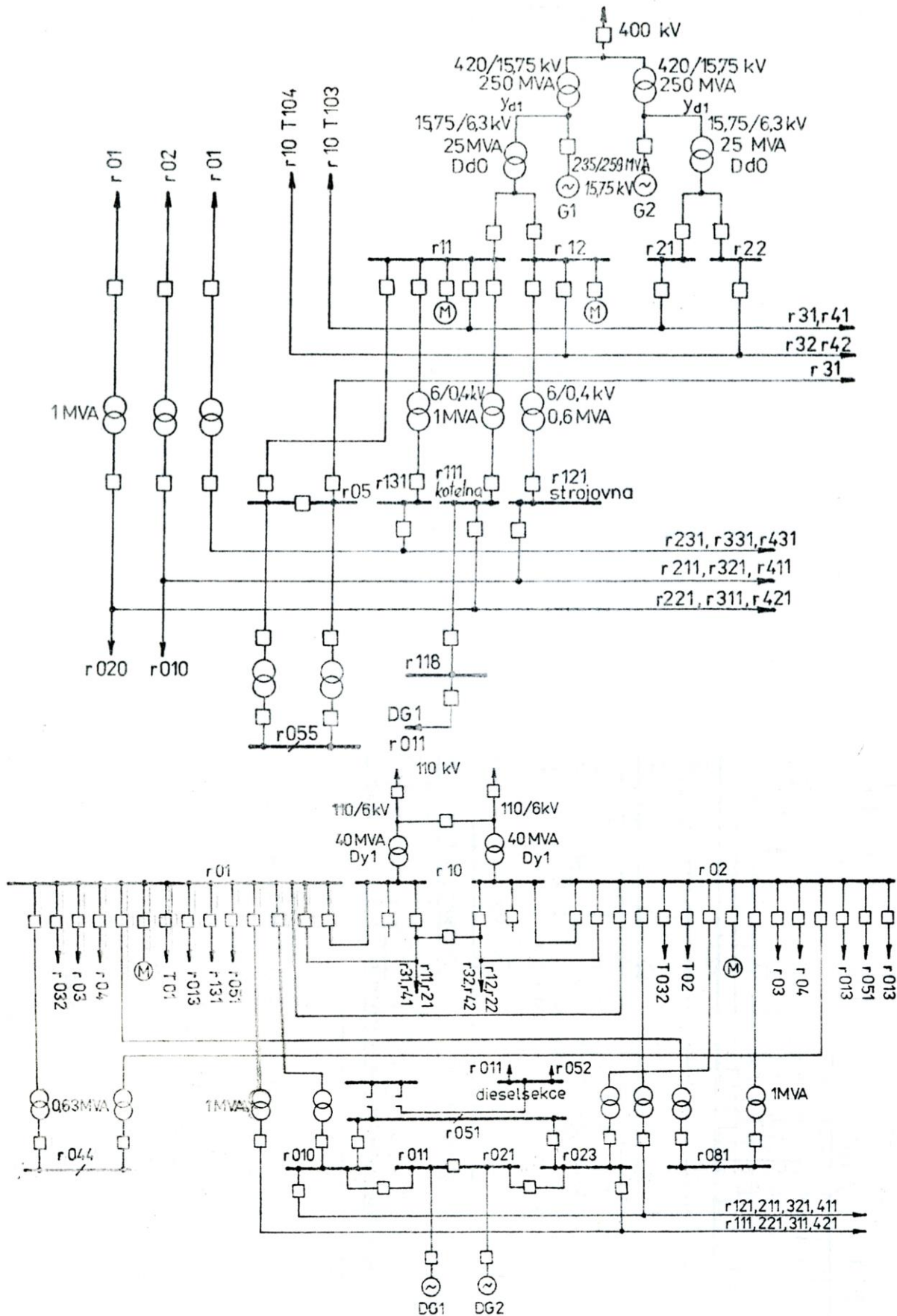
#### 4. Příklady schémat vlastní spotřeby elektrické energie kondenzačních elektráren a tepláren

Příklad schématu čs. konvenční elektrárny s blokem 200 MW a čtyřmi bloky po 110 MW. Výkon vyveden na napěťovou úroveň 220 kV resp. 110 kV.

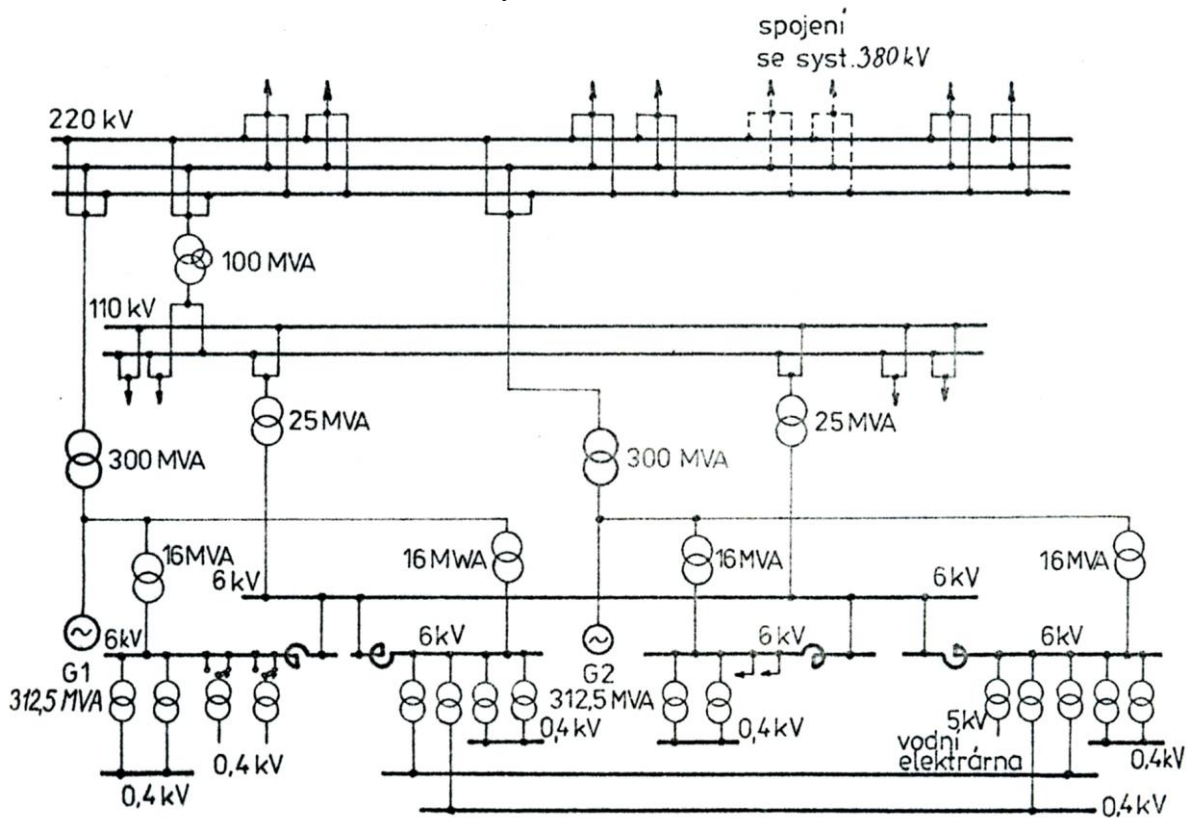
- Blokové transformátory jsou: 3x 75 MVA 242+-5%-15 kV Yd1 (1), resp. 1x 125 MVA 121+-5%/13,8 kV Yd1 (2).
- Transformátory vlastní spotřeby 20/10/10 MVA 15+-5%/6,3/6,3 kV Dd0d0 (5), resp. 16 MVA 13,8+-5%/6,3 kV Dd0 (6).
- Zásokové regulační transformátory jsou 20/25 MVA 110+-16%/6,3 kV Yd1 (7).
- Transformátor společného rozvaděče nn 1,25 MVA 6+-5%/0,4 kV Dy1 (9)
- Transformátor blokového nn 1 MVA 6+-5%/0,4 kV Dy1 (10)
- Transformátor rozvaděče chladicích věží 1,6 MVA 6+-5%/0,4 kV Dy1 (11)
- Transformátor světelného rozvaděče nn 1 MVA 6+-5%/0,4 kV Dy1 (12)
- Transformátor rozvaděče složiště popelovin 1 MVA 6+-5%/0,4 kV Dy1 (13)



Příklad schématu čs. konvenční elektrárny s bloky 200 MW. Výkon vyveden na napětí úrovni 400 kV do blízké rozvodny.



Realizace kondenzační elektrárny 2x 300 MW v SRN:



Elektrické schéma typické pro teplárny, které mají v důsledku blízkosti aglomerace vývod pro odběratele i na vn.

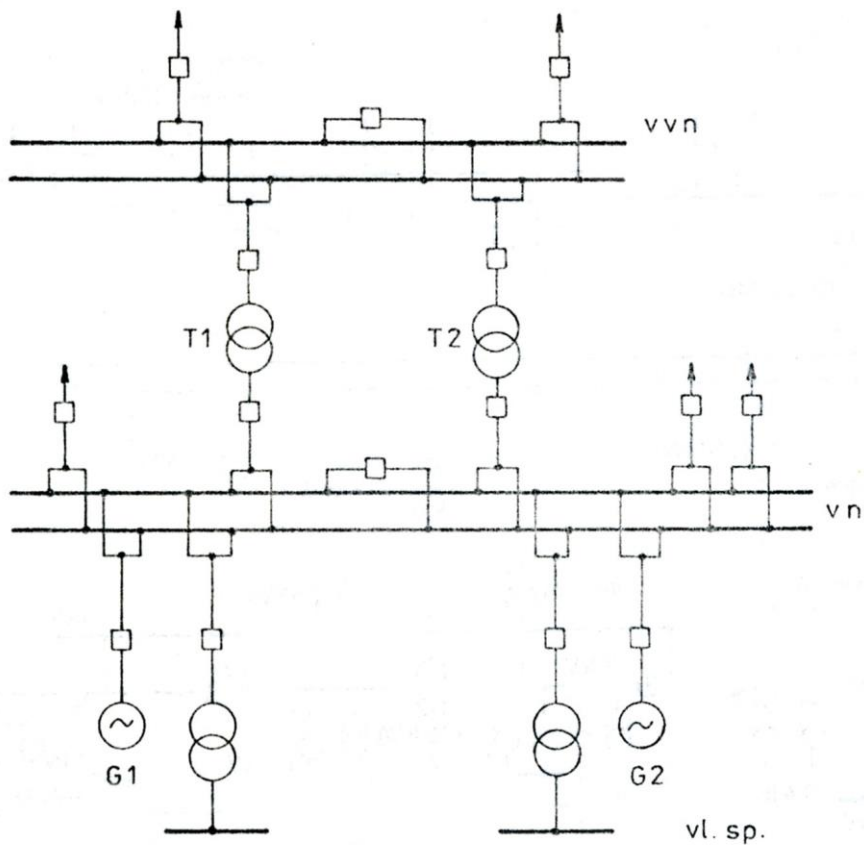
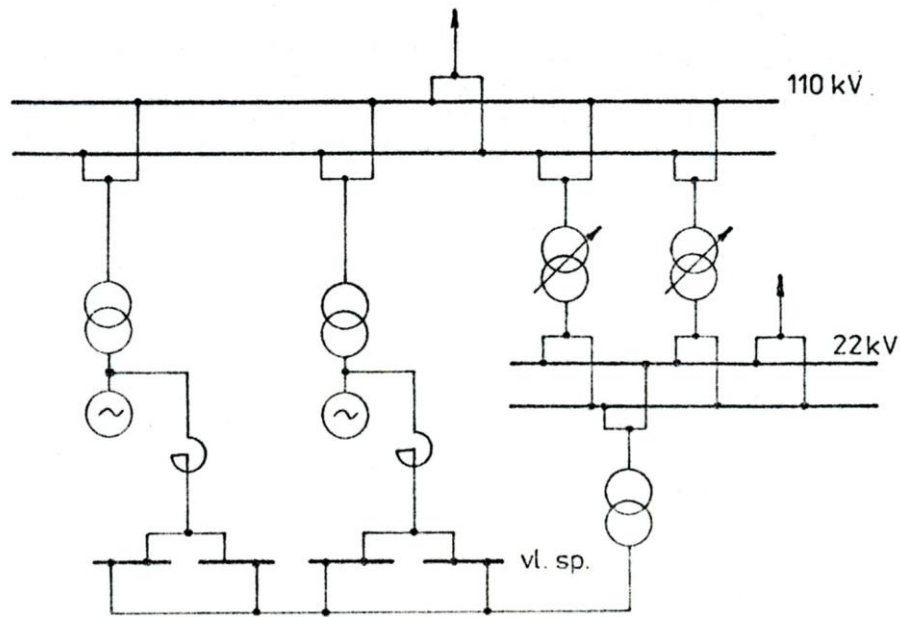


Schéma výkonově větší teplárny s reaktory vývodu V.S. pro omezení zkratových proudů:



## 5. Příklady schémat vlastní spotřeby elektrické energie jaderných elektráren

Příklad schématu V.S. bloku JE typu VVER 440 V1 (Jaslovské Bohunice):

- Přípojnice 6 kV blokové r6 napájejí pohony mimo havarijní dochlazování reaktoru (2 hlavní oběhová čerpadla)
- Přípojnice 6kV rg6 napájené alternátory V.S. 6 MW (4 hlavní oběhová čerpadla), což zajistí případné dochlazování prvních 100 sec. setrvačností soustrojí.
- Přípojnice zajištěného napájení 6 kV rd6 (pro spotřebiče havarijního dochlazování reaktoru). Běžně napájeny z blokových přípojníc, ale v případě poruchy blokového zdroje jsou spotřebiče 2. skupiny napájeny z dieselaagregátů po 1600 kW nebo záložního transformátoru Tz)
- V rozvodu zajištěného napájení 0,4 kV jsou spotřebiče 1. skupiny jsou napájeny z přípojníc rd6 (pro 2. skupinu), v případě nouze pak z motorgenerátorů napájených z akumulátorových baterií. Oddělení 1. a 2. skupiny je přes tyristorové přerušovače.

Novější verze VVER 440 (Dukovany) obsahuje 6 kV sběrnice s podélným spínačem. Sběrnice BV, BW, BX napájejí důležité pohony pro havarijní odstavení bloku. Rychlost náběhu DG1 až DG3 je cca 30 sec. Akumulátorové baterie agregátů zajištění 1. skupiny jsou dimenzovány na 30 min provozu. Střídavé rozvaděče 0,4 kV napájeny přes střídače. Zvláštní rozvaděč má také systém ochran a řízení.

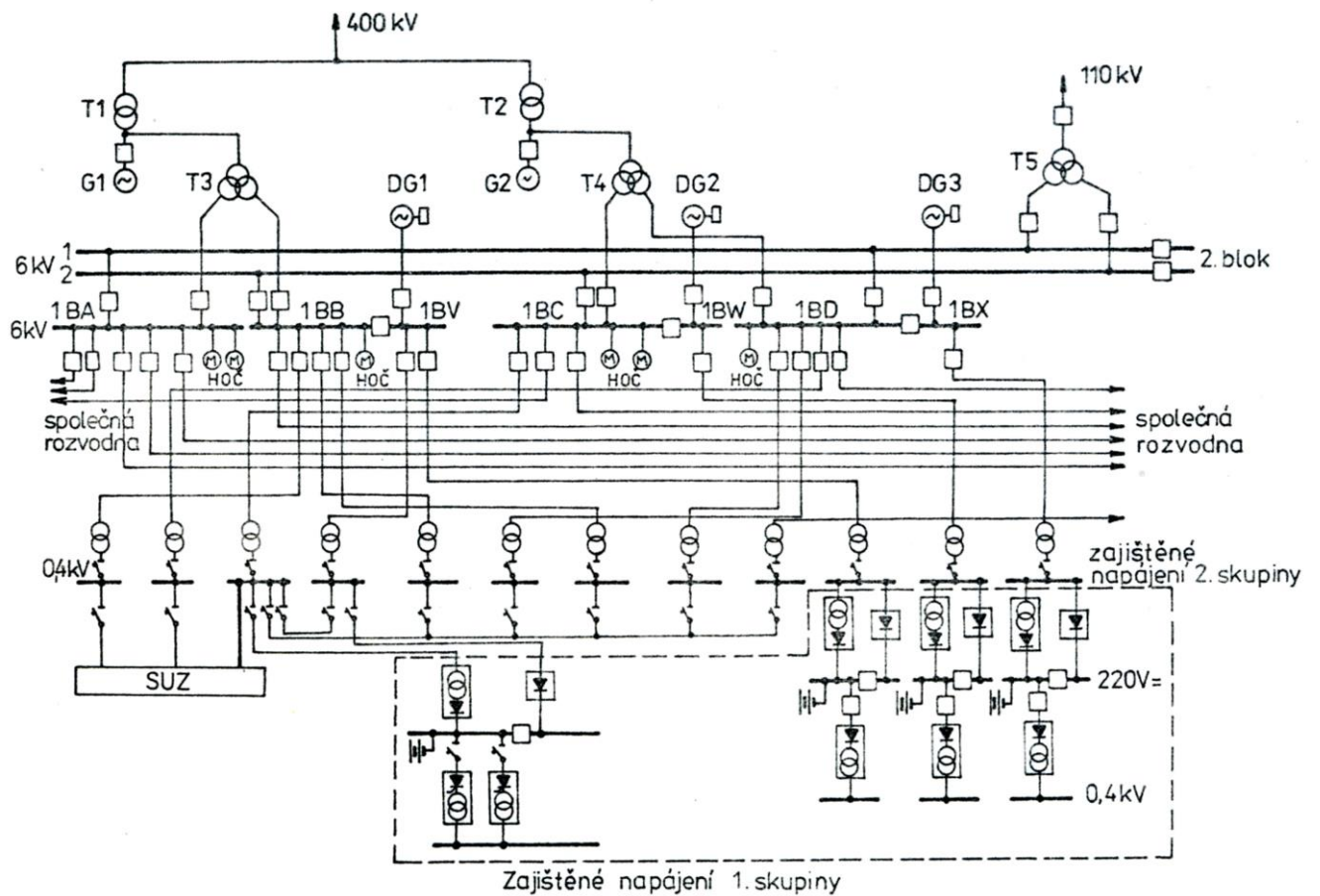
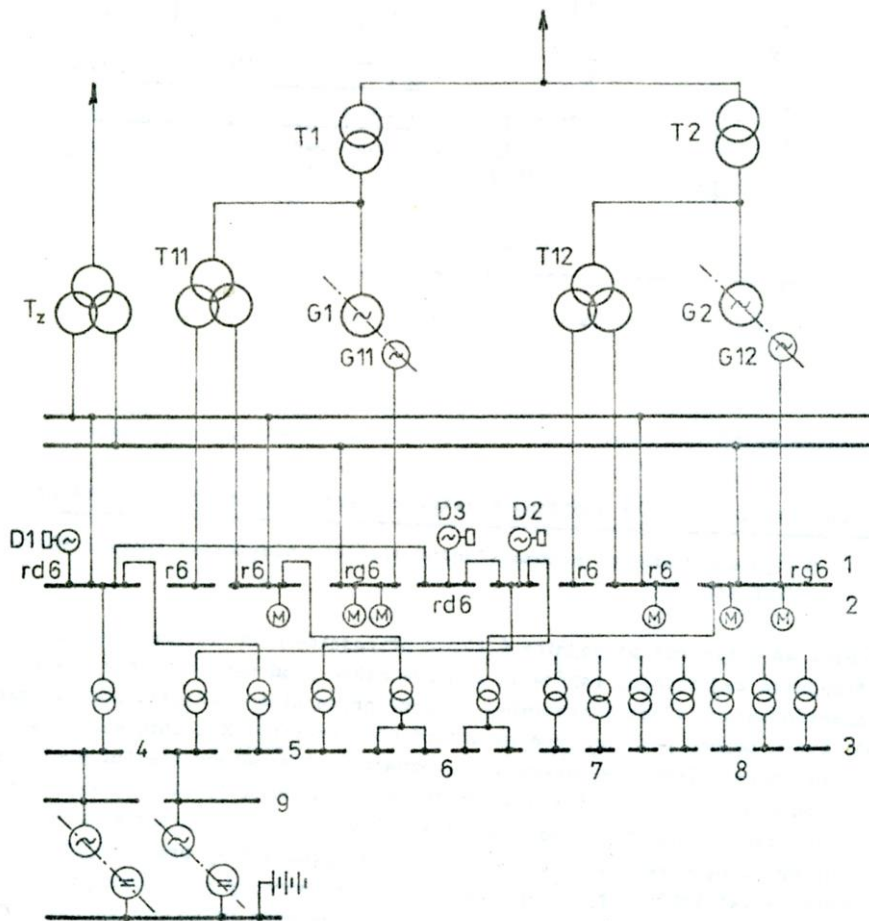
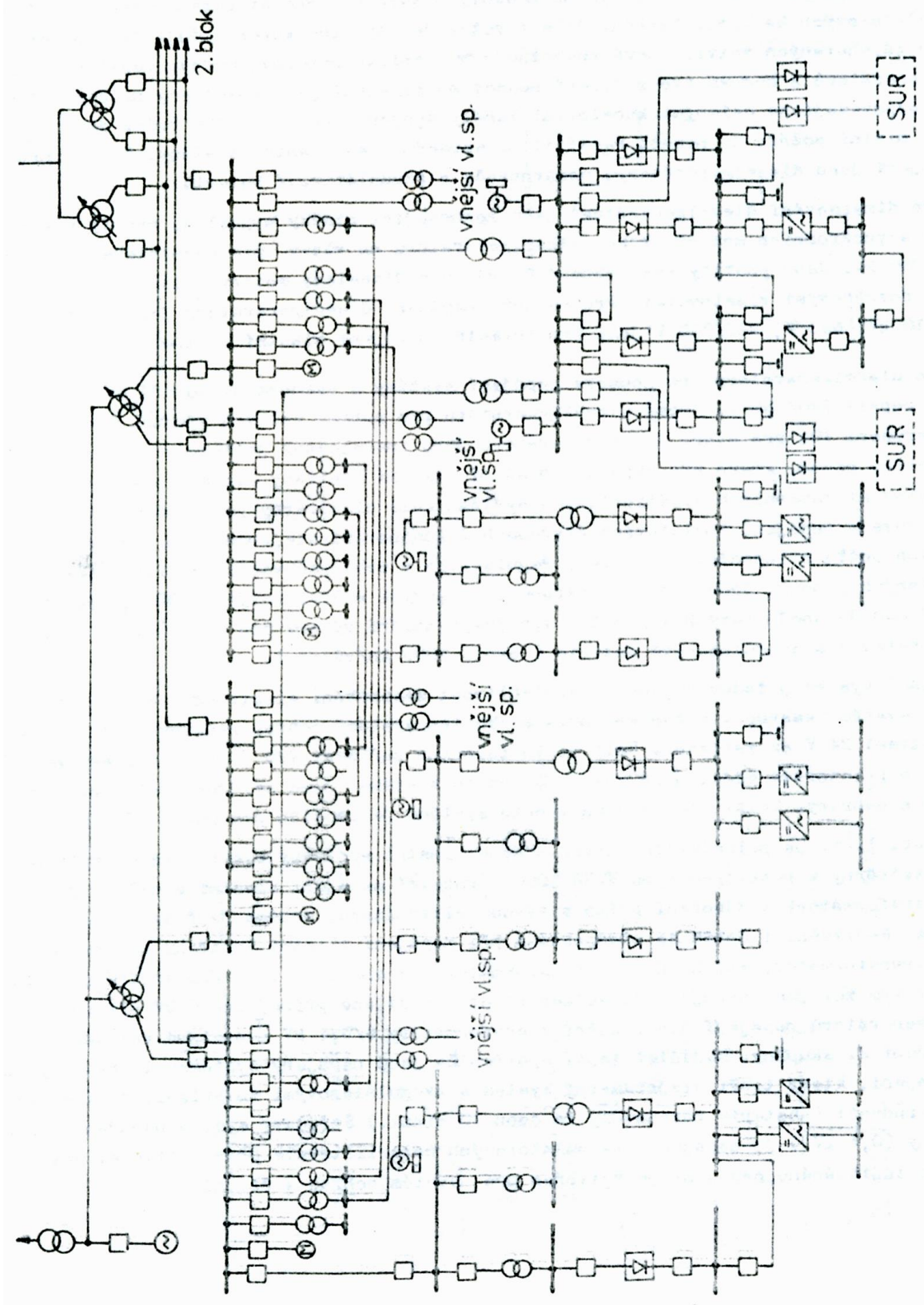
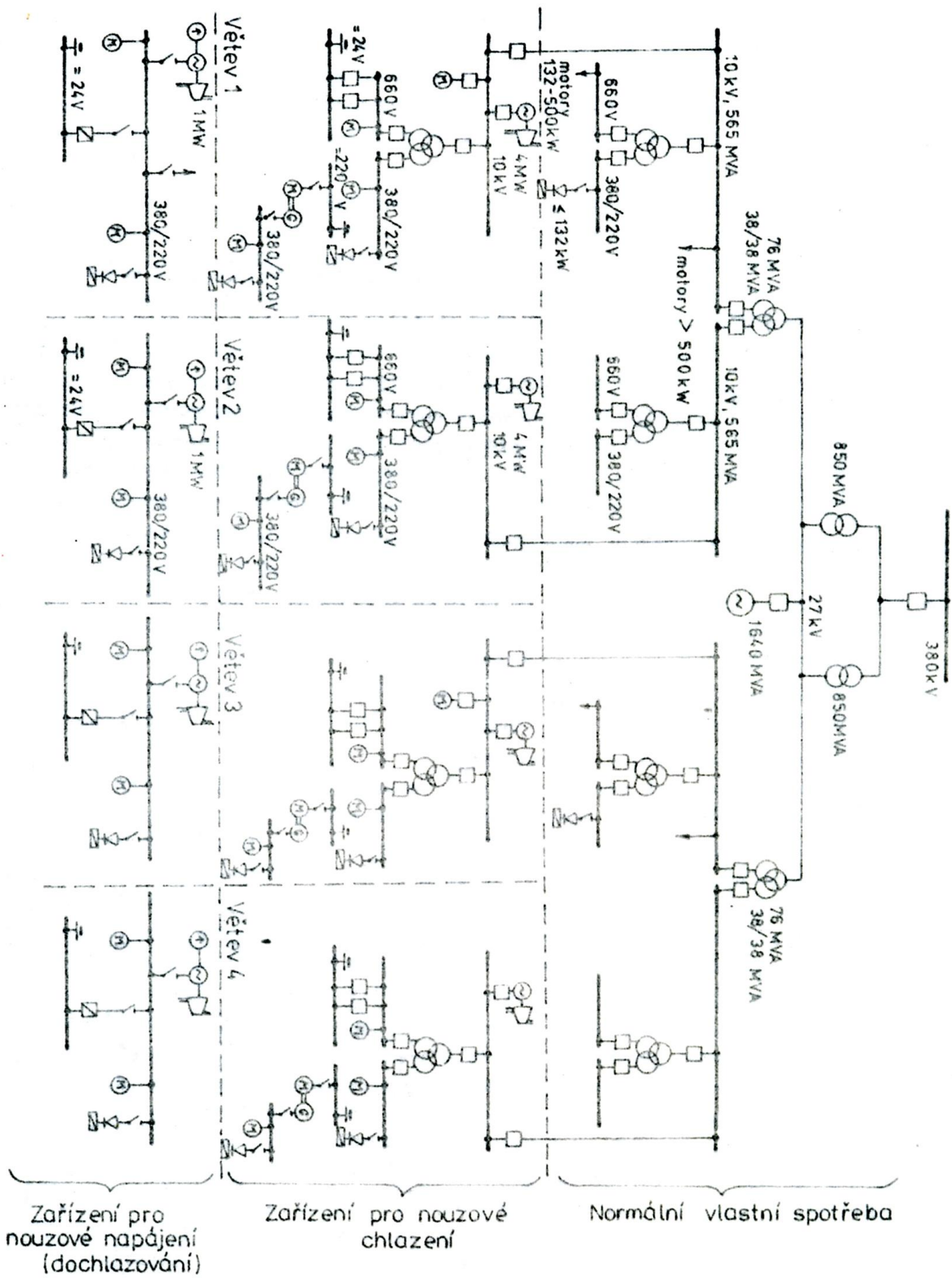


Schéma bloku JE VVER 1000 (Temelín):



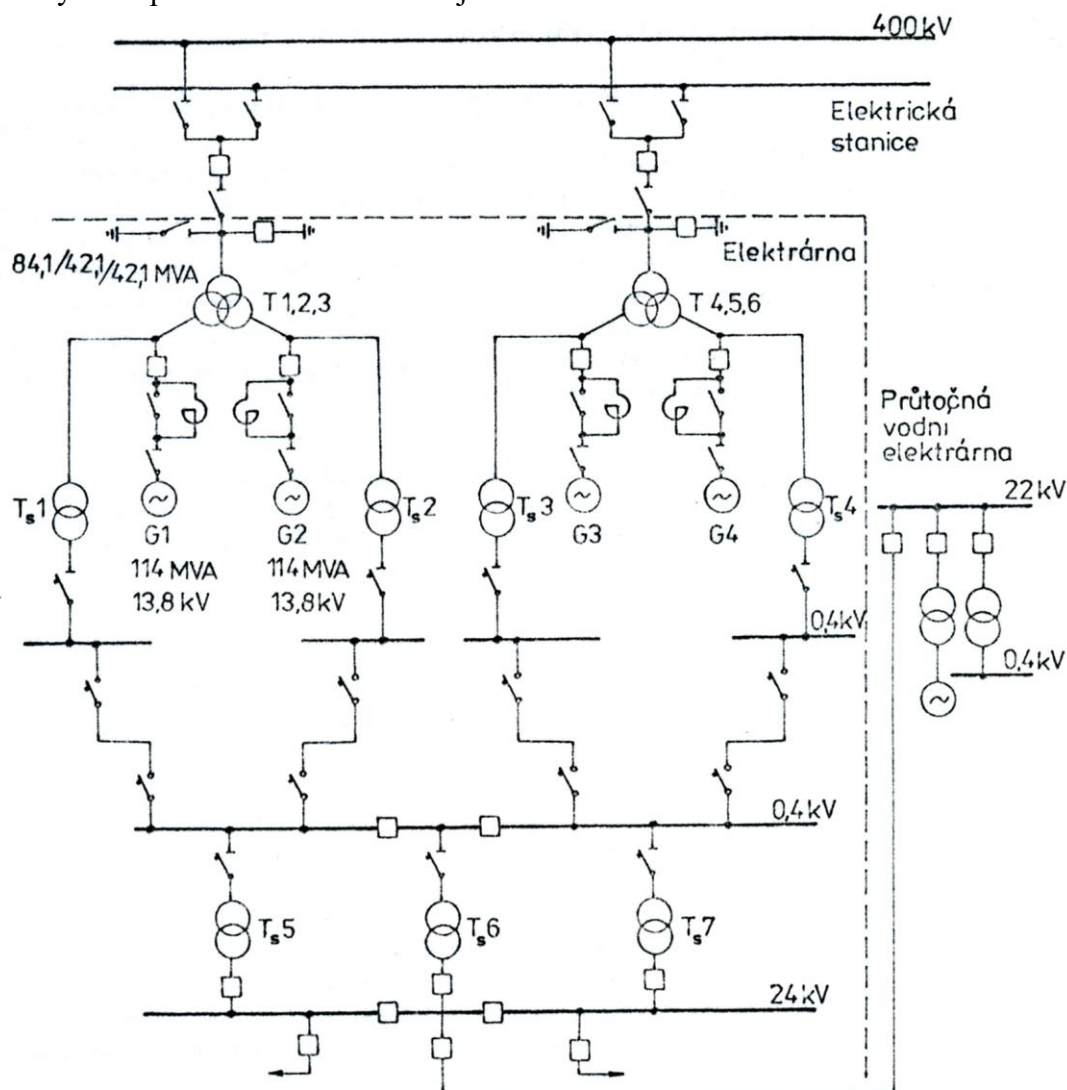
Příklad rozdělení nouzového napájení JE SRN:



## 6. Příklady schémat vlastní spotřeby elektrické energie vodních elektráren

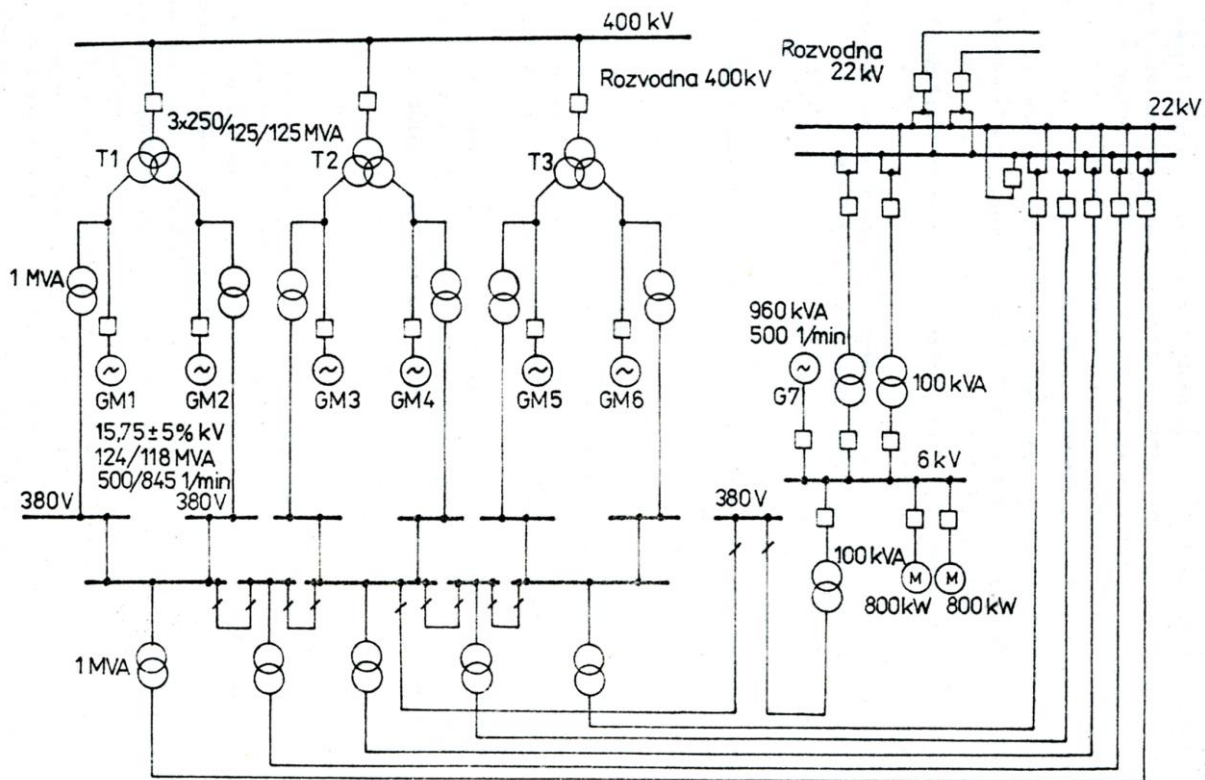
Příklad schématu čs. vodní přečerpávací elektrárny 4x 105 MW (Dalešice) v dvoustrojovém vertikálním provedení (motorgenerátory a reversní Francisovy turbíny). Dva bloky pracují do společného blokového transformátoru složeného ze tří jednofázových jednotek a dvojitého vedení 400 kV. Kromě pracovního zdroje (transformátory Ts1 až Ts4) je jako najížděcí a dobohový zdroj použita malá blízká průtočná vodní elektrárna (Mohelno) a transformátory Ts5 až Ts6 z napěťové hladiny distribuční sítě 22 kV.

Asynchronní rozběh motorgenerátoru je proudově omezen reaktory. Nakrátko spojený stator se využívá při dobrždování soustrojí.



Příklad schématu čs. vodní přečerpávací elektrárny 6x 111 MW (Dlouhé Stráně) v třístrojovém vertikálním provedení (motorgenerátory, turbíny a čerpadla). Jako najížděcí a dobohový zdroj použit opět malý alternátor G7 a distribuční síť 22 kV.





## 7. Zdroje vlastní spotřeby elektrické energie

Spolehlivost zajištění V.S. je dána nejen použitým schématem, ale i správnou volbou dílčích zdrojů, které dělíme dle účelu na:

- Najížděcí zdroje
- Pracovní zdroje
- Záložní (Rezervní) zdroje
- Doběhové zdroje

Zdroje musí zajistit napájení V.S. při najetí z klidu, plném jmenovitém provozu, doběh elektrárny do úplného klidu z normálního, poruchového či havarijního stavu.

### Doběhové zdroje

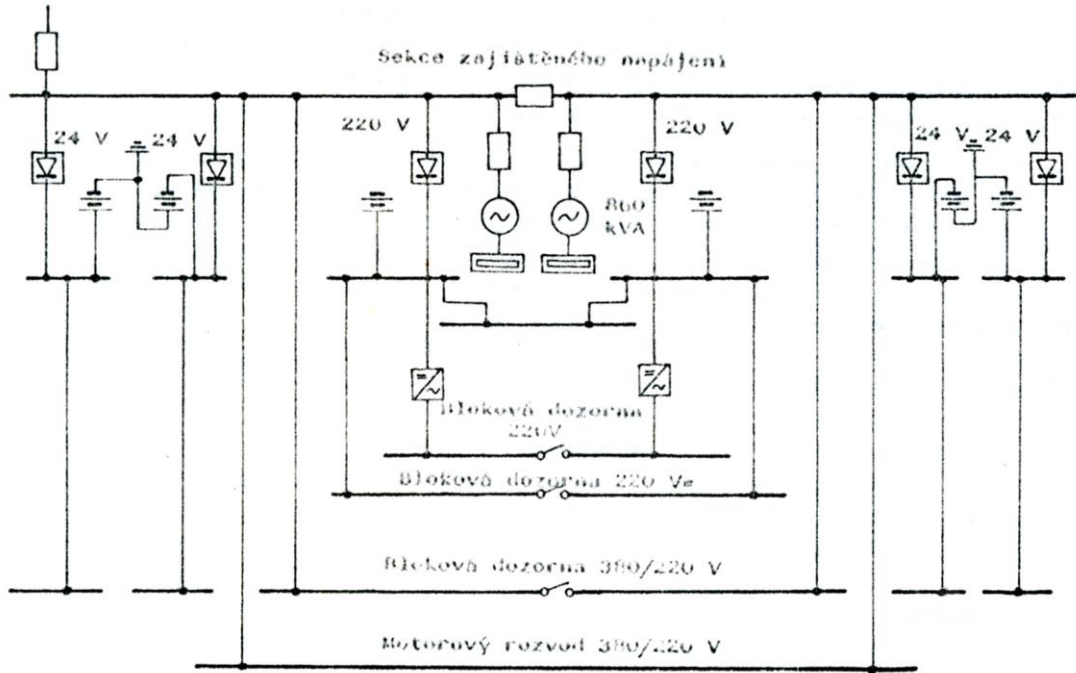
Pro napájení elektrických ochran, ovládání, záložních čerpadel mazacího oleje turbosoustrojí, nouzové osvětlení, ...). U menších bloků realizovány akumulátorovými bateriemi. Pro větší blokové výkony a pro JE se používají kombinace těchto řešení:

- Soustrojí alternátor plus vznětový motor nebo spalovací turbína
- Akumulátorové baterie s rotačními měniči nebo střídači

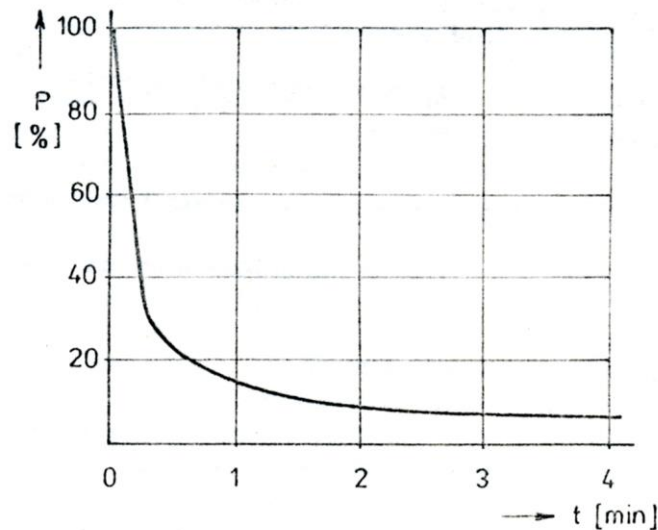
Střídače jsou s lepší účinností a spolehlivostí, ale více reagují na změny napájení než rotační měniče. Novým prvkem záložních zdrojů jsou plynová soustrojí, která se ale pro velké náklady instalují jen výjimečně a jsou využívány jako špičkové zdroje v ES při poklesu kmitočtu.

V JE jsou kromě navýšené spolehlivosti požadavky na nouzové zdroje v konvenční části obdobné klasickým tepelným elektrárnám, navíc je zde nutnost zajistit reaktorovou část, především havarijní ochlazení reaktoru, nouzové chlazení primárního okruhu, nouzová napájecí čerpadla, ventilační systémy, pohony regulací, sprchové systémy primárního okruhu, ochrany a bezpečnostní hlásiče.

Nouzové zdroje v konvenčních elektrárnách:



Časový průběh zbytkového tepla v reaktoru během havarijního dochlazování:



## 8. Výpočet velikosti zdrojů vlastní spotřeby

Výkon pracovních a záložních zdrojů se stanovuje na základě součtového výkonu všech spotřebičů:

$$\sum S_P = \frac{\sum P_{BI}}{\cos \varphi} \cdot \beta \quad \beta = \frac{k_S \cdot k_V}{\eta_m \cdot \eta_S}$$

kde:

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

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

$\sum P_{BN}$	-	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
$\eta_m$	-	Střední účinnost spotřebičů při daném využití
$\eta_S$	-	Účinnost napájecí soustavy od místa napájení V.S.
$\cos \varphi$	-	Střední účinník spotřebičů
$\beta = \frac{k_S \cdot k_V}{\eta_m \cdot \eta_S}$	-	Koeficient náročnosti

Potom napájecí zdroj musí splňovat:  $S_Z \geq \sum S_P$

Posléze je nutno ověřit návrh ještě na rozběh největšího pohonu a na start samonajíždějící skupiny pohonů. Napětí by nemělo klesnout pod  $0,85 U_N$ , nesmí však klesnout pod  $0,8 U_N$ . Při samonajíždění je mezní hodnota napětí na sběrnici  $0,65 U_N$ .

Záložní zdroj je obvykle stejný jako pracovní, pokud zálohuje více pracovních zdrojů, volí se výkon podle největšího z nich. Navíc se požaduje aby kromě normálního chodu bloku zajistil napájení dalšího bloku naprázdno (důležité pro doběh) a 50% společné spotřeby elektrárny. U JE musí záložní zdroj zajistit kromě normálního pracovního provozu bloku ještě havarijní odstavení jednoho reaktorového bloku.

Na dva elektrárenské bloky se instaluje jeden záložní zdroj, pro více bloků pak dva záložní zdroje.

Zvláště u JE je nutno při odstavování jasně specifikovat harmonogram běhu spotřebičů.

## 9. Kontrola velikosti zdrojů ve V.S.

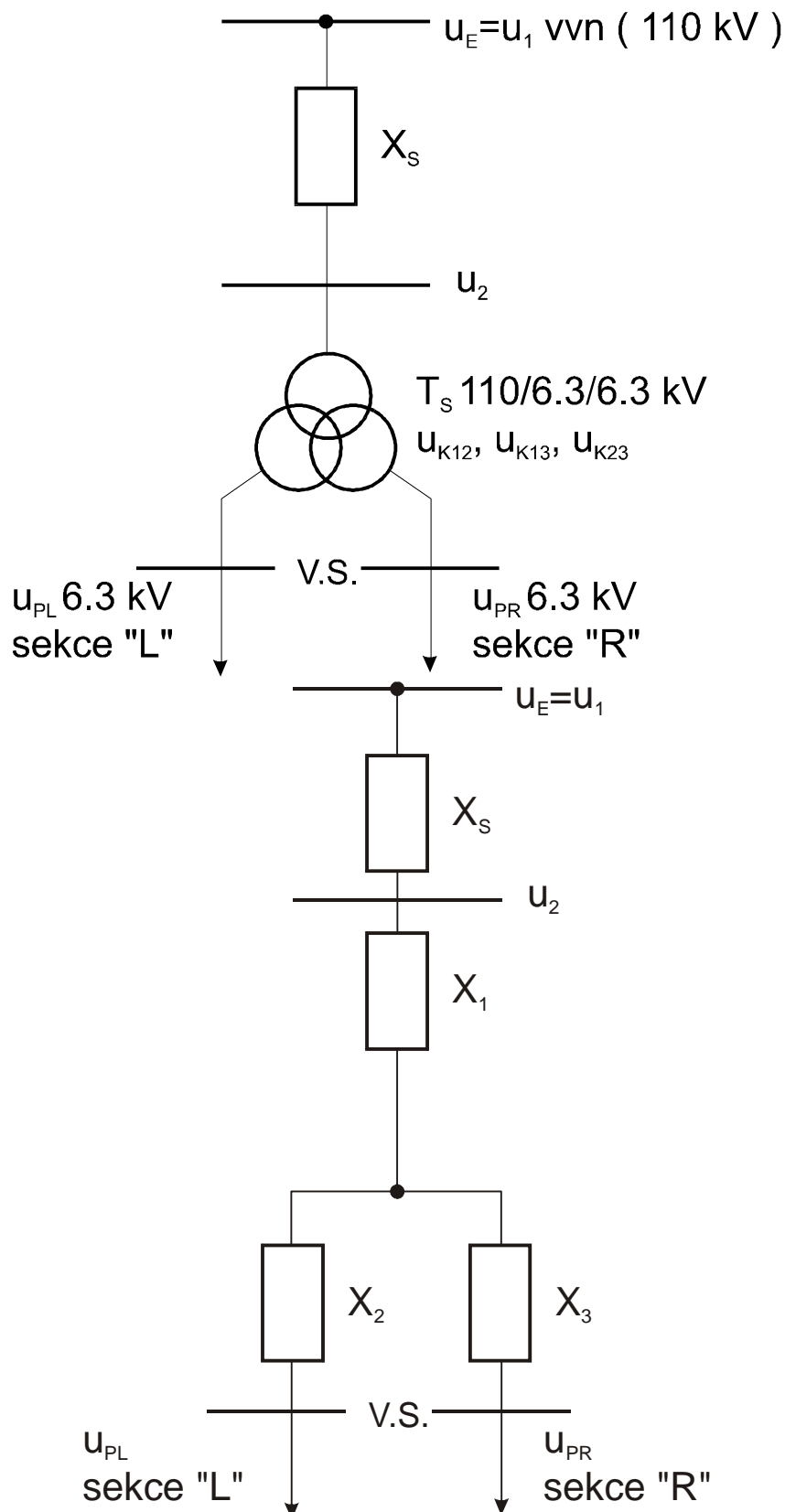
Nutná kontrola na rozběh jednotlivých pohonů nebo samonajíždění skupin. Kontrolují se napěťové poměry s případnou volbou převodního poměru. Současně je nutné ověřit nastavení ochran pro mimořádné provozní stavy (těžké a dlouhodobé rozběhy motorů, samonajíždění).

### Nalezení vhodného převodu transformátoru

$U_E$	-	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“

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

Náhradní reaktance sítě: 
$$X_S = \frac{U_E}{\sqrt{3}I_{KS}} = \frac{U_E^2}{S_{KS}}$$



Poměrná hodnota vztažená na přepočtené vztažné hodnoty:

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

Poměrná hodnota napětí vztažená opět na přepočtené vztažné napětí:  $u_E = \frac{U_E}{U_V'} = \frac{U_E}{p \cdot U_V}$

Předpokládáme hlavní podíl na úbytku napětí u transformátoru v důsledku průtoku jalové složky proudu  $R \cdot I \cos \varphi < X \cdot I \sin \varphi \Rightarrow R \cdot I_{\zeta} < X \cdot I_j$ . Toto platí beze zbytku při kontrole na úrovni vn, u nn je nutno činný odpor uvažovat.

Jalová složka proudu v sekci „L“:  $i_{jL} = \frac{I_{jL}}{I_V} = \frac{Q_L}{\sqrt{3} \cdot U_p} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_V}{S_V} = \frac{Q_L}{S_V \cdot u_p} = \frac{q_L}{u_p}$

Pokud napětí v sekcích budou stejná:  $u_{PL} = u_{PR} = u_P$ , potom:

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

a napětí zdroje:  $u_E = (x_S + x_1)i_j + i_{jL}x_2 + u_P$

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

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

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

Příklad:

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

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

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

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

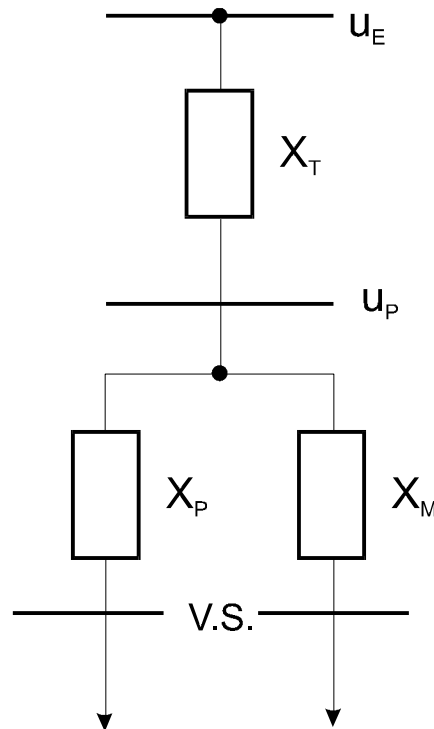
$$Q_L = Q_R = 3 \text{ MVar} \quad i_{jL} = \frac{3}{10 \cdot 1} = 0.3 \quad i_j = 0.6$$

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

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

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

## Spouštění největšího pohonu



- $x_M$  - náhradní reaktance motoru při rozběhu  
 $x_P$  - náhradní reaktance předběžného zatížení

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

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

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

- $i_K$  - násobek jmenovitého proudu při rozběhu  
 $\cos \varphi_P$  - střední účinník předchozího zatížení

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

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

Skutečný zkratový výkon na přípojnících musí být:

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

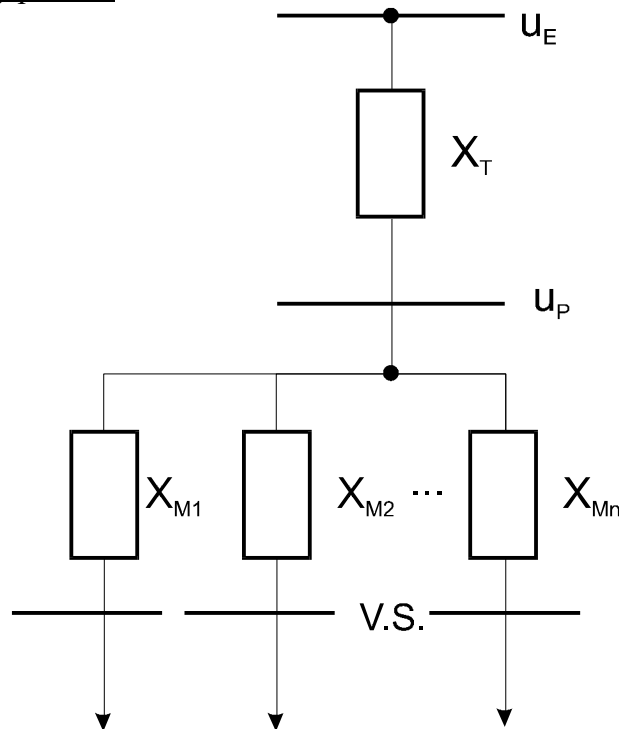
Kontrola na přetížení transformátoru při rozběhu:

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

Kontrola na velikost úbytku napětí:

$$\Delta u_T = i_T \cdot x_T = \frac{u_E}{x_T + x_Z} x_T \leq 0.2 \quad u_P = i_T \cdot x_Z = \frac{u_E}{x_T + x_Z} x_Z \geq 0.8$$

### Samonajždění skupiny pohonů



$$x_Z = \left( \frac{1}{x_{M1}} + \frac{1}{x_{M2}} + \dots + \frac{1}{x_{Mn}} \right)^{-1} \quad x_Z = \frac{S_T}{\sum_{l=1}^n i_{Kl} \cdot S_{Ml}}$$

$i_{Kl}$  - násobek jmenovitého proudu při rozběhu  $l$ -tého pohonu

$$i_T = \frac{u_P}{x_Z} = \frac{u_E}{x_T + x_Z} \quad \Delta u_T = i_T \cdot x_T = \frac{u_E}{x_T + x_Z} x_T$$

$$x_Z = \frac{x_T (u_E - \Delta u_T)}{\Delta u_T}$$

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

Skutečný zkratový výkon na přípojnících 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 na přetížení transformátoru při rozběhu:

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

Kontrola na velikost úbytku napětí:

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

Pokud uvažujeme průměrnou hodnotu proudu rozbíhající se skupiny pohonů:

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

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

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

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

Pokud je skutečný výkon skupiny větší než  $S_{CM}$ , potom je nutno skupinu rozčlenit (tedy vyřadit některé pohony ze samonajíždění), nebo snížit  $x_T$  snížením  $u_K$ , popř. navýšením  $S_T$ .