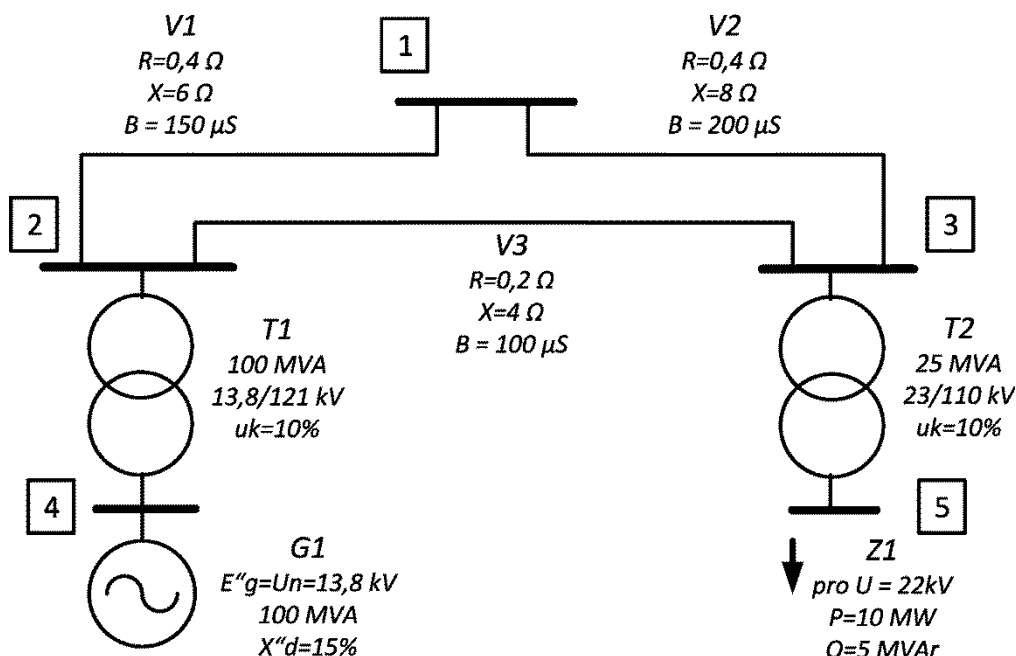


## Symetrické stavy v trojfázové soustavě

Pro obvod na obrázku

- sestavte admitanční matici [Y] obvodu
- stanovte viděnou impedanci v uzlu 3 a meziuzlovou viděnou impedanci mezi uzly 1 a 2  $Z_{v1-2}$  a  $Z_{v1-2}$
- stanovte zdánlivý výkon  $\hat{S}_g$ , proud  $\hat{I}_g$  a napětí  $\hat{U}_g$  na svorkách generátoru G1 (uzel 4)
- stanovte pokles napětí na generátoru při ideálním zkratu v uzlu č. 5 ( $\hat{U}_{gfault}$ ), řešte metodou superpozice

Admitanční matici nejprve řešte v *pojmenovaných* veličinách, potom v *poměrných* veličinách.



### Návod

Nejprve počítáme v pojmenovaných veličinách:

#### I. VOLBA FÁZOVÉ NEBO SDRUŽENÉ HODNOTY

Jedná se o trojfázový symetrický obvod, proto ho můžeme nahradit **jednofázovým obvodem sousledné složky**. Pro řešení tohoto obvodu v pojmenovaných veličinách je třeba si zvolit s jakými napětími a proudy (fázové nebo sružené hodnoty) budeme počítat.

Počítáme-li s **fázovými** veličinami (klasická transformace do složek), pracujeme s hodnotami:

$$\text{napětí: } \hat{U}_f = \hat{U} / \sqrt{3}, \text{ proud: } \hat{I}_f = \hat{I}, \text{ výkon: } \hat{S}_f = \hat{U}_f \cdot \hat{I}_f^* = \hat{S} / 3$$

Protože u napětí jsou štitkové hodnoty zařízení, údaje měření atd. většinou uváděny ve sdružených hodnotách, je praktičtější počítat ve **sdružených** hodnotách (výkonově invariantní transformace do složek), pracujeme pak s hodnotami:

$$\text{napětí: } \hat{U}_s = \hat{U}, \text{ proud: } \hat{I}_s = \sqrt{3} \cdot \hat{I}, \text{ výkon: } \hat{S}_s = \hat{U}_s \cdot \hat{I}_s^* = \hat{S}$$

Napětí a výkon není třeba přepočítávat, pozor k vyjádření skutečné hodnoty proudu je **vypočtený proud nutné vydělit  $\sqrt{3}$** ! V dalším textu je počítáno ve sdružených hodnotách.

## II. VOLBA SPOTŘEBIČOVÉ NEBO ZDROJOVÉ ORIENTACE UZLŮ

Pro **spotřebičovou orientaci** je za kladný směr proudu považován proud vytékající z uzlu, platí:

$$\hat{I}_k + \sum_{\substack{m=0 \\ m \neq k}}^{NU} \hat{I}_{km} = 0$$

Kladné znaménko u výkonu znamená odběr, pro prvky admitanční matice platí:

$$Y(k, k) = -Y_{k0} - \sum_{\substack{m=0 \\ m \neq k}}^{NU} Y_{km}$$

$$Y(k, m) = Y_{km}$$

Naopak pro **zdrojovou orientaci** je za kladný směr proudu považován proud vtékající do uzlu, platí:

$$-\hat{I}_k + \sum_{\substack{m=0 \\ m \neq k}}^{NU} \hat{I}_{km} = 0$$

Kladné znaménko u výkonu znamená dodávku, pro prvky admitanční matice platí:

$$Y(k, k) = Y_{k0} + \sum_{\substack{m=0 \\ m \neq k}}^{NU} Y_{km}$$

$$Y(k, m) = -Y_{km}$$

Celkově je možné tyto vztahy vyjádřit jako:

$$[\mathbf{Y}]_{\text{spotř}} = -[\mathbf{Y}]_{\text{zdroj}}$$

V dalším textu je použita zdrojová orientace.

## III. VOLBA DAT POPISUJÍCÍCH ELEKTRICKOU SÍŤ

Data popisující elektrickou síť se dají rozdělit do dvou struktur – data spojená s uzly a data spojená s větvemi. Pro data spojená s uzly je vhodné strukturovat soubor např. **uzel.dat** následovně:

```
% c. uzlu      Uv      Re(Iu)      Im(Iu)      Gu      Bu
% -----
% ..          ..          ..          ..          ..          ..
```

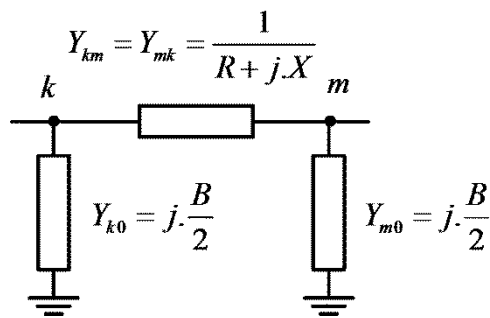
Tj. číslo uzlu, vztažné napětí [kV] (bude potřeba až k výpočtům v poměrných jednotkách), uzlový proud [kA] a uzlová admittance [S].

Pro data spojená s větvemi je vhodné strukturovat soubor např. **vetev.dat** následovně:

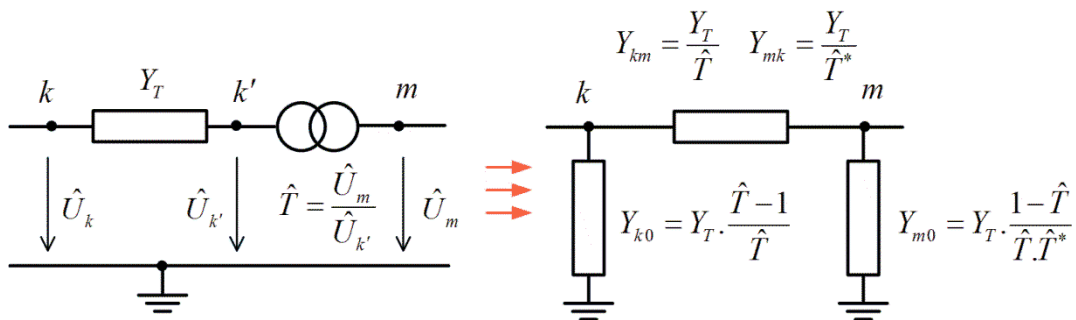
```
% c. vetve   ZU   KU   R   X   B   T
% -----
% ..        ..   ..   ..   ..   ..   ..
```

Tj. číslo větve, ZU – počáteční uzel ( $k$ ), KU – konečný uzel ( $m$ ), podélný odpor a reaktance [ $\Omega$ ], kapacitní svod [větš. v  $\mu\text{S}$ ], skutečný převod transformátoru [-].

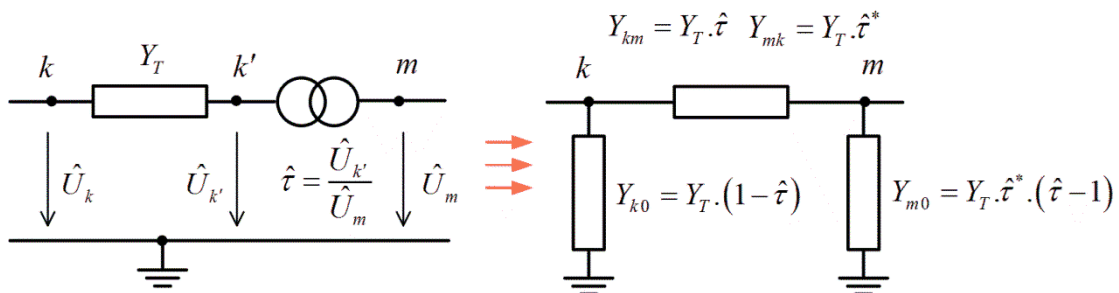
Data spojená s větvemi se nahrazují vždy obecným  $\Pi$  - článkem. To znamená, že např. vedení s rozprostřenými parametry se nahradí jako:



Pro transformátor platí:

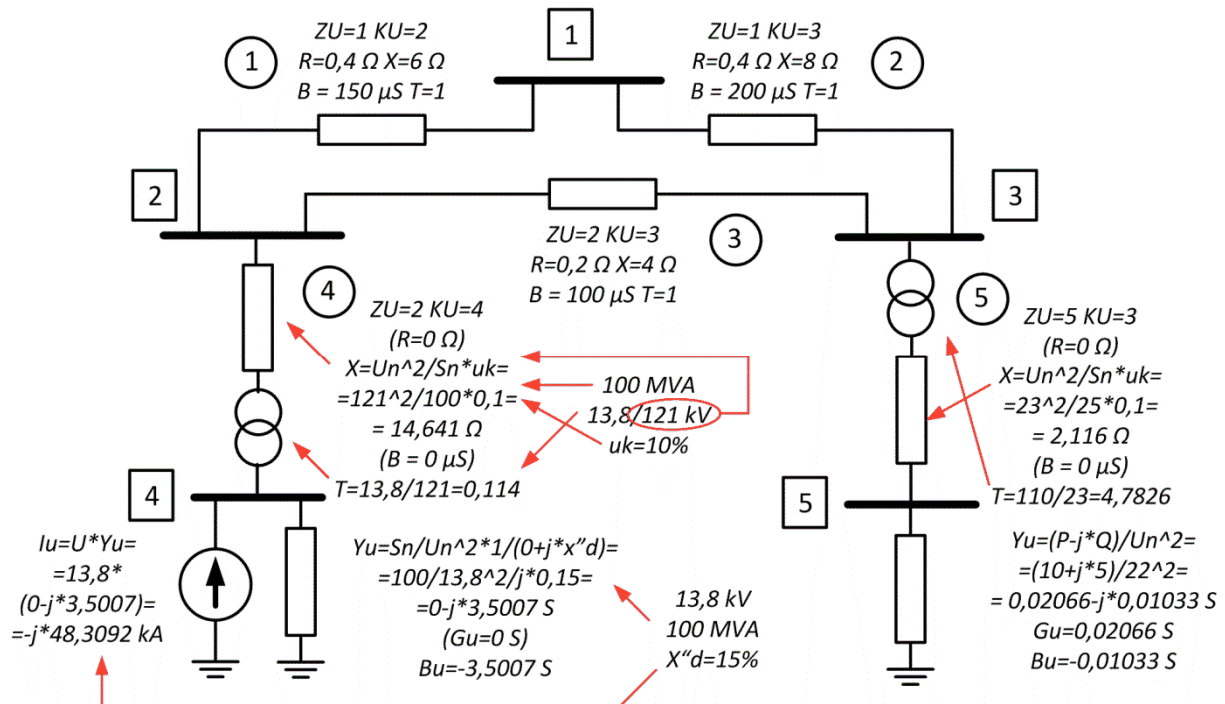


Pozor! Je třeba důsledně dodržovat konvenci počátečního ( $k$ ) a konečného uzlu ( $m$ ) a s tím související pořadí prvků a definici převodu jako je na obrázku. Např. při převráceném převodu bude náhrada následující:



#### IV. ZPRACOVÁNÍ PRVKŮ SCHÉMATU

Pro toto schéma zpracujeme prvky podle následujícího obrázku:



### Výsledky

a) Admitanční matice [Y]

$$\begin{bmatrix} 0.0173 - 0.2904i & -0.0111 + 0.1659i & -0.0062 + 0.1247i & 0 & 0 \\ -0.0111 + 0.1659i & 0.0235 - 0.4835i & -0.0125 + 0.2494i & 0 + 0.5991i & 0 \\ -0.0062 + 0.1247i & -0.0125 + 0.2494i & 0.0187 - 0.3946i & 0 & 0 + 0.0988i \\ 0 & 0 + 0.5991i & 0 & 0 - 8.7563i & 0 \\ 0 & 0 & 0 + 0.0988i & 0 & 0.0207 - 0.4829i \end{bmatrix}$$

b) Viděná impedance v uzlu 3:

$$Z_{v3} = Z(3,3) = 1,5116 + j.39,5765 \, \Omega$$

Meziuzlová viděná impedance mezi uzly 1 a 2:

$$Z_{v1-2} = Z(1,1) + Z(2,2) - Z(1,2) - Z(2,1) = 0,2462 + j.4,0022 \, \Omega$$

c) Protože  $[\hat{U}] = [Y]^{-1} \cdot [\hat{I}]$ , bude

$$\text{napětí } \hat{U}_g = \hat{U}(4) = 13,78 - j.0,26 \, kV \text{ (napětí ve čtvrtém uzlu)}$$

$$\text{proud } \hat{I}_g = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot [(\hat{U}_m - \hat{U}_k) \cdot Y_{mk} + \hat{U}_m \cdot Y_{m0}]_{v\check{e}tve=4} \text{ (záporně vzatý výstupní proud čtvrté větve) a tedy } \hat{I}_g = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot [(\hat{U}(4) - \hat{U}(2)) \cdot Y_{mk}(4) + \hat{U}(4) \cdot Y_{m0}(4)] = 0,5267 - j.0,0355 \, kA$$

Použijeme-li hodnotu  $\hat{I}_{gs} = (\hat{U}(4) - \hat{U}(2)) \cdot Y_{mk}(4) + \hat{U}(4) \cdot Y_{m0}(4)$ , potom

$$\hat{S}_g = \hat{U}_g \cdot \hat{I}_{gs}^* = 12,5897 + j.0,6095 \, MVA$$

- d) Dodatkové napětí v uzlu č. 5 bude  $\widehat{U}_F^{\Delta} = -\widehat{U}(5) = -24,6106 + j. 1,8968 \text{ kV}$   
 Vydělíme-li ho viděnou impedancí, získáme dodatkový proud

$$\widehat{I}_F^{\Delta} = \widehat{U}_F^{\Delta} / Z(5,5) = -0,0120 + j. 6,6335 \text{ kA}$$

Po dalších snadných výpočtech získáme

$$\widehat{U}_{gfault} = 10,4025 - j. 0,0062 \text{ kV}$$

Napětí pokleslo zhruba o čtvrtinu (tzv. „vzdálený zkrat“), což odpovídá umístění zkratu ve schématu

## Komentář

Řešení úlohy v poměrných jednotkách má tu výhodu, že některé parametry uvedené na zařízení je možné zadávat přímo, nebo jednodušeji. Výsledky v poměrných jednotkách okamžitě indikují výraznou odchylku od jmenovitých ( $\rightarrow$  vztažných) parametrů, pokud jsou vztažné veličiny nastaveny správně. Abychom mohli zadávat identická data, jako v případě výpočtu v pojmenovaných hodnotách, musí se přepočít:

$$\hat{u} = \frac{\widehat{U}}{U_V} \text{ a } \hat{i} = \frac{\widehat{I}}{I_V} \text{ kde } I_V = \frac{S_V}{U_V}$$

$$z = \frac{Z}{Z_V} \text{ a } y = Y \cdot Z_V \text{ kde } Z_V = \frac{U_V^2}{S_V}$$

$$\hat{t} = \hat{T} \cdot \frac{U_{V1}}{U_{V2}}$$

Pozor u proudu! Opět jde o ekvivalentní náhradu jednofázovým obvodem. Skutečný proud v kA se spočítá jako:

$$\hat{I}_{skut} = \hat{i} \cdot \frac{I_V}{\sqrt{3}} = \hat{i} \cdot \frac{S_V}{\sqrt{3} \cdot U_V}$$

Pomocí viděné impedance je možné analyzovat chování složitěho obvodu v jednom místě sítě. Nejde jen o výpočet poruch, ale např. o výpočty rezonancí. V následujícím grafu jsou znázorněny frekvenční charakteristiky viděných impedancí v jednotlivých uzlech sítě z tohoto příkladu.

