

Supratensiuni datorate nesimetriilor transversale

Producerea scurtcircuitelor nesimetrice pe liniile rețelelor de transport a energiei electrice generează supracurenți și supratensiuni periculos de mari. Supratensiunile tranzitorii generate de producerea defectului și de deconectarea liniilor cu defect au o componentă de 50 Hz care, în anumite condiții, poate deveni inadmisibil de mare. Chiar dacă aceste regimuri sunt de scurtă durată, amplitudinea componentei de pe armonica fundamentală poate fi calculată ca o supratensiune temporară (de regim permanent).

Manevra de deconectare a unei linii nu este efectuată simultan de întrerupătoarele de la extremitățile acesteia, astfel încât, pentru un anumit interval de timp, fazele (faza) sănătoase funcționează în gol, sumându-se creșterea de tensiune dată de efectul capacitiv cu aceea dată de funcționarea într-o schemă nesimetrică.

Prin utilizarea metodei componentelor simetrice, se obțin relațiile de calcul ale tensiunilor fază-pământ, la locul producerii defectului:

- pentru scurtcircuit monofazat

$$\begin{cases} U_A = 0 \\ \frac{U_{B,C}}{U} = -\frac{3}{2} \cdot \frac{Z_h}{2Z_d + Z_h} \mp j \frac{\sqrt{3}}{2} \end{cases} \quad (24)$$

- pentru scurtcircuit bifazat cu pământ (dublă punere la pământ)

$$\begin{cases} \frac{U_A}{U} = \frac{3Z_h}{Z_d + 2Z_h} \\ U_{B,C} = 0 \end{cases} \quad (25)$$

În relațiile (24) și (25) semnificația notațiilor este următoarea: U – tensiunea la locul de defect, în regimul imediat anterior producerii acestuia; Z_d , Z_h – impedanțele de secvență directă și homopolară, calculate în raport cu locul nesimetriei.

În rețelele de transport a energiei electrice interesează atât tensiunile la locul producerii defectului, cât și în alte noduri ale rețelei, în special în stațiile de transformare de la extremitățile liniei. Relațiile de calcul ale tensiunilor fază-pământ în orice alt nod al rețelei sunt:

- pentru scurtcircuit monofazat

$$\begin{cases} \frac{U'_A}{U} = \frac{U'}{U} - \frac{2k_d \cdot Z_d + k_h \cdot Z_h}{2Z_d + Z_h} \\ \frac{U'_{B,C}}{U} = \left(-\frac{1}{2} \mp j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \frac{U'}{U} - \frac{k_h \cdot Z_h - k_d \cdot Z_d}{2Z_d + Z_h} \end{cases} \quad (26)$$

- pentru scurtcircuit bifazat cu pământ (dublă punere la pământ)

$$\begin{cases} \frac{U'_A}{U} = \frac{U'}{U} + \frac{k_h \cdot Z_h - k_d \cdot Z_d}{Z_d + 2Z_h} \\ \frac{U'_{B,C}}{U} = \left(-\frac{1}{2} \mp j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \frac{U'}{U} + \frac{k_h \cdot Z_h + 0,5k_d \cdot Z_d}{Z_d + 2Z_h} \pm j \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot k_d \end{cases} \quad (27)$$

În relațiile (26) și (27) semnificația noilor notații este următoarea: \underline{U}' – tensiunea în punctul de calcul ales, în regimul imediat anterior producerii defectului; k_d și k_h – coeficienți de raportare a tensiunii din punctul de calcul și a tensiunii de la locul de defect, calculați pe secvență directă și homopolară.

Deoarece liniile electrice lungi se înlocuiesc prin scheme echivalente cu parametri uniform distribuiți, relațiile de calcul ale impedanțelor echivalente de secvență directă și homopolară, precum și acelea ale coeficienților de raportare se determină pornind de la ecuațiile liniilor lungi. Astfel, impedanța echivalentă poartă denumirea de *impedanță de scurtcircuit* și se calculează similar unei impedanțe de intrare, însă în condițiile în care defectul este considerat ca fiind sursa din schema echivalentă. De exemplu, pentru schema monofilară din fig. 5,a, schema electrică echivalentă pentru calculul impedanței de scurtcircuit, în cazul producerii defectului la sfârșitul liniei, este aceea din fig. 7.

Pentru a păstra forma ecuațiilor liniilor lungi, în schema echivalentă s-au notat tensiunile și curenții de la extremitățile liniei invers decât în schema echivalentă prezentată în fig. 5,b, în raport cu extremitățile liniei.

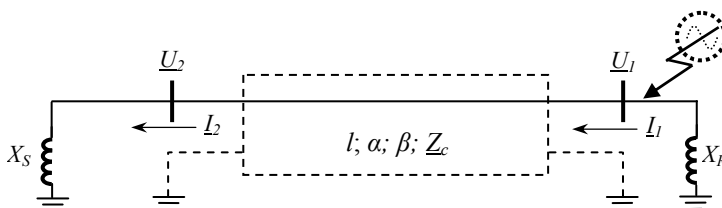


Fig. 7. Schema electrică echivalentă pentru calculul impedanței de scurtcircuit, în cazul producerii defectului la sfârșitul liniei

Dacă se neglijează pierderile longitudinale și transversale, iar reactorul de compensare transversală este deconectat, sistemul de ecuații din care se determină relația de calcul a impedanței de scurtcircuit este

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cdot \cos \beta l + jZ_0 \underline{I}_2 \cdot \sin \beta l \\ \underline{I}_1 = j \frac{\underline{U}_2}{Z_0} \cdot \sin \beta l + \underline{I}_2 \cdot \cos \beta l \\ \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_2}{jX_S} \end{cases}, \quad (28)$$

relația de calcul a impedanței de scurtcircuit rezultând de forma

$$\underline{Z}_{sc} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1} = jZ_0 \cdot \operatorname{tg} \left(\beta l + \operatorname{arctg} \frac{X_S}{Z_0} \right). \quad (29)$$

Relația (29) se particularizează pentru cele două secvențe, reactanțele de secvență directă și homopolară calculându-se cu relațiile:

$$\begin{cases} X_d = X_{sc,d} = Z_{0,d} \cdot \operatorname{tg} \left(\beta_d l + \operatorname{arctg} \frac{X_{S,d}}{Z_{0,d}} \right) \\ X_h = X_{sc,h} = Z_{0,h} \cdot \operatorname{tg} \left(\beta_h l + \operatorname{arctg} \frac{X_{S,h}}{Z_{0,h}} \right) \end{cases}. \quad (30)$$

Dacă reactorul de compensare transversală este conectat, atunci curentul \underline{I}_1 are două componente: una care circulă către linie ($\underline{I}_{1,1}$) și una care se închide prin reactanța reactorului de compensare transversală ($\underline{I}_{1,2}$). În sistemul de ecuații (28) cea de a doua ecuație este valabilă pentru ($\underline{I}_{1,1}$), fiind necesare încă două ecuații pentru determinarea impedanței de scurtcircuit. Una dintre ecuații rezultă din aplicarea legii lui Ohm pe circuitul

reactanței X_R , iar cea de-a doua din aplicarea legii a I-a a lui Kirchoff în nodul cu defect. Prin rezolvarea acestui nou sistem de ecuații se obține relația de calcul a impedanței de scurtcircuit, corespunzătoare prezenței reactorului de compensare transversală în nodul cu defect

$$\underline{Z}_{sc} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{jZ_0 \cdot \operatorname{tg} \left(\beta l + \operatorname{arctg} \frac{X_S}{Z_0} \right) \cdot jX_R}{jZ_0 \cdot \operatorname{tg} \left(\beta l + \operatorname{arctg} \frac{X_S}{Z_0} \right) + jX_R} = jZ_0 \cdot \frac{\operatorname{tg} \left(\beta l + \operatorname{arctg} \frac{X_S}{Z_0} \right)}{1 + \frac{Z_0}{X_R} \cdot \operatorname{tg} \left(\beta l + \operatorname{arctg} \frac{X_S}{Z_0} \right)}. \quad (31)$$

Din relația (31) se poate observa că noua impedanță de scurtcircuit se obține, așa cum era de așteptat, ca impedanță echivalentă a circuitului format din impedanța de scurtcircuit a liniei fără reactor, dată de relația (29), conectată în paralel cu impedanța reactorului.

Dacă se cunoaște tensiunea de la locul de defect, la un moment de timp imediat anterior producerii acestuia, relațiile de calcul anterioare sunt suficiente pentru determinarea tensiunilor fază-pământ, la locul de defect. Pentru determinarea tensiunilor de la începutul liniei, de exemplu, trebuie calculați coeficienții de raportare corespunzători. Cu notațiile din fig.7 și în ipoteza simplificatoare a neglijării tuturor pierderilor, sistemul de ecuații necesar determinării relației de calcul a coeficienților de raportare este:

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cdot \cos \beta l + jZ_0 \underline{I}_2 \cdot \sin \beta l \\ \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_2}{jX_S} \\ k = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} \end{cases}. \quad (32)$$

Indiferent dacă este conectat sau deconectat reactorul de compensare transversală, relația de calcul a coeficienților de raportare este

$$k = \frac{1}{\cos \beta l + \frac{Z_0}{X_S} \cdot \sin \beta l}, \quad (33)$$

particularizarea acesteia pentru secvență directă și homopolară conducând la relații de forma:

$$k_d = \frac{1}{\cos \beta_d l + \frac{Z_{0,d}}{X_{S,d}} \cdot \sin \beta_d l}, \text{ respectiv } k_h = \frac{1}{\cos \beta_h l + \frac{Z_{0,h}}{X_{S,h}} \cdot \sin \beta_h l}. \quad (34)$$

Astfel, au fost obținute toate relațiile necesare determinării tensiunilor de la începutul liniei la al cărui sfârșit s-a produs un scurtcircuit nesimetric, în condițiile în care este cunoscută tensiunea (eventual sub forma unui factor de supratensiune) de la începutul liniei, în regimul imediat anterior producerii defectului.