

CONTRIBUȚII PRIVIND ANALIZA METODELOR DE TRASABILITATE A CIRCULAȚIILOR DE PUTERE ACTIVĂ

Liudmila VASILICA

Conducător științific: prof. univ. Ion STRATAN

Universitatea Tehnică a Moldovei

Cuvinte cheie: dereglamentarea, trasabilitate, metoda imaginilor, metoda matricială, metodă topologică, matricea de incidență.

Abstract: În multe țări are loc dereglamentarea și restructurarea sistemului energetic. Dereglamentarea și restructurarea sunt paradigme noi în industria energiei electrice. Ele aduc schimbări semnificative. Acestea introduc concurența în domeniul producerii și comerțului cu amănuntul, și necesită accesul liber la rețeaua de transport. Această concurență cauzează multe probleme, printre ele, separarea serviciului de transport. Este cel mai complicat de îndeplinit să se ia măsuri astfel încât sectorul de transport să fie un sector unic și integrat. Dacă cunoaștem că generatorul furnizează puterea unei sarcini anumite sau care este cota de putere din fluxul ce parcurge linia de transport, putem rezolva multe probleme legate de dereglamentare cu ușurință. Metodele de trasabilitate pot oferi aceste informații, dar din cauza neliniarității sistemului de putere, nu există nici o metodă de urmărire exactă, fiecare având avantajele și dezavantajele sale. În continuare vom analiza metodele și vom prezenta analiza comparativă pentru mai multe scheme electrice.

Introducere

Gestionată monopolist, o rețea în general și cea de „transport” în particular (RET – Rețea Electrică de Transport), poate fi analizată cu modele de tip „cutie neagră”. Într-un asemenea model, RET este supusă unui ansamblu de producții/consumuri, fără a prezenta interesul modul în care energia se transmite din nodurile de producție către cele de consum.

La repartizarea puterii active între consumatorii este important să se cunoască:

- ✓ Care este cota fiecărei surse în furnizarea unei sarcini concrete?
- ✓ Care este fluxul de putere de la generator la elementele rețelei electrice?
- ✓ Care sunt pierderile ce apar la transportul puterii de la generator la consumator?

Această informație este necesară pentru:

- a determina răspunderea nodurilor generatoare și consumatoare pentru pierderile în rețeaua electrică;
- a determina costul de tranzit al energiei;
- a evalua responsabilitatea surselor și consumatorilor pentru regimul de funcționare a rețelei;
- a verifica echilibrul local de putere reactivă;
- a determina prețurile nodale.

Interesul în studiul acestor probleme este în mare măsură determinat de dezvoltarea relațiilor de piață la funcționarea sistemului electroenergetic (SEE).

1. Determinarea trasabilității fluxurilor de putere activă cu utilizarea metodei matriciale

Pentru metoda matricială este nevoie de identificat matricea coeficienților de trasabilitate, aceasta se determină cu expresia:

$$A = (M \cdot P_{lat} + P_{con})^{-1} \cdot P_{gen}, \quad (1)$$

unde M este matricea de incidență;

P_{lat} - matricea diagonală a fluxurilor de putere în latură;

P_{con} - matricea diagonală a puterilor consumate;

P_{gen} - matricea diagonală a puterilor generate.

Pentru a determina valorile puterilor este necesar să înmulțim cu matricea diagonală a puterilor consumatoare P_{con} .

Pentru a determina matricea de trasabilitate, care arată cota din unitatea de generare primită de un nod de sarcină, este nevoie de a calcula:

$$A = \left[(M \cdot P_{lat} + P_{gen})^{-1} \right]^T \cdot P_{gen} \quad (2)$$

iar pentru a determina puterile pe care nodurile de sarcină le obțin de la generatoare, vom scrie expresia:

$$P_{con} \cdot A = P_{con} \cdot (M \cdot P_{lat} + P_{gen})^{-1} \cdot P_{gen} \quad (3)$$

2. Determinarea trasabilității fluxurilor de putere activă cu utilizarea metodei topologice

O altă modalitate de a determina puterea ce o absoarbe sarcina, constă în utilizarea algoritmului grafic de trasabilitate. La baza acestui algoritm este calculul fluxurilor și sarcinilor relative.

Fluxul relativ \bar{P}_{ij} se determină ca raportul dintre fluxul de putere a ramurii P_{ij} la puterea sumară a nodului inițial a ramurii $P_{i\Sigma}$.

Sarcina relativă \bar{P}_{Hi} este egală cu raportul puterii sarcinii P_{Hi} la puterea sumară, ce ajunge la nodul consumator $P_{i\Sigma}$.

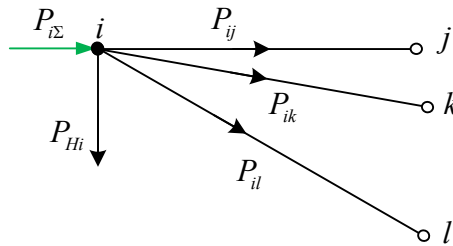


Figura 1 – Determinarea valorilor relative ale fluxurilor și sarcinilor

Pentru determinarea matricei de trasabilitate este nevoie de găsit calea grafului orientat, direcția ramurilor care coincide cu direcția fluxurilor de putere.

Pentru determinarea elementelor matricei de trasabilitate, ce determină cota de putere transmisă de la generator la sarcină, se poate de utilizat expresia (4), unde pentru fiecare contur se caută produsul fluxurilor relative de la începutul ramurii \bar{P}_k^{inc} .

$$a_{ij}^{tran} = \bar{P}_j \cdot \sum_{s=1}^S \prod_{k=1}^{K^s} \bar{P}_k^{inc} \quad (4)$$

Elementele matricei de trasabilitate ce determină cota puterii, pe care nodul de sarcină o primește de la generator, se determină ca produsul fluxurilor relative de la sfârșitul ramurii \bar{P}_k^{sf} .

$$a_{ij}^{prim} = \bar{P}_j \cdot \sum_{s=1}^S \prod_{k=1}^{K^s} \bar{P}_k^{sf} \quad (5)$$

unde \bar{P}_j este sarcina relativă în nodul de sarcină j ,

$\prod_{k=1}^K \bar{P}_k$ – produsul fluxurilor relative din ramuri care parcurg calea, numărul de ramurii este egal cu K .

Pentru determinarea puterii, transmisă din nodul generator către cel consumator, este necesar de înmulțit elementele matricei de trasabilitate a_{ij} la puterea generatorului i , P_i .

$$P_{ij} = P_i \cdot \bar{P}_j \cdot \prod_{k=1}^K \bar{P}_k \quad (6)$$

3. Determinarea trasabilității fluxurilor de putere cu utilizarea matricei de incidență

Puterea expedită de la sursa j consumatorului k se determină cu expresia:

$$[P'_{jk}] = [P_g]_d \cdot [P]_d^{-1} [A']^{-1} [P_c]_d \quad (7)$$

unde $[P]_d$ este matricea diagonală a puterilor totale injectate în nodurile rețelei electrice;

$[P_g]_d$ - matricea diagonală a puterilor furnizate de sursele de energie;

$[P_c]_d$ - matricea diagonală a puterilor consumată de sarcină;

$$\text{iar } [A'] = \left\| [u] + [M_{\Sigma}^+] \cdot [P_l]_d [M_{\Sigma}^-]_t [P]_d^{-1} \right\|$$

Matricea $[P_{jk}]$ este o matrice pătrată de rangul n , elementul jk este numeric egal cu puterea expedită de la sursa j spre consumatorul k .

Puterea primită de consumatorul k de la sursa j se determină cu expresia:

$$[P_{kj}^n] = [P_c]_d [P]_d^{-1} [A'']^{-1} [P_g]_d. \quad (8)$$

$$[A''] \text{ se determină cu expresia } [A''] = \left\| [u] + [M_{\Sigma}^-] [P_l]_d [M_{\Sigma}^+]_t [P]_d^{-1} \right\|.$$

Elementul kj este numeric egal cu puterea primită de sarcina k de la sursă j .

4. Metoda imaginilor în determinarea trasabilității circulațiilor de putere

Esența metodei constă în determinarea ”imaginii” sarcinilor în nodurile generatoare, astfel se obține dependența dintre puterea generată și cea consumată. Modele utilizate în calcul dependenței dintre sarcini și generatoare au interdependență vizibilă între variabilele de intrare și cele de ieșire a rețelei (fluxul de putere, curentul, tensiunea în noduri). Cea mai simplă direcție a acestor modele este cel bazat pe curentul în nod.

Pornind de la expresia:

$$\begin{bmatrix} [I_{gen}] \\ [I_{con}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [Y_{gg}] & [Y_{gc}] \\ [Y_{cg}] & [Y_{cc}] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [U_{gen}] \\ [U_{con}] \end{bmatrix}, \quad (9)$$

unde $I_{gen,j}$, $j = 1, \dots, g$, $U_{gen,j}$, $j = 1, \dots, g$ curentul și respectiv tensiunea în nodurile generatoare,

$I_{con,j}$, $j = g + 1, \dots, g + c$, $U_{con,j}$, $j = g + 1, \dots, g + c$ curentul și tensiunea în nodurile consumatoare,

$[Y_{gg}]$, $[Y_{cg}]$, $[Y_{gc}]$ și $[Y_{cc}]$ submatricele matricei admitanțelor $[Y]$,

putem descrie dependența dintre nodul generator și cel consumator sub forma:

$$I_{gen,k} = \sum_{j=g+1}^{g+c} a_{k,j}^{(g)} \cdot \frac{I_{gen,k}}{I_{gen,k} - I_{gen,k}^{(g)}} \cdot I_{con,j}, j = 2, \dots, g \text{ și } k = 1, \dots, g, \quad (10)$$

$$\text{unde : } I_{gen,k}^{(g)} = \sum_{j=g+1}^{g+c} a_{k,j}^{(g)} \cdot \frac{I_{gen,k}^{(g)}}{I_{gen,k} - I_{gen,k}^{(g)}} \cdot I_{con,j}, j = 2, \dots, g. \quad (11)$$

Pentru a determina cota de putere ce o primește sarcina de la generator se utilizează expresia de mai jos:

$$I_{con,k} = \sum_{j=1}^g a_{k,j}^{(c)} \cdot \frac{I_{con,k}}{I_{con,k} - I_{con,k}^{(c)}} \cdot I_{gen,j}, j = 1, \dots, g \text{ și } k = g + 2, \dots, g + c, \quad (12)$$

$$\text{unde : } I_{con,k}^{(c)} = \sum_{j=1}^g a_{k,j}^{(c)} \cdot \frac{I_{con,k}^{(c)}}{I_{con,k} - I_{con,k}^{(c)}} \cdot I_{gen,j}, j = 1, \dots, g. \quad (13)$$

5. Studiu de caz

Ilustrarea metodelor de trasabilitate se va realiza pe schema electrică, graful careia este prezentată în figura 2, iar rezultatele în tabelul 1.

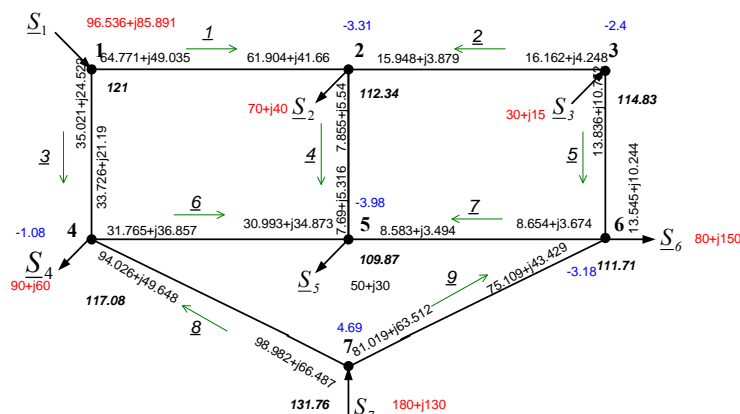


Figura 2 – Graful rețelei electrice cu 7 noduri

Tabelul 1 –Rezultatelor trasabilității pentru schema cu 7 noduri:

Puterea expedită de generator către consumator								
	Metoda matricială				Metoda topologică			
	P _{c1}	P _{c2}	P _{c3}	P _{c4}	P _{c1}	P _{c2}	P _{c3}	P _{c4}
P _{g1}	58,236	22,867	15,433	0	58,238	22,867	15,433	0
P _{g2}	14,532	0	2,981	12,486	14,532	0	2,981	12,485
P _{g3}	0	71,255	35,635	73,11	0	71,256	35,636	73,11
	Metoda imaginilor				Metoda matricei de incidență			
	P _{c1}	P _{c2}	P _{c3}	P _{c4}	P _{c1}	P _{c2}	P _{c3}	P _{c4}
P _{g1}	54,086	19,364	16,836	6,179	58,238	22,867	15,434	0
P _{g2}	9,867	2,207	5,398	12,819	14,533	0	2,982	12,486
P _{g3}	9,705	71,34	31,872	67,078	0	71,256	35,637	73,11
Puterea primită de sarcină de la de generator								
	Metoda matricială				Metoda topologică			
	P _{c1}	P _{c2}	P _{c3}	P _{c4}	P _{c1}	P _{c2}	P _{c3}	P _{c4}
P _{g1}	55,66	22,312	14,476		55,66	22,312	14,476	0
P _{g2}	14,34	0	2,887	12,223	14,34	0	2,887	12,223
P _{g3}	0	67,688	32,637	67,777	0	67,688	32,637	67,777
	Metoda imaginilor				Metoda matricei de incidență			
	P _{c1}	P _{c2}	P _{c3}	P _{c4}	P _{c1}	P _{c2}	P _{c3}	P _{c4}
P _{g1}	63,37	30,845	0	0	55,66	22,312	14,476	0
P _{g2}	16,11	0	0	13,746	14,34	0	2,887	12,224
P _{g3}	42,372	59,154	0	66,253	0	67,688	32,637	67,777

6. Concluzii

În urma analizelor prezentate putem evidenția următoarele concluzii:

- Eficientizarea relațiilor de piață în sectorul electroenergetic este direct dictată de soluționarea problemei trasabilității energiei electrice;
- Metoda matricială și metoda imaginilor de soluționare a problemei trasabilității pot fi utilizate doar în cazul în care nodurile generatoare au legătură directă cu nodurile consumatoare.
- Metoda topologică implică soluționarea a două probleme și anume o analiză minuțioasă a grafului și însăși procedeu de trasabilitate a fluxului de putere. Odată cu creșterea numărului de noduri, soluționarea problemei devine mai complexă.
- În metoda imaginilor nu se ține cont de fluxurile în ramuri, astfel i se poate aloca mai mult sau mai puțin decât circulă pe linia de transport dintre generator și consumator.
- În cazul când sarcina și generatorul sunt racordați la același nod, generatorul alimentează sarcină (metoda imaginilor), însă acest fapt nu este just întotdeauna.
- Metoda matricei de incidență oferă posibilitatea de a soluționa un set de probleme ce țin de trasabilitate.

Bibliografie

1. Choong-Kyo Han, Sang-Ho Lee, Sang-Won Min and Jong-Keun Park *Power Tracing Method considering Reactive Power* International Conference on Electrical Engineering 2004/63.
2. Daniel Kirschen, Ron Allan, Goran Strbac, "Contributions of Individual Generator to Loads and Flows," IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 12, No 1, February. 1997.
3. Клипков С.И., Ришкевич А.И., Семенюк А.В. Особенности определения адресности передачи электроэнергии в электроэнергетических системах переменного тока (ГИВЦ НЭК "Укрэнерго")
4. Гамм А.З., Голуб И.И. Адресность передачи активных и реактивных мощностей в электроэнергетической системе, "Электричество", №3, 2003.
5. Starostiuc A., *Contribuții privind trasabilitatea fluxurilor de energie în sisteme electroenergetice. Teză de doctor în științe tehnice.* Chișinău 2007. – 180 p.
6. Гамм А.З., Голуб И.И. Апостериорный анализ потоков распределения для построения финансово-технологических моделей ЭЭС. Управление электроэнергетическими системами – новые технологии и рынок. – Сыктывкар: Изд-во Коминанаучного центра УрО РАН, 2004.
7. Leonardo-Geo Mănescu, Ciontu M., *La trasabilite de l'energie dans les reseaux electriques.* Revue internationale de Genie Electrique, vol.6 nr 3-4, 2003