

TRANSFERUL DE PUTERE DINTRE FAZELE APROPIATE BIFURCATE A SISTEMULUI TRIFAZAT DE ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ

Student: Burcenco Victoria . Conducător: prof. univ. d.h.ș.t. Chiorsac Mihail.

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: *Lucrarea este consacrată deducerii formulelor de calcul a impedanțelor echivalente și analizei fluxurilor de putere mutuală dintre fazele bifurcate apropiate a sistemului trifazat de alimentare cu energie electrică. În baza diagramei vectoriale a curenților ce curg prin fazele apropiate, sunt prezentate formulele de calcul a impedanțelor echivalente la diferite unghiuri a decalajului de fază a curenților fazelor apropiate și formulele de calcul a puterilor active și reactive mutuale dintre ele.*

Cuvinte cheie: *Sistem bifurcat cu faze apropiate, alimentarea cu energie electrică, țempedan echivalente, fluxuri de putere mutuală.*

În sistemul de alimentare cu energie electrică a consumatorilor cu putere mare de consum a energiei electrice (uzine metalurgic, uzine cu hale, galvanice ș.a.) se folosesc pe larg așa zisele sisteme flexibile sau rigide de transmitere a energiei electrice cu faze apropiate bifurcate, pentru a micșora impedanța Z și pierderile de tensiune, Fig. 1, [1]

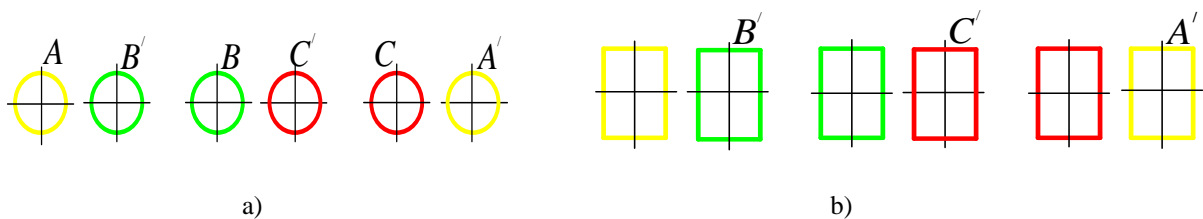


Fig. 1. Sistem flexibil (a) și sistem rigid(b) de alimentare cu energie electrică cu faze bifurcate apropiate

Diagramele vectoriale ce permit de a asigura între curenții fazelor apropiate un unghi $\theta = 120^\circ$ (fig 2, a)) și $\theta = 180^\circ$ (fig 2, b)) sunt reprezentate în fig. 2.

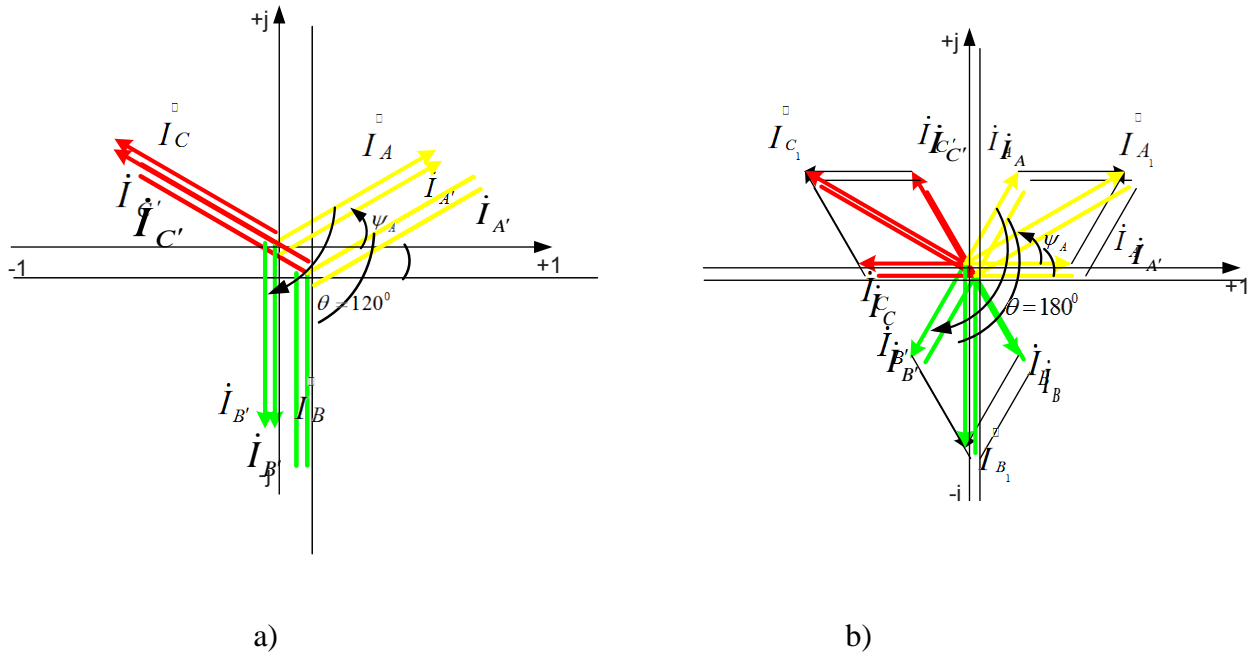


Fig 2. Diagramele vectoriale dintre curenții fazelor apropiate: $\theta = 120^\circ$ (fig 2, a) și $\theta = 180^\circ$ (fig 2, b)).

Căderile de tensiune pe fazele AB' , BC' și CA'

$$\begin{aligned}
 \Delta \dot{U}_A &= Z_{AA} \dot{I}_A + Z_{AB} \dot{I}_B + Z_{AC} \dot{I}_C + Z_{AA'} \dot{I}_{A'} + Z_{AB'} \dot{I}_{B'} + Z_{AC'} \dot{I}_{C'} \\
 \Delta \dot{U}_{B'} &= Z_{B'A} \dot{I}_A + Z_{B'B} \dot{I}_B + Z_{B'C} \dot{I}_C + Z_{B'A'} \dot{I}_{A'} + Z_{B'B'} \dot{I}_{B'} + Z_{A'C'} \dot{I}_{C'} \\
 \Delta \dot{U}_B &= Z_{BA} \dot{I}_A + Z_{BB} \dot{I}_B + Z_{BC} \dot{I}_C + Z_{BA'} \dot{I}_{A'} + Z_{BB'} \dot{I}_{B'} + Z_{BC'} \dot{I}_{C'} \\
 \Delta \dot{U}_{C'} &= Z_{C'A} \dot{I}_A + Z_{C'B} \dot{I}_B + Z_{C'C} \dot{I}_C + Z_{C'A'} \dot{I}_{A'} + Z_{C'B'} \dot{I}_{B'} + Z_{C'C'} \dot{I}_{C'} \\
 \Delta \dot{U}_C &= Z_{CA} \dot{I}_A + Z_{CB} \dot{I}_B + Z_{CC} \dot{I}_C + Z_{CA'} \dot{I}_{A'} + Z_{CB'} \dot{I}_{B'} + Z_{CC'} \dot{I}_{C'} \\
 \Delta \dot{U}_{A'} &= Z_{A'A} \dot{I}_A + Z_{A'B} \dot{I}_B + Z_{A'C} \dot{I}_C + Z_{A'A'} \dot{I}_{A'} + Z_{A'B'} \dot{I}_{B'} + Z_{A'C'} \dot{I}_{C'}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Aici, neglijând inductanța internă $L_{in}=0$:

$$Z_{ii} = R + j628 \cdot 10^{-4} \left(\ln \frac{D_p}{r_e} + L_m \right), \text{ unde } i = AB', BC', CA' - \text{ impedanța proprie a fazelor } AB', BC' \text{ și } CA';$$

$Z_{ij} = j628 \cdot 10^{-4} \frac{D_p}{d}$, unde $i \neq j$, $i = \{A, B, C\}$; $j = \{A, B, C\}$ - impedanța reciprocă dintre faze; R - rezistența activă a fazelor; D_p - distanța medie de reîntoarcere a curentului prin pământ; d - distanța geometrică medie dintre fazele respective; r_e - raza echivalentă a conductorului de faza.

Luând în considerație numai impedanța reciprocă dintre fazele apropiate setul de ecuații (1) poate fi retranscris în felul următor:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_A &= Z_{AA} \dot{I}_A + Z_{AB'} \dot{I}_{B'}; & \Delta \dot{U}_{C'} &= Z_{C'B} \dot{I}_B + Z_{C'C'} \dot{I}_{C'}; \\ \Delta \dot{U}_{B'} &= Z_{B'A} \dot{I}_A + Z_{B'B'} \dot{I}_{B'}; & \Delta \dot{U}_C &= Z_{CC} \dot{I}_C + Z_{CA'} \dot{I}_{A'}; \\ \Delta \dot{U}_B &= Z_{BB} \dot{I}_B + Z_{BC'} \dot{I}_{C'}; & \Delta \dot{U}_{A'} &= Z_{A'C} \dot{I}_C + Z_{A'A'} \dot{I}_{A'}; \end{aligned} \quad (2)$$

Notând impedanța proprie a fazelor prin Z și impedanța mutuală dintre fazele apropiate cu Z_m formulele (2) vor fi:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_A &= Z \dot{I}_A + Z_m \dot{I}_{B'}; & \Delta \dot{U}_{C'} &= Z \dot{I}_B + Z_m \dot{I}_{C'}; \\ \Delta \dot{U}_{B'} &= Z \dot{I}_A + Z_m \dot{I}_{B'}; & \Delta \dot{U}_C &= Z \dot{I}_C + Z_m \dot{I}_{A'}; \\ \Delta \dot{U}_B &= Z \dot{I}_B + Z_m \dot{I}_{C'}; & \Delta \dot{U}_{A'} &= Z \dot{I}_C + Z_m \dot{I}_{A'} \end{aligned} \quad (3)$$

Luând în considerație că: $\dot{I}_{B'} = \dot{I}_A \cdot e^{-j\theta^\circ}$; $\dot{I}_{C'} = \dot{I}_B \cdot e^{-j\theta^\circ}$; $\dot{I}_{A'} = \dot{I}_C \cdot e^{-j\theta^\circ}$, obținem: (2) vor fi

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_A &= (Z + Z_m \cdot e^{-j\theta}) \dot{I}_A; & \Delta \dot{U}_{C'} &= (Z + Z_m \cdot e^{-j\theta}) \dot{I}_{C'}; \\ \Delta \dot{U}_{B'} &= (Z + Z_m \cdot e^{-j\theta}) \dot{I}_{B'}; & \Delta \dot{U}_C &= (Z + Z_m \cdot e^{-j\theta}) \dot{I}_C; \\ \Delta \dot{U}_B &= (Z + Z_m \cdot e^{-j\theta}) \dot{I}_B; & \Delta \dot{U}_{A'} &= (Z + Z_m \cdot e^{-j\theta}) \dot{I}_{A'}. \end{aligned} \quad (4)$$

De unde:

$$\begin{aligned}
Z_{eA} &= \frac{\Delta \dot{U}_A}{\dot{I}_A} = (Z + Z_m e^{-j\theta}); & Z_{eB'} &= \frac{\Delta \dot{U}_{B'}}{\dot{I}_{B'}} = (Z + Z_m e^{-j\theta}); \\
Z_{eB} &= \frac{\Delta \dot{U}_B}{\dot{I}_B} = (Z + Z_m e^{-j\theta}); & Z_{eC'} &= \frac{\Delta \dot{U}_{C'}}{\dot{I}_{C'}} = (Z + Z_m e^{-j\theta}); \\
Z_{eC} &= \frac{\Delta \dot{U}_C}{\dot{I}_C} = (Z + Z_m e^{-j\theta}); & Z_{eA'} &= \frac{\Delta \dot{U}_{A'}}{\dot{I}_{C'}} = (Z + Z_m e^{-j\theta}).
\end{aligned} \tag{5}$$

Din (5):

$$Z_{eA} = Z_{eB'} = Z_{eB} = Z_{eC'} = Z_{eC} = Z_{eA'} = Z_e = Z + Z_m \cdot e^{-j\theta^\circ}.$$

Dacă $\theta = -120^\circ$, atunci $Z_e = Z + Z_m \cdot e^{-j120^\circ} = (R + 543.85 \cdot 10^{-4}) + j(628 \cdot 10^{-4} \ln \frac{d}{r_e})$;

Dacă $\theta = 180^\circ$, atunci $Z_e = Z + Z_m \cdot e^{-j180^\circ} = R + j(628 \cdot 10^{-4} \ln \frac{d}{r_e})$.

Schema de substituire a oricăror două faze bifurcate apropiate este reprezentată în fig.3. (pentru fazele AB')

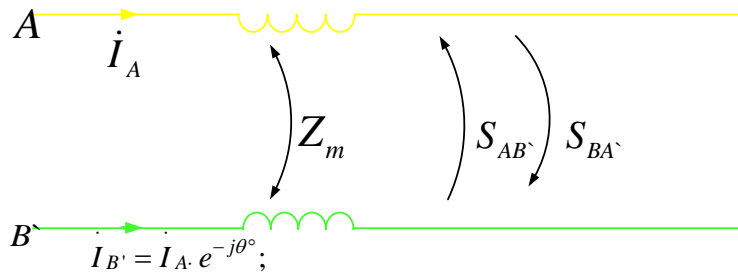


Fig. 3 Schema de substituire a fazelor bifurcate apropiate AB'

Puterile aparente transmise dintr-o fază în alta (fig.3):

$$\begin{aligned}
S_{AB'} &= \dot{U}_{AB'} \cdot \dot{I}_{B'}^* = Z_m \dot{I}_A \cdot \dot{I}_{B'}^* = Z_m \dot{I}_A^2 e^{j\theta^\circ}; \\
S_{BA'} &= \dot{U}_{BA'} \cdot \dot{I}_A = Z_m \dot{I}_{B'} \cdot \dot{I}_A = Z_m \dot{I}_B^2 e^{-j\theta^\circ}
\end{aligned} \tag{6}$$

Dacă $\theta = -120^\circ$, atunci

$$\begin{aligned}
S_{AB'} &= Z_m \dot{I}_A^2 e^{j\theta^\circ} = Z_m \dot{I}_A^2 e^{j120^\circ} = -543.85 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_p}{d} - j314 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_p}{d} = -P_{AB'} + jQ_{AB'}; \\
S_{BA'} &= Z_m \dot{I}_B^2 e^{-j\theta^\circ} = -543.85 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_p}{d} - j314 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_p}{d} = P_{BA'} + jQ_{BA'}.
\end{aligned} \tag{7}$$

Din (7) se poate observa, $P_{BA'} = -P_{AB'}$ și $Q_{BA'} = Q_{AB'}$: puterea activă este transmisă de la faza A spre faza B` (de la faza în avans A către faza în restanță B `). Puterea activă sumară - $P_{BA'} + P_{AB'} = 0$

Dacă $\theta = 180^\circ$, atunci

$$\begin{aligned} S_{AB'} &= Z_m \dot{I}_A^2 e^{j\theta^\circ} = Z_m \dot{I}_A^2 e^{j180^\circ} = -j314 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_p}{d} = -jQ_{AB'}; \\ S_{BA'} &= Z_m \dot{I}_B^2 e^{-j180^\circ} = -j314 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_p}{d} = -jQ_{BA'}. \end{aligned} \quad (8)$$

Din (8) se poate analogic observa, $P_{BA'} = P_{AB'} = 0$ și $Q_{BA'} = Q_{AB'}$. transmiterea puterea activă nu are loc.

$$\begin{aligned} Z_{AB'} &= Z_{B'A} = Z_{CA'} = Z_{AC'} = Z_{BC'} = Z_{C'B} = Z_M \\ Z_M &= j628 \cdot 10^{-4} \frac{D_p}{d_{apr}} \end{aligned} \quad (9)$$

Din diagrama vectoriala fig. 2, (b) se poate vedea, că apropiind fazele AA', BB' și CC' obținem un decalaj de faza dintre fazele apropiate $\theta = 60^\circ$ și ca consecință:

$$Z_e = Z + Z_m \cdot e^{-j60^\circ} = (R + 543.85 \cdot 10^{-4}) + j(628 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_p}{r_e} + 314 \ln \frac{D_p}{d}). \quad (10)$$

Analogic:

$$\begin{aligned} S_{AA'} &= Z_m \dot{I}_A^2 e^{j\theta^\circ} = Z_m \dot{I}_A^2 e^{j60^\circ} = -543.85 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_p}{d} + j314 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_p}{d} = -P_{AA'} + jQ_{AA'}; \\ S_{A'A} &= Z_m \dot{I}_B^2 e^{-j60^\circ} = 543.85 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_p}{d} + j314 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_p}{d} = P_{A'A} + jQ_{A'A}. \end{aligned} \quad (11)$$

Din (11) se poate observa: $P_{AA'} = -P_{A'A}$ și $Q_{AA'} = Q_{A'A}$. Puterea activă este transmisă de la faza A spre faza A` (de la faza în avans A către faza în restanță A `). Puterea activă sumară - $P_{AA'} + P_{A'A} = 0$.

Concluzii

1. Impedanțele echivalente a fazelor bifurcate apropiate a sistemului trifazat de alimentare cu energie electrică depind de unghiul de decalaj θ° dintre curenții lor și au valoare minimală la $\theta = 180^\circ$.
2. Puterea activă dintre fazele apropiate este transmisă de la faza cu curentul în avans spre faza cu curentul în restanță și nu depinde de unghiul de decalaj θ° . Excepție este cazul $\theta = 180^\circ$, când nu are loc transmiterea puterii active dintre fazele apropiate

Bibliografie

1. Семчинов А. М. Токопроводы промышленных предприятий- М. Энергияб 1972