

# Elektrárny B1M15ENY

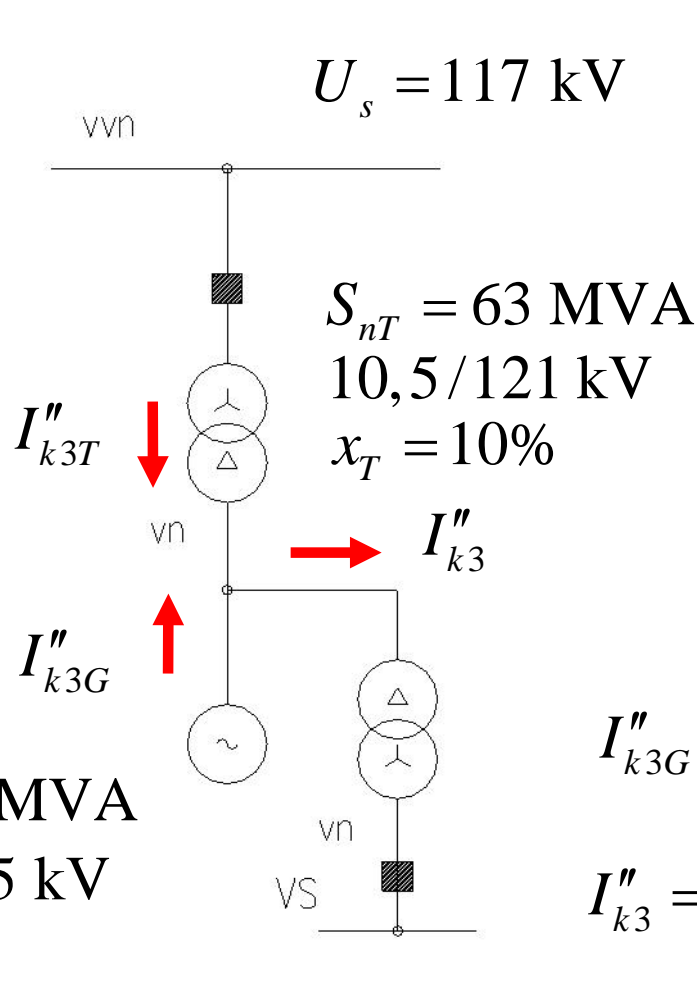
## přednáška č. 2

**Schéma vlastní spotřeby  
Příklady provedení schémat VS  
Výpočet velikosti zdrojů pro VS**



**Ing. Jan Špetlík, Ph.D.**  
**ČVUT FEL Katedra elektroenergetiky**  
E-mail: [spetlij@fel.cvut.cz](mailto:spetlij@fel.cvut.cz)

Příklad I: Spočítejte počáteční rázový zkratový proud  $I''_{k3}$  v odbočce bloku. Příspěvek motorické zátěže zanedbejte, soustavu vvn uvažujte jako soustavu neomezeného zkratového výkonu



$$I_V = \frac{S_V}{U_V \cdot \sqrt{3}} = \frac{63}{10,5 \cdot \sqrt{3}} = 3,46 \text{ kA}$$

$$I''_{k3T} = \frac{U_s}{U_V} \cdot p \cdot \frac{1}{x_T} \cdot I_V =$$

$$= \frac{117}{10,5} \cdot \frac{10,5}{121} \cdot \frac{1}{0,1} \cdot 3,46 \text{ kA}$$

$$= 33,4 \text{ kA}$$

$$I''_{k3G} = \frac{1}{x_d''} \cdot I_V = \frac{1}{0,15} \cdot 3,46 \text{ kA} = 23,1 \text{ kA}$$

$$I''_{k3} = I''_{k3T} + I''_{k3G} = 33,4 + 23,1 = 56,5 \text{ kA}$$

Rázový zkratový proud 56,5 kA v odbočce vzhledem k běžným provozním proudům odbočky, které by v tomto případě dosahovaly řádově jen několik stovek ampér!

Příklad II: Spočítejte proud zemního spojení v rozvodech VS, je-li celková délka její kabelové sítě 20 km a je tvořena kabely 1 x 3 x 6-AYKCY 70/16. VS je provozována na síti IT(r) 6,3 kV (podélné impedance zanedbejte)

Protože se jedná o jednopólovou poruchu, platí rovnost složkových proudů

$$\hat{I}_1 = \hat{I}_2 = \hat{I}_0$$

Zanedbáme-li podélné parametry, uplatní se jen kapacitní susceptance

$$\hat{I}_1 = \frac{\hat{U}_1}{\frac{j}{\omega \cdot C_{//} \cdot l}} = \frac{\hat{U}_A}{\frac{j}{\omega \cdot C_{//} \cdot l}} = j \cdot \omega \cdot C_{//} \cdot l \cdot \hat{U}_A \quad \hat{I}_A = \hat{I}_1 + \hat{I}_2 + \hat{I}_0 = 3 \cdot \hat{I}_1$$

Velikost poruchového proudu bude tedy pro  $C_{//} = 0,85 \cdot 10^{-6} \text{ F.km}^{-1}$

$$I_A = 3 \cdot \omega \cdot C_{//} \cdot l \cdot U_A = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_{//} \cdot l \cdot U = \sqrt{3} \cdot 100 \cdot \pi \cdot 0,85 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 6,3 \cdot 10^3 \text{ A}$$

$$I_A = 58,3 \text{ A}$$

Takový proud by při zemním spojení na statoru dokázal již poškodit generátor (typický proud z trafosvářečky). Generátory velkých bloků proto bývají obvykle vyvedeny na hladinu vn provozované jako IT(r) soustava s vysokoimpedančním uzemněním uzlu (v generátoru) a nízkou hodnotou proudu zemního spojení.

Obecně výrobci uvádějí bezpečný proud zemního spojení cca 10 A

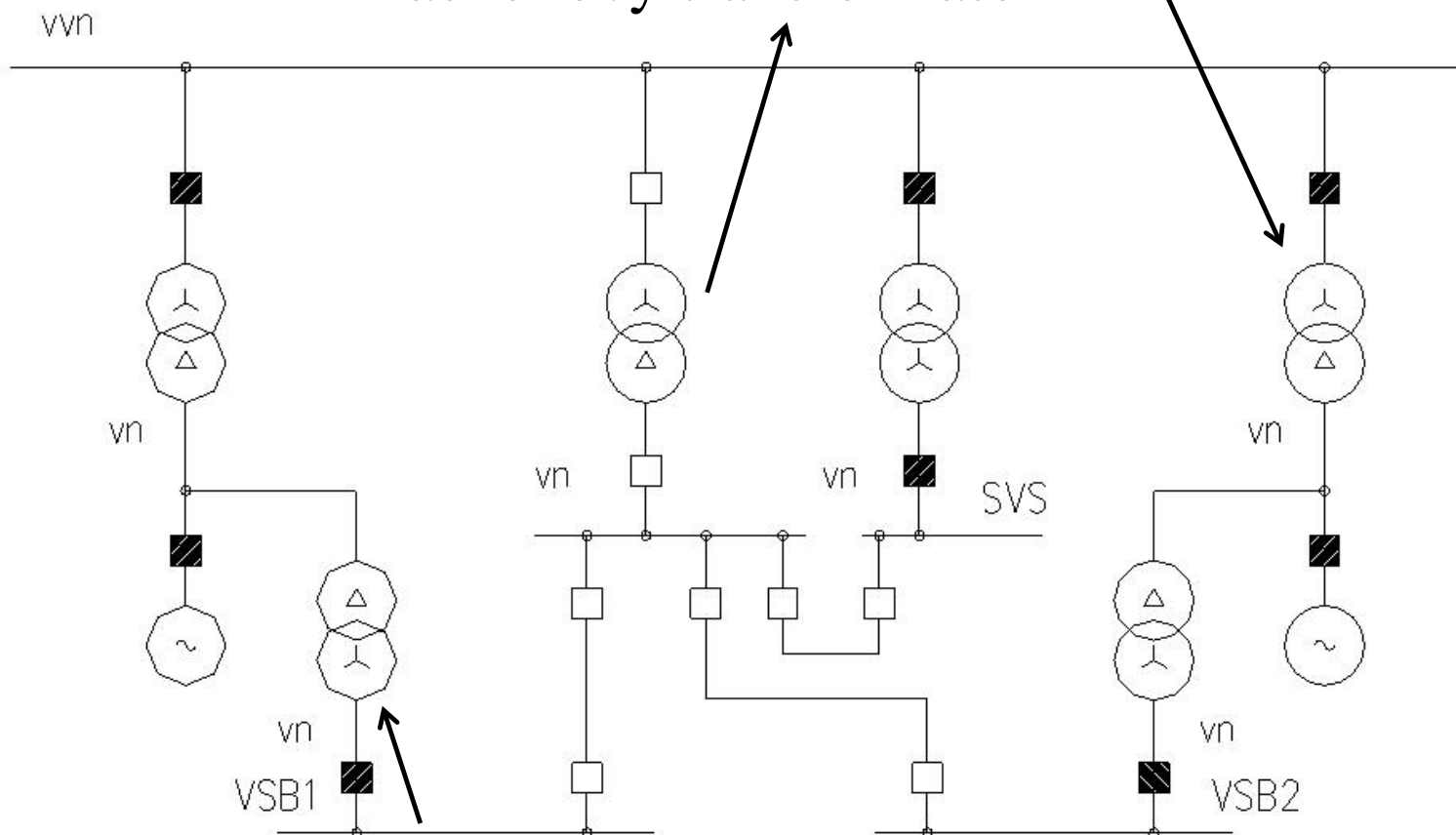
# Schéma vlastní spotřeby

Elektrárna s více bloky – základní principiální schéma napájení

- Vlastní spotřeba bloku (VSB)
- Společná vlastní spotřeba (SVS)

blokový transformátor

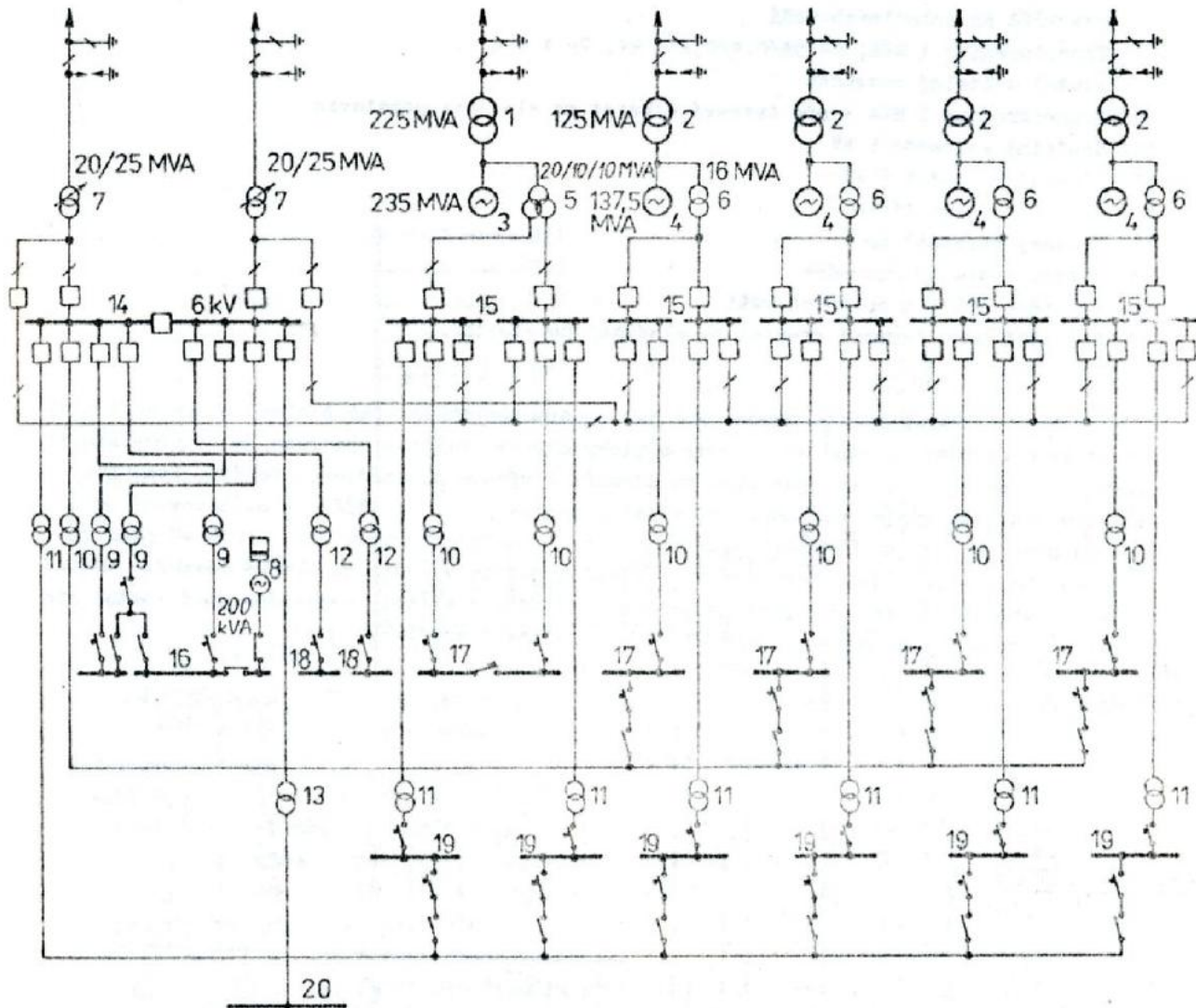
záskokový transformátor



odbočkový transformátor

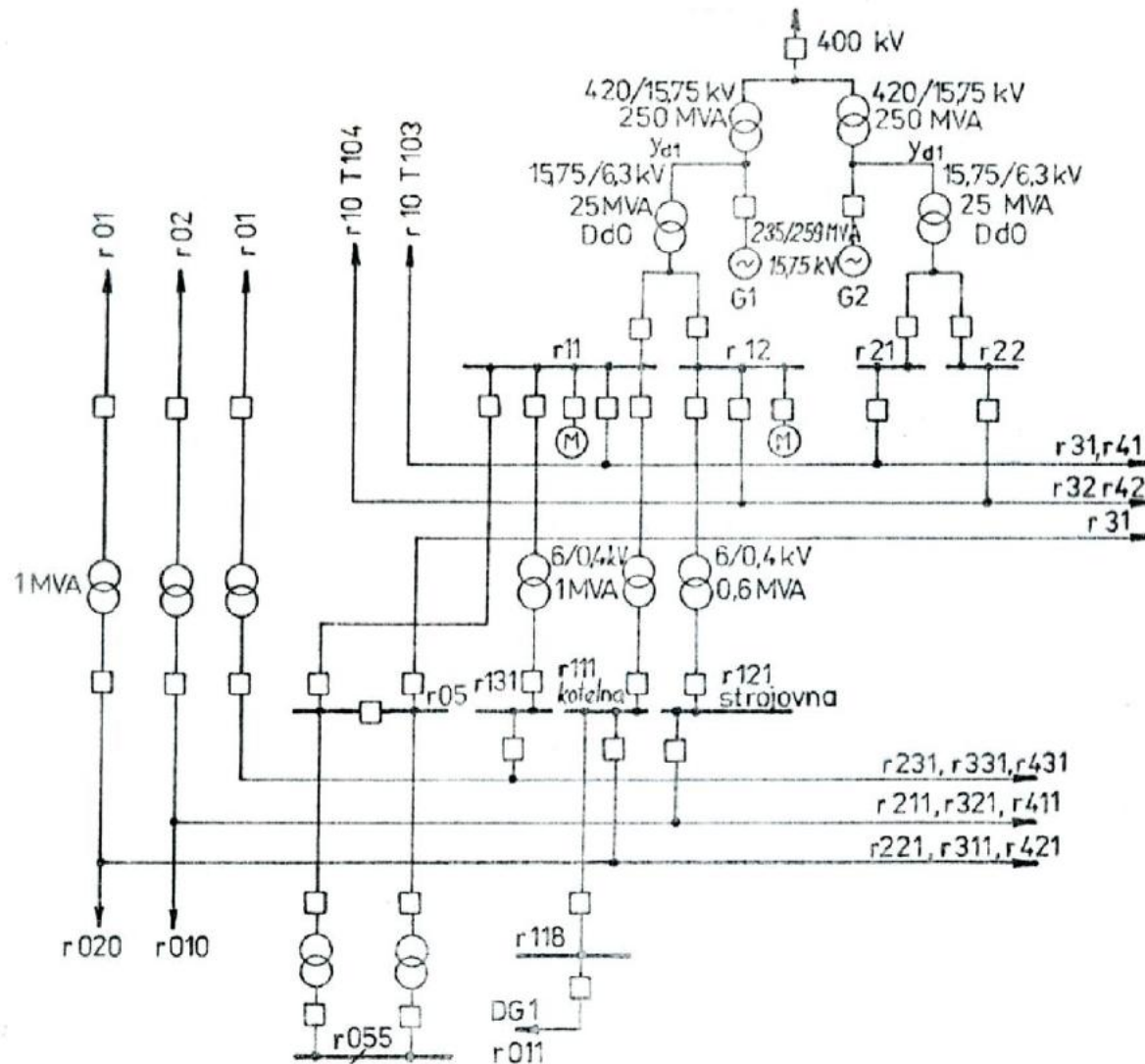
# Příklady schémat VS

## Konvenční elektrárna 200 + 4x110 MW



# Příklady schémat VS

## Konvenční elektrárna, dvojblok 2x200 MW

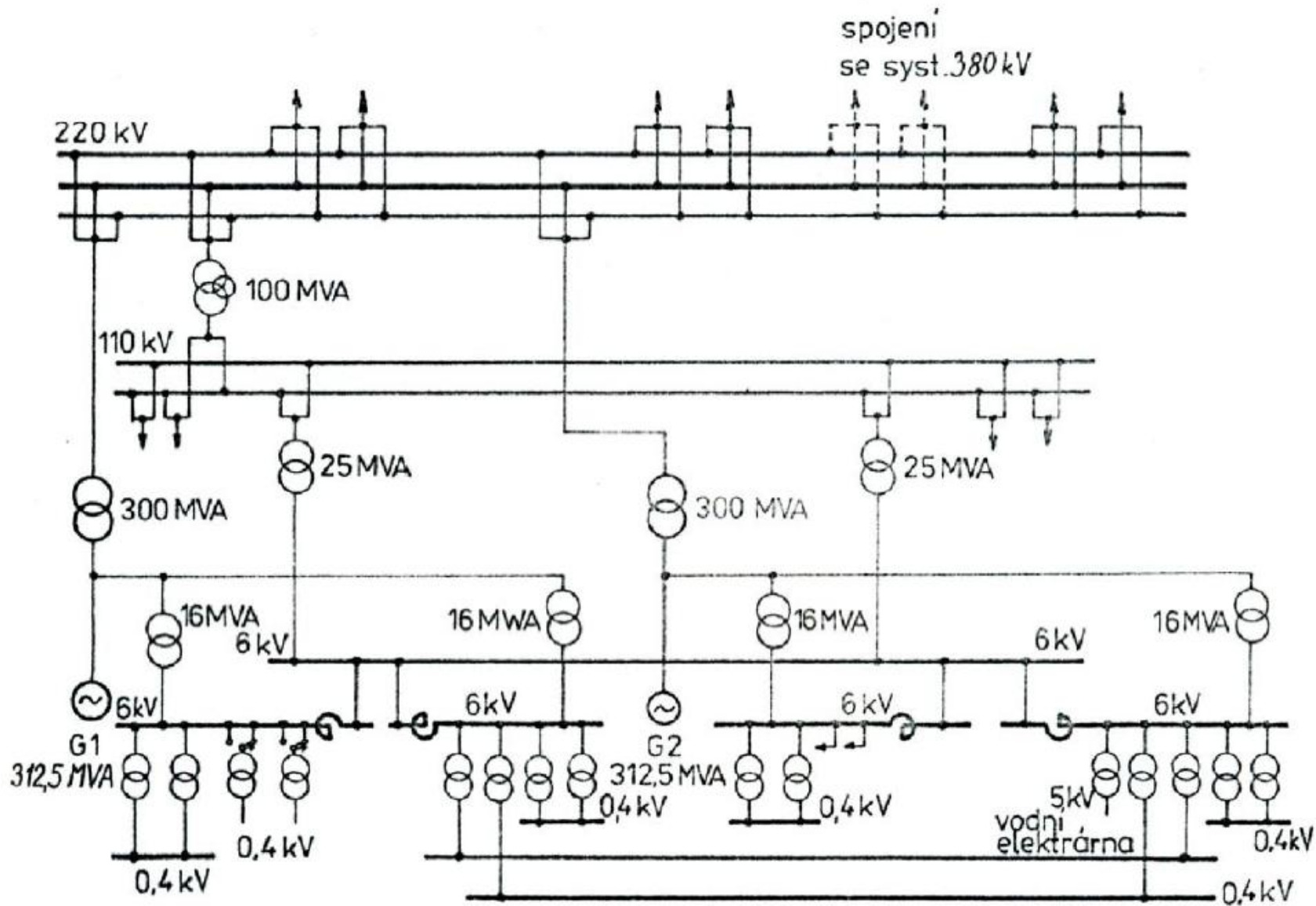






# Příklady schémat VS

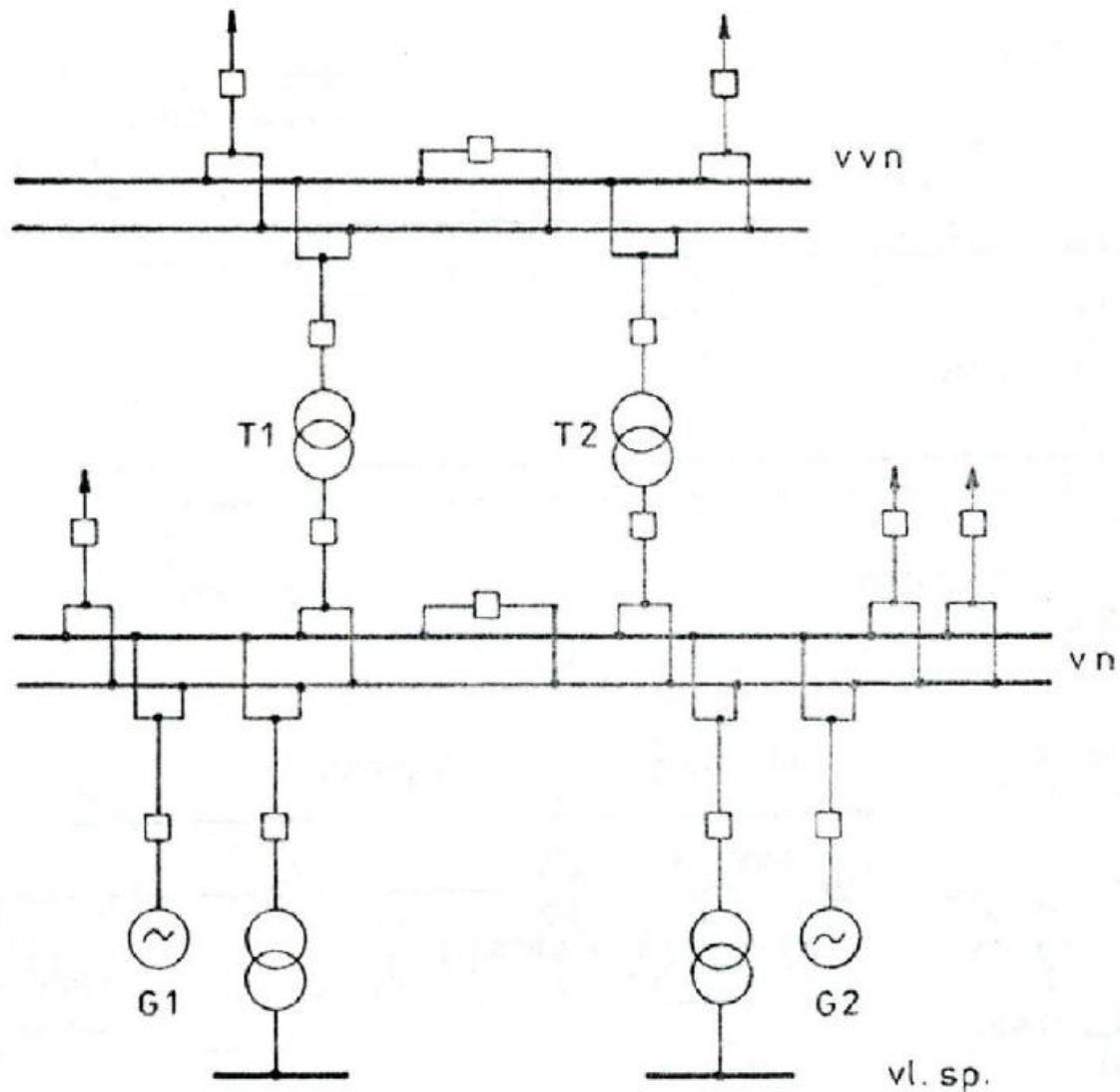
## Konvenční elektrárna, 2x300 MW





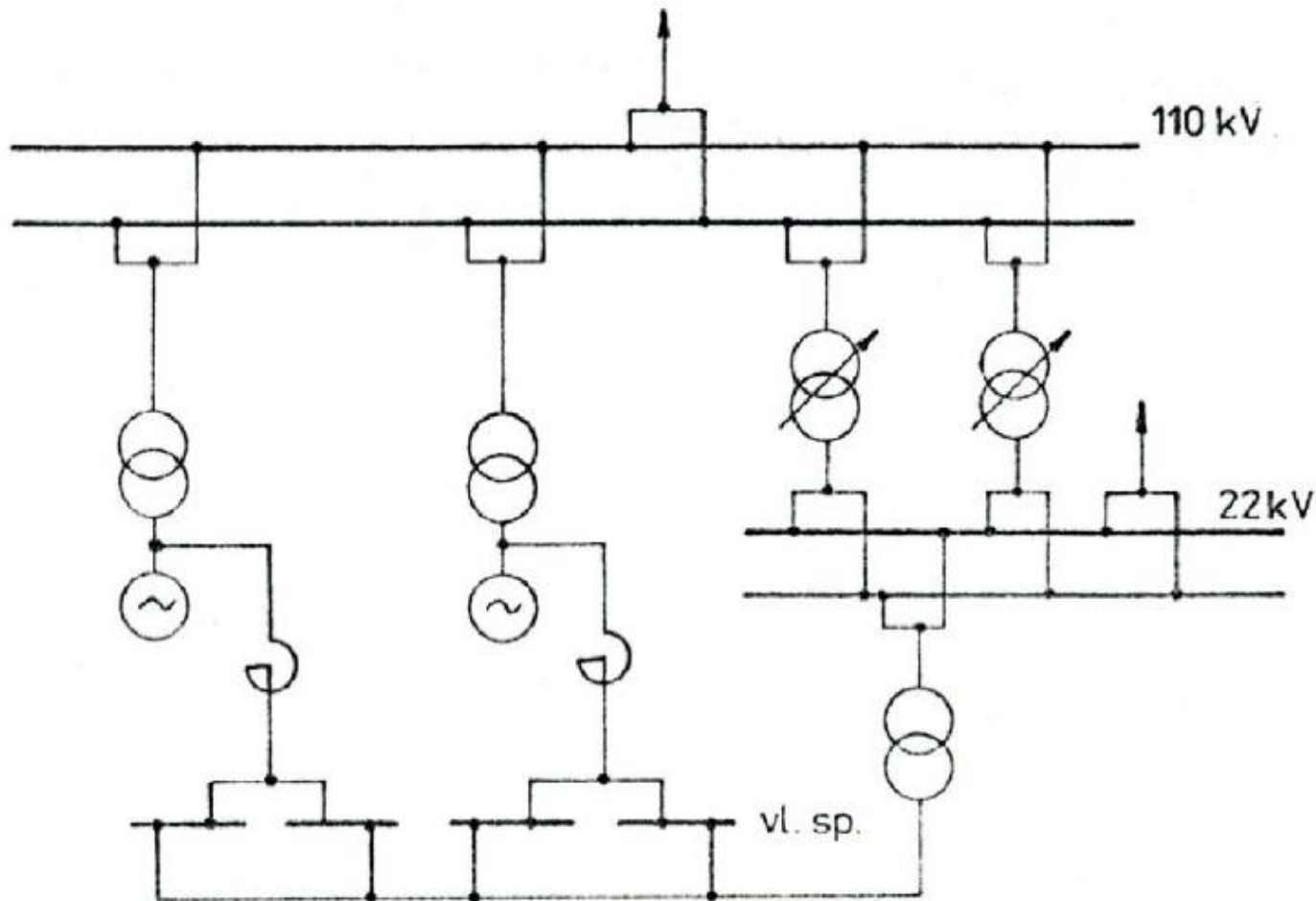
# Příklady schémat VS

Schéma typické pro teplárny s vývody pro odběratele na straně vn



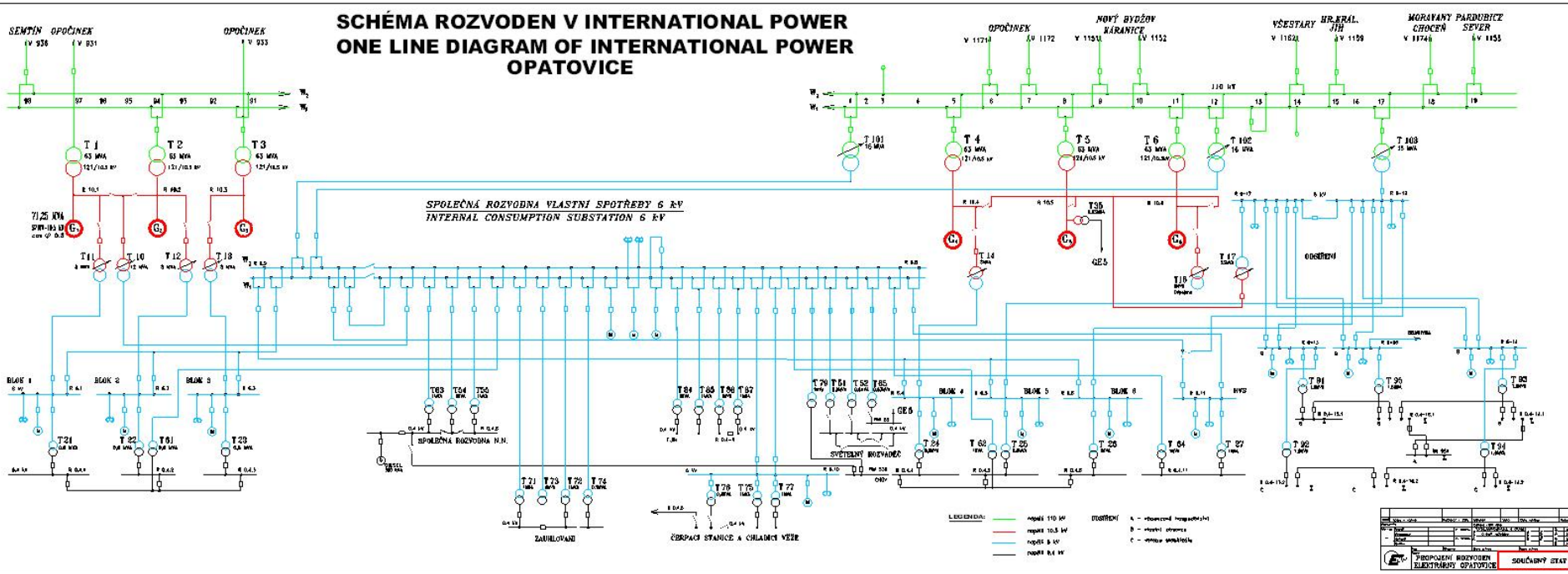
# Příklady schémat VS

Alternativní schéma typické pro teplárny s vývody pro odběratele na straně vn, větší teplárna, potlačení zkratového proudu - reaktory



# Příklady schémat VS

## 6x60 MW + teplárenský provoz, Elektrárna Opatovice

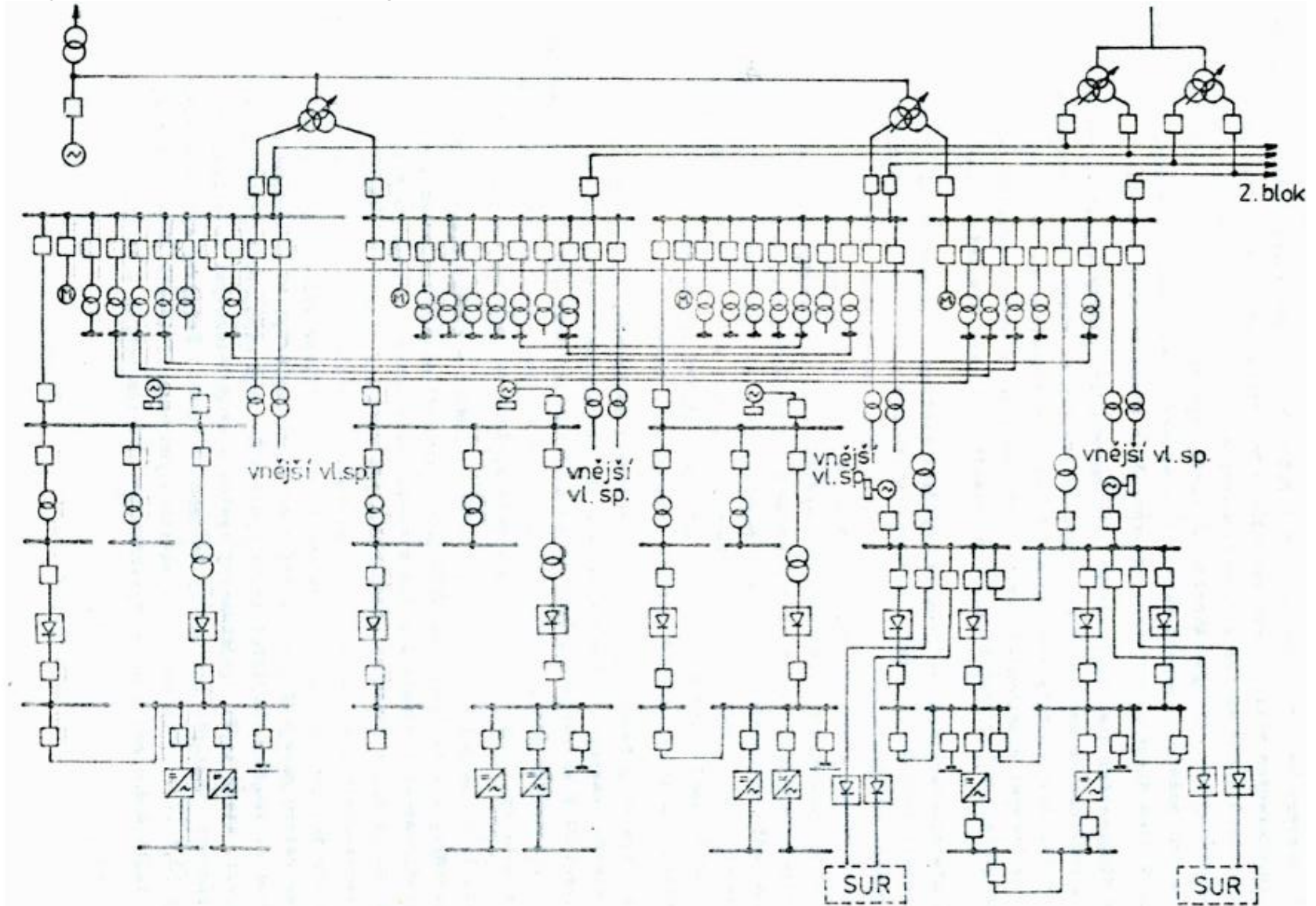






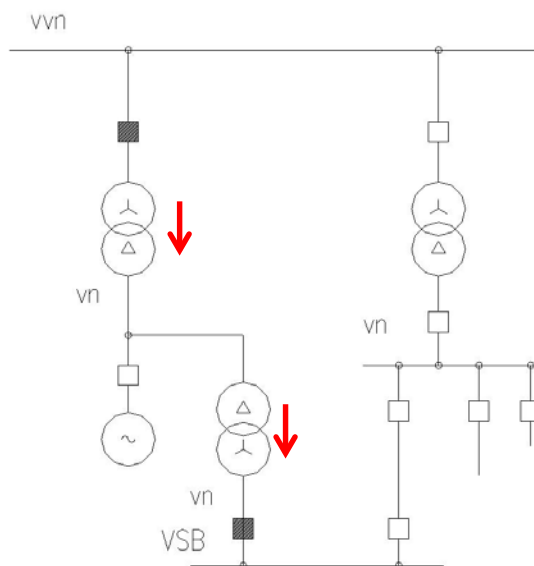
# Příklady schémat VS

## VS jaderné elektrárny Temelín

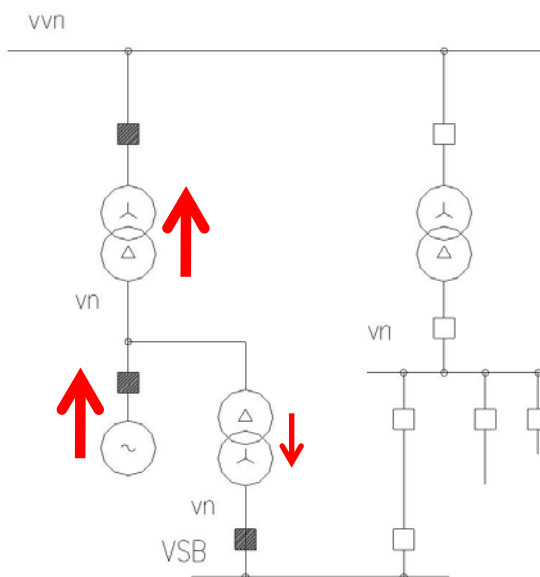


# Schéma vlastní spotřeby

**Principiálně:  
Najížděcí zdroje**

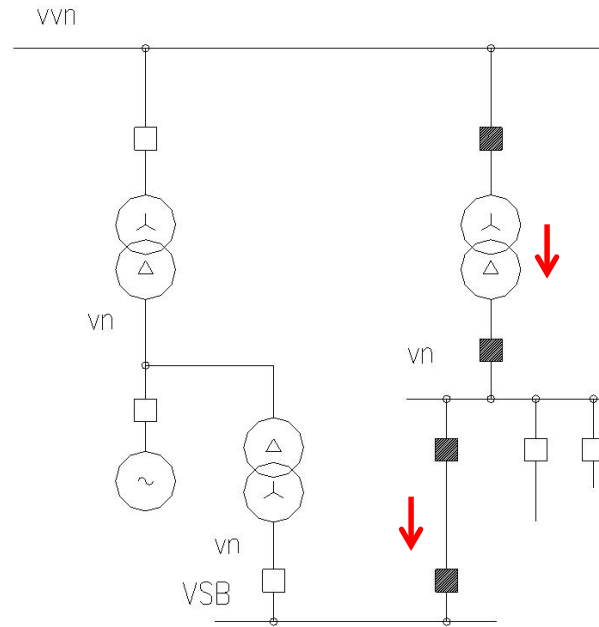


**Pracovní zdroje**

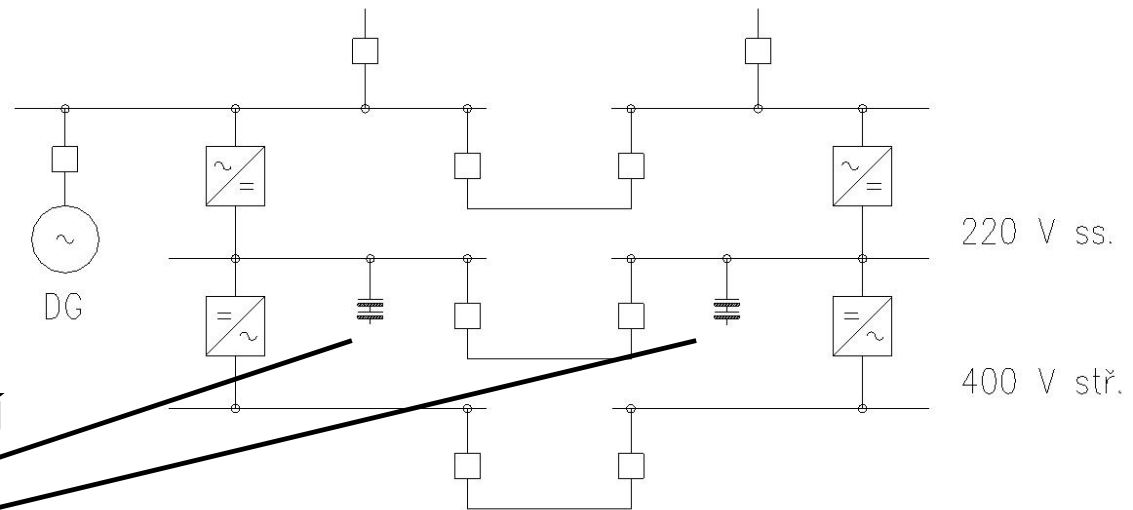


# Schéma vlastní spotřeby

**Záložní zdroje**  
**(zdroje zajištěného**  
**napětí)**



**Nouzové zdroje**  
**(zdroje zajištěného**  
**a bezvýpadkového**  
**napětí)**



Baterie, ale i alternativní  
technologie – např.  
flywheel



# Výpočet velikosti zdrojů VS

Výkon pracovních, najížděcích resp. záložních zdrojů se stanovuje na základě součtového výkonu všech spotřebičů tj.

$$\sum S_P = \frac{\sum P_{ni}}{\cos \varphi_n} \cdot \beta$$

s koeficientem náročnosti

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

Koeficient současnosti

$$k_S = \frac{\sum P_{Si}}{\sum_i P_{ni}}$$

Koeficient využití

$$k_V = \frac{\sum P_i}{\sum_i P_{Si}}$$

$\eta_m$  Střední účinnost spotřebičů při daném využití

$\eta_S$  Účinnost napájecí soustavy od místa napojení VS

Poznámka:

Místo středních hodnot jsou někdy tyto koeficienty uvedeny pro každý spotřebič zvlášť

# Výpočet velikosti zdrojů VS

Jmenovitý výkon napájecího zdroje musí být potom:

$$S_Z \geq \sum S_P$$

Dále musí být splněno:

- napětí na svorkách elektromotorů musí být podle ČSN 38 1120 v rozmezí  $U_n \pm 5\%$
- min. pokles napětí při spouštění největšího spotřebiče nemá klesnout pod  $0,85 U_n$ , nesmí však klesnout pod  $0,8 U_n$
- min. pokles napětí spouštění skupiny spotřebičů nesmí klesnout pod  $0,65 U_n$ ,

Pro záložní zdroje navíc:

- jeden záskok. transformátor pro dva bloky, dva pro více bloků
- Každý záskok. trf. musí zajistit současně běžný provoz jednoho bloku + chod druhého bloku naprázdno + 50% SVS + u JE navíc odstavení druhého bloku

# Výpočet velikosti zdrojů VS

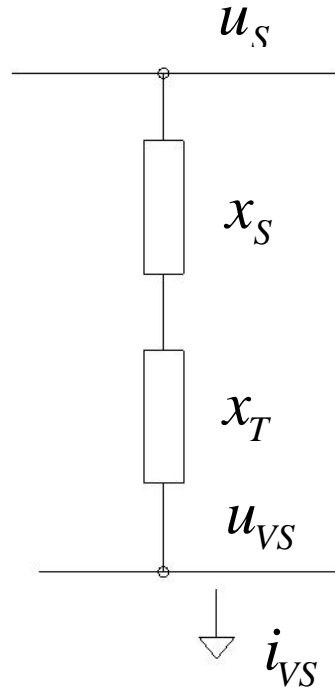
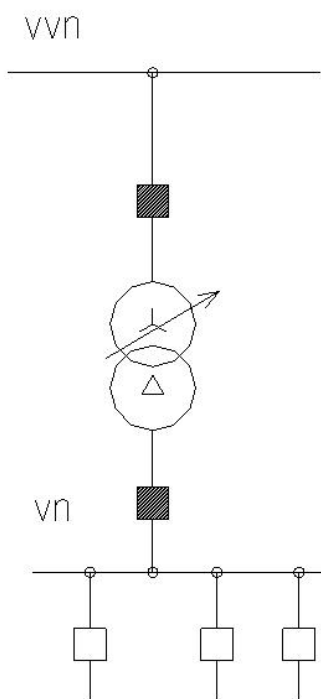
## Kontrola velikosti zdrojů pro VS:

Kontrolují se napěťové poměry + volba převodu trf.:

- při běžném provozu
- při spouštění největšího spotřebiče
- při spouštění skupiny (resp. skupin) spotřebičů

**Současně je nutné zkontrolovat nastavení ochran pro mimořádné provozní stavy!**

# Volba převodu transformátoru



Platí:

$$\hat{u}_S = j \cdot (x_S + x_T) \cdot \hat{i}_{VS} + \hat{u}_{VS}$$

Zanedbáme-li činný úbytek:

$$u_S = (x_S + x_T) \cdot i_{VSj} + u_{VS}$$

$$\frac{U_S}{p \cdot U_V} = \left[ \frac{S_V}{S_{ks}} \cdot \left( \frac{U_S}{U_V} \right)^2 \cdot \frac{1}{p^2} + x_T \right] \cdot i_{VSj} + u_{VS}$$

$$0 = (x_T \cdot i_{VSj} + u_{VS}) \cdot p^2 - p \cdot \frac{U_S}{U_V} + \frac{S_V}{S_{ks}} \cdot \left( \frac{U_S}{U_V} \right)^2 \cdot i_{VSj}$$

# Volba převodu transformátoru

Řešíme tedy kvadratickou rovnici pro neznámou  $p$ :

$$0 = \left( x_T \cdot i_{VSj} + u_{VS} \right) \cdot p^2 - p \cdot \frac{U_S}{U_V} + \frac{S_V}{S_{ks}} \cdot \left( \frac{U_S}{U_V} \right)^2 \cdot i_{VSj}$$

Za předpokladu známých:  $i_{VSj}, U_S, S_{ks}, x_T$

A zvoleného napětí:  $u_{VS}$

Tak je možné zvolit vhodnou odbočku (+ provést její kontrolu) trf. pro příslušný stav (bez zátěže, provoz, největší spotřebič, samonajíždění atd.)

# Spouštění největšího spotřebiče

Zdroj musí být dostatečně tvrdý a vyhovět i potřebným zkratovým výkonem:

Celková zátěž bude:

$$x_Z = \frac{x_{VS} \cdot x_M}{x_{VS} + x_M}$$

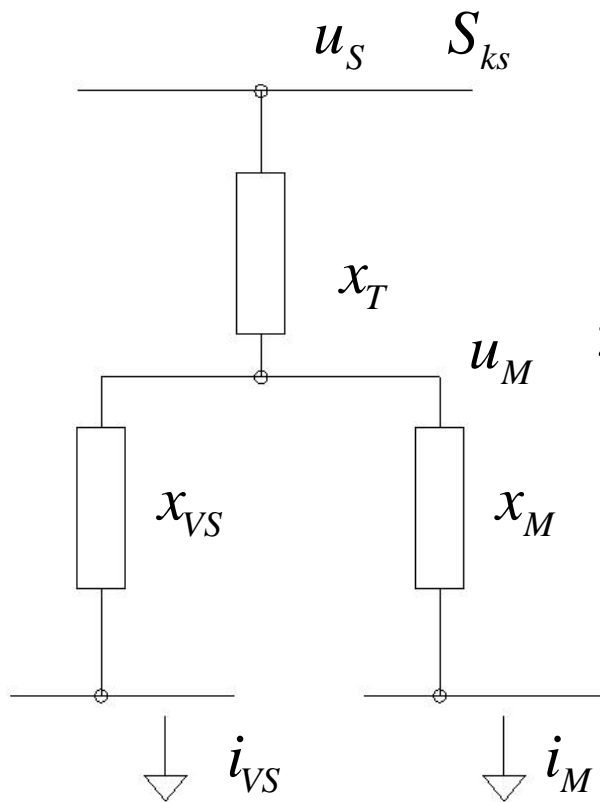
kde  $x_M$  je náhradní reaktance motoru při rozběhu zvolíme-li jako vztažný jmenovitý výkon trf.  $S_{nT}$  :

$$x_M = \frac{1}{i_{zM}} \cdot \frac{S_{nT}}{S_{nM}}$$

rozběhový (záběrný) proud motoru

Náhradní reaktance předběž. zatížení VS:

$$x_{VS} = \frac{1}{\sin \varphi_{VS}} \cdot \frac{S_{nT}}{S_{VS}}$$



# Spouštění největšího spotřebiče

Proud do trf. bude:

$$i_T = u_M \cdot \left( \frac{1}{x_{VS}} + \frac{1}{x_M} \right) = u_M \cdot \left( \frac{S_{VS} \cdot \sin \varphi_{VS}}{S_{nT}} + i_{zM} \cdot \frac{S_{nM}}{S_{nT}} \right)$$

Odpovídající poměrná hodnota zkratového výkonu:

$$S_{kM} = \frac{u_S}{x_T} = \frac{u_S}{u_S - u_M} \cdot i_T = \frac{u_S \cdot u_M}{u_S - u_M} \cdot \left( \frac{S_{VS} \cdot \sin \varphi_{VS}}{S_{nT}} + i_{zM} \cdot \frac{S_{nM}}{S_{nT}} \right)$$

V pojmenovaných hodnotách bude skutečný potřebný zkr. výkon:

$$S_{kM} = \frac{u_S \cdot u_M}{u_S - u_M} \cdot (S_{VS} \cdot \sin \varphi_{VS} + i_{zM} \cdot S_{nM}) = \frac{u_S}{\frac{u_S}{u_M} - 1} \cdot (S_{VS} \cdot \sin \varphi_{VS} + i_{zM} \cdot S_{nM})$$



# Samonajždění skupiny spotřebičů

Obdobně pro k-spotřebičů (zbylou VS neuvažujeme):

$$x_Z = \left( \frac{1}{x_{M1}} + \dots + \frac{1}{x_{Mk}} \right)^{-1}$$

Odpovídající poměrná hodnota zkratového výkonu:

$$S_{kM} = \frac{u_S}{x_T} = \frac{u_S}{u_S - u_M} \cdot i_T = \frac{u_S \cdot u_M}{u_S - u_M} \cdot \frac{1}{S_{nT}} \cdot \sum_{i=1}^k i_{zMi} \cdot S_{nMi}$$

V pojmenovaných hodnotách bude skutečný potřebný zkr. výkon:

$$S_{kM} = \frac{u_S \cdot u_M}{u_S - u_M} \cdot \sum_{i=1}^k i_{zMi} \cdot S_{nMi}$$

# Specifika pro dimenzování nouzového zdroje

Jako nouzový zdroj většinou slouží dieselgenerátor (DG, „genset“) napájející část VS zajišťující nouzový doběh a dobíjí všechny zdroje nepřetržitého napájení – UPS.

**Základní kritérium pro návrh je stejné jako pro transformátory:**

$$S_{DGn} \geq \sum S_P$$

**Na dimenzování mají vliv a kontrolují se:**

- **napět'ové poměry**
  - při běžném provozu
  - při spouštění největšího spotřebiče
  - při spouštění skupiny (resp. skupin) spotřebičů
- **poklesy frekvence**
  - při spouštění největšího spotřebiče
  - při spouštění skupiny (resp. skupin) spotřebičů
- **stabilita**
- **příkon spotřebičů, které jsou zdroji vyšších harmonických**

# Specifika pro dimenzování nouzového zdroje

## Napět'ové poměry:

Postupujeme principiálně stejně a je třeba dodržet stejné limity poklesu napětí jako u napájení ze sítě. Je při tom ale nutné zohlednit typ regulátoru napětí:

- **konstantní napětí**  $u_w(\Delta f) = u_{wn}$
- **žádaná hodnota napětí je korigována poklesem frekvence**

$$u_w(\Delta f) = u_{wn} - k \cdot \Delta f$$

Někteří výrobci uvádějí přímo hodnotu jmenovitého zdánlivého výkonu pro rozběh a potom:

$$S_{DGstart} \geq \sum_{i=1}^k i_{zMi} \cdot S_{nMi}$$

pokles napětí se odvodí od daného typu regulátoru (je třeba znát pokles frekvence)

## Frekvence:

Pokles frekvence závisí na vlastní konstrukci DG a typu regulátoru. Odvozuje se od skokového nárůstu zátěže při spouštění.

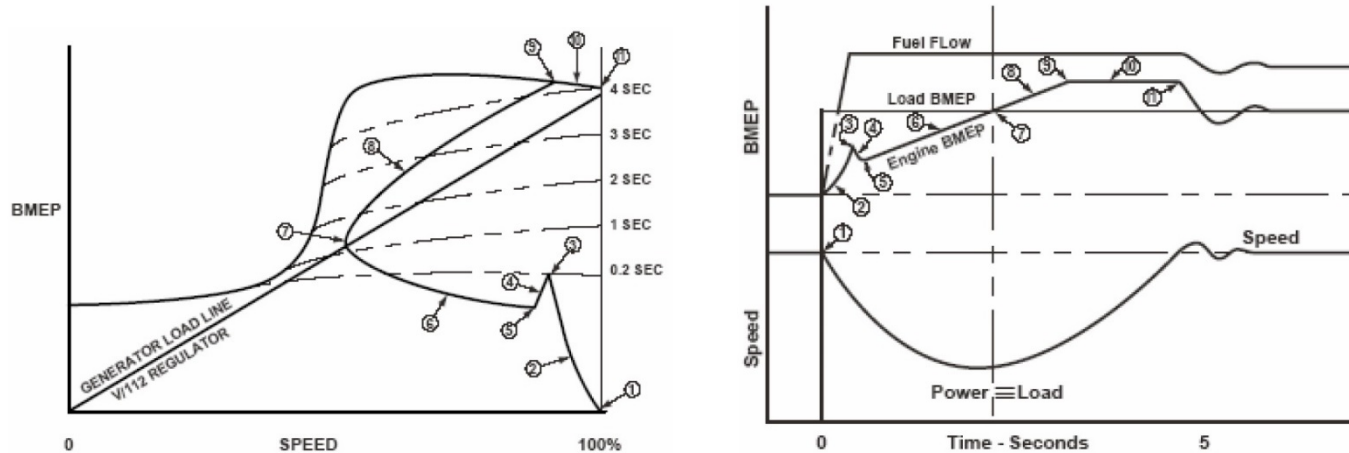
$$\Delta P_{start} = \sum_{i=1}^k i_{zMi} \cdot S_{nMi} \cdot \cos \varphi_{startMi}$$

# Specifika pro dimenzování nouzového zdroje

Frekvenčně závislý regulátor napětí odlehčí tento výkonový skok přibližně na:

$$\Delta P_{start} = \frac{u_w^2 (\Delta f)}{u_{wn}^2} \cdot \sum_{i=1}^k i_{zMi} \cdot S_{nMi} \cdot \cos \varphi_{startMi} - \frac{u_{wn}^2 - u_w^2 (\Delta f)}{u_{wn}^2} \cdot S_{VS} \cdot \cos \varphi_{VS}$$

Vlastní pokles frekvence závisí na době rozběhu



**BMEP – Brake Mean Effective Pressure – tlak ve válcích nutný pro dosažení požadovaného momentu a výkonu**

# Specifika pro dimenzování nouzového zdroje

Vyšší harmonické:

Díky obsahu vyšších harmonických dochází k dodatečnému oteplování stroje. Problém se vyskytuje zejména u napájení usměrňovačů pro UPS:

- stanovení příkonu UPS\*

$$P_{vstUPS} = \frac{P_{výstUPS} + P_{dobíjení}}{\eta_{UPS}}$$

- podmínka pro jmenovitý výkon DG\*, u usměrňovačů

$$S_{DGn} \geq 1,6 \cdot P_{vstUPS} \quad \text{6-pusních} \quad S_{DGn} \geq 1,4 \cdot P_{vstUPS} \quad \text{12-pusních}$$

- pro kombinaci zátěží\*, u usměrňovačů

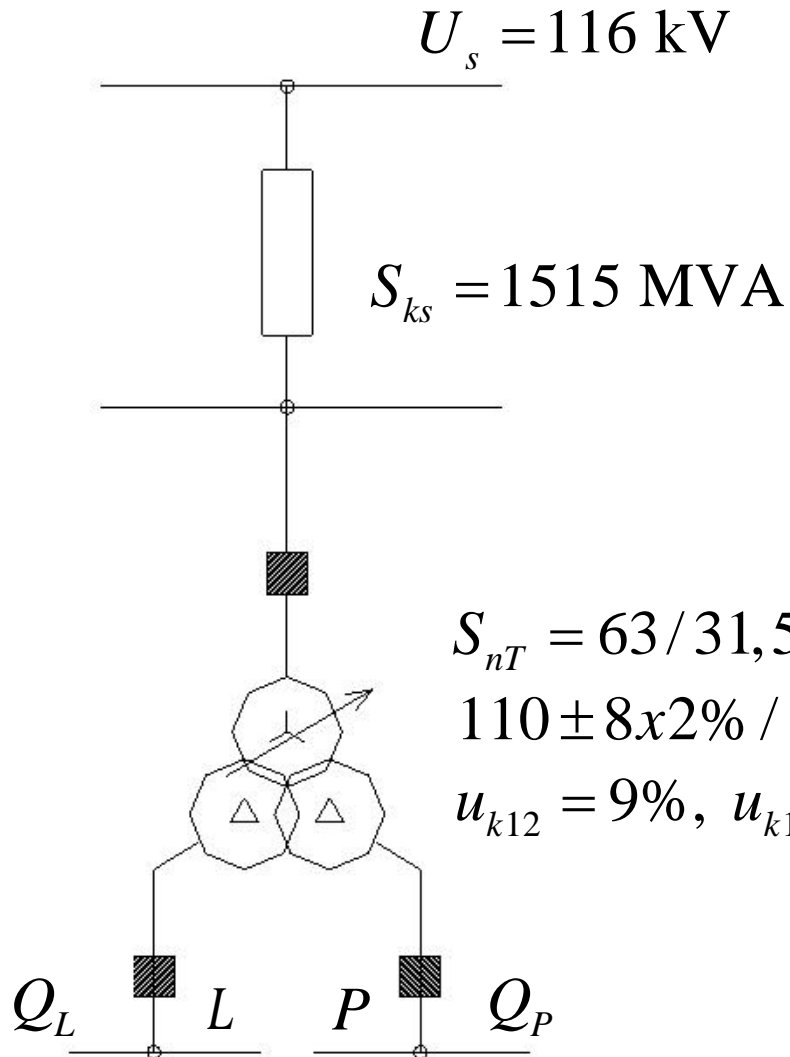
$$S_{DGn} \geq 1,15 \cdot P_{vstUPS} + \sum_{ostatní} S_P \quad \text{6-pusních}$$

$$S_{DGn} \geq 1,1 \cdot P_{vstUPS} + \sum_{ostatní} S_P \quad \text{12-pusních}$$

\* Zdroj: Catterpillar: Electric Power Applications, Engine and Generator Sizing

# Glosa k 2. přednášce

Volba vhodné odbočky u trojvintového trf.:



$$U_s = 116 \text{ kV}$$

$$S_{ks} = 1515 \text{ MVA}$$

$$S_{nT} = 63 / 31,5 / 31,5 \text{ MVA}$$

$$110 \pm 8x2\% / 6,3 / 6,3 \text{ kV}$$

$$u_{k12} = 9\%, u_{k13} = 9\%, u_{k23} = 18\%$$

Určete převod trf.

a) pro plné zatížení obou sekcí

$$Q_L = Q_P = 23 \text{ MVAr}$$

b) pro VS bez zatížení

$$Q_L = Q_P = 0 \text{ MVAr}$$

tak, aby napětí na přípojnicích VS bylo v obou případech 6,3 kV