CALCULAREA REGIMULUI CIRCUITULUI CU SARCINI DISTRIBUITE

Vladimir BERZAN, dr. hab., Sveatoslav POSTORONCA, c.șt., Dmitrii VIERU, drd, Iurie TINTIUC, masterand UTM

Institutul de Energetică al AȘM

Abstract: *Se prezintă abordarea procedurii de calcul a regimului permanent și tranzitoriu în circuitul ramificat cu sarcini distribuite alimentat de la barele punctului de transformare. Se examinează schema unei singure faze. Calcularea regimului se propune de efectuat cu utilizarea metodei curenților de contur. Curentul în sarcină și curentul de contur în schema de calcul coincid. Curenții se determină din ecuația matricială cu utilizarea regulii lui Cramer. La calcularea regimului nestaționar, cu ajutorul transformantei Laplace, ecuațiile diferențiale se transformă în ecuații algebrice. Calcularea funcțiilor imagine a curenților se face ca și în cazul regimului permanent, iar pentru determinarea funcțiilor original a curenților și tensiunilor se utilizează transformanta inversă Laplace. Avantajul procedurii propuse, constă în faptul, că matricele au elementele nule în afară de cele plasate pe diagonala principală.*

Cuvinte cheie:*circuit ramificat, regim permanent și tranzitoriu, metoda curenților de contur, transformanta Laplace.*

1. Introducere

Pentru rețelele de joasă tensiune este caracteristică o topologie arborescentă cu multe ramificări și racordarea consumatorilor pe toate porțiunile, ce formează infrastructura de alimentare cu energie electric. Structura arborescentă condiționează unele dificultăți în calcularea regimurilor atât permanente, cât și tranzitorii de funcționare a acestui tip de circuit [1]. În cazul alimentării de la surse de energie cu semnale periodice sinusoidale calcularea regimurilor permanente se execută cu metoda simbolică de calcul [2].

Pentru cazul regimului tranzitoriu procesele se descriu de ecuații integro-diferențiale, ceea ce și conduce la mai multe dificultăți în cazul studierii caracteristicii derulării regimului tranzitoriu [2].

În prezenta lucrare vom examinează un procedeu de calcul a regimului în circuitul cu topologia caracteristică unei rețele de joasă tensiune cu mai mulți consumatori racordați la rețea.

2. Formularea problemei

Vom considera că topologia circuitului este apropiată de structura rețelei arborescente. Circuitul este alimentat de la o singură sursă de energie. Sarcinile conectate la rețea au o repartiție spațială și prezintă combinații de tipul *RLC*. Obiectivul investigației constă în obținerea valorilor curenților în sarcini și a valorilor tensiunilor în nodurile de racord a sarcinilor la rețea în regim staționar și regim tranzitoriu la alimentarea de la o sursă de curent sinusoidal a porțiunii de circuit examinate

3. Metoda de analiză

La soluționarea problemei formulate vom utiliza metoda curenților de contur. Ecuațiilor echilibrului tensiunilor pentru fiecare contur le vom întocmi astfel, ca în aceste ecuații curentul prin porțiunea circuitului ce prezintă sarcina racordată la rețea să coincidă cu curentul de contur. În acest caz avem posibilitatea să determinăm valorile tensiunii în secțiunile respective ale circuitului, utilizând legea lui Ohm. Astfel vom determina și profilul tensiunii în circuit. Deoarece examinăm circuitul pentru cazul frecvenței industriale, avem posibilitatea să prezentăm schema reală a rețelei prin schema echivalentă cu componente cu parametri concentrați.

În fig. 1 se prezintă schema echivalentă a circuitului de tip arborescent. Impedanța fiecărui contur include la general ansamburi de componente de tip *RLC*. Curentul de contur îl vom nota după numărul nodul de conectare a sarcinii la rețea.

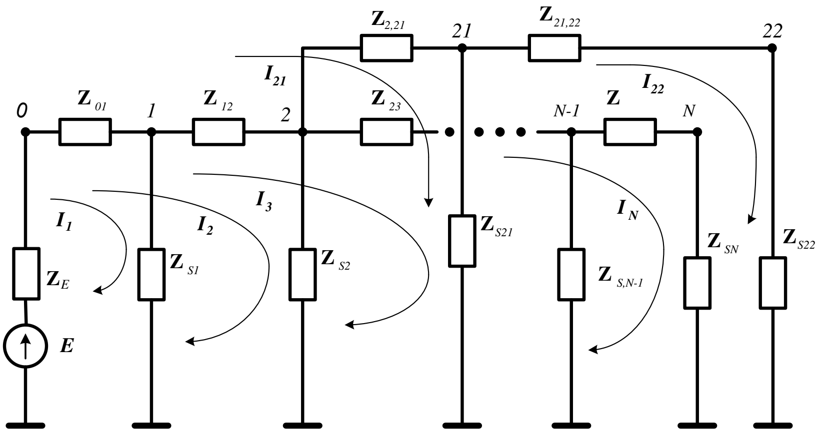

Fig.1. Circuit cu topologie arborescentă

3.1. Calcularea regimului permanent

Impedanța conturului include componenta impedanței interne a sursei Z_E componentele porțiunilor longitudinale începând cu punctul notat prin zero, deci $Z_{01}, Z_{02}, ..., Z_{0k}$ și impedanța sarcinii conectată la punctul de racord k, deci Z_{Sk} . În acest caz pentru schema din fig.1 vom avea sistemul de ecuații:

$$\begin{aligned} &I_1 Z_1 = E \\ &I_2 Z_2 = E \\ &\vdots \\ &I_k Z_k = E \\ &\vdots \\ &I_N Z_N = E. \end{aligned} \tag{1}$$

În sistemul de ecuații (1) k=1,2, ..., n-1,N, 21, 22, și numărul de necunoscute sau variabile independente care sunt definite ca curenții de contur coincide cu numărul sarcinilor racordate la rețeaua de alimentare. Sarcinile racordate la rețea sunt laturi transversale în schema echivalentă examinată.
Vom transforma sistemul de ecuații (1) astfel.

$$\begin{aligned} &I_1 Z_1 + I_2 0 + ... + I_{N-1} 0 + I_N 0 + I_{21} 0 + I_{22} 0 = E \\ &I_1 0 + I_2 Z_2 + ... + I_{N-1} 0 + I_N 0 + I_{21} 0 + I_{22} 0 = E \\ &\vdots \\ &I_1 0 + I_2 0 + ... + I_{N-1} 0 + I_N 0 + I_{21} Z_{21} + I_{22} 0 = E \\ &I_1 Z_1 + I_2 0 + ... + I_{N-1} 0 + I_N 0 + I_{21} 0 + I_{22} Z_{22} = E. \end{aligned} \tag{2}$$

Sistemul de ecuații (2) se poate prezenta în formă concisă ca o ecuație matricială:

$$BX = Y, \tag{3}$$

în care

B - matrice diagonală care include impedanțele de contur;
$X = (I_1, I_2, ..., I_{N-1,} I_N, I_{21}, I_{22})^T$ -matricea transponată a mărimilor necunoscute, curenților de contur;
$Y = (E, E, ..., E, E, E, E)^T$ -matricea transponată a mărimilor cunoscute.

Valorile mărimilor necunoscute de determină utilizând regula lui Cramer:

$$I_1 = \frac{\det(B_{I1})}{\det(\text{B})}; ;...; I_{N-1} = \frac{\det(B_{I,N-1})}{\det(\text{B})}; I_N = \frac{\det(B_{IN})}{\det(\text{B})}; I_{21} = \frac{\det(B_{I21})}{\det(\text{B})}; I_{22} = \frac{\det(B_{I22})}{\det(\text{B})}, \tag{4}$$

Matricele $B_{I1}, B_{I2}, ..., B_{I,N-1}, B_{IN}, B_{I21}, B_{I22}$ prezintă de asemenea matrice pătrate, determinantul cărora este produsul elementelor diagonalei principale, ca şi în cazul matricei pătrate B. În determinantul matricelor $B_{I1}, B_{I2}, ..., B_{I,N-1}, B_{IN}, B_{I21}, B_{I22}$ impedanţa de contur din determinatul matricei B este substituit de către t.e.m. E a sursei de alimentare sau dacă avem mai multe surse de suma algebrică a surselor ce sunt incluse în circuitul conturului examinat.

Tinând cont, că componentele inductive şi capacitive ale impedanţelor de contur m[rimile Z_k sunt funcţii de frecvenţă ω, reiese că în cazul alimentării circuitului de la o sursă de curent (tensiune) sinusoidală raportul determinanţilor $\frac{\det(\mathrm{B}_{Ik})}{\det(\mathrm{B})}$ prezintă raportul a două polinoame de gradul m şi n. Pentru regimul permanent curenţii de contur se pot calcula cu ajutorul relaţiei:

$$I_k = E\frac{Q(\omega)}{D(\omega)}, \tag{5}$$

in care ω - frecvenţa unghiulară, valoarea căruia pentru cazul unui circuit de curent continuu este egală cu zero.

Căderea tensiunii pe impedanţa sarcinii de la curentul de contur determină valoarea tensiunii în reţea în nodul de racpord, deci

$$U_k = I_k Z_{Sk} = E\frac{Q(\omega)\mathrm{Z}_{Sk}}{D(\omega)}. \tag{6}$$

Relaţia (6) ne permite să determinăm profilul tensiunii în circuitul examinat. Valorile curenţilor în porţiunile longitudinale se determină în baza primei legi a lui Kirhhgoff. Menţionăm, că valoarea curentului de intrare I_E, deci absorbit de la susra de alimentare, va fi egală cu suma curenţilor ce se scurg prin sarcinile conectate la reţeaua de alimentare:

$$I_E = \sum_{k=1}^{M} I_k, \tag{7}$$

în care M - este determinat de numărul variabilelor (necunoscutelor) independente - curenţii de contur.

3.2. Calculul regimului tranzitoriu

3.2.1.Determinarea valorilor imaginii funcţiilor original

Procedeul aplicat pentru calculrea regimului permanent este robust şi în cazul determinării caracteristicilor regimului tranzitoriu în circuitrul arboriscent. Pentru cazul examinării regimului tranzitoriu echilibrul tensiunilor în circuit se przintă de un sistem de ecuaţii integro-diferenţile. Vom considera, că sarcinile cu indici impari au caracter activ-inductiv, iar cele cu indici pari caracter activ capacitiv. Pentru aceste condiţii avem posibilitatea de a formula echuaţiile integro-diferenţiale în formă generalizată.

Pentru determinarea variabilelor necunoscute vom utiliza metoda operaţională, transformând ecuaţiile integro-diferenţiale ale circuitului din fig. 1 în ecuaţii algebrice similare după structură cu ecuaţiile sitemului (2) şi ecuaţiei matriciale (3):

$$\begin{aligned}
&I_1(p)[R_1 + pL_1] + I_2(p)*0 + ... + I(p)_{2k-1}*0 + I_{2k}(p)*0 = E_1(p) \\
&I_1(p)*0 + I_2(p)[R_2C_2 + L_2C_2p^2 + 1] + ... + I(p)_{2k-1}*0 + I_{2k}(p)*0 = E_2(p)pC_2 \\
&\vdots \\
&I_1(p)*0 + I_2(p)*0 + ... + I(p)_{2k-1}[R_{2k-1} + pL_{2k-1}] + I(p)_{2k-1}*0 = E_{2k-1}(p) \\
&I_1(p)*0 + I_2(p)*0 + ... + I(p)_{2k-1}*0 + I_{2k}(p)[R_{2k}C_k p + pL_{2k}C_{2k}p^2 + 1] = E_{2k}(p)pC_{2k}.
\end{aligned}, \tag{8}$$

deci

$$B(p)=\begin{vmatrix} R_1+pL_1 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & L_2C_2p^2+R_2C_2p+1 & 0 & 0 & 0 \\ & \vdots & & \vdots & \\ 0 & 0 & 0 & R_{2k-1}+pL_{2k-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & & L_{2k}C_{2k}p^2+R_{2k}C_{2k}p+1 \end{vmatrix},$$

$X(\text{p})=[I_1(p),I_2(p),.....,I_{2k-1}(p),I_{2k}(p)]^T$, $Y(p)=[E_1(p),pC_2E_2(p),E_3(p),...,E_{2k-1}(p),pC_{2k}E_{2k}(p)]^T$,

$E(p)=E_1(p)=E_2(p)=...=E_{2k}(p)$.

Valorile funcțiiei imagine a curentului se calculează conform (4), iar funcția imagine a săderii tensiunii pe sarcină conformm (6).

3.2.2. Determinarea funcției original

Este cunoscut, că raportul a două polinoame $Q(x)/D(x)$ se poate prezenta ca suma componentelor $\frac{Q(x)}{D(x)}=A_1\frac{1}{x-x_1}+A_2\frac{1}{x-x_2}+......+A_n\frac{1}{x-x_n}$, în care $x_1,x_2,...,x_n$ sunt rădăcinile polinomului $D(x)$ de gradul *n*. Pentru cazul $x=p$ mărimile $p_1,p_2,...,p_n$ sunt rădăcinile polinomului $D(p)=0$ și se referă la componenta liberă a procesului nestaționar. Valorile coeficienților $A_1,A_2,...,A_n$, de exemplu A_1 se determină prin înmulțirea părții din dreapta și din stânga la $p-p_1$ și în caz că $p\to p_1$ obținem $(p-p_1)\frac{Q(p)}{D(p)}=A_1$. Pentru a exclude nedeterminanța ne vom folosi de regula lui L'Hôpital. Aceasta ne permite determinarea valorilor coeficienților notați prin $A_1,A_2,...,A_n$ din relația $A_k=\frac{Q(p_k)}{D'(p_k)}$. Deoarece conform transformantei Laplace $\frac{1}{p-\alpha}\to e^{\alpha t}$, reiese că funcțiile original necunoscute pentru curenții cu indicele *2k-1* se pot determina utilizând relația:

$$i_{2k-1}(t)=\sum_{i=1}^{n}E(p_i)\frac{Q_i(p_i)}{D'(p_i)}e^{p_it} ,$$

iar pentru curenții cu indicii *2k* utilizând formula:

$$i_{2k}(t)=\sum_{i=1}^{n}p_iC_{2k}E(p_i)\frac{Q_i(p_i)}{D'(p_i)}e^{p_it} .$$

Concluzie

Procedeul propus permite calcularea în baza unui algoritm inificat atât aregimului permanent, cât și a regimului tranzitoriu în circuitul cu topologia arborescentă.

Bibliografie

1. VIERU, Dumitru; TATIAN, Ivan; POSTOTONCA Sveatoslav. Procedeu de calculul al regimului staționar a rețelei electrice arborescente. *Conferința Științifică Jubiliară a studenților și colaboratorilor UTM*, 20 octombrie, 2014, Chișinău. Secțiunea EIE-1. Electroenergetica. 4p.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 1978.-528с.