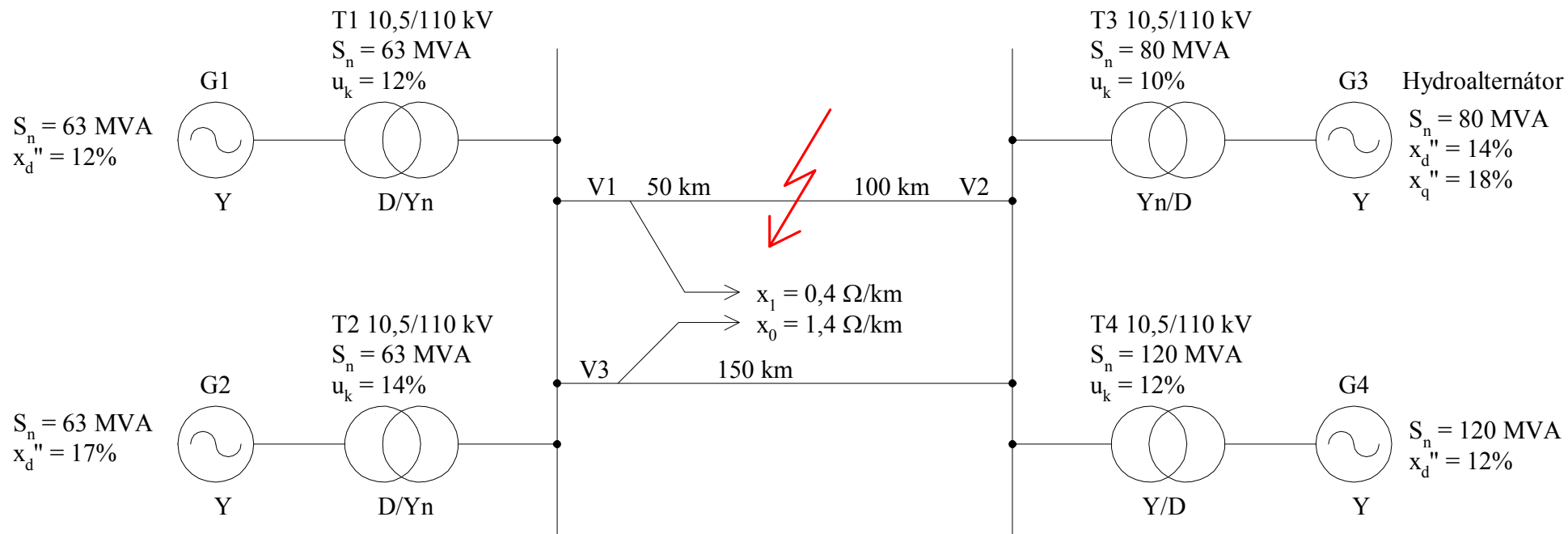


### Příklad č. 1

Určete počáteční rázový zkratový proud při **trojfázovém, dvoufázovém a jednofázovém zkratu** v označeném místě schématu na Obr. 1.



Obr. 1

Zvolíme vztažný výkon  $S_v = 63 \text{ MVA}$  a vztažné napětí  $U_v = 110 \text{ kV}$

a odtud dostaneme vztažný proud  $I_v = \frac{S_v}{\sqrt{3} \cdot U_v} = 330,7 \text{ A}$ .

Provedeme přepočítání reaktancí prvků na zvolený vztažný výkon a na napětí v místě zkratu. Pro výpočet nesymetrických poruch je však nutné počítat se složkovými soustavami – **sousledná (1), zpětná (2), netočivá (0)**. I přepočtené reaktance tak budeme uvažovat ve všech třech soustavách.

- alternátory

$$G1: x_{1G1} = x_{2G1} = x_d'' \frac{S_v}{S_n} = 0,12 \cdot \frac{63}{63} = 0,12$$

$$G2: x_{1G2} = x_{2G2} = 0,17 \cdot \frac{63}{63} = 0,17$$

$$G3: x_{1G3} = 0,14 \cdot \frac{63}{80} = 0,11$$

**! zpětná reaktance hydroalternátoru !**

$$x_{2G3} = \frac{x_d'' + x_q''}{2} \frac{S_v}{S_n} = \frac{0,14 + 0,18}{2} \cdot \frac{63}{80} = 0,126$$

$$G4: x_{1G4} = x_{2G4} = 0,12 \cdot \frac{63}{120} = 0,063$$

- transformátory

$$T1: x_{1T1} = x_{2T1} = x_{0T1} = u_k \frac{S_v}{S_n} = 0,12 \cdot \frac{63}{63} = 0,12$$

$$T2: x_{1T2} = x_{2T2} = x_{0T2} = 0,14 \cdot \frac{63}{63} = 0,14$$

$$T3: x_{1T3} = x_{2T3} = x_{0T3} = 0,1 \cdot \frac{63}{80} = 0,079$$

$$T4: x_{1T4} = x_{2T4} = 0,12 \cdot \frac{63}{120} = 0,063$$

**! netočivá reaktance transformátoru s neuzemněnou hvězdou !**

$$x_{0T4} = \infty$$

- vedení

$$V1: x_{1V1} = x_{2V1} = x_{1ved} \cdot l_1 \cdot \frac{S_v}{U_v^2} = 0,4 \cdot 50 \cdot \frac{63}{110^2} = 0,104$$

$$x_{0V1} = x_{0ved} \cdot l_1 \cdot \frac{S_v}{U_v^2} = 1,4 \cdot 50 \cdot \frac{63}{110^2} = 0,364$$

$$V2: x_{1V2} = x_{2V2} = 0,4 \cdot 100 \cdot \frac{63}{110^2} = 0,208$$

$$x_{0V2} = 1,4 \cdot 100 \cdot \frac{63}{110^2} = 0,728$$

$$V3: x_{1V3} = x_{2V3} = 0,4 \cdot 150 \cdot \frac{63}{110^2} = 0,312$$

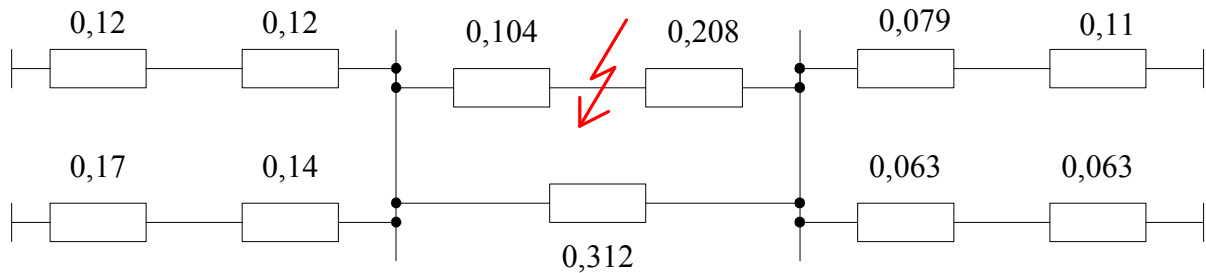
$$x_{0V3} = 1,4 \cdot 150 \cdot \frac{63}{110^2} = 1,093$$

1) řešení metodou postupného zjednodušování

Dále budeme náhradní schéma s přepočtenými reaktancemi postupně zjednodušovat, až dostaneme celkovou výpočtovou reaktanci. Opět považujeme místo zkratu za zdroj. Je třeba náhradní schéma uvažovat pro všechny tři složkové soustavy.

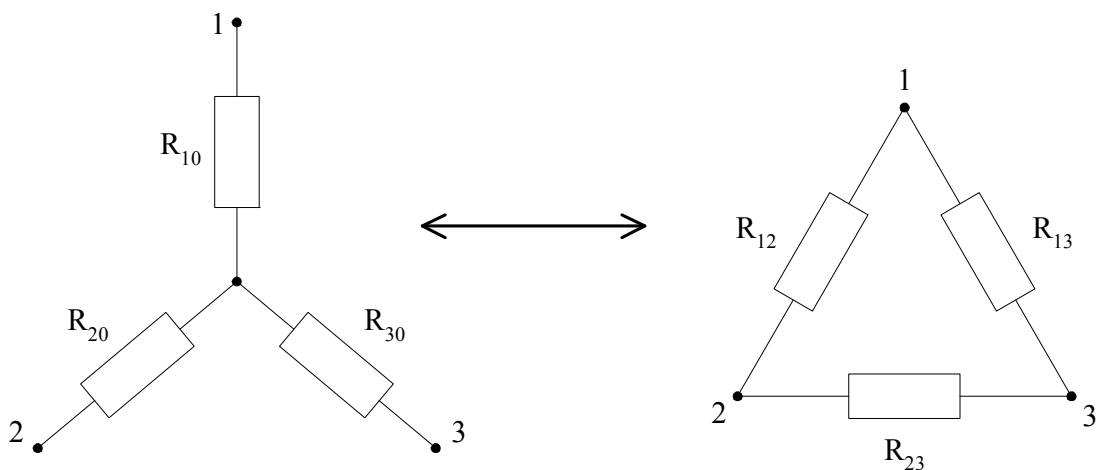
V případě sousledné a zpětné složky budou mít náhradní schémata stejnou topologii, lišit se budou pouze velikostí reaktance alternátoru G3.

**Sousledné schéma (1):**



Pro další úpravy je třeba vnitřní trojúhelník s místem zkratu pomocí **transfigurace** převést na hvězdu.

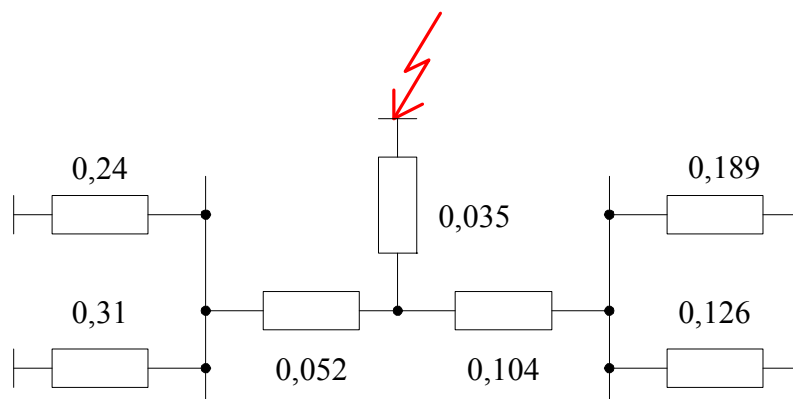
Podle známých vztahů platí:

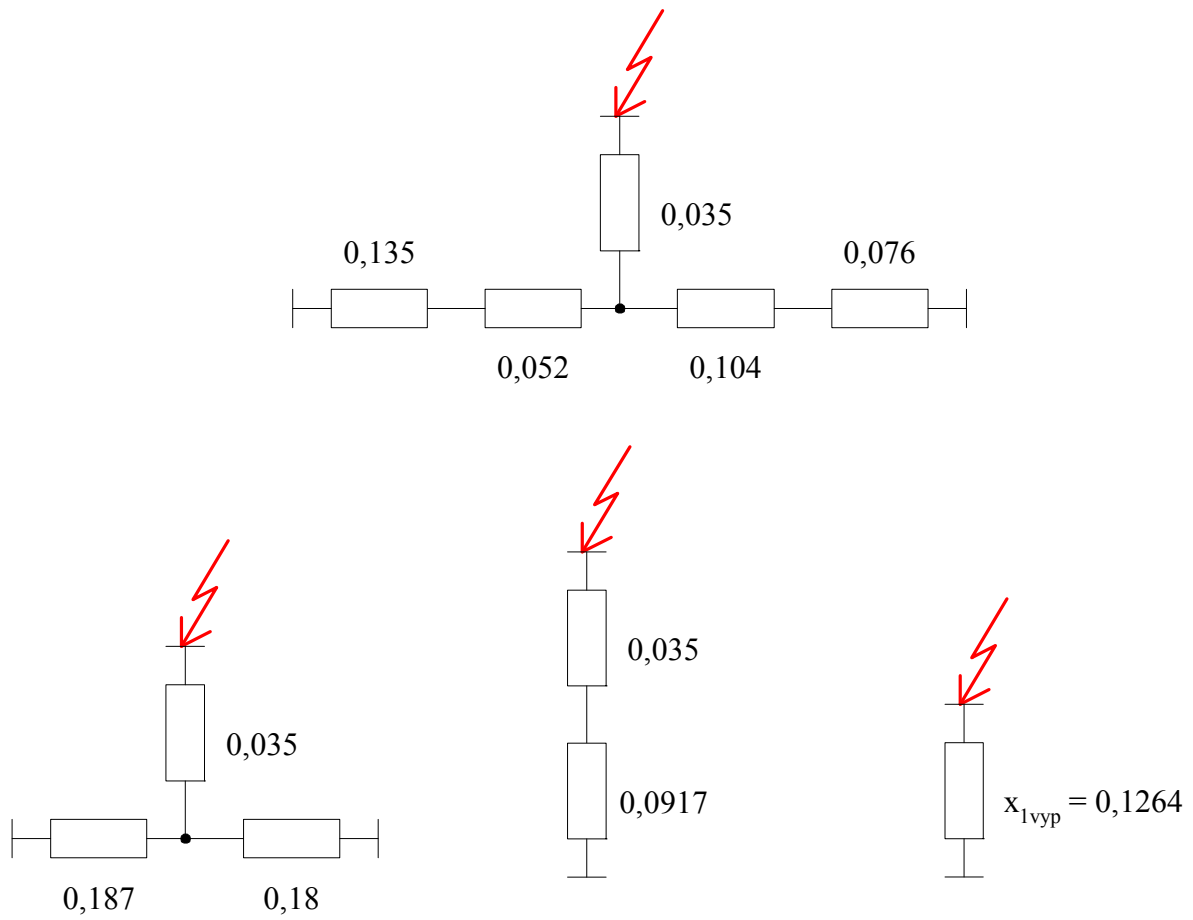


$$Y \rightarrow D: R_{12} = R_{10} + R_{20} + \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{30}}$$

$$D \rightarrow Y: R_{10} = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}$$

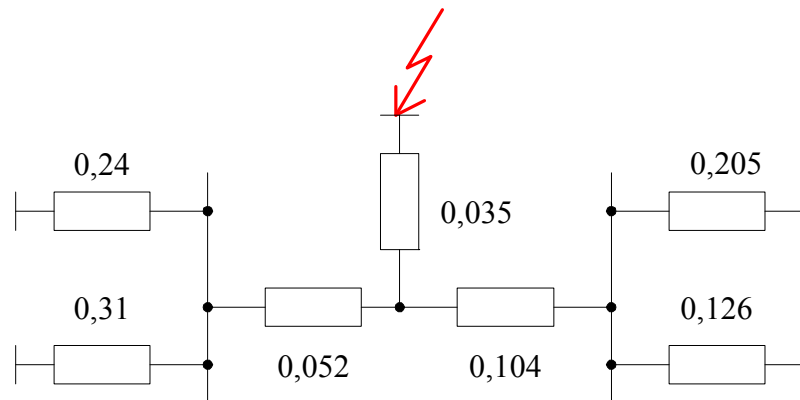
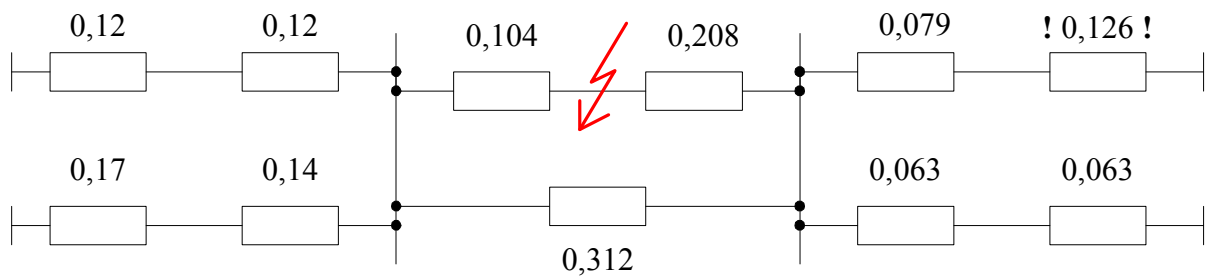
Další zjednodušování pak bude:

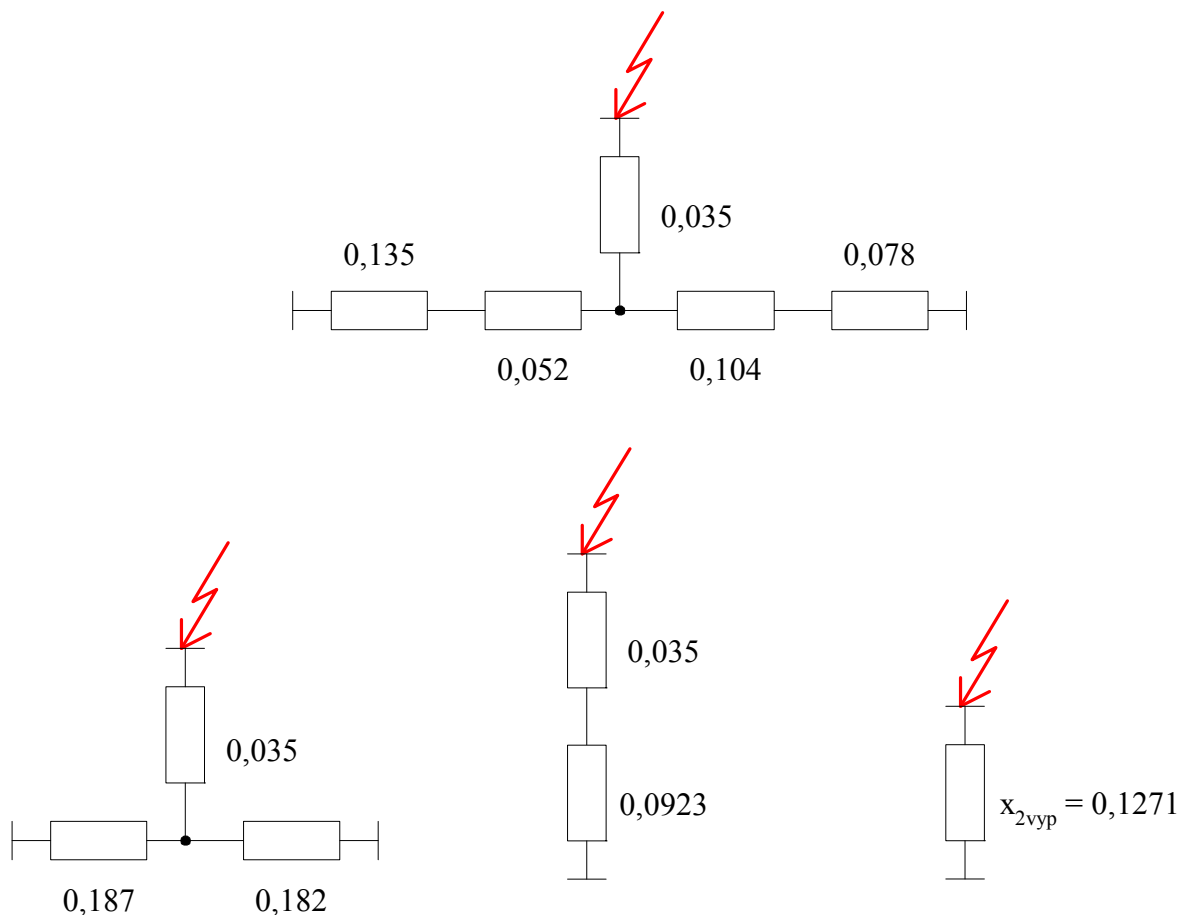




**Zpětné schéma (2):**

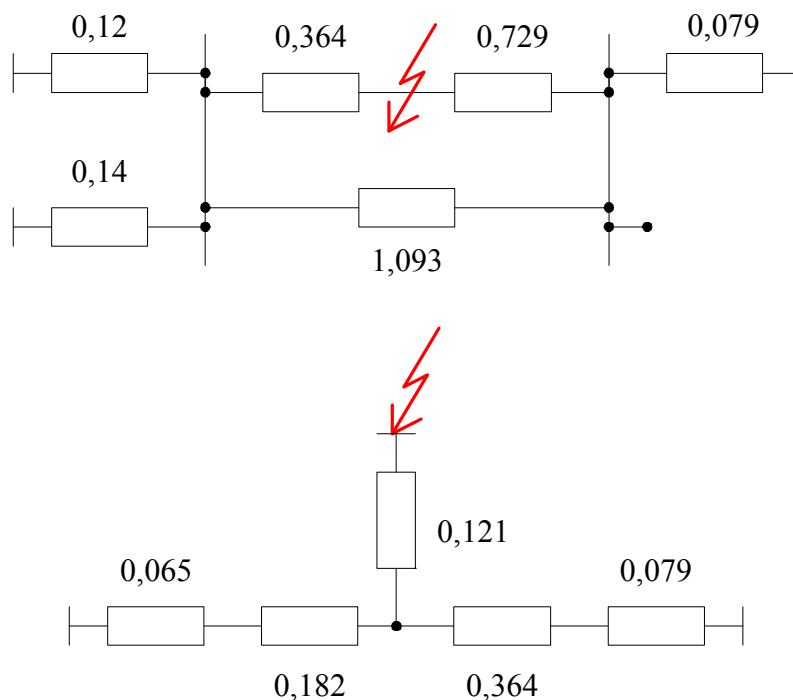
Budou provedeny stejné úpravy jako v případě sousledného schématu.

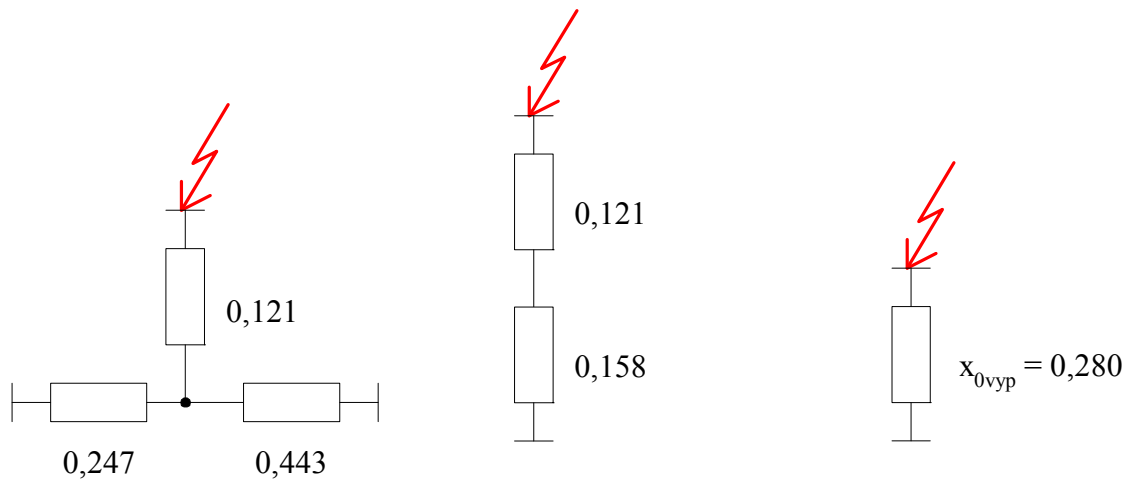




**Netočivé schéma (0):**

Netočivá soustava je tvořena třemi konfázními fázory, které se v uzlu algebraicky sčítají. Má-li prvek (alternátor, transformátor) spojeno vinutí do **neuzemněné hvězdy**, nemůže do něj netočivá složka proudu vtékat, a proto je jeho **netočivá impedance nekonečná** (tj. v náhradním schématu není zahrnuta). Náhradní schéma a jeho úpravy jsou následující:





Nyní máme k dispozici všechny tři složkové výpočtové reaktance, pomocí nichž můžeme vypočítat počáteční rázové zkratové proudy.

Obecně (konstanta  $k$  dle typu zkratu): 
$$I_{k0}^{(n)} = k \cdot I_1 = k \cdot \frac{I_v}{x_{vyp}}$$

a) jednofázový zkrat

$$I_{k0}^{(1)} = \frac{3I_v}{x_{1vyp} + x_{2vyp} + x_{0vyp}} = \frac{3 \cdot 330,7}{0,1264 + 0,1271 + 0,28} = 1859 \text{ A}$$

b) dvoufázový zkrat

$$I_{k0}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_v}{x_{1vyp} + x_{2vyp}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 330,7}{0,1264 + 0,1271} = 2259 \text{ A}$$

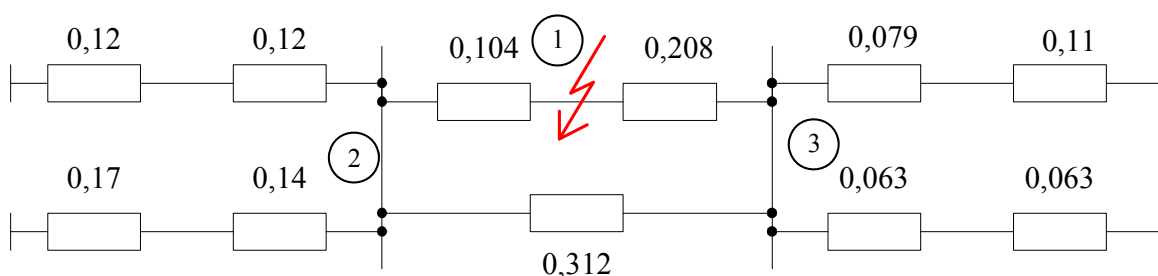
c) trojfázový zkrat

$$I_{k0}^{(3)} = \frac{I_v}{x_{1vyp}} = \frac{330,7}{0,1264} = 2615 \text{ A}$$

(Vztahy a, b, c plynou z transformace do složkových soustav – zapojení náhradního schéma.)

## 2) řešení pomocí zkratové admitanční/impedanční matice

### Sousledné schéma (1):



Vycházíme ze sousledného schématu uvedeného na začátku řešení příkladu pomocí postupného zjednodušení, označíme uzly 1, 2, 3. Pomocí přepočtených reaktancí sestavíme zkratovou admitanční matici. Na diagonále (prvky  $y_{(i,i)}$ ) jsou součty všech admitancí vedoucích z uzlu  $i$ , mimo diagonálu (prvky  $y_{(i,j)}$ ) jsou záporně vzaté admitance mezi uzly  $i$  a  $j$ .

$$\begin{aligned}
 (y_1) &= \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{pmatrix} = \\
 (y_1) &= \begin{pmatrix} \frac{1}{x_{1V1}} + \frac{1}{x_{1V2}} & & -\frac{1}{x_{1V1}} & & -\frac{1}{x_{1V2}} \\ -\frac{1}{x_{1V1}} & \frac{1}{x_{1V1}} + \frac{1}{x_{1V3}} + \frac{1}{x_{1G1} + x_{1T1}} + \frac{1}{x_{1G2} + x_{1T2}} & & & -\frac{1}{x_{1V3}} \\ -\frac{1}{x_{1V2}} & & -\frac{1}{x_{1V3}} & & \frac{1}{x_{1V2}} + \frac{1}{x_{1V3}} + \frac{1}{x_{1G3} + x_{1T3}} + \frac{1}{x_{1G4} + x_{1T4}} \end{pmatrix} \\
 (y_1) &= \begin{pmatrix} 14,404 & -9,603 & -4,801 \\ -9,603 & 20,196 & -3,201 \\ -4,801 & -3,201 & 21,230 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Z ní inverzí dostaneme zkratovou impedanční matici soustavy pro **sousledné schéma**  $(z_1) = (y_1)^{-1}$ :

$$(z_1) = \begin{pmatrix} 0,126 & 0,066 & 0,038 \\ 0,066 & 0,085 & 0,027 \\ 0,038 & 0,027 & 0,060 \end{pmatrix}$$

(je-li admitanční matice symetrická podle diagonály, platí totéž i u impedanční matice)

Obdobně sestavíme zkratovou admitanční a impedanční matice pro **zpětné (2)** a **netočivé (0)** schéma. Zpětné schéma má stejnou topologii jako netočivé, liší se pouze velikost reaktance hydroalternátoru G3.

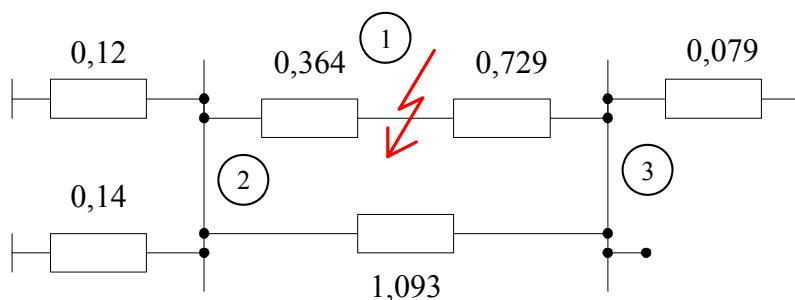
Admitanční matice pro **zpětné schéma**:

$$(y_2) = \begin{pmatrix} 14,404 & -9,603 & -4,801 \\ -9,603 & 20,196 & -3,201 \\ -4,801 & -3,201 & 20,823 \end{pmatrix}$$

Z ní inverzí dostaneme impedanční matici soustavy  $(z_2) = (y_2)^{-1}$ :

$$(z_2) = \begin{pmatrix} 0,127 & 0,066 & 0,039 \\ 0,066 & 0,085 & 0,028 \\ 0,039 & 0,028 & 0,061 \end{pmatrix}$$

**Netočivé schéma**, viz začátek příkladu, opět označíme uzly 1, 2, 3.



Admitanční matice pro **netočivé schéma**:

$$(y_0) = \begin{pmatrix} \frac{1}{x_{0V1}} + \frac{1}{x_{0V2}} & -\frac{1}{x_{0V1}} & -\frac{1}{x_{0V2}} \\ -\frac{1}{x_{0V1}} & \frac{1}{x_{0V1}} + \frac{1}{x_{0V3}} + \frac{1}{x_{0T1}} + \frac{1}{x_{0T2}} & -\frac{1}{x_{0V3}} \\ -\frac{1}{x_{0V2}} & -\frac{1}{x_{0V3}} & \frac{1}{x_{0V2}} + \frac{1}{x_{0V3}} + \frac{1}{x_{0T3}} \end{pmatrix}$$

$$(y_0) = \begin{pmatrix} 4,115 & -2,743 & -1,371 \\ -2,743 & 19,134 & -0,914 \\ -1,371 & -0,914 & 14,984 \end{pmatrix}$$

Z ní inverzí dostaneme impedanční matici soustavy  $(z_0) = (y_0)^{-1}$ :

$$(z_0) = \begin{pmatrix} 0,280 & 0,041 & 0,028 \\ 0,041 & 0,058 & 0,007 \\ 0,028 & 0,007 & 0,069 \end{pmatrix}$$

Nyní máme k dispozici všechny tři složkové impedanční matice, pomocí nichž můžeme vypočítat počáteční rázové zkratové proudy. Zkrat nastal v uzlu 1 – dosazujeme prvek (1,1) impedanční matice pro souslednou, zpětnou a netočivou složku.

a) jednofázový zkrat

$$I_{k0}^{(1)} = \frac{3I_v}{z_{1(1,1)} + z_{2(1,1)} + z_{0(1,1)}} = \frac{3 \cdot 330,7}{0,126 + 0,127 + 0,28} = 1859 \text{ A}$$

b) dvoufázový zkrat

$$I_{k0}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_v}{z_{1(1,1)} + z_{2(1,1)}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 330,7}{0,126 + 0,127} = 2259 \text{ A}$$

c) trojfázový zkrat

$$I_{k0}^{(3)} = \frac{I_v}{z_{1(1,1)}} = \frac{330,7}{0,126} = 2615 \text{ A}$$

Obě metody řešení jsou ekvivalentní.

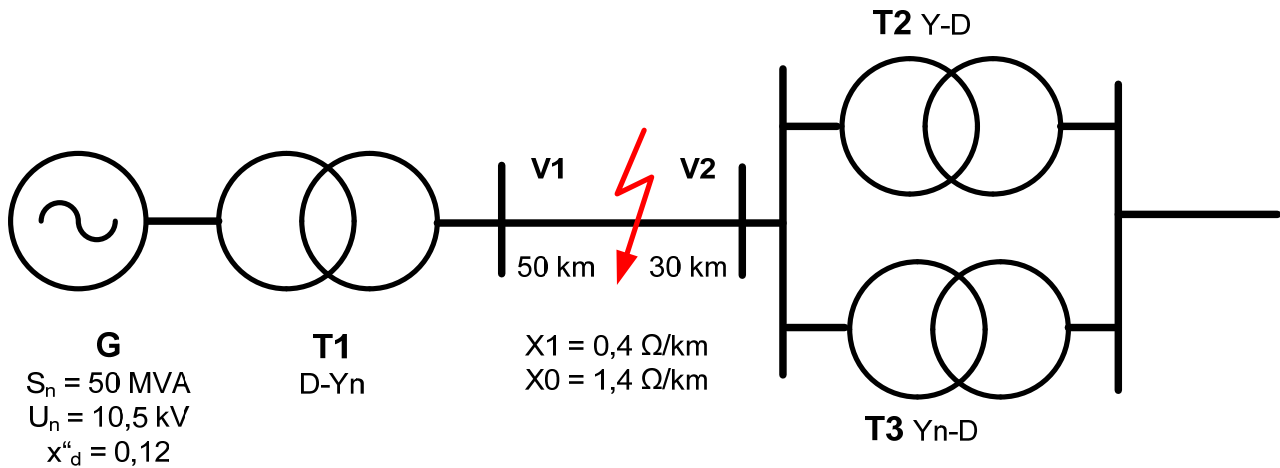


## Příklad č. 2

Určete počáteční rázový zkratový proud při **3f**, **2f** a **1f** zkratu v označeném místě schématu zobrazeném na obrázku.

Parametry T1, T2, T3: 31,5 MVA; 10,5/110 kV;  $u_k = 10,5 \%$ ;

T2 má **jinak zapojené vinutí** než T1 a T3. G je turboalternátor.



1) vztažný výkon  $S_v = 31,5 \text{ MVA}$

2) přepočít hodnot reaktancí na  $S_v$  a na napětí v místě zkratu (110 kV) pro složkové soustavy **souslednou (1)**, **zpětnou (2)** a **netočivou (0)**.

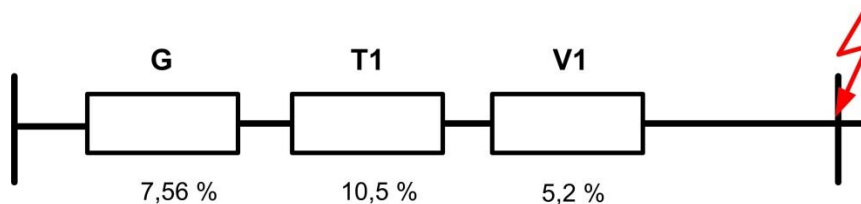
G:  $x_{1G} = x''_d \cdot \frac{S_v}{S_{nG1}} = 12 \cdot \frac{31,5}{50} = 7,56 \% = x_{2G}$  (turboalternátor)

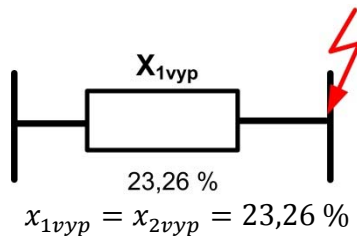
T1 až T3:  $x_{1T} = u_k \cdot \frac{S_v}{S_{nT}} = 10,5 \cdot \frac{31,5}{31,5} = 10,5 \% = x_{2T}$  (pro všechny 3 transformátory)  
 $x_{0T1} = u_k \cdot \frac{S_v}{S_{nT}} = 10,5 \cdot \frac{31,5}{31,5} = 10,5 \% = x_{0T3}$  netočivá pro T1 a T3  
 $x_{0T2} = \infty$  netočivá pro T2

V1:  $x_{1V1} = x_1 \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_{nV1}^2} \cdot 100 = 0,4 \cdot 50 \cdot \frac{31,5}{110^2} \cdot 100 = 5,2 \% = x_{2V1}$   
 $x_{0V1} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_{nV1}^2} \cdot 100 = 1,4 \cdot 50 \cdot \frac{31,5}{110^2} \cdot 100 = 18,22 \%$

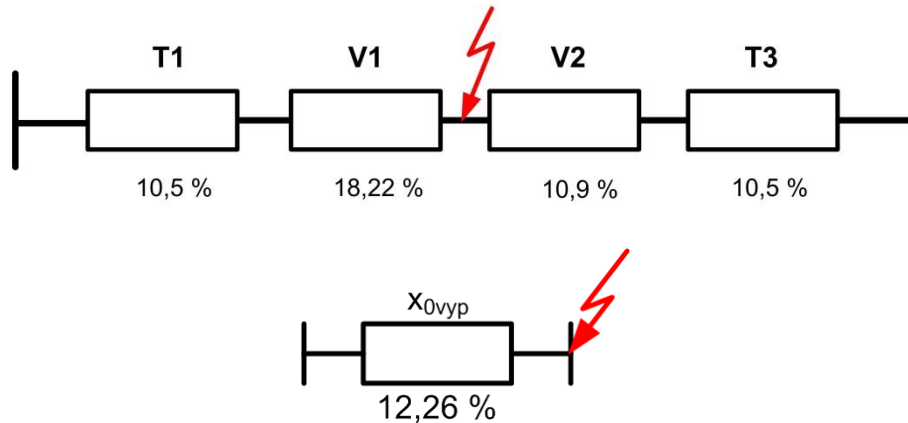
V2:  $x_{1V2} = x_1 \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_{nV2}^2} \cdot 100 = 0,4 \cdot 30 \cdot \frac{31,5}{110^2} \cdot 100 = 3,13 \% = x_{2V1}$   
 $x_{0V2} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_{nV2}^2} \cdot 100 = 1,4 \cdot 30 \cdot \frac{31,5}{110^2} \cdot 100 = 10,9 \%$

3) náhradní schéma pro **souslednou** a **zpětnou** složkovou soustavu a stanovení výpočtové reaktance pro tuto soustavu:





4) náhradní schéma pro **netočivou** složkovou soustavu a stanovení výpočtové reaktance pro tuto soustavu:



5) vztažený proud

$$I_v = \frac{S_v}{\sqrt{3} \cdot U_v} = \frac{31,5}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,165 \text{ kA}$$

6) počáteční rázový zkratový proud při **3f zkratu**

$$I_{k0}^{(3)} = k \cdot \frac{I_v}{x_{1vyp}} = 1,1 \cdot \frac{0,165}{23,26} \cdot 100 = 0,78 \text{ kA}$$

7) počáteční rázový zkratový proud při **2f zkratu**

$$I_{k0}^{(2)} = k \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_v}{x_{1vyp} + x_{2vyp}} = 1,1 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 0,165}{23,26 + 23,26} \cdot 100 = 0,614 \text{ kA}$$

8) počáteční rázový zkratový proud při **1f zkratu**

$$I_{k0}^{(1)} = k \cdot \frac{3 \cdot I_v}{x_{1vyp} + x_{2vyp} + x_{0vyp}} = 1,1 \cdot \frac{3 \cdot 0,165}{23,26 + 23,26 + 12,26} \cdot 100 = 0,926 \text{ kA}$$