

TRASABILITATEA CIRCULAȚIILOR DE PUTERI SUB FORMĂ COMPLEXĂ

Liudmila VASILICA
Conducător științific: prof. univ. Ion STRATAN

Universitatea Tehnică a Moldovei

Cuvinte cheie: dereglamentarea, trasabilitate, puteri sub formă complexă, flux de putere reactivă, matricea de incidență, nod de echilibru, pierderi de puteri reactive, consum tehnologic.

Abstract: Dezvoltarea relațiilor de piață în energetică necesită identificarea reală a tuturor responsabilităților legate de producerea și transportul energiei electrice de la producător la consumator. Printre acestea se numără și trasabilitatea circulațiilor de puteri. Una dintre abordările existente a acestei probleme implică trasabilitatea circulațiilor de puteri sub formă complexă care are ca avantaj îmbinarea atât a puterii active cât și reactive ca o entitate facilitând calcule și analiza acestora. În lucrarea dată se va analiza procedura de trasabilitate a circulațiilor de puteri sub formă complexă și se vor ilucida avantajele utilizării acesteia.

Introducere

În multe țări, industria energiei electrice este în curs de schimbare, schimbarea denumită dereglamentarea și restructurare. Ele aduc schimbări semnificative, introduc concurența în domeniul producerii și comerțului cu amănuntul și necesită acces liber la rețeaua de transport. Concurența în industria energiei electrice cauzează multe probleme, printre care separarea serviciului de transport este cel mai complicat deoarece este un sector unic și integrat. Dacă cunoaștem ce cota de putere generatorul furnizează consumatorului sau cât de mult fiecare generator (sarcină) utilizează rețelele de transport, putem rezolva cu ușurință multe probleme legate de dereglamentare. Procedura utilizată în acest scop este trasabilitatea circulațiilor de puteri sub formă complexă.

Au fost propuși mai mulți algoritmi pentru urmărirea fluxului de puteri. Metode bazate pe fluxul de curent alternativ poate reprezenta impactul unui anumit generator / sarcină asupra fluxurilor de putere, dar nu pot determina partea de putere a unei sarcini, asigurată de nodul generator. Unele metode de urmărire a fluxului utilizează teoria grafurilor, care este potrivită pentru sistemul de putere la scară largă. Metoda care introduce "noduri fictive" necesită un calcul matricial invers, care implică timp și complexitatea pentru sistemele de dimensiuni mari.

Cele mai multe dintre metodele de trasare acceptă principiul schimbului proporțional, care presupune că puterea activă și reactivă sunt decuplate și fluxul este proporțional cu fluxul dintr-un nod. Deci, este nevoie de o nouă metodă de urmărire ce ia în considerare puterea sub formă complexă.

În lucrare se propune utilizarea trasabilității fluxurilor de puteri în formă complexă pentru a putea identifica și ilustra influența atât a puterii active cât și a celei reactive asupra regimului de funcționare, capacitatea de încărcare a rețelei și într-un final estimarea costului energiei active și reactive echitabil.

1. Algoritm de trasabilitate a circulațiilor de puteri sub formă complexă

În continuare se exemplifică relațiile ce se utilizează la soluționarea trasabilității fluxurilor de puteri sub formă complexă. Soluționarea problemei aferente trasabilității fluxurilor de putere se începe cu efectuarea calculului regimului permanent în scopul determinării fluxurilor de putere la extremitățile laturilor.

Trasabilitatea fluxurilor de puteri sub formă complexă nesemnificativ se deosebește de trasabilitatea fluxurilor de putere activă. Această deosebire este condiționată de trasabilitatea fluxurilor de puteri reactive ce implică:

- necesitatea evidenței puterilor reactive, care se generează sau se consumă în ramurile transversale ale schemelor echivalente aferente elementelor componente ale rețelelor electrice;
- faptul că, puterea reactivă se generează nu numai în nodurile generatoare, dar și în cele în care sunt amplasate surse de putere reactivă;
- faptul că, în unele cazuri fluxurile de putere reactivă de la extremitățile liniei sunt îndreptate în linie, suma lor este egală cu valoarea pierderilor de putere reactivă în linie.

De asemenea la soluționarea problemei de trasabilitate a fluxurilor de puteri sub formă complexă este necesar de efectuat următoarele:

- determinarea sarcinilor de calcul atât pentru nodurile generatoare, cât și consumatoare, inclusiv și pentru nodul de echilibru, utilizând rezultatele calculului regimului permanent de funcționare al rețelei analizate;

- identificarea liniilor electrice, în care fluxurile de putere de la extremitățile lor sunt îndreptate în linie. Dacă sunt astfel de linii, atunci la mijlocul lor se introduce un nod suplimentar, sarcina căruia este egală cu valoarea pierderilor de putere.

Relațiile ce definesc trasabilitatea circulațiilor de puteri sub formă complexă sunt:

- ❖ Determinarea puterii primite de nodul i de la sursa j :

$$[S''_{ij}] = [A'']^{-1} [S_g]_d, \quad (1)$$

unde $[A''] = \left\| [u] + [M_{\Sigma}^-] [S'_l]_d [M_{\Sigma}^+]_t [S]_d^{-1} \right\|$.

$[S''_{ij}]$ este o matrice pătrată de rangul n , elementul ij al acestei matrice reprezintă cota puterii ce vine în nodul i de la producătorul j .

- ❖ Determinarea puterii expediate de la sursa j spre nodul i

$$[S'_{ij}] = [B']^{-1} [S_g]_d, \quad (2)$$

unde $[B'] = \left\| [u] + [M_{\Sigma}^-] [S'_l]_d [M_{\Sigma}^+]_t [S]_d^{-1} \right\|$.

Matricea $[S'_{ij}]$ este o matrice pătrată de rangul n , elementul ij este numeric egal cu puterea expedită de producătorul j către nodul i .

- ❖ Determinarea puterii expediate de la nodul i spre consumatorul k

$$[S'_{ik}] = [A']^{-1} [S_c]_d, \quad (3)$$

unde $[A'] = \left\| [u] + [M_{\Sigma}^+] [S'_l]_d [M_{\Sigma}^-]_t [S]_d^{-1} \right\|$.

Matricea $[S'_{ik}]$ este o matrice pătrată de rangul n , elementul ik al acestei matrice este numeric egal cu puterea expedită de la nodul i spre consumatorul k .

- ❖ Determinarea puterii primite de consumatorul k de la nodul i

$$[S''_{ik}] = [B'']^{-1} [S_c]_d, \quad (4)$$

unde $[B''] = \left\| [u] + [M_{\Sigma}^-] [S''_l]_d [M_{\Sigma}^+]_t [S]_d^{-1} \right\|$.

Matricea $[S''_{ik}]$ este o matrice pătrată de rangul n , elementul ki este numeric egal cu puterea primită de nodul k de la nodul i .

- ❖ Determinarea puterii primite de consumatorul k de la sursa j

$$[S''_{kj}] = [S_c]_d [S]_d^{-1} [A'']^{-1} [S_g]_d. \quad (5)$$

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

- ❖ Determinarea puterii expediate de la sursa j consumatorului k

$$[S'_{jk}] = [S_g]_d \cdot [S]_d^{-1} [A']^{-1} [S_c]_d. \quad (6)$$

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

- ❖ Determinarea puterilor de la extremitățile liniei l , condiționate de sarcina k

$$[S'_{lk}] = [S'_l]_d [M_{\Sigma}^+]_t [S]_d^{-1} [A']^{-1} [S_c]_d. \quad (7)$$

2. Studiul de caz

Funcționalitatea trasabilității circulațiilor de puteri sub formă complexă se va ilustra pentru o rețea electrică test, graful careia este prezentată în figura 1.

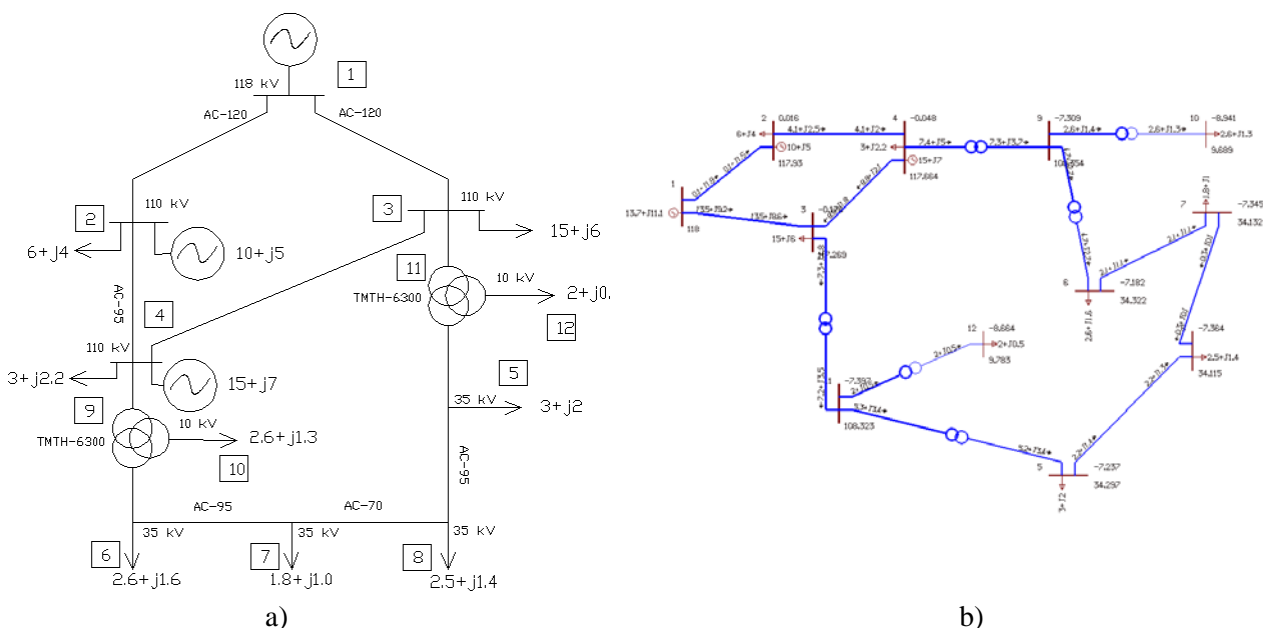


Figura 1 – Graful rețelei electrice, formată din 12 noduri
a) graful rețelei electrice test; b) schema obținută în programul RASTRWIN

Rezultatele trasabilității sunt prezentate în tabelele de mai jos.

Tabelul 1 – Rezultatelor trasabilității pentru schema cu 12 noduri:

Pierderile cauzate de tranzitul puterii de la generator la consumator									
	S_{c1}	S_{c2}	S_{c3}	S_{c4}	S_{c5}	S_{c6}	S_{c7}	S_{c8}	S_{c9}
S_{g1}	0	0,038+i0,05	0,00002+i0,0003	0,034+i0,573	0,0001+i0,02	0,0001+i0,013	0,03+i0,399	0,0001+i0,021	0,017+i0,197
S_{g2}	0	0,006+i0,003	0,001+i0,001	0,004+i0,03	0,008+i0,114	0,007+i0,075	0,005+i0,025	0,007+i0,12	0,002+i0,01
S_{g3}	0	0,013+i0,011	0	0,016+i0,108	0,027+i0,407	0,025+i0,266	0,018+i0,091	0,022+i0,431	0,008+i0,037

Tabelul 2 – Rezultatelor trasabilității pentru schema cu 12 noduri, în cazul majorării cu 1 Mvar în nodul 5:

Pierderile cauzate de tranzitul puterii de la generator la consumator									
	S_{c1}	S_{c2}	S_{c3}	S_{c4}	S_{c5}	S_{c6}	S_{c7}	S_{c8}	S_{c9}
S_{g1}	0,001+i0,001	0,04+i0,05	0+i0,001	0,037+i0,842	0+i0,03	0+i0,02	0,02+i0,278	0+i0,032	0,018+i0,196
S_{g2}	0	0,006+i0,004	0,001+i0,002	0,005+i0,041	0,009+i0,118	0,008+i0,077	0,005+i0,051	0,008+i0,126	0,003+i0,009
S_{g3}	0	0,013+i0,009	0	0,017+i0,131	0,03+i0,383	0,028+i0,249	0,015+i0,163	0,024+i0,409	0,008+i0,031

Tabelul 3 – Rezultatelor trasabilității pentru schema cu 12 noduri, în cazul majorării cu 1 Mvar în toate nodurile consumatoare:

Pierderile cauzate de tranzitul puterii de la generator la consumator									
	S_{c1}	S_{c2}	S_{c3}	S_{c4}	S_{c5}	S_{c6}	S_{c7}	S_{c8}	S_{c9}
S_{g1}	0,004+i0,005	0,063+i0,068	0+i0,004	0,058+i1,016	0,001+i0,197	0,001+i0,158	0,053+i0,838	0,001+i0,225	0,029+i0,622
S_{g2}	0	0,008+i0,002	0,002+i0,003	0,008+i0,009	0,015+i0,197	0,014+i0,158	0,01+i0,009	0,013+i0,225	0,004+i0,006
S_{g3}	0	0,013+i0,006	0	0,025+i0,023	0,047+i0,49	0,044+i0,393	0,031+i0,023	0,039+i0,562	0,012+i0,014

Tabelul 4 – Analiza comparativă a determinării pierderilor de putere reactivă prin trasabilitate și în conformitate cu instrucțiunea ANRE:

<i>Pentru nodul 5:</i>		<i>Regimul inițial</i>	<i>Majorăm sarcina în nod cu 1Mvar</i>	<i>Majorăm sarcina în toate nodurile cu 1Mvar</i>
Instrucțiunea privind calcularea consumului tehnologic de energie electrică în rețelele în dependentă de valoarea factorului de putere	Pierderile de putere reactivă (consum tehnologic), Mvar	0,299	1,299	1,299
	Costul pierderilor, mii lei	0,0472	0,205	0,205
Trasabilitatea fluxurilor de puteri	Pierderile de putere reactivă, Mvar	0,711	1,014	1,048
	Costul pierderilor, mii lei	0,112	0,160	0,165

3. Concluzii

În urma analizelor prezentate putem evidenția următoarele concluzii:

- Eficientizarea relațiilor de piață în sectorul electroenergetic este direct dictată de soluționarea problemei trasabilității fluxurilor de puteri;
- Trasabilitatea fluxurilor de puteri sub formă complexă se deosebește nesemnificativ de cea a fluxurilor de putere activă, dificultate apare doar la calculul regimului.
- Rețelele de transport nu au o capacitate nelimitată de transport a energiei, de aceea orice încărcare a rețelei este măsurată de distribuitor și taxată după tarife reglementate. Prin intermediul trasabilității circulațiilor de puteri se poate depista și estima tronsoanele aflate la limita capacității de transport. Se pot identifica măsuri privind diminuarea circulațiilor de puteri în tronsoanele încărcate. De asemenea se vor identifica pierderile reale active și reactive și prețul de cost al acestora.

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 Generatorsto 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 потокораспределения 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