

ALOCAREA PIERDERILOR DE PUTERE ÎNTRE PARTICIPANȚII LA PIAȚA ENERGIEI ELECTRICE

VasilicaLiudmila

Conducător științific: prof. univ. Ion Stratan

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: Dezvoltarea relațiilor de piață în energetică necesită identificarea reală a tuturor cheltuielilor legate de producerea și transportul energiei electrice de la producător la consumator. Printre acestea se numără și pierderile de putere și energie în rețelele electrice. Pierderile sunt un fapt inevitabil, apare problema "responsabilității financiare". Una dintre abordările existente a acestei probleme implică alocarea a pierderilor între producători și consumatori de energie electrică, dar de regulă această distribuție este neuniformă. În lucrarea dată se va analiza procedura de alocare cu și fără nodul de echilibru

Cuvinte cheie: Pierderi de putere, alocarea pierderilor de putere, nod de echilibru, factori de pondere, coeficienți de repartitie, matricea de impedanță nodală.

1 Alocarea pierderilor de putere fără nodul de echilibru

Scopul alocării pierderilor de putere constă în atribuirea responsabilității fiecărei surse de generare și consumatorilor pentru pierderile de putere în rețelele de transport. Procesul de alocare a pierderilor determină cota cheltuielilor suplimentare distribuite în mod echitabil.

Dificultatea de a separa pierderile în rețeaua electrică prin transportul de energie electrică între participanții la piață, este o dependență neliniară de fluxul pierderilor de putere. Încercările de a separa dependența neliniară în suma unor elemente liniare, cu siguranță nu este concludentă, prin urmare există o mulțime de repartizării a responsabilității pentru pierderile în rândul participanților la piața energiei electrice.

1.2 Alocarea pierderilor cu utilizarea coeficienților de repartitie

Una din abordările metodei de alocare cu utilizarea matricei de impedanță nodale este dezvoltată în [1]. În comparație cu metoda din [2], unde se determină pierderile condiționate de curenți I_i și I_j , repartizate egal între nodurile i și j , aici se introduc coeficienții de repartitie.

Pentru exemplificare vom analiza o rețea electrică, graful căreia este prezentată în figura 1.

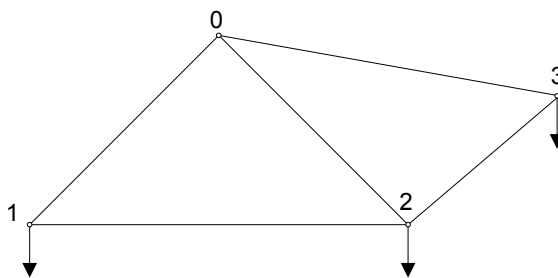


Figura 1– Graful rețelei analizate

Pierderile de putere pentru rețeaua de curent continuu se determină conform relației:

$$\begin{aligned}
\Delta P &= [I_1 \quad I_2 \quad I_3] \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = [I_1 \quad I_2 \quad I_3] \begin{bmatrix} R_{11} \cdot I_1 + R_{12} \cdot I_2 + R_{13} \cdot I_3 \\ R_{21} \cdot I_1 + R_{22} \cdot I_2 + R_{23} \cdot I_3 \\ R_{31} \cdot I_1 + R_{32} \cdot I_2 + R_{33} \cdot I_3 \end{bmatrix} = \\
&= R_{11} I_1^2 + R_{12} I_1 I_2 + R_{13} I_1 I_3 + R_{22} I_2^2 + R_{21} I_1 I_2 + R_{23} I_2 I_3 + R_{33} I_3^2 + R_{31} I_1 I_3 \\
&\quad + R_{32} I_2 I_3 = \\
&= R_{11} I_1^2 + 2 I_1^2 \left(\frac{I_2}{I_1 + I_2} R_{12} + \frac{I_3}{I_1 + I_3} R_{13} \right) + R_{22} I_2^2 \\
&\quad + 2 I_2^2 \left(\frac{I_1}{I_1 + I_2} R_{21} + \frac{I_3}{I_2 + I_3} R_{23} \right) + R_{33} I_3^2 + 2 I_3^2 \left(\frac{I_1}{I_1 + I_3} R_{31} + \frac{I_2}{I_2 + I_3} R_{32} \right) \\
&= \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3.
\end{aligned} \tag{1.1}$$

În caz general:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} R_{ij} I_i^2 + 2 I_i^2 \left(\frac{I_j}{I_i + I_j} R_{ij} \right) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} I_i^2 \left(R_{ii} + 2 \frac{I_j}{I_i + I_j} R_{ij} \right) = \sum_{i=1}^{n-1} K_{ij} I_i^2, \tag{1.2}$$

unde coeficienții de repartiție se determină cu expresia:

$$K_{ij} = \sum_{j=1}^{n-1} \left(R_{ii} + 2 \frac{I_j}{I_i + I_j} R_{ij} \right). \tag{1.3}$$

Pentru rețelele de curent alternativ pierderile de putere activă se determină cu relația:

$$\Delta P = [I_c^i][R][I^i] + [I_c^ii][R][I^{ii}]. \tag{1.4}$$

Astfel pierderile alocate sumare vor avea forma

$$\Delta P = 2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} [K^i (I^i)^2 + K^{ii} (I^{ii})^2], \tag{1.5}$$

unde coeficienții de repartiție sunt:

$$K^i = \frac{R_{ii}}{2} + \sum_{j=1, j \neq i}^{n-1} \left(\frac{I_j^i}{I_i^i + I_j^i} R_{ij} \right), \tag{1.6}$$

$$K^{ii} = \frac{R_{ii}}{2} + \sum_{j=1, j \neq i}^{n-1} \left(\frac{I_j^{ii}}{I_i^{ii} + I_j^{ii}} R_{ij} \right). \tag{1.7}$$

1.3 Alocarea pierderilor cu utilizarea factorilor de pondere

Vom analiza, în continuare, procedura de alocare a pierderilor cu utilizarea factorilor de pondere, pentru rețeaua grafică careia este prezentat în fig.1.

Pierderile de putere în rețelele electrice, descrise de modelul de curent continuu, pot fi prezentate prin matricea impedanțelor nodale Z sau prin abaterea tensiunilor nodale de la tensiunea de bază

$$\delta U_i = U_i - U_{b,i} \tag{1.8}$$

$$\Delta P_{\Sigma} = -I^T Z^T I = - \sum_{i=1}^n (I_i \delta U_i). \tag{1.9}$$

Repartizarea pierderilor sumare poate fi descrisă de formula:

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum_{s=1}^n \Delta P_s = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_i I_j Z_{ij} \tag{1.10}$$

Problema de alocare a pierderilor sumare constă în alegerea principiului de repartizare a valorii mărimii $Z_{ij}I_iI_j$ între nodurile i și j . Presupunem că la repartizarea elementului $Z_{ij}I_iI_j$ (nu a pierderilor sumare) este proporțională, dar cu utilizarea factorilor de pondere, exprimați prin modulul curenților $\frac{|I_i|}{|I_i|+|I_j|}$.

Astfel avem:

$$\Delta P_s = -2 \sum_{j=1}^n K_{sj} I_s I_j Z_{sj} = -2 I_s^2 \sum_{j=1}^n \operatorname{stgn}(I_s I_j) \left[\frac{|I_j|}{|I_s| + |I_j|} \right] Z_{sj} \quad (1.11)$$

sau în formă vectorială:

$$\Delta \mathbf{P} = -2(\mathbf{K} * \mathbf{Z}) \cdot \mathbf{I} * \mathbf{I}^2, \quad (1.12)$$

unde operațiunea * semnifică produsul vectorial sau matricial a fiecărui element;

$\mathbf{1}$ – vectorul unitate;

\mathbf{I}^2 - vectorul pătratelor curenților, iar matricea este compusă din coeficienți:

$$\mathbf{K} = \left\{ K_{ij} = \operatorname{stgn}(I_i I_j) \frac{|I_j|}{|I_i| + |I_j|} \right\}, \quad (1.13)$$

Pentru rețele de curent alternativ se prezintă (1.11) pierderile sumare de putere activă:

$$\Delta \mathbf{P} = -2(\mathbf{K}' * \mathbf{R}) \mathbf{I} * \mathbf{I}^2 - 2(\mathbf{K}'' * \mathbf{R}) \mathbf{I} * \mathbf{I}^2, \quad (1.14)$$

unde

$$\mathbf{K}' = \left\{ K'_{ij} = \operatorname{stgn}(I_i I_j) \frac{|I_j|}{|I_i| + |I_j|} \right\}, \mathbf{K}'' = \left\{ K''_{ij} = \operatorname{stgn}(I_i'' I_j'') \frac{|I_j''|}{|I_i''| + |I_j''|} \right\}. \quad (1.15)$$

Această abordare este realizată în [3]. Însă simplitatea matematică nu întotdeauna aduce la rezultate juste. Metoda este discriminatorie către consumatorii cu curenții mici – pierderile pot fi mai mari decât sarcina proprie. Anume acest factor a cauzat apariția unei varietăți mari de metode de alocare.

2 Alocarea pierderilor de putere cu includerea nodului de echilibru

În continuare vom analiza procedura de alocare a pierderilor cu includerea nodului de echilibru. Pentru aceasta este necesar de a include un nod suplimentar $0'$ racordat la nodul de echilibru printr-o admitanță, Y_{00} . Această procedură este prezentată în figura 2.

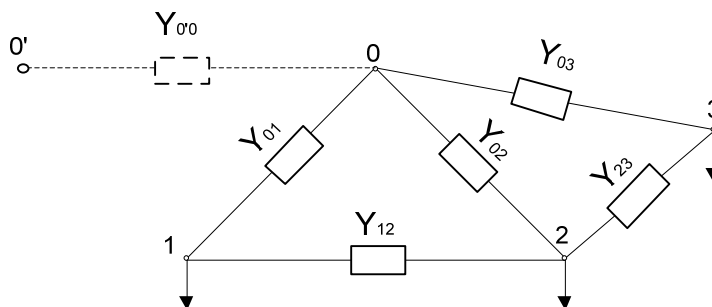


Figura 2– Graful rețelei cu includerea unui nod suplimentar

Alocarea pierderilor cu utilizarea factorilor de pondere va fi descrisă de expresiile:

În caz general:

$$\Delta P = \sum_{i=0}^n \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^n I_i^2 (R_{ii} + 2 \cdot \frac{I_j}{I_i + I_j} R_{ij}) = \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^n K_{ij} \cdot I_i^2, \quad (2.1)$$

unde coeficienții de repartitie sunt descriși de expresiile:

$$K_{ij} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n (K_{ij}^I + Z \cdot \frac{L_j}{L_i + L_j} K_{ij}^II). \quad (2.2)$$

Să elucidăm pierderile alocate nodului de echilibru, considerând rețeaua de curent alternativ conform expresiilor din (2.1-2.2).

$$\Delta P_0 = 2 \cdot I_0^2 \cdot K_0^I + 2 \cdot I_0^2 \cdot K_0^II,$$

unde:

$$K_0^I = \frac{R_{00}}{2} + \left(\frac{I_1}{I_0 + I_1} R_{01} + \frac{I_2}{I_0 + I_2} R_{02} + \frac{I_3}{I_0 + I_3} R_{03} \right);$$

$$K_0^II = \frac{R_{00}}{2} + \left(\frac{I_1^II}{I_0^II + I_1^II} R_{01} + \frac{I_2^II}{I_0^II + I_2^II} R_{02} + \frac{I_3^II}{I_0^II + I_3^II} R_{03} \right).$$

În cazul utilizării metodei de alocare cu utilizarea factorilor de pondere, expresiile ce descriu procedura sunt:

$$\Delta P = -2 \cdot I_0^2 \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n \operatorname{sgn}(L_i L_j) \cdot \frac{|L_j|}{|L_i| + |L_j|} Z_{ij} \quad (2.3)$$

sau în formă vectorială:

$$\Delta \vec{P} = -2(K * Z) \cdot \vec{I} * J^2; \quad (2.4)$$

iar factorii de pondere au forma:

$$K = \left\{ K_{ij} = \operatorname{sgn}(L_i L_j) \frac{|L_j|}{|L_i| + |L_j|} \right\}. \quad (2.5)$$

În rezultat, suma pierderilor alocate nodurilor va fi egală cu aproximativ pierderile totale din rețeaua analizată. Această procedură este una inovativă, iar rezultatele obținute reflectă rezultatele scontate.

Procedura de alocare a pierderilor de putere cu includerea în schemă a unui nod suplimentar este simplă și realizează o partajare a pierderilor echitabilă și justă, în corespundere cu relațiile de piață.

3 Concluzii

Studiile arată ce metoda dată de alocare este în concordanță cu așteptările și cu metodele alternative de alocare. Metoda propusă în această lucrare cu toate acestea poate oferi rezultate semnificativ diferite pentru noduri comparative cu alte noduri. Resubliniem că nici o metodă de alocare nu poate fi considerată exactă, precum și metoda matricială. În final, acceptarea unei abordări de alocare a pierderilor va depinde de corectitudinea percepției de către participanții pieței energiei electrice.

4 Bibliografie

1. Conejo, A.J.; Galiana, F.D.; Kockar, I.: „Z-bus loss allocation” // IEEE Trans. Power Syst., vol. 16, pp.105–110, Feb 2001.
2. В.П. Обоскалов, И.Л. Кирпикова, К.Ю. Коробейников, А.В. Кирпиков: „Матричное распределение потерь мощности в электрических сетях”, Энергосистема: управление, конкуренция, образование
3. A.J Conejo, J.M. Arroyo, N. Alguacil, A.L. Guijarro.: „Transmission Loss Allocation: A Comparison of Different Practical Algorithms.” IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 17, No. 3, August 2002.
4. J. W. Bialek: „Tracing the flow of electricity”, IEE Proc.—Gener., Transm., and Distrib., vol. 143, pp. 313–320, July 1996.
5. Francisco D. G., Antonio J. Conejo and Ivana Kockar: „Incremental Transmission Loss Allocation Under Pool Dispatch”, IEEE, vol. 17, no. 1, february 2002.