

Průmyslová energetika X15PEN

přednáška č. 1

Jan Špetlík

spetlij@fel.cvut.cz - v předmětu emailu „PEN“

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky ČVUT, Technická 2, 166 27 Praha 6

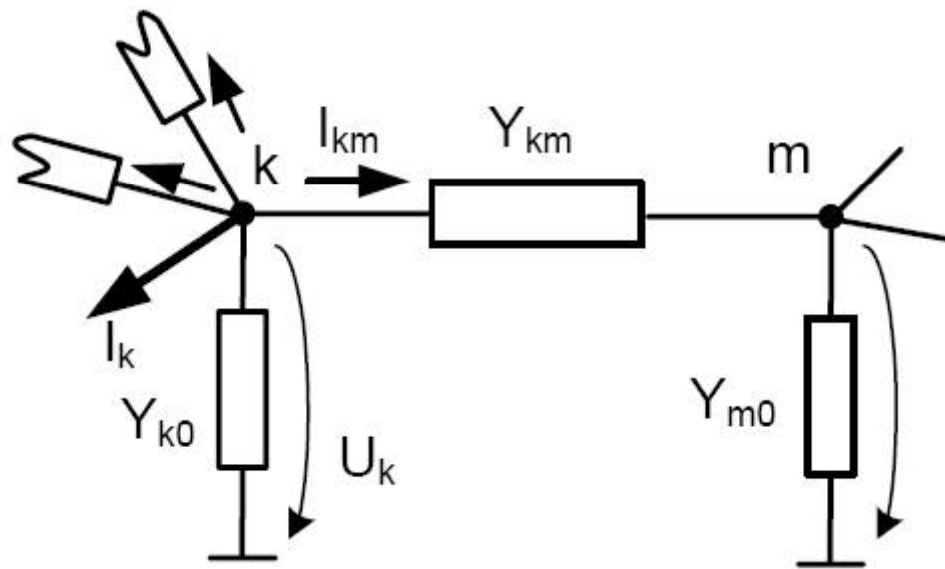
Uzlové sítě v bezporuchovém ustáleném stavu

Elektrické obvody používané v energetice,

Skládají se z:

- vedení
- transformátorů a tlumivek
- zdrojů (generátorů)
- spotřeby (zátěží)

Zobecněná metoda uzlových napětí



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

$$\hat{I}_k = -\sum_{\substack{m=0 \\ m \neq k}}^N \hat{I}_{km} = -\sum_{\substack{m=0 \\ m \neq k}}^N \hat{Y}_{km} \cdot (\hat{U}_k - \hat{U}_m)$$

Tvorba matice Y

- Po oddělení nultého prvku:

$$\hat{I}_k = - \sum_{\substack{m=0 \\ m \neq k}}^N \hat{Y}_{km} \cdot \hat{U}_k + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N \hat{Y}_{km} \cdot \hat{U}_m = - \left(\hat{Y}_{k0} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N \hat{Y}_{km} \right) \cdot \hat{U}_k + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N \hat{Y}_{km} \cdot \hat{U}_m$$

diagonální prvky

prvky mimo
diagonálu

- Maticový zápis celého obvodu:

$$[\hat{I}] = [\hat{Y}] \cdot [\hat{U}]$$

Redukovaná matice Y

- Mějme uzlovou síť o n uzlech a g zdrojích (z pasivní zátěže)
- Pro všechna uzlová napětí a proudy platí (viz. metoda uzl. napětí)

$$\begin{bmatrix} \hat{I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Y} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U} \end{bmatrix}$$

- V blokovém vyjádření

$$\begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{I}_g \end{bmatrix} \\ [0] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{Y}_{gg} & \hat{Y}_{gz} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \hat{Y}_{zg} & \hat{Y}_{zz} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{U}_g \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \hat{U}_z \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Y}_{gg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{Y}_{gz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_z \end{bmatrix}$$

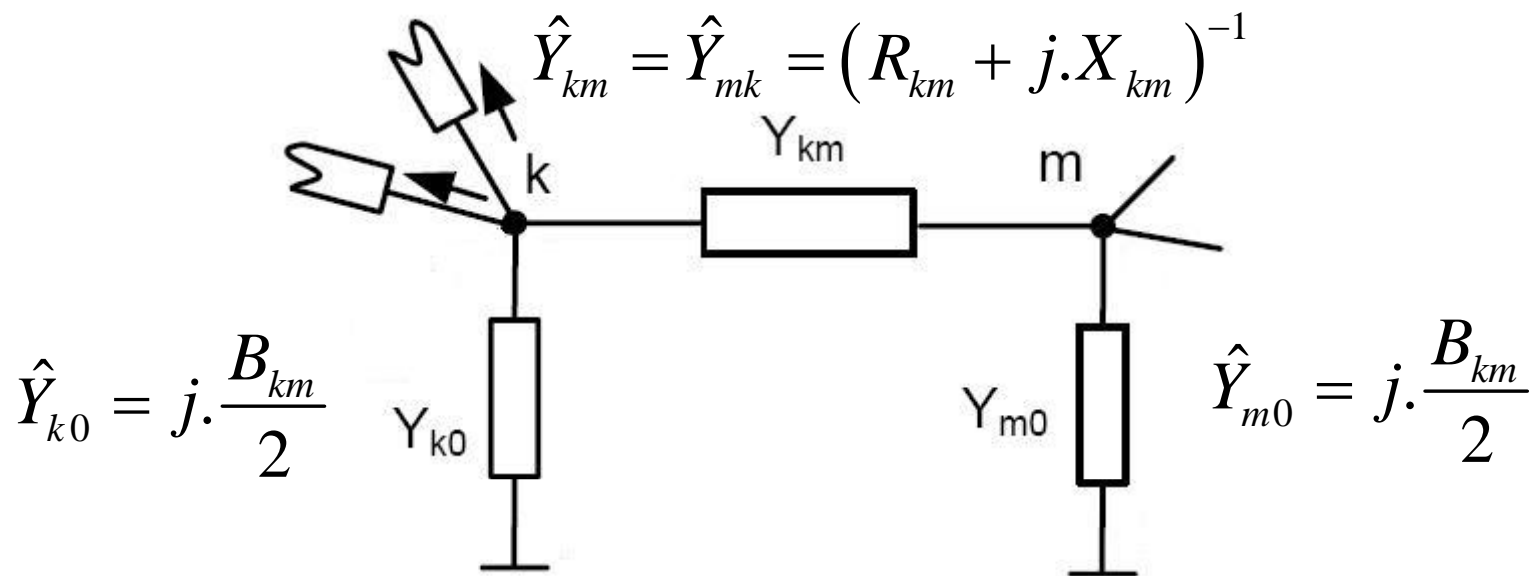
$$[0] = \begin{bmatrix} \hat{Y}_{zg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{Y}_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_z \end{bmatrix}$$

- Výsledná redukovaná matice Y

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_g \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} \hat{Y}_{gg} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{Y}_{gz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{Y}_{zz} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \hat{Y}_{zg} \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Y}_{red} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_g \end{bmatrix}$$

Prvky Y matice

- Vedení nahrazujeme Π -článkem a zadáváme pomocí parametrů R , X , B

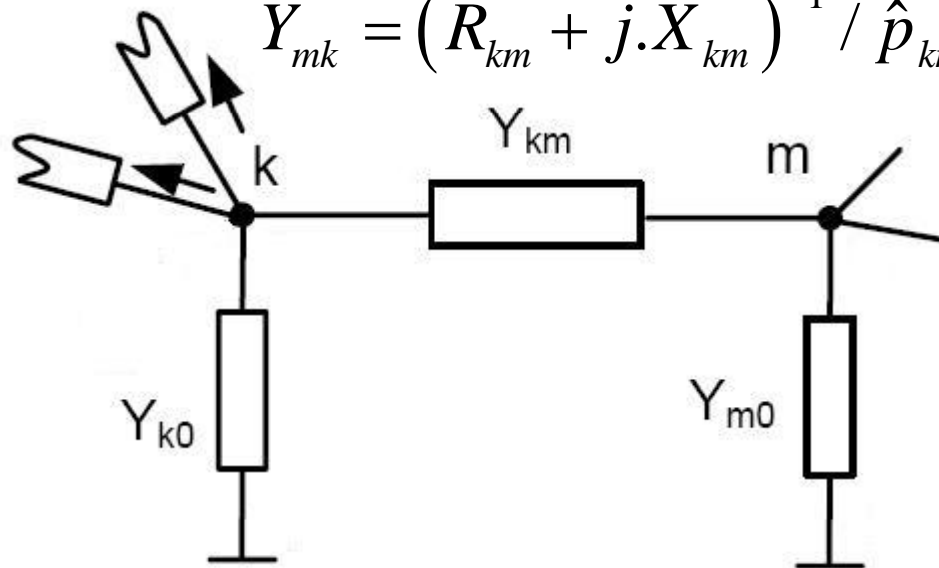


Prvky Y matice

- Transformátor nahrazujeme impedancí a ideálním transformátorem s komplexním převodem, zadáváme pomocí parametrů R , X , p

$$\hat{Y}_{km} = (R_{km} + j.X_{km})^{-1} / \hat{p}_{km}^*$$

$$\hat{Y}_{mk} = (R_{km} + j.X_{km})^{-1} / \hat{p}_{km}$$



$$\hat{Y}_{k0} = \frac{\hat{p}_{km} - 1}{|\hat{p}_{km}|} \cdot (R_{km} + j.X_{km})^{-1}$$

$$\hat{Y}_{m0} = \left(\frac{1}{\hat{p}_{km}^*} - 1 \right) \cdot (R_{km} + j.X_{km})^{-1}$$

Prvky Y matice

- generátory nahrazujeme podélnou impedancí a zdrojem napětí

$$\hat{Y}_{km} = \hat{Y}_{mk} = (R_{km} + j \cdot X_{km})^{-1}$$

- Zátěže nahrazujeme svodem

$$\hat{Y}_{k0} = G_k + j \cdot B_k$$

Z matice

- je maticí inverzní k admitanční matici Y

$$[\hat{U}] = [\hat{Y}]^{-1} \cdot [\hat{I}] = [\hat{Z}] \cdot [\hat{I}]$$

- vlastnosti:
- „viděná“ impedance

$$\begin{bmatrix} \hat{U}_1 \\ \dots \\ \hat{U}_k \\ \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Z}_{11} & \dots & & \\ & \dots & & \\ & & \hat{Z}_{kk} & \\ & & & \dots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ \hat{I}_k \\ \dots \end{bmatrix}$$

v uzlu k

$$\hat{Z}_{vk} = \hat{Z}_{kk}$$

Z matice

meziuzlová k/l

$$\begin{bmatrix} \hat{U}_1 \\ \dots \\ \hat{U}_k \\ \hat{U}_l \\ \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Z}_{11} & & & & \\ & \dots & & & \\ & & \hat{Z}_{kk} & \hat{Z}_{kl} & \\ & & \hat{Z}_{lk} & \hat{Z}_{ll} & \\ & & & & \dots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ \hat{I}_k \\ -\hat{I}_k \\ \dots \end{bmatrix}$$

$$\hat{U}_{kl} = \hat{U}_k - \hat{U}_l = \hat{Z}_{kk} \cdot \hat{I}_k - \hat{Z}_{kl} \cdot \hat{I}_k - \hat{Z}_{lk} \cdot \hat{I}_k + \hat{Z}_{ll} \cdot \hat{I}_k$$

$$\hat{Z}_{vkl} = \hat{Z}_{kk} + \hat{Z}_{ll} - \hat{Z}_{kl} - \hat{Z}_{lk}$$

Tvorba a modifikace Z matice

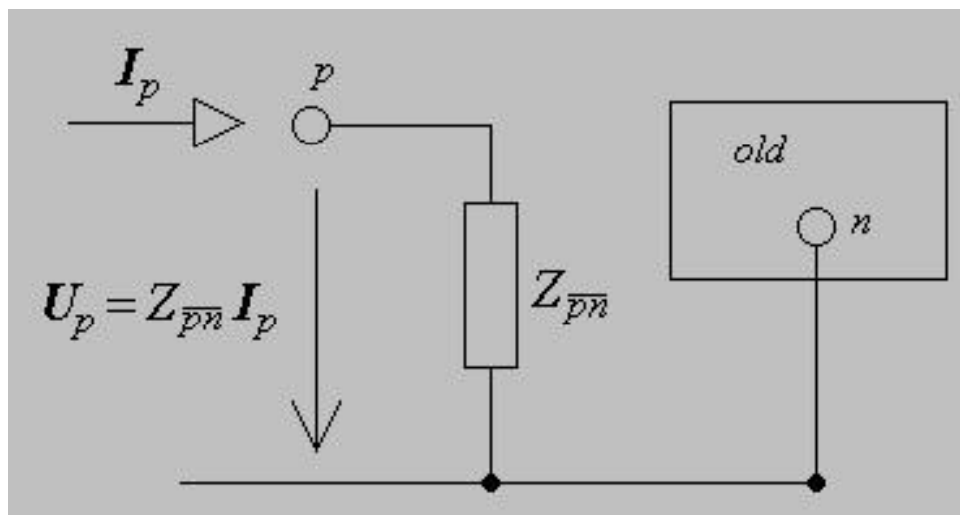
n – uzemněný uzel

i, j, k – stávající uzly

p, q – nové uzly

r – řád stávající matice

1. Připojení nového uzlu p k n , přes \hat{Z}_{pn}

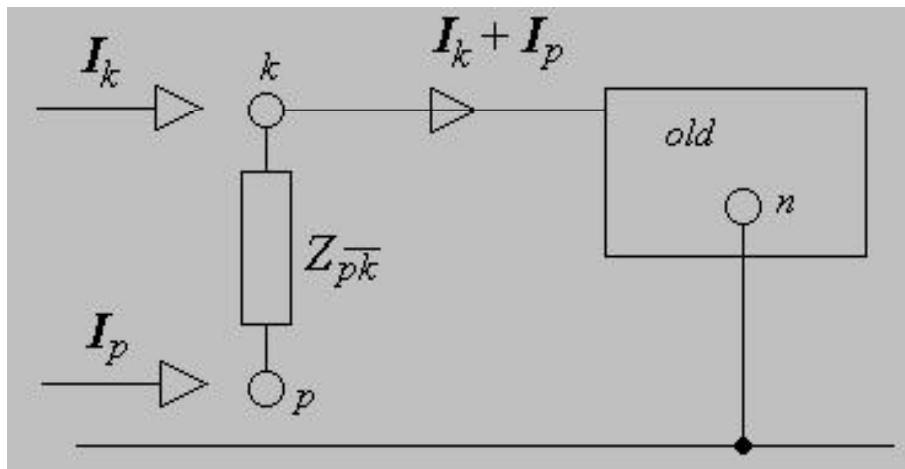


$$\begin{bmatrix} \hat{U}_{old} \\ \hat{U}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Z}_{old} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \hat{Z}_{pn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{old} \\ \hat{I}_p \end{bmatrix}$$

„ostrovní provoz“

Tvorba a modifikace Z matice

2. Připojení \hat{Z}_{pk}



$$\hat{U}_{new(i)} = \hat{U}_{old(i)} + \hat{Z}_{ik} \cdot \hat{I}_p$$

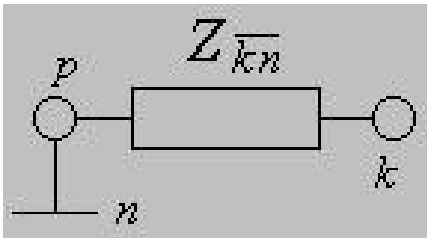
Nové napětí v uzlu p :

$$\hat{U}_{new(p)} = \hat{U}_{old(k)} + \hat{Z}_{pk} \cdot \hat{I}_p$$

$$\begin{bmatrix} \hat{U}_{new} \\ \hat{U}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Z}_{old} & \hat{Z}_{1k} & \dots & \hat{Z}_{rk} \\ \hat{Z}_{k1} & \dots & \hat{Z}_{kr} & \hat{Z}_{kk} + \hat{Z}_{pk} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{old} \\ \hat{I}_p \end{bmatrix}$$

Tvorba a modifikace Z matice

3. Spojení uzlu p se zemí / redukce matice o řád



$$\hat{Z}_{red(ij)} = \hat{Z}_{ij} - \frac{\hat{Z}_{ik} \cdot \hat{Z}_{kj}}{\hat{Z}_{kn} + \hat{Z}_{kk}}$$