

DETERMINAREA TENSIUNII OPTIME ÎN NODURILE SARCINĂ LA CONSIDERAREA CARACTERISTICILOR STATICE ALE CONSUMATORILOR

C. Codreanu

Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

Stabilirea nivelului optim de tensiuni la bornele receptoarelor electrice este unul din mijloacele esențiale de utilizare rațională a energiei electrice, majorării economicității de funcționare a instalațiilor.

Dacă în sistemul electroenergetic există rezerve de putere activă, atunci reglarea tensiunii se efectuează pentru obținerea minimumului de pierderi de puteri activă și de energie electrică, pentru menținerea funcționării stabile a nodurilor sarcină. În condițiile deficitelor temporare de putere (maxime de iarnă și de vară) poate fi realizată menținerea unui nivel scăzut de tensiuni în limitele admisibile de STAS, pentru care se obține reducerea parțială a consumului de putere activă și micșorarea considerabilă a consumului puterii reactive în corespundere cu caracteristicile statice (CS) respective. În acest caz, este necesar de a determina analitic valorile tensiunii optime în rețelele întreprinderii industriale și aprecierea admiterii tehnice a acestui nivel de tensiune după alte criterii.

1. ANALIZA CALCULULUI CS ÎN NODURILE SARCINĂ

Există două metode de determinare a CS a sarcinii: metoda analitică de calcul și metoda experimentală [1]. Metoda analitică se bazează pe cunoașterea componenței nodului sarcină și a consumului de putere de fiecare receptor la tensiune nominală. Metoda analitică prevede elaborarea schemei echivalente de modelare a nodului de sarcină. Pentru aceasta se determină dependența consumului de putere activă și reactivă funcție de tensiune, în continuare fiind obținuți coeficienții de aproximare a CS. Metoda analitică mai permite de a cerceta influența asupra CS a parametrilor schemei de calcul și a componenței numerice a consumatorilor de energie electrică. Această metodă se utilizează atât la etapa proiectării SAEE, cât și în condițiile de exploatare, dacă este posibil de determinat cu o precizie dată componența sarcinii.

Analitic CS în limitele admisibile de variație a tensiunii (0,9-1,1)Un se aproximează cu polinoame de ordinul doi, după cum urmează

$$P_U = P_0(p_0 + p_1 K_U + p_2 K_U^2); \quad (1)$$

$$Q_U = Q_0(q_0 + q_1 K_U + q_2 K_U^2). \quad (2)$$

unde $p_0, p_1, p_2, q_0, q_1, q_2$ – coeficienții de aproximație.

Pentru diferite noduri de sarcină coeficienții polinoamelor se determină cu metoda pătratelor mici în baza CS obținute experimental pentru nodurile examinate. Pentru satisfacerea condițiilor trecerii graficilor polinoamelor prin punctele $P_0 = P_{Unom}$ și $Q_0 = Q_{Unom}$ e necesar de respectat următoarele restricții:

$$p_0 + p_1 + p_2 = 1; \quad (3)$$

$$q_0 + q_1 + q_2 = 1. \quad (4)$$

Substituind (3) și (4) respectiv în (1) și (2) obținem:

$$P_U / P_0 = 1 - p_0(1 - K_U) - p_2(1 - K_U^2); \quad (5)$$

$$Q_U / Q_0 = 1 - q_1(1 - K_U) - q_2(1 - K_U^2). \quad (6)$$

Suma coeficienților din (3) și (4) este egală cu unu, deoarece în ipoteza ca $U = U_n$, în conformitate cu (1) și (2) $P_U = P_0$.

Utilizând punctele experimentale a CS, se determină coeficienții p_1, p_2, q_1, q_2 , iar apoi p_0 și q_0 .

Avantajele aproximării polinomiale a CS a nodurilor sarcină este simplitatea și comoditatea de utilizare a acestora în calculele regimurilor respective. Neajunsurile se referă la necorespunderea formulelor (1) și (2) proceselor fizice în nodurile de sarcină. Extrapolarea caracteristicilor pentru valorile tensiunilor ieșite din diapazonul (0,9-1,1)Un pentru calculele realizate cu polinoame nu poate fi posibilă. În acest context mai

reușite sunt expresiile analitice pentru CS, care corespund sensului fizic al proceselor din nodurile sarcină.

Modelele reale ale CS pentru nodurile sarcină, permit de a dirija cu procesul consumului de energie electrică, cu pierderile din rețea, mai cu seamă în orele de vârf, precum și în regimurile de postavarie.

Problema reglării consumului de putere activă și reactivă poate apărea în condițiile deficitului de resurse energetice. Sarcina complexă a nodurilor sistemului de alimentare cu energie electrică a întreprinderilor industriale în majoritatea cazurilor conține o mulțime de motoare asincrone și sincrone, de utilajul electrotermic și instalații de iluminat.

E cunoscut, că motoarele consumă ce-a mai mare parte din energia electrică produsă. Însă economisirea energiei în instalațiile de iluminat de asemenea poate conduce la un anumit rezultat. Instalațiile de iluminat studiate la multiple întreprinderi industriale au demonstrat, că în multe cazuri devierea tensiunii de alimentare de la valoarea nominală în rețele de iluminat se află în diapazonul de la -10% până la 25 % [3]. La devierea tensiunii de la cea nominală se modifică puterea surselor de iluminat, durata lor de exploatare și fluxul luminos. În conformitate cu datele prezentate în [3] majorarea tensiunii de alimentare cu 5% conduce la majorarea consumului de putere a lămpilor de incandescență cu 8,1%, iar a lămpilor fluorescente cu 10%. În acest caz se reduce durata de utilizare a lămpilor de incandescență de două ori, iar a celor fluorescente – de 1,2 ori. E necesar de menționat, că în cazul micșorării tensiunii se micșorează consumul de putere, se mărește durata de exploatare a acestora, însă se micșorează fluxul luminos. La reglarea tensiunii în limitele admisibile de STAS se poate de obținut o reducere a consumului energiei electrice până la 15% de la consumul total al iluminatului electric.

După cum s-a menționat anterior, o acțiune considerabilă asupra CS ale nodurilor sarcină o are puterea nominală sumară a posturilor de transformare și respectiv valoarea pierderilor de mers în gol. La transmiterea energiei electrice întreprinderilor industriale pierderile de energie reactivă în transformatoare constituie circa 9-10% de la puterea totală a sarcinii la fiecare transformare. Majoritatea transformatoarelor funcționează cu un coeficient mic de încărcare, de aceea ponderea pierderilor de mers în gol în dependență de tensiune poate fi considerabilă. De aceea este oportun, mai cu seamă în procesul de

exploatare a sistemului de alimentare cu energie electrică, de a avea posibilitatea calculării regimurilor normale de funcționare a sistemului de alimentare cu energie electrică, fiind luate în considerație CS a diferitor tipuri de receptoare electrice, precum și pierderile de putere, inclusiv și pierderile de putere reactivă în transformatoarele de coborâre în dependență de nivelul de tensiune.

Sistemul de alimentare cu energie electrică a întreprinderilor reprezintă un sistem care are mai multe trepte. În calitate de model al schemei de alimentare cu energie electrică a întreprinderii industriale, poate fi considerată schema prezentată în fig.1. Din schema rezultă, că pentru obținerea CS a nodurilor de sarcină este necesar, în afară de modelul CS a motorului asincron de avut modelele CS a sarcinilor de iluminat, a transformatoarelor de forță la tensiunea de 6-10/0,4 kV, a motoarelor sincrone, bateriilor de condensatoare și a altor elemente ale rețelelor electrice ale întreprinderilor industriale.

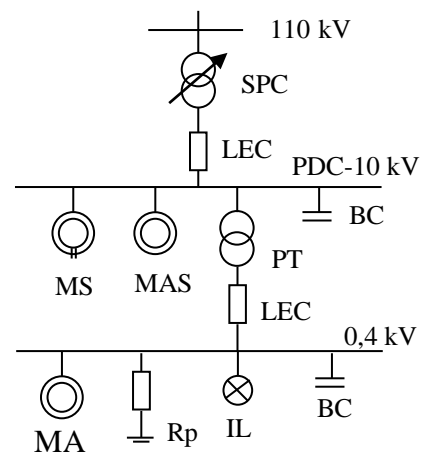


Figura1. Modelul de calcul al sarcinii complexe

Rezolvarea complexă a problemei abordate fiind luată în considerație influența nivelului de tensiune asupra consumului de putere activă și reactivă se bazează pe calculul efectului de reglare al sarcinii. În acest caz, mai întâi se efectuează divizarea sarcinii în părți-componente: motoare electrice și sarcina statică, pierderile în linii și transformatoare. În continuare se efectuează echivalarea fiecărei componente și calculul efectelor de reglare în corespundere cu puterile activă K_{P_i} și cea reactivă K_{Q_i} . Efectul de reglare a nodului sarcină conține următoarele părți componente:

$$K_P = \sum_{i=1}^N P\% \cdot K_{P_i}, \quad K_Q = \sum_{i=1}^N P\% \cdot K_{Q_i}; \quad (7)$$

Neajunsul metodei date constă în dificultatea obținerii informației adecvate pentru fiecare parte-componentă a sarcinii nodului și a efectelor de reglare, deoarece aceste mărimi au un caracter aleatoriu, care depinde de regimul de funcționare a majorității receptoarelor luate în parte.

În condițiile actuale mai oportun pare a fi calculul CS al nodurilor sarcină a întreprinderilor industriale cu ajutorul calculatorului personal, care poate prevedea sumarea CS reale ale receptoarelor individuale, calculate în baza datelor de pașaport fiind luate în considerație coeficienții de încărcare a acestora.

În scopul dirijării regimul consum al energiei electrice, menținerii pierderilor minime de putere și energie activă, se propune ca CS ale nodurilor sarcină a întreprinderii industriale de a fi prezentate ca suma algebrică a CS ale diferitor tipuri de receptori de energie electrică:

$$P_{Ui} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{Uij}; \quad (8)$$

$$Q_{Ui} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{Uij}. \quad (9)$$

unde i - numărul de CS a consumatorilor identici, cu regimuri și parametri identice;

j - numărul CS diverse după regim și parametri.

2. CALCULUL REGIMULUI OPTIM DE TENSIUNE ÎN SISTEMUL DE ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ A ÎNTREPRINDERII LA CONSIDERAREA CS

În schema de modelare a nodului sarcină (fig.2) și în expresiile analitice ale CS, reprezentate prin polinoamele de ordinul doi, rezultă (4):

$$\begin{aligned} P_{\Sigma} &= P_U + \Delta P = P_n [p_0 + p_1 K_U + p_2 K_U^2] + \\ &+ \frac{((P_n(p_0 + p_1 K_U + p_2 K_U^2))^2 + (Q_n(q_0 + q_1 K_U + q_2 K_U^2))^2)}{K_U^2 U_n^2} R = \\ &= \frac{K_U^4 (P_n U_n^2 p_2 + R P_n^2 p_2^2 + R Q_n^2 q_2^2)}{K_U^2 U_n^2} + \\ &\frac{K_U^3 (P_n U_n^2 p_1 + 2 R P_n^2 p_1 p_2 + 2 R Q_n^2 q_1 q_2)}{K_U^2 U_n^2} + \\ &+ \frac{K_U^2 (P_n U_n^2 p_0 + 2 R P_n^2 p_0 p_2)}{K_U^2 U_n^2} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \frac{K_U^2 (R P_n^2 p_1^2 + 2 R Q_n^2 q_0 q_2 + R Q_n^2 q_1^2)}{K_U^2 U_n^2} + \\ &+ \frac{K_U (2 R P_n^2 p_0 p_1 + 2 R Q_n^2 q_0 q_1)}{K_U^2 U_n^2} + \frac{(R P_n^2 p_0^2 + R Q_n^2 q_0^2)}{K_U^2 U_n^2}, \end{aligned} \quad (10)$$

unde: K_U - valoarea relativă a tensiunii în nodul sarcină; P_0 , Q_0 - respectiv puterile activă și reactivă, consumate în nodul sarcină la tensiunea nominală;

$p_0, p_1, p_2, q_0, q_1, q_2$ - coeficienții de aproximare ai CS a nodurilor sarcină în corespundere cu puterea activă și reactivă.

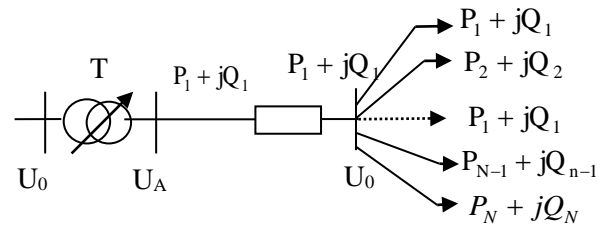


Figura 2. Schema de modelare a nodului sarcină

Puterea consumată în nod în corespundere cu CS crește cu majorarea tensiunii, iar pierderile de putere sunt invers proporționale pătratului tensiunii în nodul sarcină. Urmează, că pot exista astfel de valori ale tensiunii, pentru care funcția consumului de putere din sistemul electric în dependență de tensiunea nodului de sarcină, are un minim local. Condiția necesară pentru existența unui astfel de minim este respectarea următoarei condiții:

$$\frac{dP_{\Sigma}}{dU} = 0 \quad (11)$$

În expresia (10) notăm termenii:

$$\begin{aligned} a_4 &= P_n \cdot U_n^2 \cdot p_2 + R \cdot P_n^2 \cdot p_2^2 + R \cdot Q_n^2 \cdot q_2^2; \\ a_3 &= P_n \cdot U_n^2 \cdot p_1 + 2 \cdot R \cdot P_n^2 \cdot p_1 \cdot p_2 + 2 \cdot R \cdot Q_n^2 \cdot q_1 \cdot q_2; \\ a_2 &= P_n \cdot U_n^2 \cdot p_0 + 2 \cdot R \cdot P_n^2 \cdot p_0 \cdot p_2 + R \cdot P_n^2 \cdot p_1^2 + \\ &+ 2 \cdot R \cdot Q_n^2 \cdot q_0 \cdot q_2 + R \cdot Q_n^2 \cdot q_1^2; \\ a_1 &= 2 \cdot R \cdot P_n^2 \cdot p_0 \cdot p_1 + 2 \cdot R \cdot Q_n^2 \cdot q_0 \cdot q_1; \\ a_0 &= R \cdot P_n^2 \cdot p_0^2 + R \cdot Q_n^2 \cdot q_0^2. \end{aligned}$$

Obținem următoarea expresie:

$$F(U) = \frac{a_4 \cdot K_U^4 + a_3 \cdot K_U^3 + a_2 \cdot K_U^2 + a_1 \cdot K_U + a_0}{K_U^2 \cdot U_n^2}; \quad (12)$$

sau

$$F(U) = a'_4 \cdot K_U^2 + a'_3 \cdot K_U + a'_2 + a'_1 \cdot K_U^{-1} + a'_0 \cdot K_U^{-2}. \quad (13)$$

Luând derivata, obținem:

$$\frac{dF(U)}{dK_U} = 2 \cdot a'_4 \cdot K_U + a'_3 - a'_1 \cdot K_U^{-2} - 2 \cdot a'_0 \cdot K_U^{-3}, \quad (14)$$

$$\text{unde} \quad a'_i = \frac{a_i}{U_n^2}; \quad (15)$$

Înmulțind expresia la K_U^3 , obținem:

$$\frac{dF(U)}{dK_U} = 2 \cdot a'_4 \cdot K_U^4 + a'_3 \cdot K_U^3 - a'_1 \cdot K_U - 2 \cdot a'_0 \quad (16)$$

Expresia algebrică (16) de ordin par cu coeficienții reali întotdeauna are cel puțin o rădăcină reală. Deoarece numărul de rădăcini pozitive ale ecuației date este egal cu numărul de variabile a semnelui din ecuația (16) a consecutivității coeficienților de pe lângă necunoscute (coeficienții egali cu zero nu se consideră), sau e mai mic decât numărul de schimb al semnelui cu un număr par. Coeficienții de pe lângă K_U^4 și K_U din (16) întotdeauna sunt pozitivi, atunci coeficientul de pe lângă K_U^2 este egal cu zero, iar de pe lângă K_U^3 și K_U^0 sunt negativi, deci numărul de schimb al semnelui e totdeauna egal sau cu 3 sau cu 1. Deci, întotdeauna, există cel puțin o rădăcină pozitivă, care poate fi calculată sau cu metodă de iterație sau prin metodă analitică.

Condiția:

$$\frac{d^2 P_{\Sigma}}{dU^2} > 0$$

corespunzătoare punctului K_{U0} este suficientă pentru determinarea minimumului de consum al puterii, iar K_{U0} este rădăcina ecuației (16). Știind tensiunea din nodul sarcină U_0 se poate determina tensiunea optimă U_A în centrul de alimentare:

$$U_A = U_0 + (PR + QX) / U_0 \quad (17)$$

Rezultatele cercetărilor efectuate pentru diferite modele sarcinii [4], care descriu cea mai simplă schemă de sarcină formată dintr-un nod, au demonstrat, că nivelul tensiunii în nodul sarcină, care corespunde minimumului de consum al energiei electrice, ca regulă este mai jos de nivelul admisibil. Astfel micșorarea puterii consumate, poate constitui circa 10% de la puterea totală consumată la tensiune nominală.

Astfel, în cazul dat, micșorând tensiunea, micșorăm consumul de putere activă și reactivă conform CS. Însă o astfel de micșorare a tensiunii e inadmisibilă din cauza probabilității ieșiri din regim

normal de funcționare a motoarelor asincrone și probabilitatea apariției avalanșei de tensiune, deoarece tensiunea critică se află în aceleași limite ca și tensiunea optimă. Prin urmare la introducerea restricțiilor impuse de sistemul electroenergetic referitoare la consumul de putere și în cazul existenței în centrul de alimentare a întreprinderii industriale a transformatoarelor cu reglarea tensiunii sub sarcină, e posibilă trecerea maximumului de sarcină a sistemului electroenergetic la o tensiune puțin mai joasă, fără deconectarea sau la o deconectare minimă a consumatorilor. Urmează că utilizarea efectului reglator al sarcinii permite de a micșora consumul de putere activă și reactivă. Micșorarea tensiunii până la cea optimă valoare poate fi admisibilă și oportună numai în condițiile alimentării sarcinii de la un centru îndepărtat, când pierderile de putere se măresc și constituie o parte considerabilă în raport cu puterea totală, consumată de la centrul de alimentare.

CONCLUZII

Sa elaborat algoritmul și programul de calcul pentru determinarea nivelului optim de tensiune în nodurile sarcină ale întreprinderilor industriale, fiind considerate caracteristicile statice al receptoarelor electrice, realizarea practică a acestora va asigura consumul rațional de energie în condițiile deficitului de energie electrică.

Bibliografie

1. Горбунова Л.М., Гуревич Ю.М. Экспериментальное определение характеристик нагрузки энергосистем. Труды ВНИИЭ. –М.: 1987, вып. 29.
2. Орлов В.С. Снижение электропотребления путем регулирования напряжения. // Промышленная энергетика. -1991. №4 с. 42-44.
3. Абрамович Б.Н., Каменев П.М. Регулирующие эффекты нагрузки промышленных предприятий и их использование в часы максимума энергосистемы // Промышленная энергетика. – 1988. - №8.
4. Конохова Е.А., Михайлив В.И. Выбор режима напряжения в системе электроснабжения промпредприятия с учетом статических характеристик нагрузки. // Тр. МЭИ. -1991. Вып. 638 – с.43-48.

Recomandat spre publicare: 04.07.04