METODA COMPONENTELOR SIMETRICE ÎN CALCULUL CIRCUITELOR POLIFAZATE

Autori: Mihail Chiorsac, Ghenadie Tertea, Veaceslav Sidelnicov, Lilia Turcuman

Universitatea Tehnică a Moldovei
Institutul de Energetică al A.Ş.M.

***Abstract**: Lucrarea este consacrată utilizării metodelor componentelor simetrice la determinarea curenților şi tensiunilor în diferite regimuri nesimetrice de funcționare a sistemelor polifazate la redresarea curentului alternativ în curent continuu*

***Cuvinte cheie**: Sistem nesimertic polifazat de curent şi tensiuni, componente simetrice, tensiune, curenți*

Componentele simetrice ale tensiunilor (curenților) unui sistem nesimetric polifazat cu şase faze.

În multe cazuri la redresarea curentului alternativ în curent continuu pentru a îmbunătăți calitatea redresării se folosesc sisteme polifazate de curent periodic sinusoidal alternativ, obținute din sistemul trifazat, folosindu-se diferite scheme [1].

În fig.1 este reprezentată diagrama fazorială a unui sistem polifazat (de curent sau tensiuni) constituită din m faze, unghiul de defazaj **β=360⁰/m.**

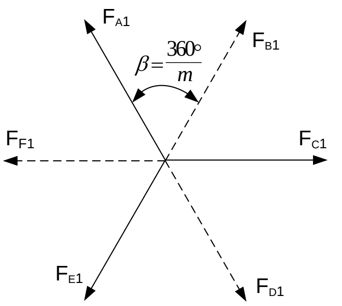


Fig.1 diagrama fazorială a unui sistem polifazat de tensiuni (cirenți)

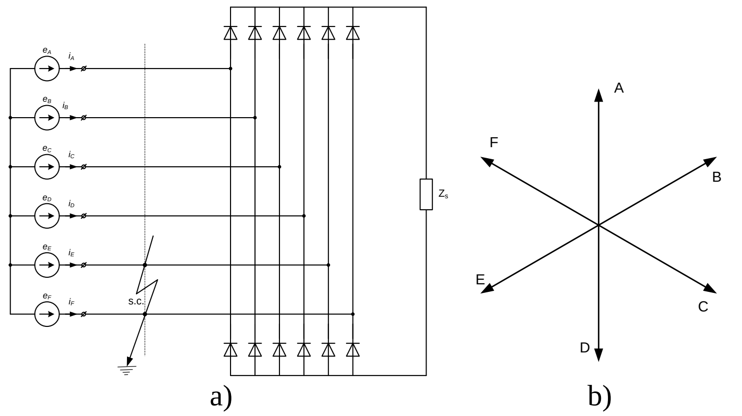


Fig.2 Schema principială a unui sistem de redresare cu **m=6** (a) şi diagrama fazorială a tensiunilor (curenților), (b)

Pentru o schemă polifazată de redresare a curentului alternativ în curent continuu cu şase faze (Fig.2,a), unghiul de defazaj **β =360⁰/6 = 60⁰** (Fig.2, b).

În acord cu [2] orice sistem nesimetric de curent sau tensiuni polifazat poate fi descompus în „**m**” sisteme de componente simetrice egale după modul, faza cărora depinde atât de succesiunea de fază cât şi de unghiul caracteristic al sistemului **β.**

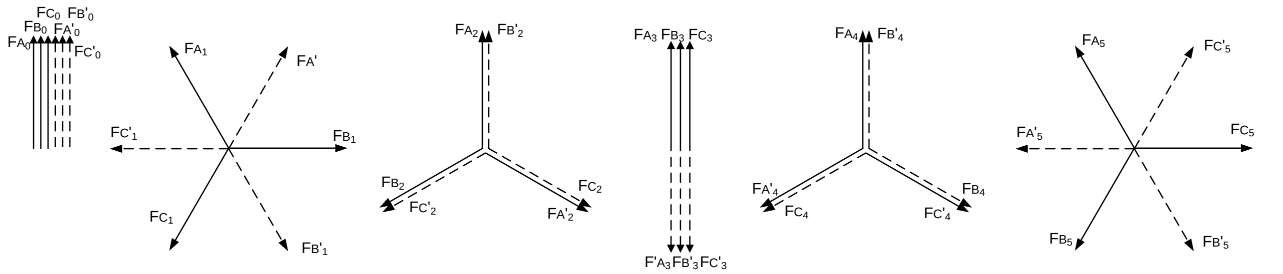
Sub forma de matrice putem scrie:

$$[\dot{F}_{f_m}] = \dot{S}_m \cdot [\dot{F}_{s_m}], \qquad (1)$$

unde $[\dot{F}_{f_m}] = \begin{vmatrix} \dot{F}_A \\ \dot{F}_B \\ \dot{F}_C \\ \dots \\ \dot{F}_m \end{vmatrix}$; $[\dot{F}_{s_m}] = \begin{vmatrix} \dot{F}_{A_0} \\ \dot{F}_{A_1} \\ \dot{F}_{A_2} \\ \dots \\ \dot{F}_{A_m} \end{vmatrix}$ - matricele stâlpuşor (coloană) a vectorilor tensiunilor (curenților) de fază şi vectorilor componentelor simetrice ale lor;

$$[\dot{S}_m] = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & e^{-j\beta} & e^{-j2\beta} & e^{-j3\beta} & \dots & e^{-jm\beta} \\ 1 & e^{-j2\beta} & e^{-j4\beta} & e^{-j6\beta} & \dots & e^{-j2m\beta} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & e^{-j(m-1)\beta} & e^{-j2(m-1)\beta} & e^{-j2(m-1)\beta} & \dots & e^{-jm(m-1)\beta} \end{vmatrix}$$ - matricea de transfer de la componentele simetrice ale tensiunilor (curenților) la tensiunile (curenții) nesimetrici de fază.

Diagramele vectoriale ale componentelor simetrice 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 a tensiunilor (curenților) unui sistem nesimetric de tensiuni (curenți) cu şase faze sunt prezentate în fig.3, reieşind din (1), în cazul când numărul de faze **m** este egal cu şase.



‹‹0›› ‹‹1›› ‹‹2›› ‹‹3›› ‹‹4›› ‹‹5››

Fig.3 Componentele simetrice ale tensiunilor (curenților) unui sistem nesimetric de tensiune (curenți) cu şase faze

Din (1) pentru **m=6,** înmulțind partea stângă şi dreaptă cu matricea $\dot{S}_6^{-1}$ inversă matricei $\dot{S}_{m=6}$, obținem:

$$\left[\dot{F}_{s_6}\right] = \dot{S}_6^{-1} \cdot \left[\dot{F}_6\right] \tag{2}$$

Aici, $\left[\dot{F}_{s_6}\right] = \begin{vmatrix} \dot{F}_{A_0} \\ \dot{F}_{A_1} \\ \dot{F}_{A_2} \\ \dot{F}_{A_3} \\ \dot{F}_{A_4} \\ \dot{F}_{A_5} \end{vmatrix}$ şi $\left[\dot{F}_6\right] = \begin{vmatrix} \dot{F}_A \\ \dot{F}_B \\ \dot{F}_C \\ \dot{F}_D \\ \dot{F}_E \\ \dot{F}_F \end{vmatrix}$ - matricea a componentelor simetrice 0, 1, 2, 3, 4, 5 a tensiunilor (curenților) nesimetrice de fază a unui system cu şase faze;

$$\dot{S}_6^{-1} = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j60^0} & e^{j120^0} & e^{j180^0} & e^{j240^0} & e^{j300^0} \\ 1 & e^{j120^0} & e^{j240^0} & 1 & e^{j120^0} & e^{j240^0} \\ 1 & e^{j180^0} & 1 & e^{j180^0} & 1 & e^{j180^0} \\ 1 & e^{j240^0} & e^{j120^0} & 1 & e^{j240^0} & e^{j120^0} \\ 1 & e^{j300^0} & e^{j240^0} & e^{j180^0} & e^{j120^0} & e^{j60^0} \end{vmatrix}$$ - marticea inversă matricei $\dot{S}_{m=6}$.

Impedanțele unui sistem cu şase faze în coordonatele componentelor simetrice 0, 1, 2, 3, 4, 5

Căderile de tensiune pe fiecare fază a unui sistem cu şase faze sub formă de matrice:

$$\left[\dot{U}_{s_6}\right] = Z \cdot \left[\dot{I}_{s_6}\right], \tag{3}$$

de unde, exprimând tensiunile şi curenții de fază prin componentele simetrice ale lor în acord cu (2), obținem:

$$\left[\dot{U}_{s_6}\right] = \dot{S}_6^{-1} \cdot Z \cdot \dot{S}_{s_6} \cdot \left[\dot{I}_{s_6}\right]. \tag{4}$$

Notând $\dot{S}_6^{-1} \cdot Z \cdot \dot{S}_6 = Z_{s_6}$, primim

$$\left[\dot{U}_{s_6}\right] = Z_{s_6} \cdot \left[\dot{I}_{s_6}\right]. \tag{5}$$

$$Z_{s_6} = \begin{vmatrix} Z+5Z_m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z-Z_m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z-Z_m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z-Z_m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z-Z_m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z-Z_m \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Z_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_5 \end{vmatrix} \text{ -}$$

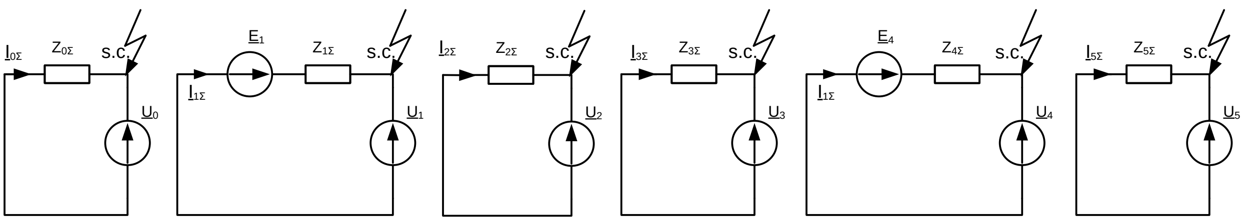
matricea căderilor de tensiune pe fiecare fază a unui sistem cu şase faze în coordonatele componentelor simetrice 0, 1, 2, 3, 4, 5, unde

$Z_0 = Z + 5Z_m$, $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z - Z_m$ - impedanțele fazelor sistemului polifazat cu şase faze în coordonatele 0, 1, 2, 3, 4, 5;

$Z = Z_{AA} = Z_{BB} = Z_{CC} = Z_{DD} = Z_{EE} = Z_{FF}$ - impedanța proprie a fazelor A, B, C, D, E, F; $Z_m = Z_{AB} = Z_{BA} = Z_{AC} = Z_{CA} = Z_{AD} = Z_{DA} = Z_{AE} = Z_{EA} = Z_{AF} = Z_{FA}$ - impedanța mutuală dintre fazele respective.

Cum se putea de aşteptat, conductoarele sistemului cu şase faze de transmitere a energiei electrice de la sursă la redresor prezintă un sistem static, pentru care segvența componentelor simetrice nu influiențează asupra impedanțelor respective, deaceia impedanțele Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5 sunt egale între ele.

Din formula (5) se poate vedea că, fiecare componentă simetrică a curentului cauzează număi cădere de tensiune ei corespunzătoare. Spre exemplu, componenta simertrică a curentului $\dot{I}_0$ cauzează număi componenta respectivă a căderii de tensiune $\dot{U}_0 = Z_0 \cdot \dot{I}_0$; $\dot{U}_1 = Z_1 \cdot \dot{I}_1$ etc. Aceasta înseamnă, că fața de locul de nesimetrie (scurtcircuit, rupere de fază cu sau fără scurtcircuit şi a.m.d.), pentru fiecare componentă simetrică a curentului, fiecare fază se află în condiții similare şi calculul poate fi efectuat pentru fiecare componentă aparte pentru o singură fază. Pentru schema inițială, prezentată în fig. 2, *a*, schemele de substituire în coordonatele componentelor simetrice 0, 1, 2, 3, 4, 5 sunt prezentate în fig. 4.



a) b) c) d) e) f)

Fig.4 Schemele de substituire în coordonatele componentelor simetrice 0, 1, 2, 3, 4, 5 față de locul de nesimetrie (scurtcircuit) pentru schema din fig. 2, *a*

În acord cu legea II lui Kirchhoff pentru fiecare schemă echivalentă de substituire putem scrie sub formă de matrice ecuația:

$$\left[\dot{U}_{s_6}\right] = \dot{E}_{s_6} - Z_{s_6} \cdot \left[\dot{I}_{s_6}\right] \tag{6}$$

unde $\left[\dot{U}_{s_6}\right]=\begin{vmatrix}\dot{U}_0\\ \dot{U}_1\\ \dot{U}_2\\ \dot{U}_3\\ \dot{U}_4\\ \dot{U}_5\end{vmatrix}$; $\dot{E}_{s_6}=\begin{vmatrix}0\\ \dot{E}_1\\ 0\\ 0\\ \dot{E}_4\\ 0\end{vmatrix}$; $Z_{s_6}=\begin{vmatrix}Z_{0\Sigma} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & Z_{1\Sigma} & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & Z_{2\Sigma} & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & Z_{3\Sigma} & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{4\Sigma} & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{5\Sigma}\end{vmatrix}$; $\left[\dot{I}_{s_6}\right]=\begin{vmatrix}\dot{I}_{0\Sigma}\\ \dot{I}_{1\Sigma}\\ \dot{I}_{2\Sigma}\\ \dot{I}_{3\Sigma}\\ \dot{I}_{4\Sigma}\\ \dot{I}_{4\Sigma}\end{vmatrix}$.,

$Z_{0\Sigma}, Z_{1\Sigma}, Z_{2\Sigma}, Z_{3\Sigma}, Z_{4\Sigma}, Z_{5\Sigma}$ - impedanțele sumare a schemelor de substituire în coordonatele componentelor simetrice 0, 1, 2, 3, 4, 5;
$\dot{I}_{0\Sigma}, \dot{I}_{1\Sigma}, \dot{I}_{2\Sigma}, \dot{I}_{3\Sigma}, \dot{I}_{4\Sigma}, \dot{I}_{5\Sigma}$ - curenții sumari în coordonatele componentelor simetrice 0, 1, 2, 3, 4, 5.

Concluzii

La calculul şi analiza diferitor nesimetrii cauzate de diferite scurtcircuite sau ruperi a fazelor cu punerea la pământ sau fără poate fi utilizată metoda componentelor simetrice.

Trecerea de la coordonatele da fază A, B, C, D, E, F la coordonatele modale simetrice 0, 1, 2, 3, 4, 5 permite de-a simplifica calculele, datorită posibilității efectuării calculelor curenților şi tensiunilor pentru o singură fază în coordonatele respective, răspândind rezultatele calculelor pentru celelalte faze în coordonatele de fază.

Bibliografie

1. Fortescue C. L. Method of simmetrical coordonates applied to solution of poluphase network. – Transaction of AIEE, 1918, vol.33, Pt.II.