

Průmyslová energetika X15PEN

přednáška č. 2

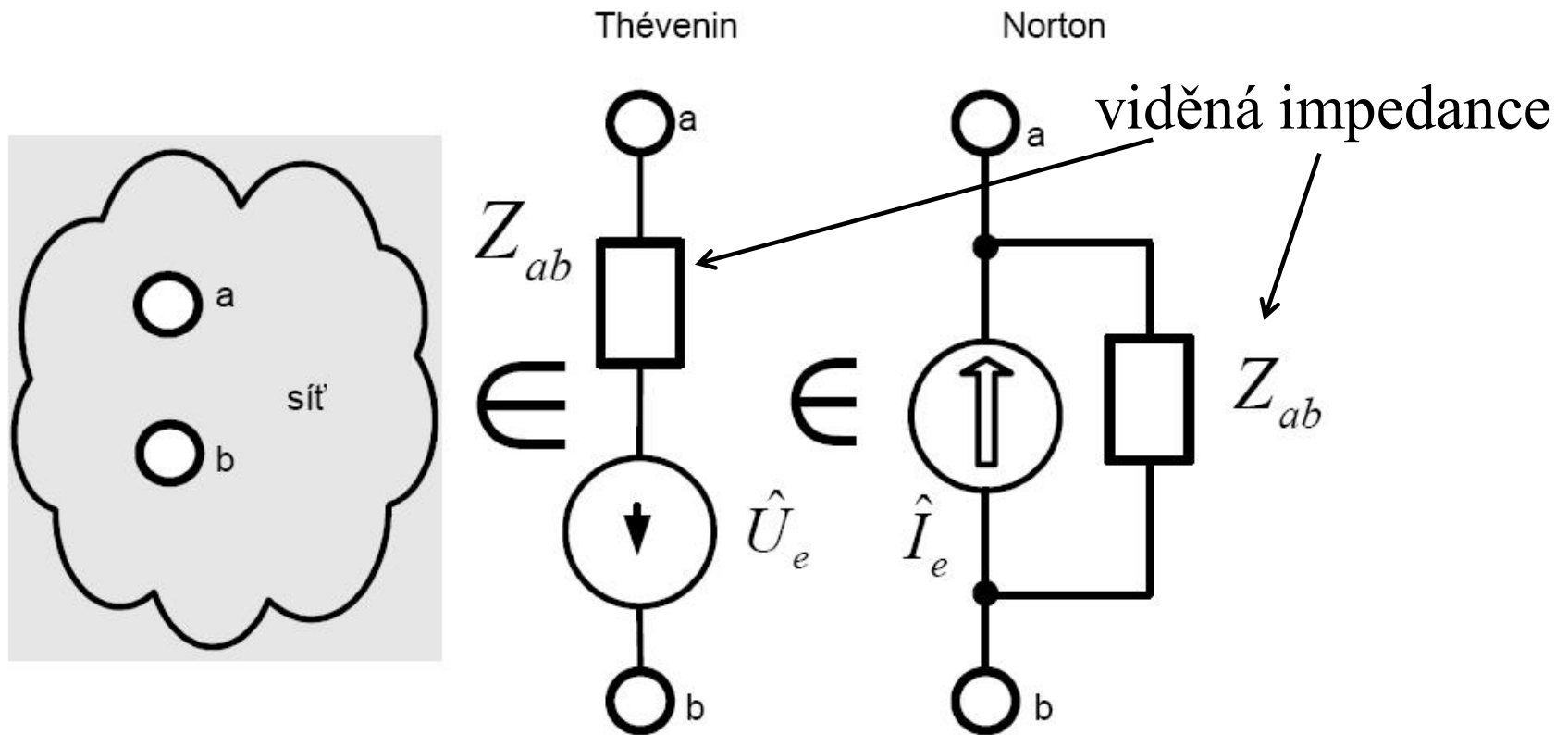
Jan Špetlík

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

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

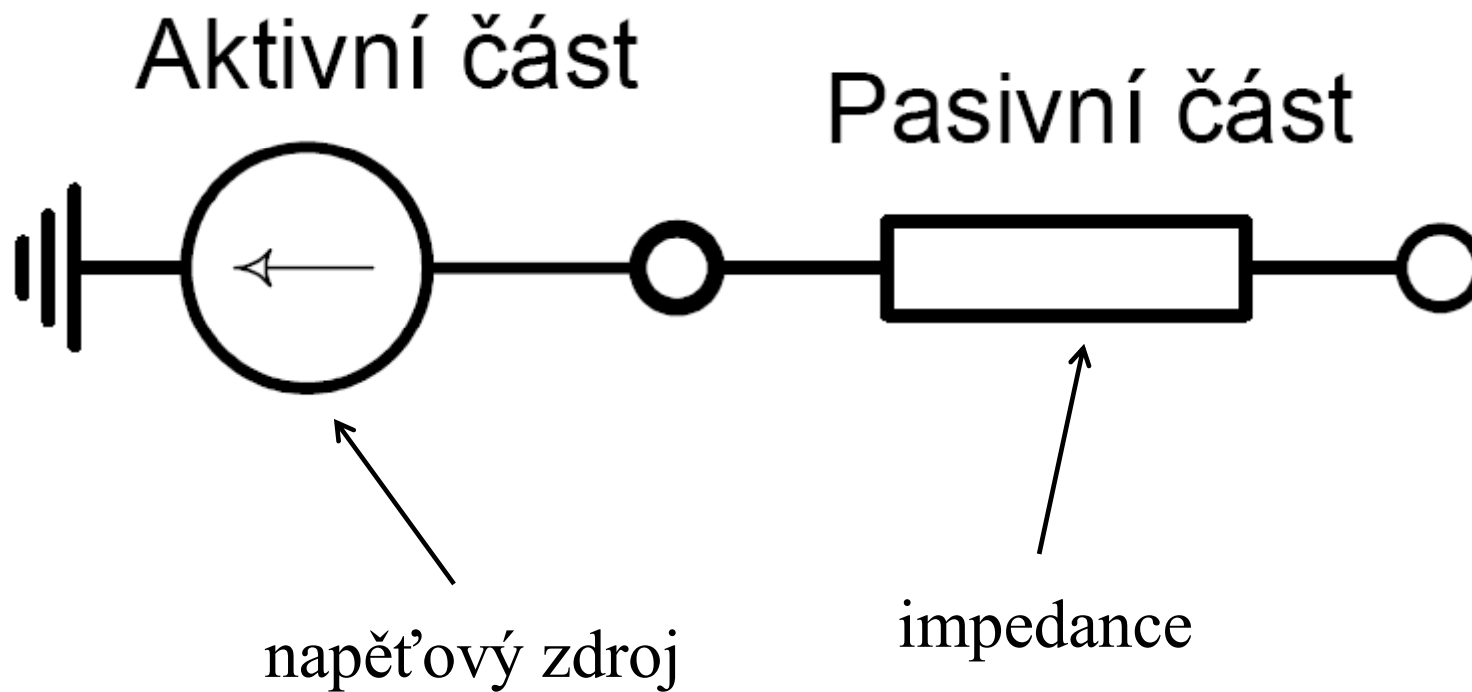
Tvorba poruchy

Každá síť složená z aktivních (proudové nebo napěťové zdroje) a pasivních prvků (impedance) se dá nahradit:



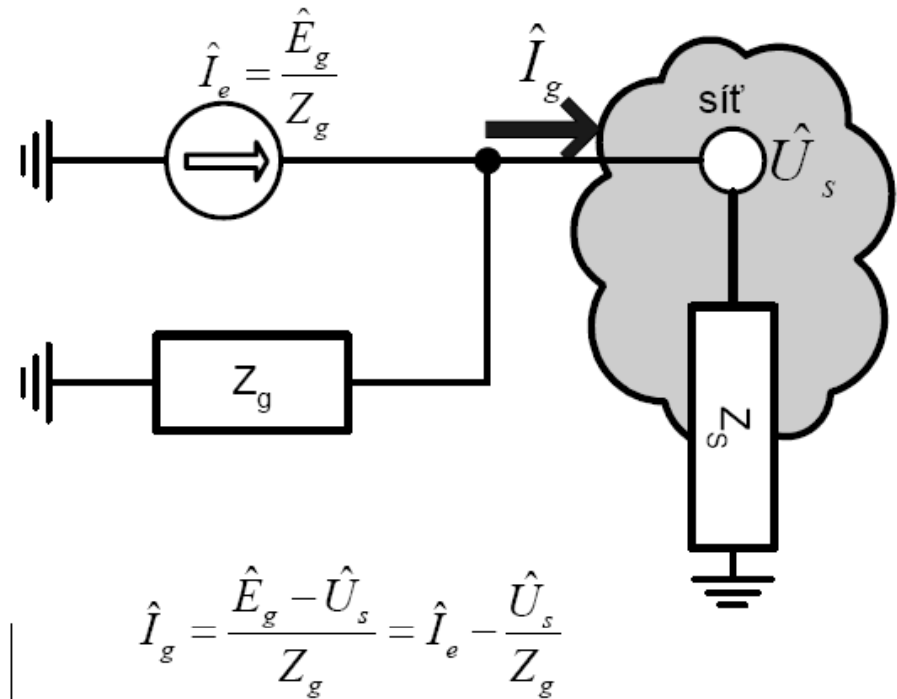
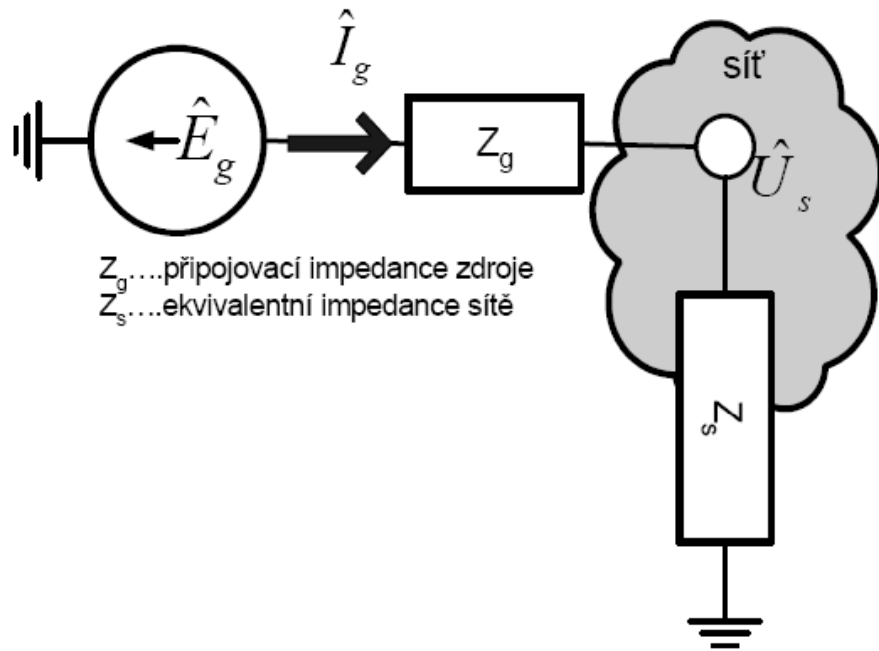
Tvorba poruchy

Model zdroje či zátěže připojený mezi uzly a,b nebo mezi jeden uzel a zem (na obrázku) předpokládejme jako



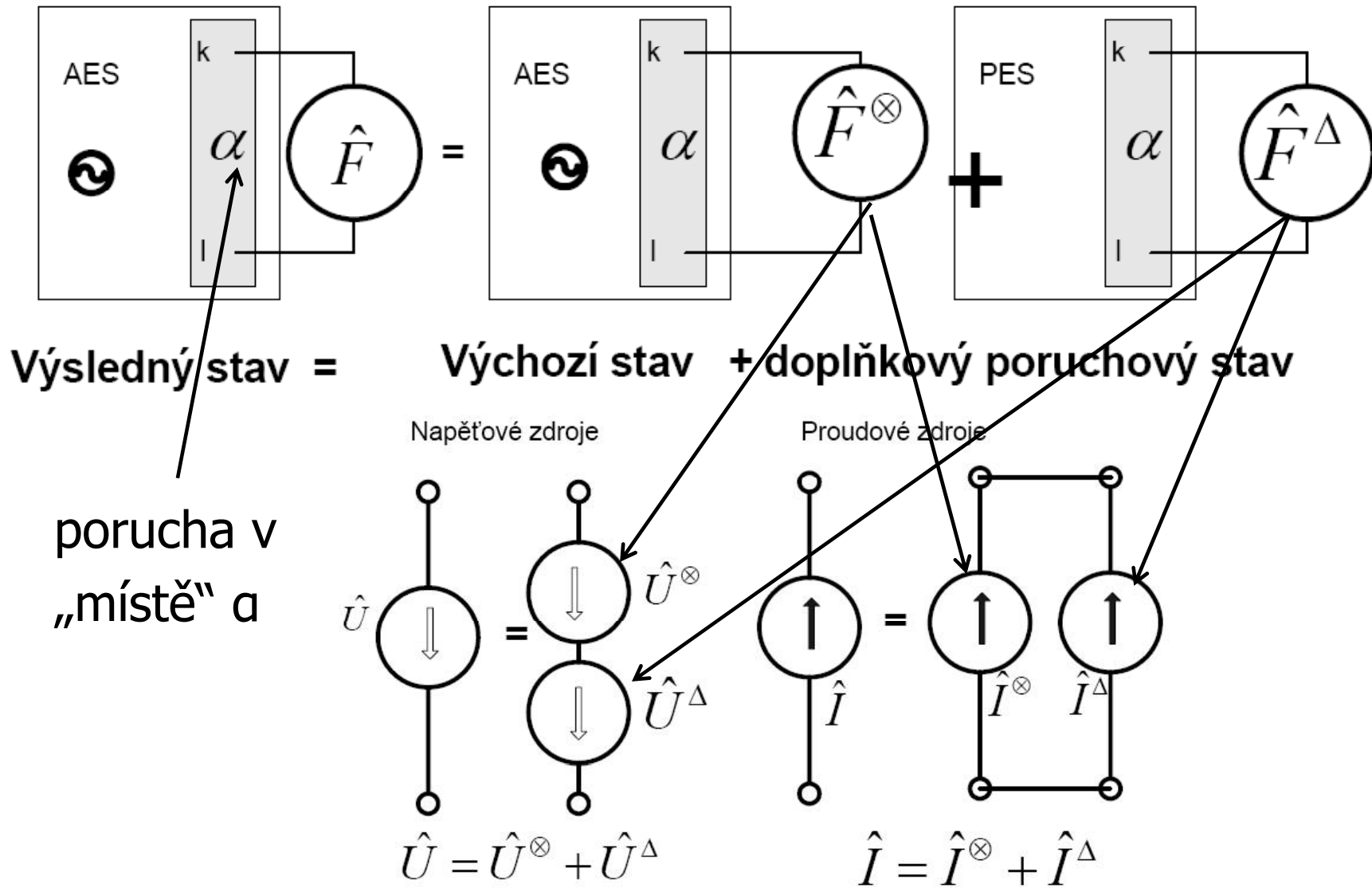
Tvorba poruchy

Mezi napětovým zdrojem s vnitřní impedancí a proudovým zdrojem platí následující ekvivalence

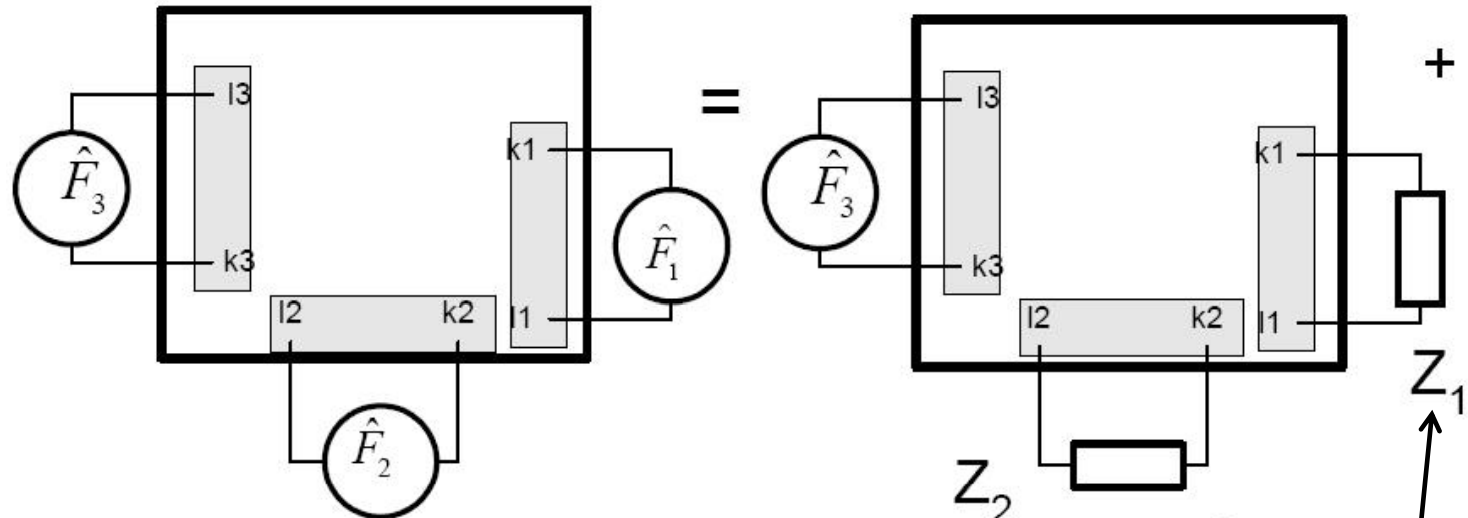


Tvorba poruchy

- Princip superpozice



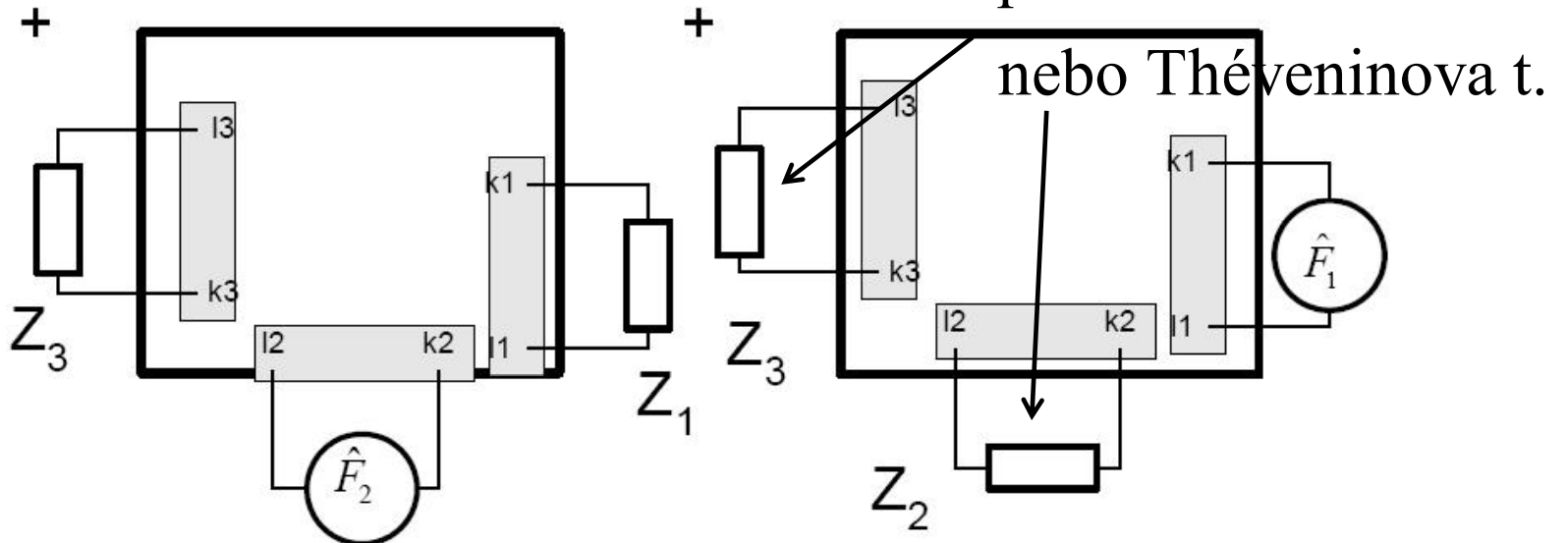
Tvorba více poruch



Z_1, Z_2, Z_3, \dots ekvivalentní impedance zdrojů

$F \dots$ obecný zdroj U/I

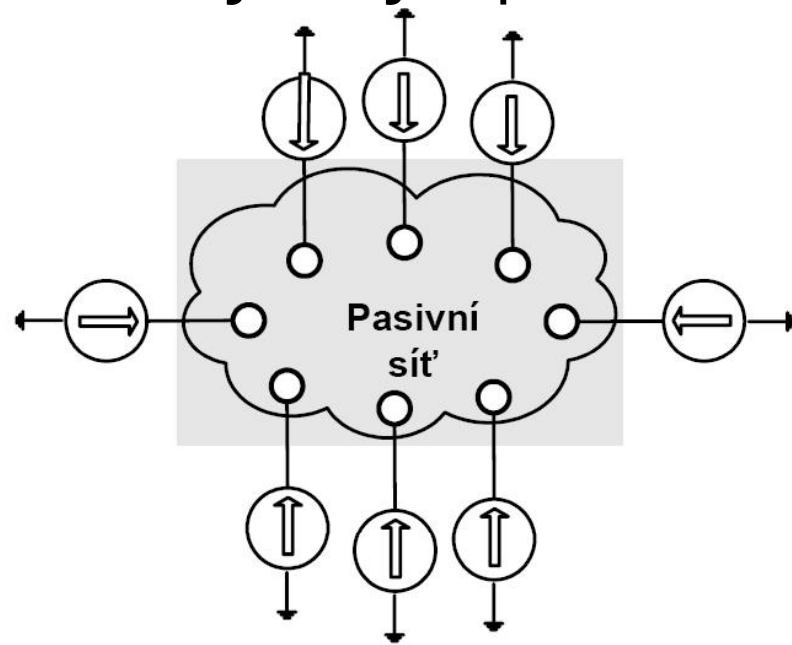
podle Nortnova



nebo Théveninova t.

Tvorba více poruch

- Uvažujeme jen proudové zdroje



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

$$Z_{ij} = \frac{\hat{U}_i}{\hat{I}_j} \Big|_{\hat{I}_k = 0 \quad \forall k, k \neq j}$$

- Jsou-li v síti i napěťové zdroje, převedeme je na ekv. proudové zdroje podle Nortona

Matice poruch

- Nahradíme-li si poruchy odpovídajícími zdroji napětí, impedanční matice PES se nezmění, musíme ji dopravit v případě poruch s impedancí (viz. před. č. 1)
=> všechny proudové zdroje vtékající do aktivních uzlů ROZPOJUJEME a nemáme žádný napěťový zdroj který naopak ZKRATUJEME
- Sestavíme matici odpovídající vazbám mezi proudy a napětími mezi jednotlivými „místy“ – bránami poruch
- Matice je řádu počet bran x počet bran

$$\left[Z^F \right] = \begin{bmatrix} Z^F(\chi, \chi) & \dots & Z^F(\chi, \beta) \\ \dots & \dots & \dots \\ Z^F(\beta, \chi) & \dots & Z^F(\beta, \beta) \end{bmatrix} \quad \text{- matice poruch}$$

χ, β - brány poruch

Matice poruch

- Prvky matice prouch:

$$Z^F(\chi, \chi) = Z(k_\chi, k_\chi) + Z(l_\chi, l_\chi) - Z(k_\chi, l_\chi) - Z(l_\chi, k_\chi)$$

$$Z^F(\chi, \beta) = Z(k_\chi, k_\beta) + Z(l_\chi, l_\beta) - Z(k_\chi, l_\beta) - Z(l_\chi, k_\beta)$$

- je-li jeden uzel / uzeměn:

$$Z^F(\chi, \chi) = Z(k_\chi, k_\chi) \Big|_{l_\chi = n}$$

$$Z^F(\chi, \beta) = Z(k_\chi, k_\beta) - Z(k_\chi, l_\beta) \Big|_{l_\chi = n}$$

- jsou-li oba uzly / uzeměny:

$$Z^F(\chi, \beta) = Z(k_\chi, k_\beta) \Big|_{l_\chi, l_\beta = n}$$

Vyřešení poruch

- Dodatková napětí v místech poruch známe, protože jsou rovna záporně vzatým napětím předporuchového stavu
- Potřebujeme zjistit dodatkové proudy:

$$\begin{bmatrix} \hat{I}^{\Delta F} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z^F \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}^{\Delta F} \end{bmatrix}$$

- To jsou ale dodatkové proudy do bran poruch, potřebujeme vytvořit vektor dodatkových proudů vstupující do uzlů

$$\begin{bmatrix} \hat{I}^{\Delta F} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \hat{I}^{\Delta} \end{bmatrix}$$

- a vektor dodatkových napětí v uzlech $\begin{bmatrix} \hat{U}^{\Delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}^{\Delta} \end{bmatrix}$

- Výsledná napětí po poruše $\begin{bmatrix} \hat{U} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{U}^{\otimes} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{U}^{\Delta} \end{bmatrix}$

Vyřešení poruch

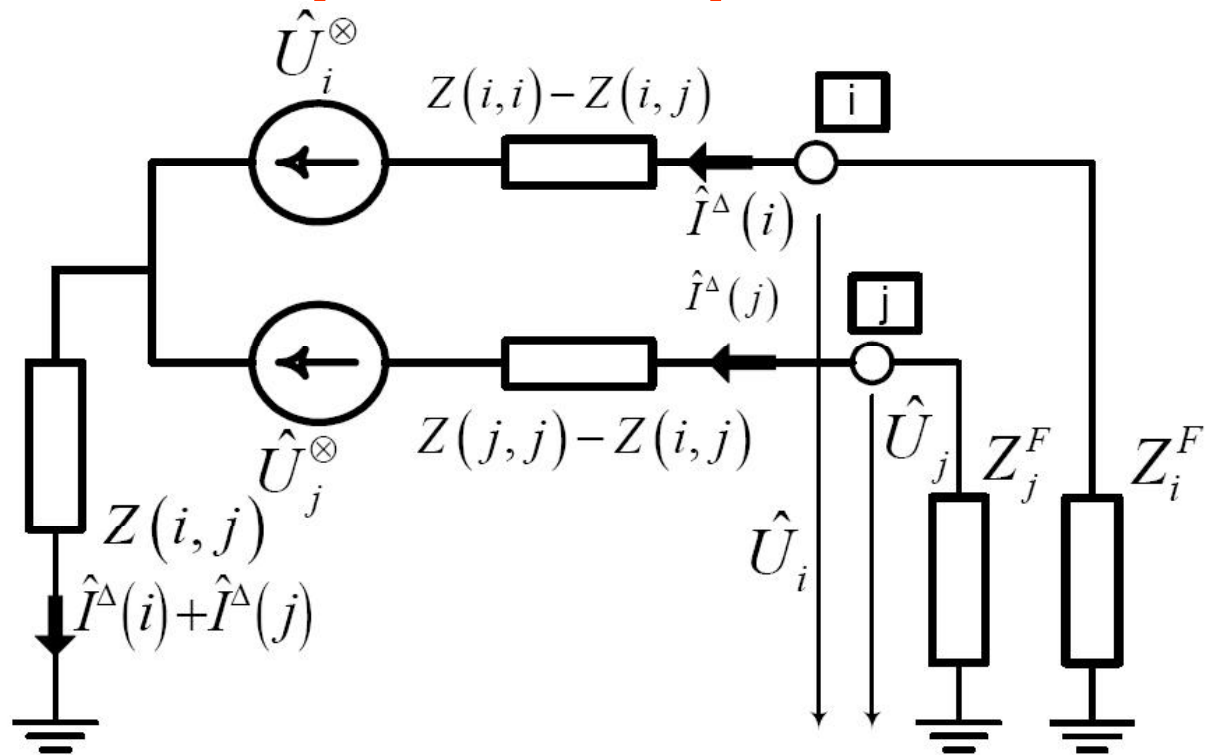
Impedanční změny jako:

- Přidání, odebrání impedance mezi dvěma uzly
- Změna převodu trf
- Zkrat za poruch. impedancí
- Rozběhy motorů

lze řešit:

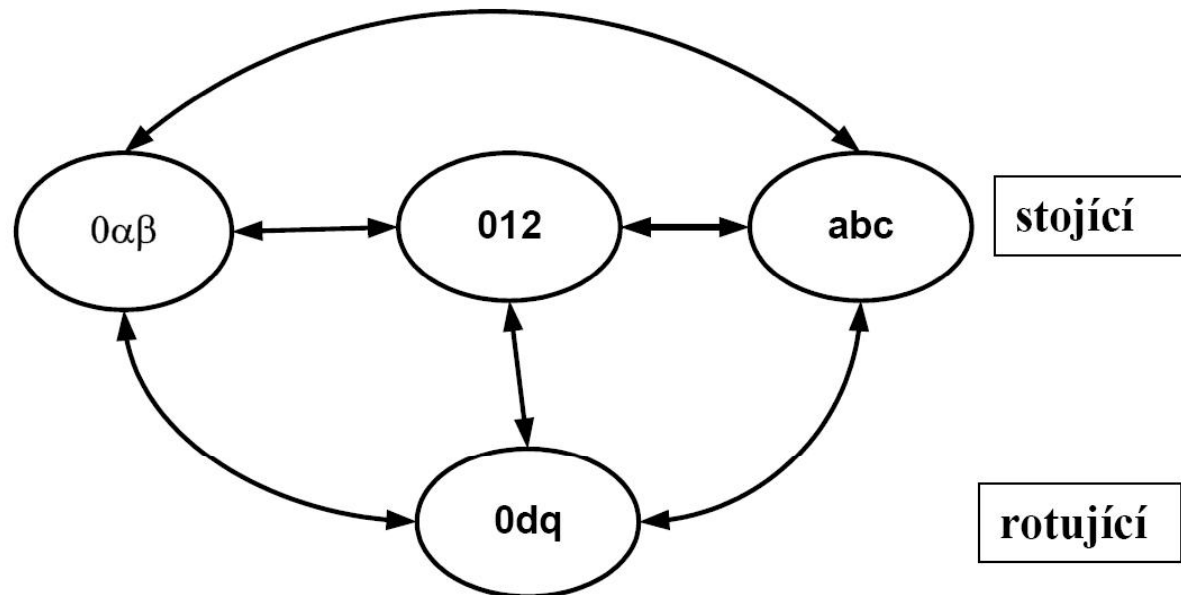
- Změnou impedanční matice
- Injekcí proudů

Vyřešení poruch



$$\begin{bmatrix} \hat{U}^\otimes(i) \\ \dots \\ \hat{U}^\otimes(j) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} Z(i,i) + Z_i^F & \dots & Z(i,j) \\ \dots & \dots & \dots \\ Z(j,i) & \dots & Z(j,j) + Z_j^F \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}^{\Delta F}(i) \\ \dots \\ \hat{I}^{\Delta F}(j) \end{bmatrix}$$

Složkové soustavy



- Transformační matice mezi soustavami $[T]$
- Originální vztah $[\hat{U}] = [Z] \cdot [\hat{I}]$
- Transformovaný vztah $[T] \cdot [\hat{U}] = [T] \cdot [Z] \cdot [\hat{I}] = [T] \cdot [Z] \cdot [T]^{-1} \cdot [T] \cdot [\hat{I}]$

Složkové soustavy

- Transformované napětí $[T] \cdot [\hat{U}]$
- Transformovaný proud $[T] \cdot [\hat{I}]$
- Transformovaná impedanční matice $[T] \cdot [Z] \cdot [T]^{-1}$
- Např. transformační matice pro abc -> 012

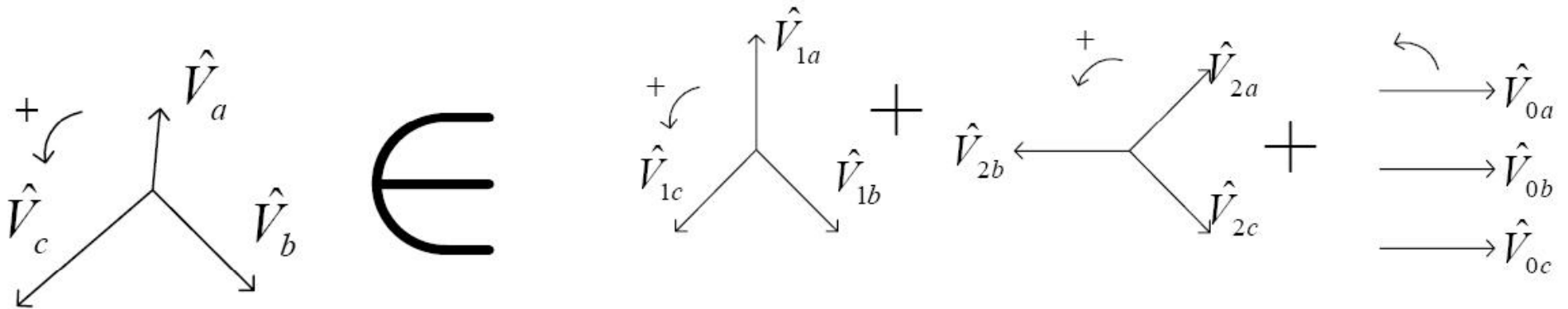
$$\begin{bmatrix} \hat{U}_0 \\ \hat{U}_1 \\ \hat{U}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_a \\ \hat{U}_b \\ \hat{U}_c \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \hat{U}_a \\ \hat{U}_b \\ \hat{U}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_0 \\ \hat{U}_1 \\ \hat{U}_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{U}_{abc} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_{012} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{U}_{abc} \end{bmatrix} = [T] \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_{012} \end{bmatrix}$$

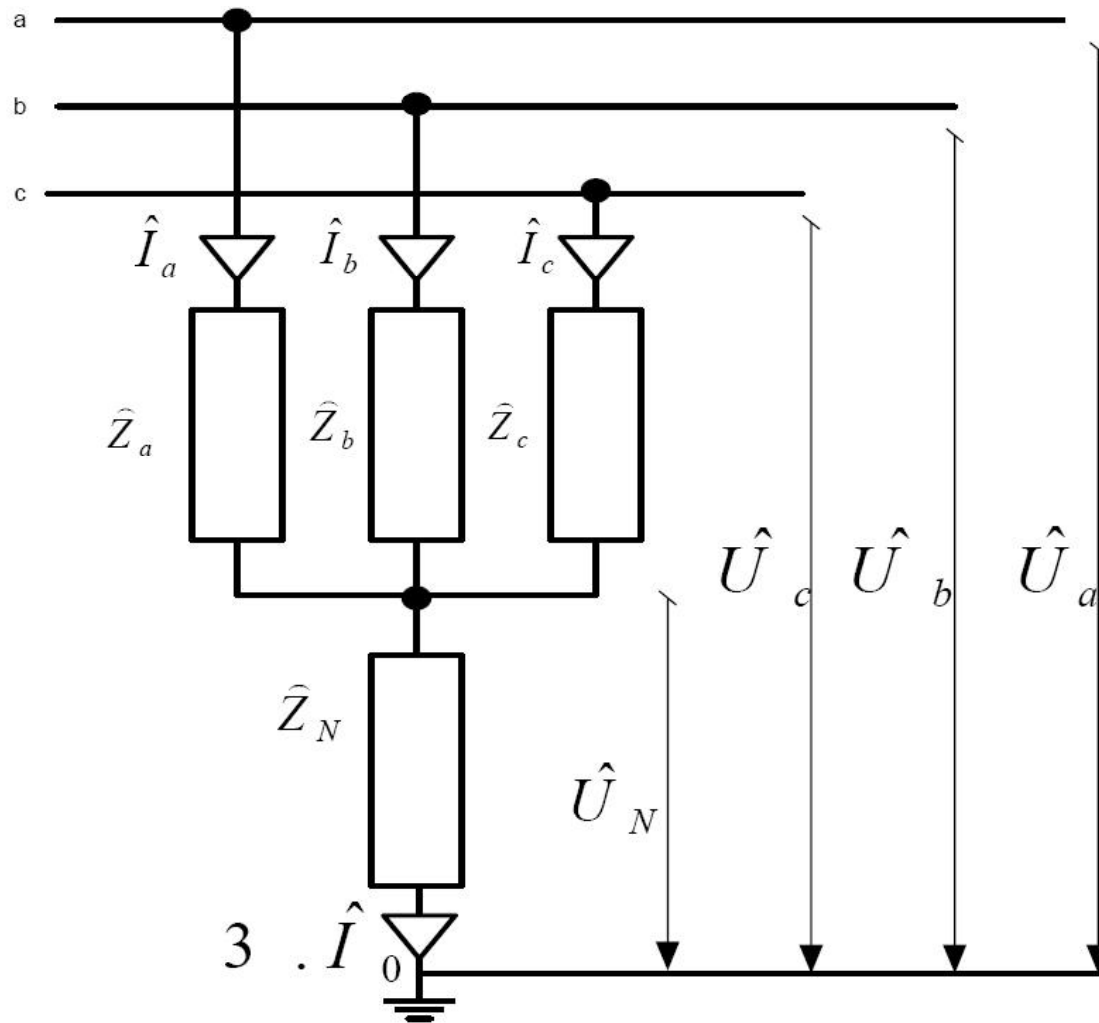
Soustava 012

- reprezentace



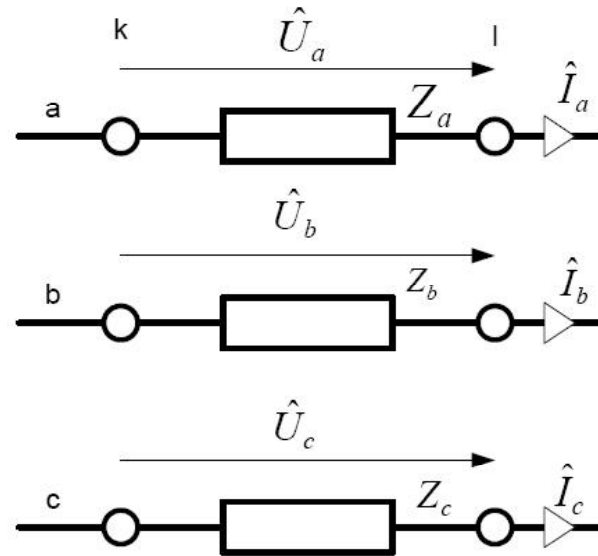
Poruchy v trojfázové soustavě

- Obecná příčná nesymetrie



Poruchy v trojfázové soustavě

- Obecná podélná nesymetrie

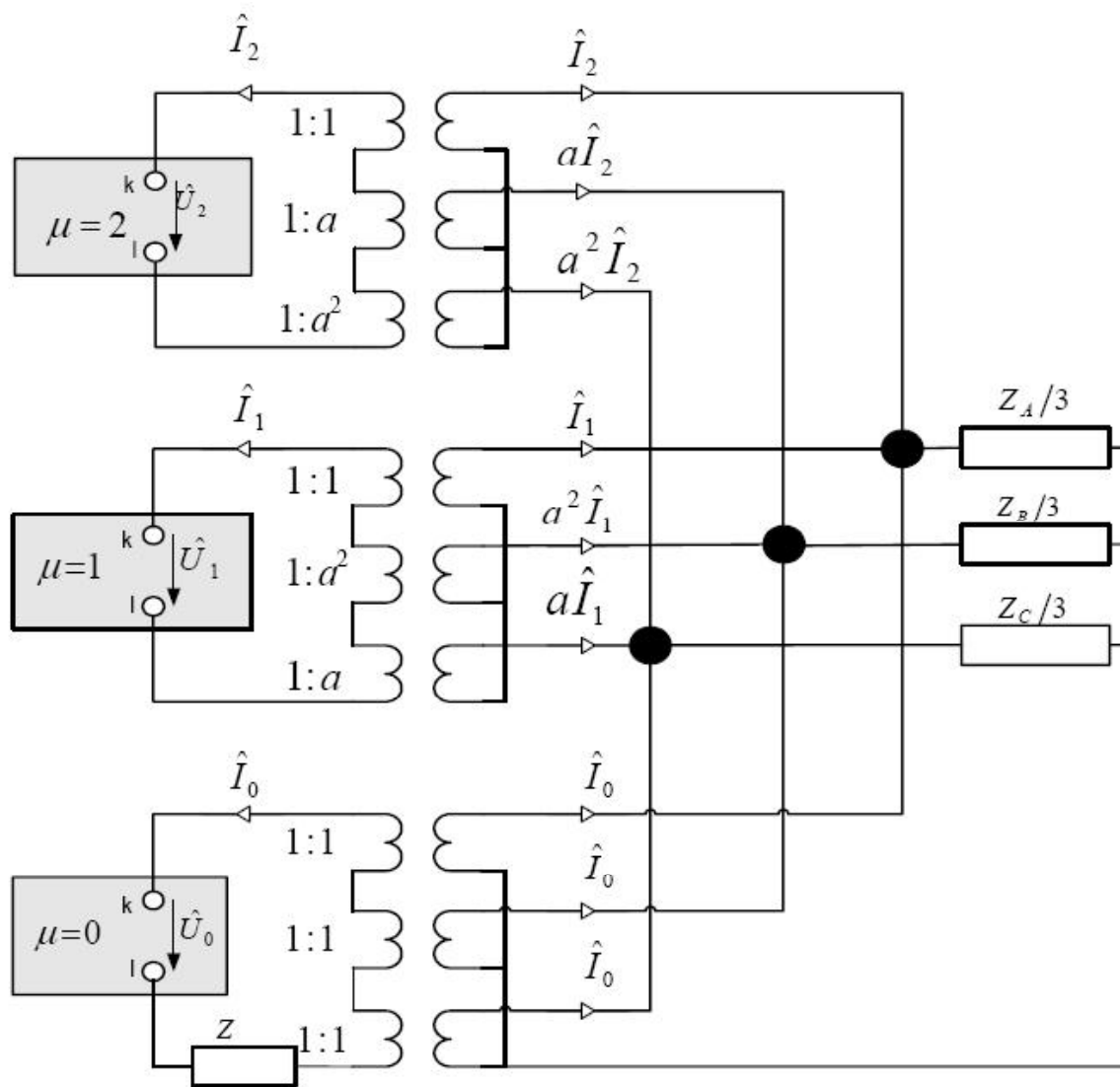


- Obecný vztah

$$\begin{bmatrix} \hat{U}_0 \\ \hat{U}_1 \\ \hat{U}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \left\{ \overbrace{\begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix}}^{\bar{U}_{abc}} \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}}_{\bar{I}_{abc}} \begin{bmatrix} \hat{I}_0 \\ \hat{I}_1 \\ \hat{I}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{U}_N \\ \hat{U}_N \\ \hat{U}_N \end{bmatrix} \right\}$$

při podélné
=0

Poruchy v trojfázové soustavě



$Z=3 \cdot Z_N$ při obecné příčné nesymetri
 $Z=0$ při obecné podélné nesymetrii