

**ALGORITM ȘI PROGRAM DE CALCUL DESTINATE ANALIZEI
REGIMURILOR PERMANENTE SIMETRICE DE FUNCȚIONARE
ALE SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE FOLOSIND
METODA TENSIUNILOR NODALE**

1. Introducere

Pentru caracterizarea completă a stării electrice a unei rețele complexe, cuprinzând sursele generatoare, consumatorii (*elementele active*), precum și rețeaua electrică de transfer, formată din linii și transformatoare (*elementele pasive*), este necesar ca, în urma efectuării unor analize de regim, să se determine valorile mărimilor de stare electrică, în toate nodurile și laturile acesteia.

Calculul regimului permanent al unui sistem de distribuție constă, în esență, în determinarea valorilor tuturor mărimilor de stare care definesc regimul, pornind de la anumite informații primare privind elementele active și pasive ale sistemului analizat. Aceste informații permit elaborarea modelului matematic de regim permanent sub forma unui sistem de ecuații algebrice, în general neliniar, care descrie funcționarea schemei echivalente monofazate a sistemului studiat.

Rezolvarea unor astfel de modele matematice neliniare de regim permanent se poate efectua în cadrul unui algoritm de aproximații succesive, care are ca punct de plecare soluția de primă aproximație. De menționat faptul că fiecare nouă aproximație a soluției se obține practic perin rezolvarea unui sistem de ecuații liniare.

În situația când sarcinile nodale sunt precizate sub formă de puteri active și reactive, modelele matematice de regim permanent fiind totdeauna neliniare, pentru analiza regimurilor permanente de funcționare a rețelelor electrice se folosesc două categorii de metode numerice și anume : *metode directe* și *metode iterative*.

Metodele directe permit obținerea soluțiilor după efectuarea unui număr finit de operații aritmetice elementare, sistemul inițial de ecuații transformându-se într-un sistem echivalent, care poate fi rezolvat pe o cale simplă. Aceste metode utilizează ecuațiile de regim sub formă liniară, scrise pentru curenți, utilizând matricea inversă factorizată și nefactorizată. Dezavantajul principal al utilizării acestor metode constă în faptul că necesită inversări de matrice complexe, ceea ce implică creșterea timpului de calcul și a memoriei utilizate în sistemele de calcul. Totuși, metodele care fac parte din această categorie au aplicații importante, mai ales pentru analiza regimurilor permanente de funcționare ale rețelelor electrice din sistemul electroenergetic. În acest scop, în literatura de specialitate sunt menționate următoarele metode: *metoda tensiunilor nodale*, *metoda curenților ciclici*, *metoda perechilor de noduri* etc. Dintre acestea, cea mai largă utilizare o are *metoda tensiunilor nodale*.

Metodele iterative permit obținerea soluțiilor după efectuarea unui număr nedeterminat de operații, prin pași succesivi, care apropie rezultatul de valoarea finală. Din această categorie fac parte *metodele de tip Seidel-Gauss* și *metodele de tip Newton – Raphson*. Aceste metode permit utilizarea ecuațiilor de regim sub formă de puteri, iar memoria ocupată în calculatoarele numerice este mai mică în comparație cu metodele directe, fiind proporțională cu dimensiunile rețelei electrice analizate. Ținând seama de avantajele prezentate, practic, toate programele de calcul comerciale, pentru calculul regimului permanent, au la bază una din aceste metode. Dezavantajele metodelor iterative sunt legate de problemele de convergență și de numărul de pași sau iterații necesare pentru obținerea soluției.

Metodele iterative permit determinarea soluției $x^{(p)}$, după parcurgerea unui număr de pași (iterații) succesivi: 1, 2, 3, Teoretic, numărul iterațiilor care urmează să se efectueze pentru găsirea

soluției este infinit. În practică, calculul iterativ continuă până când, într-o anumită iterație p , soluția aproximativă $x^{(p)}$ devine suficient de apropiată de soluția exactă, conform condițiilor:

$$|x_i^{(p)} - x_i^{(p-1)}| \leq \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}$$

în care ε_i reprezintă erorile impuse, care definesc precizia dorită.

Convergența procesului de calcul este legată de îndeplinirea condițiilor stabilite în cadrul teoremelor de convergență. Una dintre cele mai cunoscute metode iterative este *metoda Seidel-Gauss*.

Pentru exemplificare, se consideră un sistem de ecuații liniare, scris sub formă matriceală, astfel:

$$Ax = b \text{ sau } \sum_{k=1}^n a_{ik} x_k = b_i; \quad a_{ii} \neq 0; \quad i = \overline{1, n}$$

unde: A – matricea coeficienților sistemului liniar de ecuații, aceasta fiind o matrice reală, pătrată, nesingulară, având n linii și n coloane;

b – vectorul coloană al termenilor liberi din sistemul de ecuații liniare;

x – vectorul coloană al necunoscutelor sistemului de ecuații liniare.

Scriind sistemul liniar de ecuații în formă recurentă, se obține:

$$x = Bx + c$$

în care matricea B are elementele $b_{ii} = 0$, $b_{ik} = \frac{a_{ik}}{a_{ii}}$, $k \neq i$, $i = \overline{1, n}$, iar componentele vectorului c sunt de

următoarea formă: $c_i = \frac{b_i}{a_{ii}}$, $i = \overline{1, n}$.

Conform formei recurente a sistemului de ecuații, rezultă relația folosită în procesul iterativ de calcul al metodei Seidel-Gauss și anume:

$$x_i^{(p)} = \frac{1}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{k=1}^{i-1} a_{ik} x_k^{(p)} - \sum_{k=i+1}^n a_{ik} x_k^{(p-1)} \right), \quad i = \overline{1, n}$$

În cazul metodei Seidel-Gauss, condițiile necesare și suficiente de convergență sunt de forma următoare:

$$\sum_{k=1}^n |b_{ik}| < 1, \quad i = \overline{1, n} \quad \text{sau} \quad \sum_{i=1}^n |b_{ik}| < 1, \quad k = \overline{1, n}$$

Condițiile de convergență menționate anterior se mai pot pune și sub următoarea formă:

$$|a_{ii}| > \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |a_{ik}| \quad \text{sau} \quad |a_{ii}| > \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |a_{ki}|, \quad i = \overline{1, n}$$

Conform acestor condiții, dacă matricea coeficienților A este diagonal dominantă, atunci metoda Seidel-Gauss este convergentă, oricare ar fi aproximația inițială $x^{(0)}$.

În cazul sistemelor de ecuații de dimensiuni mari, teoremele care stabilesc condițiile necesare și suficiente de convergență a metodelor iterative sunt, practic, imposibil de aplicat. În aceste situații,

dacă condițiile anterioare nu sunt îndeplinite, convergența sau divergența calculului iterativ se poate constata prin observații directe asupra procesului de calcul și limitarea numărului de iterații.

2. Metoda tensiunilor nodale

Conform ecuației matriceale $[\underline{j}_n] = [\underline{Y}_n] \cdot [\underline{U}_n]$, reprezentând ecuația tensiunilor nodale, curentul injectat într-un nod oarecare i al rețelei se poate scrie sub forma:

$$\underline{J}_i = \underline{Y}_{ii} \underline{U}_i - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \underline{Y}_{ik} \underline{U}_k, \quad i = \overline{1, n} \quad (1)$$

În sistemul de ecuații (1), se separă ecuația nodului de echilibru de restul ecuațiilor ce descriu funcționarea nodurilor de tip PQ și PU . De asemenea, se scriu separat termenii corespunzători nodului de echilibru, din sumele aflate în membrul drept:

$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{J}_i = \underline{Y}_{ii} \underline{U}_i - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i, e}}^n \underline{Y}_{ik} \underline{U}_k - \underline{Y}_{ie} \underline{U}_e, \quad i = \overline{1, n}, i \neq e \\ \underline{J}_e = \underline{Y}_{ee} \underline{U}_e - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq e}}^n \underline{Y}_{ek} \underline{U}_k \end{array} \right. \quad (2)$$

Considerând tensiunea nodului de echilibru o mărime reală, fixată ($\underline{U}_e = U_e |Q$) și prin înlocuirea în sistemul (2) a expresiilor:

$$\underline{J}_i = \frac{\underline{S}_i^*}{\underline{U}_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{\underline{U}_i^*}, \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

se obține sistemul neliniar de ecuații nodale, având următoarea formă:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\underline{S}_i^*}{\underline{U}_i^*} = \underline{Y}_{ii} \underline{U}_i - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i, e}}^n \underline{Y}_{ik} \underline{U}_k - \underline{Y}_{ie} \underline{U}_e, \quad i = \overline{1, n}, i \neq e \\ \frac{\underline{S}_e^*}{\underline{U}_e^*} = \underline{Y}_{ee} \underline{U}_e - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq e}}^n \underline{Y}_{ek} \underline{U}_k \end{array} \right. \quad (4)$$

În plus, la sistemul neliniar de ecuații (4) se atașează restricțiile specifice impuse puterilor reactive injectate în nodurile de tip PU :

$$Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max} \quad (5)$$

în care Q_i^{\min} , Q_i^{\max} reprezintă limitele minimă, respectiv maximă ale puterii reactive generate.

Rezolvarea sistemului de ecuații nodale (4) se efectuează, de regulă, în două etape. Prima etapă constă în rezolvarea sistemului de $n-1$ ecuații corespunzătoare nodurilor de tip PQ și PU , în prezența restricțiilor (5), prin aproximări succesive, urmărindu-se determinarea tensiunilor nodale ale nodurilor de tip PQ și PU , în total fiind $2(n-1)$ necunoscute. În cea de-a doua etapă, se folosește ecuația nodului de echilibru, din care rezultă puterea activă și, respectiv, reactivă, injectate în acest nod.

3 Algoritmul metodei tensiunilor nodale și schema logică de calcul

Se consideră o rețea electrică care conține $N = n - 1$ noduri, dintre care n_{PQ} sunt de tip PQ , iar n_{PU} de tip PU , iar e este numărul nodului de echilibru ($N = n_{PQ} + n_{PU} = n - 1$).

Pentru rețeaua electrică definită anterior, considerând tensiunea nodului de echilibru o mărime reală fixată ($\underline{U}_e = U_e |0$), se prezintă, în cele ce urmează, algoritmul metodei tensiunilor nodale care, pentru calculul regimului permanent, cuprinde următoarele etape:

1. Citirea datelor de intrare (date generale, date nodale și date laturi).
2. Formarea matricei admitanțelor nodale $[\underline{Y}_n]$ și calculul inversei acesteia $[\underline{Z}_n] = [\underline{Y}_n]^{-1}$.
3. Inițializarea procesului iterativ
 - 3.1 Stabilirea indicelui curent al iterației $p = 0$.
 - 3.2 Stabilirea valorilor inițiale ale tensiunilor nodale:

$$\underline{U}_i^{(0)}, i = \overline{1, n}, i \neq e$$

4. Calculul puterii aparente în nodul de echilibru, folosind valorile inițiale ale tensiunilor nodale, cu ajutorul următoarei expresii:

$$\underline{S}_e^{init} = \underline{S}_e^{(0)} = U_e^2 \underline{Y}_{ee}^* - \underline{U}_e \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq e}}^n \underline{Y}_{ek}^* \underline{U}_k^{(0)*}$$

5. Inițializarea numărului curent al nodurilor: $i = 1$.
6. Dacă nodul i este nod de echilibru ($i = e$), se trece la pasul 10.
7. Dacă nodul i este de tip consumator, se trece la pasul 9.
8. Tratarea nodurilor de tip PU :

8.1 Corectarea modulului tensiunii nodale \underline{U}_i :

$$\underline{U}_i^{cor} = \frac{U_i^{impus}}{U_i^{(p)}} \underline{U}_i^{(p)}$$

8.2 Calculul puterii reactive în nodul i , prin utilizarea tensiunii corectate a acestuia:

$$Q_i^{(p)} = \text{Im} \left\{ \left(\underline{U}_i^{cor} \right)^2 \underline{Y}_{ii}^* - \underline{U}_i^{cor} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i, e}}^n \underline{Y}_{ik}^* \underline{U}_k^{(p)*} \right\}$$

- 8.3 Dacă $Q_i^{min} \leq Q_i^{(p)} \leq Q_i^{max}$, pentru nodul i se stabilește $\underline{U}_i^{(p)} = \underline{U}_i^{cor}$ și se trece la pasul 10.
- 8.4 Dacă $Q_i^{(p)} < Q_i^{min}$, se stabilește $Q_i^{(p)} = Q_i^{min}$ și se trece la pasul 8.6.
- 8.5 Dacă $Q_i^{(p)} > Q_i^{max}$, se stabilește $Q_i^{(p)} = Q_i^{max}$ și se trece la pasul 8.6.
- 8.6 Se consideră nodul i ca fiind de tip consumator, cu tensiunea nodală $\underline{U}_i^{(p)}$ necorectată.
- 8.7 Puterea aparentă corespunzătoare nodului i este de forma:

$$\underline{S}_i^{(p)} = P_i + jQ_i^{(p)}$$

9. Determinarea curentului injectat în nodul i se realizează cu relația:

$$\underline{J}_i^{(p)} = \frac{\underline{S}_i^{(p)*}}{\underline{U}_i^{(p)*}}$$

10. Dacă $i < n$, se stabilește $i = i + 1$ și se revine la pasul 6.
11. Inițializarea numărului curent al nodurilor: $i = 1$.
12. Dacă nodul i este de echilibru ($i = e$), se trece la pasul 14.
13. Determinarea tensiunii nodului i , cu o relație de forma:

$$\underline{U}_i^{(p+1)} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq e}}^n \underline{Z}_{ik} \underline{J}_k^{(p)} + \underline{U}_e$$

14. Dacă $i < n$, se stabilește $i = i + 1$ și se trece la pasul 12.
15. Calculul puterii aparente în nodul de echilibru, folosind valorile tensiunilor nodale din iterația $p + 1$, cu ajutorul următoarei expresii:

$$\underline{S}_e^{final} = \underline{S}_e^{(p+1)} = U_e^2 \underline{Y}_{ee}^* - U_e \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq e}}^n \underline{Y}_{ek}^* \underline{U}_k^{(p+1)*}$$

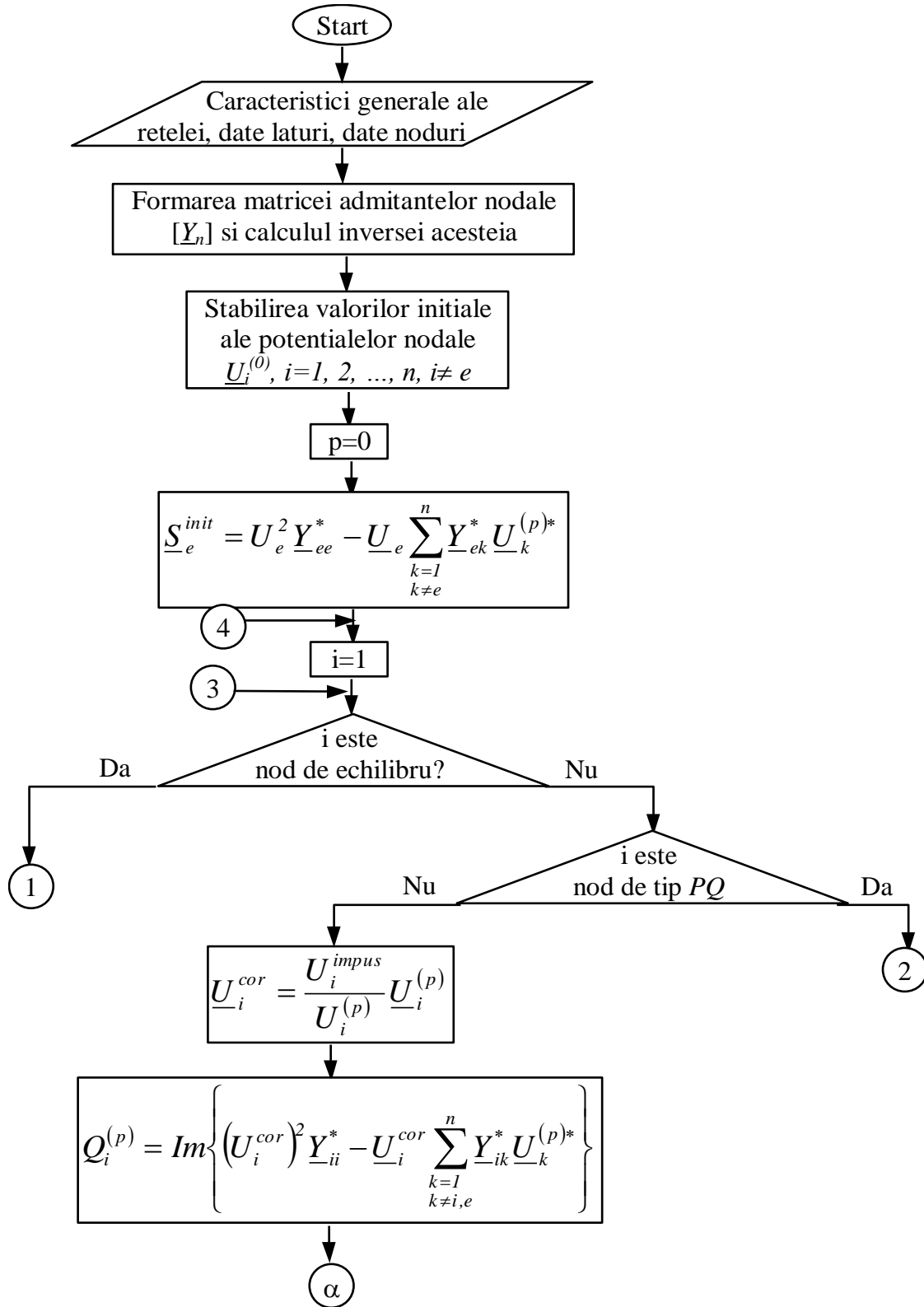
16. Dacă inegalitatea $|\underline{S}_e^{final} - \underline{S}_e^{init}| \leq \varepsilon$ este îndeplinită, se trece la pasul 18.
17. Se stabilește $\underline{S}_e^{init} = \underline{S}_e^{final}$, se crește cu o unitate indicele curent al iterației ($p = p + 1$) și se trece la pasul 5.
18. Calculul circulațiilor de puteri în laturile rețelei.
19. Tipărirea rezultatelor finale ale calculului de regim permanent.

Schema logică pentru calculul regimului permanent simetric de funcționare într-o rețea electrică, folosind metoda tensiunilor nodale, este reprezentată în Figura 1.

4. Descrierea și modul de utilizare al programului de calcul UNOD

Programul de calcul *UNOD* este scris în limbajul *TURBO PASCAL*, are o interfață cu caracter pronunțat conversațional și permite analiza regimurilor simetrice de funcționare ale rețelelor electrice care aparțin sistemului electroenergetic. Informațiile necesare calculului regimului permanent, pentru o rețea electrică, se grupează pe categorii de date. O parte dintre acestea se introduc de către utilizatorul programului de calcul, direct de la tastatura calculatorului, iar o altă parte este citită în timpul execuției programului din fișierele de date, înregistrate pe un suport magnetic. O variantă posibilă a setului de date de intrare, introduse de la tastatură, este următoarea:

- *Date generale*: n – numărul total de noduri din rețea; l – numărul total de laturi din rețea; e – numărul nodului de echilibru; U_e – tensiunea nodului de echilibru; ε - erorile maxime admise la verificarea convergenței calculului iterativ, impuse, de regulă, asupra bilanțului puterilor nodale.
- *Date nodale*, reprezentând valorile mărimilor asociate nodurilor. Pentru fiecare nod se introduce un set de date, care conține următoarele informații: i – numărul nodului; P_{g_i} - puterea activă generată; Q_{g_i} - puterea reactivă generată; P_{c_i} - puterea activă consumată; Q_{c_i} - puterea reactivă consumată; Q_i^{min} - valoarea minimă a puterii reactive nodale; Q_i^{max} - valoarea maximă a puterii



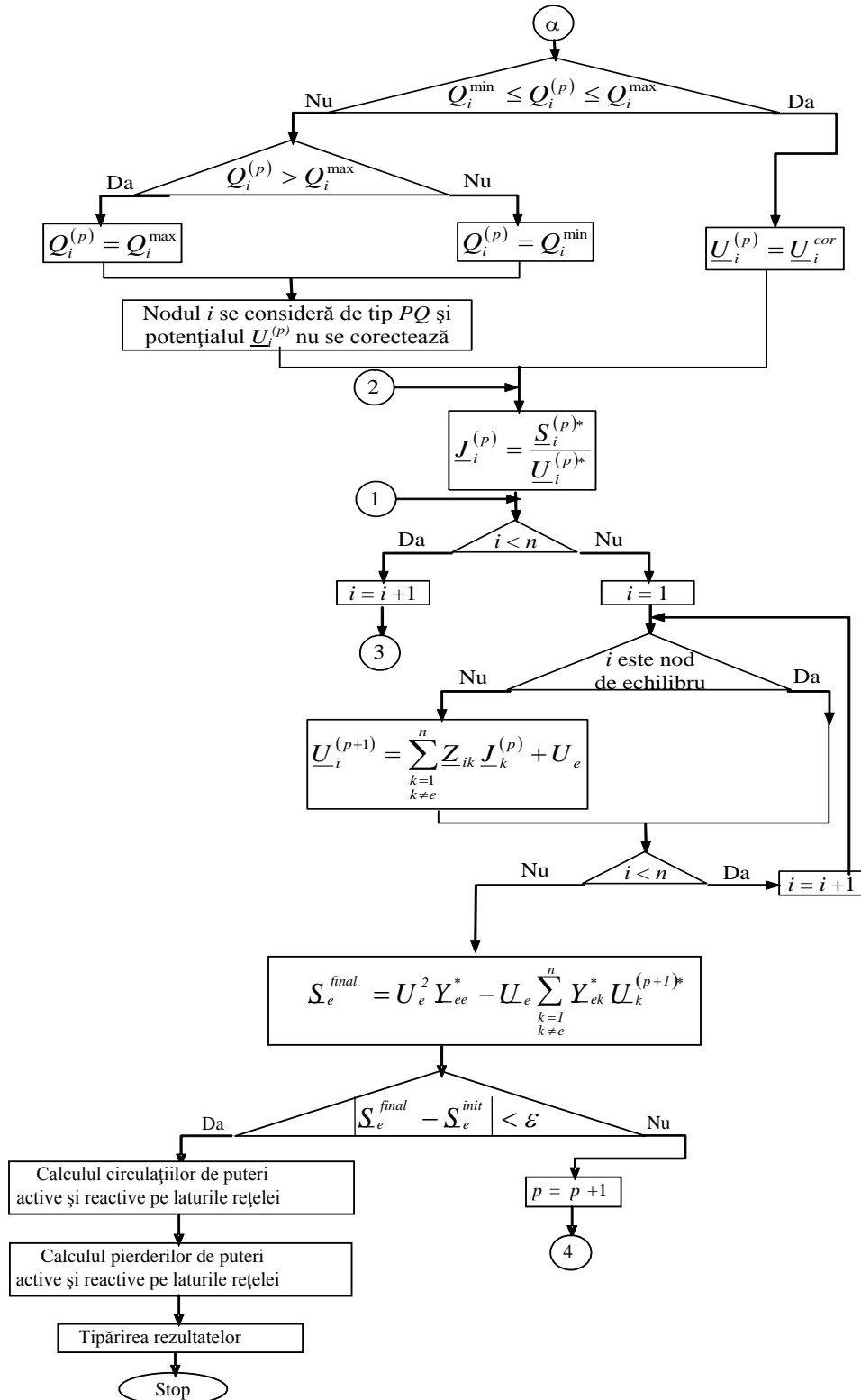


Figura 1 Schema logică de calcul al regimului permanent simetric pentru o rețea electrică, prin metoda tensiunilor nodale

reactive nodale; U_i – modulul tensiunii nodului i , valoare care se păstrează constantă dacă nodul i este de tip PU sau nod de echilibru, iar pentru nodurile de tip PQ reprezintă prima aproximație a tensiunii nodale, egală cu tensiunea nominală sau medie a treptei de tensiune la care este racordat nodul.

- *Date laturi*, reprezentând valorile mărimilor asociate elementelor rețelei: linii, transformatoare, bobine de reactanță, baterii de condensatoare. Pentru fiecare latură din rețeaua analizată se introduce un set de date, care conține următoarele informații: i, j – numerele de ordine ale nodurilor între care este conectat elementul rețelei electrice; TIP – caracter care definește tipul elementului sau legăturii (L – linie, T – transformator, C – baterie de condensatoare, B – bobină de reactanță; pentru B și C nodul $j = 0$); $TIPF$ – tipul din fișier al elementului specificat, reprezentând numărul înregistrării acestuia în fișierul de linii, dacă $TIP = L$ sau în fișierul de transformatoare, dacă $TIP = T$; NRC – numărul de circuite identice în paralel; $PLOT$ – plotul de funcționare al transformatorului, dacă $TIP = T$; REG – indicator al tipului de reglaj, dacă $TIP = T$: $REG = 0$ – reglaj longitudinal, $REG = 1$ – reglaj de unghi cu $2\pi/3$, $REG = 2$ – reglaj de unghi cu $-2\pi/3$; L – lungimea liniei electrice în km, dacă TIP a fost specificat prin B sau C și $j = 0$, atunci L este reactanța X [Ω] a reactorului sau bateriei de condensatoare șunt.

Datele de intrare se introduc sub formă modulară, în ferestre, a căror structură este prezentată, în detaliu, în cele ce urmează.

În Figura 2 este prezentat modulul pentru introducerea *datelor generale* ale rețelei electrice care urmează a fi studiată, în scopul analizei regimurilor permanente simetrice de funcționare.



Figura 2. Introducerea, sub formă modulară a datelor generale ale rețelei analizate

Pentru fiecare *nod* din rețeaua analizată, se introduce un set de date, reprezentând valorile mărimilor electrice asociate nodului respectiv. În acest scop, sunt folosite module ce au o structură, care este dependentă de tipul nodului – PQ sau PU , modulele respective fiind prezentate în Figurile 3a și 3b.

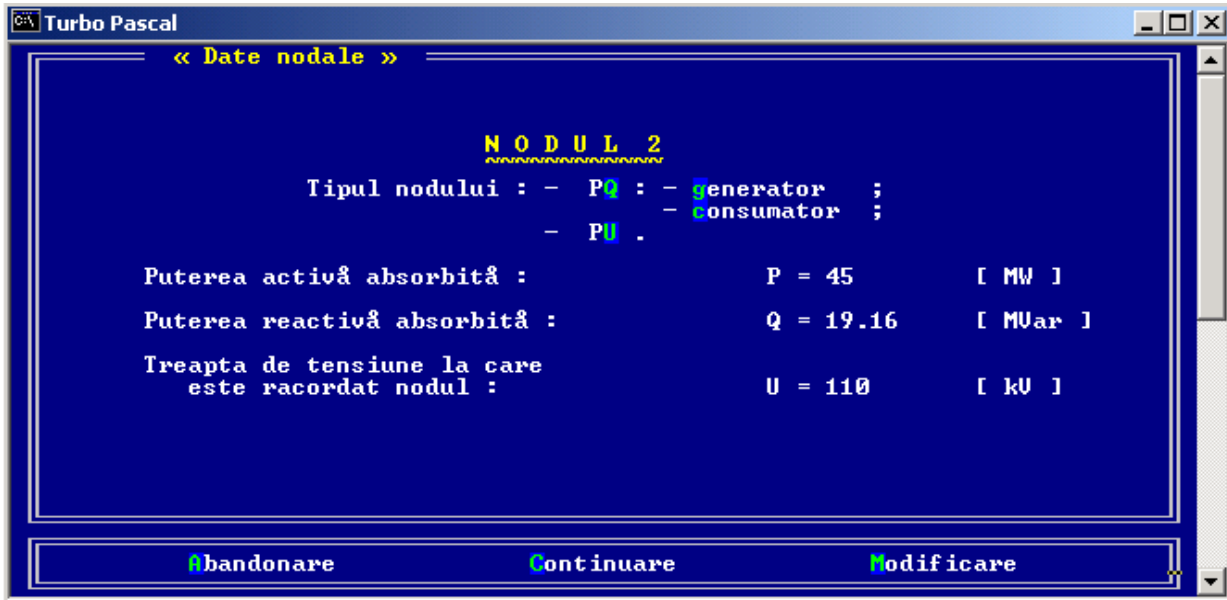


Figura 3a. Modul pentru introducerea setului de date caracteristice fiecărui nod de tip PQ din rețeaua analizată

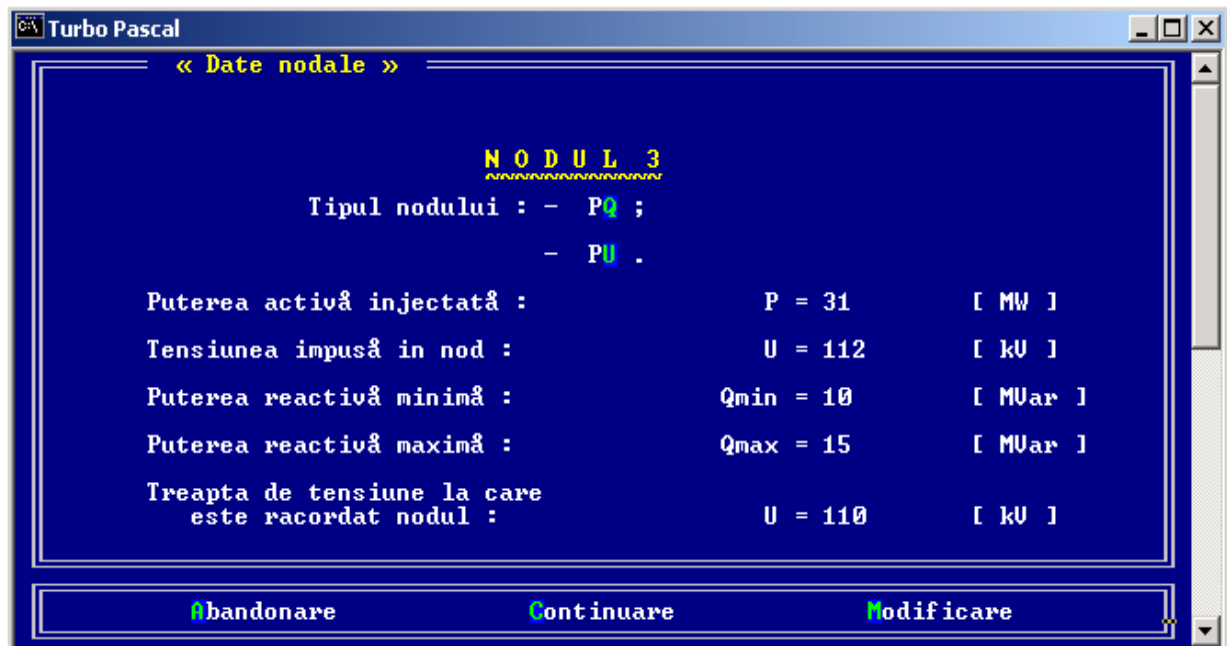


Figura 3b. Modul pentru introducerea setului de date caracteristice fiecărui nod de tip PU din rețeaua analizată

Pentru fiecare latură din rețeaua electrică analizată, se introduce câte un set de date, reprezentând valorile mărimilor electrice asociate laturii respective, tipul ei, precum și perechea unică de noduri de la extremitățile acesteia. În Figurile 4a și 4b se prezintă modulele corespunzătoare laturilor rețelei și anume pentru laturile de tip linie, respectiv de tip transformator.

Pentru laturile care conțin bobine de reactanță și baterii de condensatoare șunt, modulele sunt asemănătoare, cu deosebirea că nodul extrem al laturii respective $j = 0$, specificându-se pentru aceste laturi numai reactanța lor, în Ω .

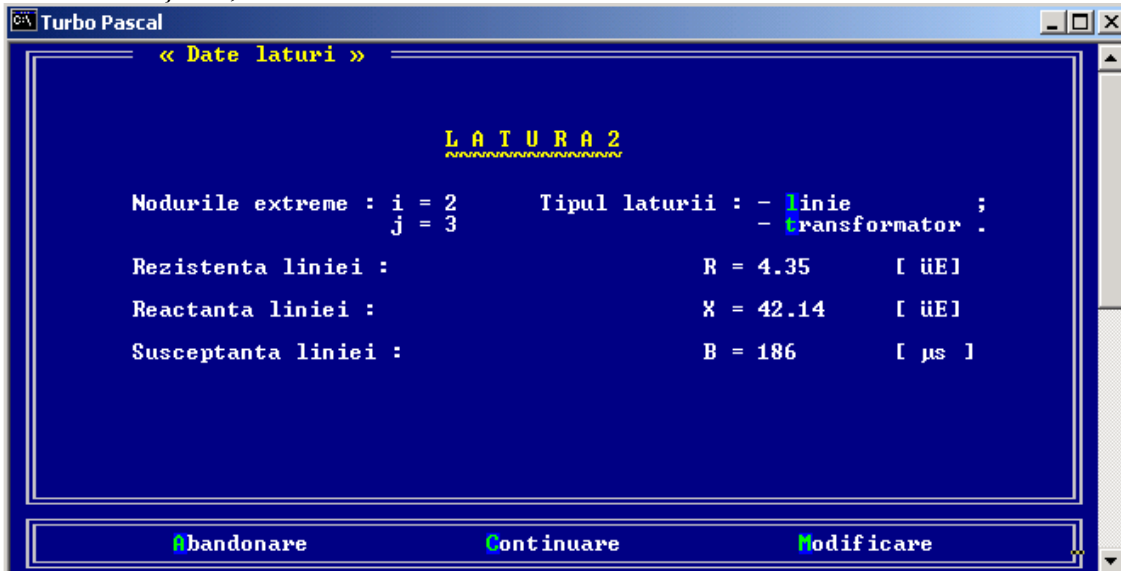


Figura 4a. Modul pentru introducerea setului de date caracteristice fiecărei laturi din rețeaua analizată, de tip linie (L)

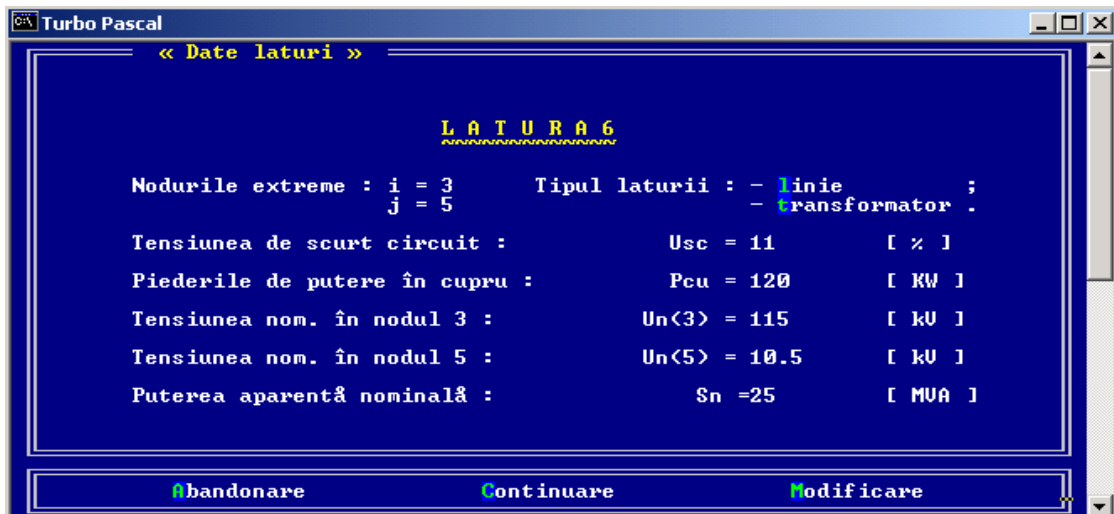


Figura 4b. Modul pentru introducerea setului de date caracteristice fiecărei laturi din rețeaua analizată, de tip transformator (T)

Trebuie menționat faptul că fiecare modul ce conține datele de intrare introduse de la tastatură prezintă, în partea sa inferioară, trei opțiuni și anume:

- *Continuare* – pentru situația când datele introduse în modulul respectiv sunt corecte și procesul de introducere a datelor de la tastatură poate continua.
- *Modificare* – atunci când există erori în datele introduse în modulul curent, situație în care modulul respectiv se reia, introducându-se datele corecte.
- *Abandon* – dacă se dorește renunțarea la analiza regimului de funcționare a rețelei studiate cu ajutorul programului de calcul.

După execuția programului, rezultatele, privind regimul analizat, sunt afișate într-o serie de ferestre, a căror structură este prezentată, în detaliu, în continuare. Informațiile și rezultatele furnizate în aceste ferestre se referă la următoarele aspecte:

- Informații privind procesul iterativ de calcul, precizându-se, pentru fiecare iterație în parte, puterile injectate în nodul de echilibru și abaterea maximă la verificarea convergenței calculului iterativ impusă bilanțului puterilor nodale.
- Pentru fiecare nod din rețea, sunt prezentate tensiunile nodale, sub formă complexă, precum și sub formă de modul și argument.
- Pentru fiecare latură i, j din rețeaua analizată, sunt prezentate circulațiile de puteri active și reactive, $\underline{S}_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij}$, respectiv $\underline{S}_{ji} = P_{ji} + jQ_{ji}$; pierderile de puteri active și reactive pe latură, $\Delta S_{ij} = \Delta P_{ij} + j\Delta Q_{ij}$; aportul capacitiv al laturii $Q_{c_{ij}}$.

Iteratia	Puterea injectată « în nodul de echilibru »	Abaterea [%]
1	87.00000+27.75102*j	9131.8779
2	89.15879+33.43924*j	390.4498
3	89.32050+33.53427*j	18.4790
4	89.32628+33.54690*j	0.9847
5	89.32663+33.54719*j	0.0427

Figura 5. Fereastră în care sunt afișate informații privind procesul iterativ de calcul privind regimul permanent al rețelei analizate

Nod	« Potentialul nodal »	U [k V]	θ [grade]
1	118.00000+0.00000*j	118.00000	0.00000
2	115.92057-2.48399*j	115.94718	-1.22757
3	114.12350-3.48325*j	114.17665	-1.74823
4	115.95795-2.08860*j	115.97675	-1.03188
5	115.66932-2.18634*j	115.68998	-1.08285
6	118.71331-0.62558*j	118.71496	-0.30193
7	116.84283-1.68020*j	116.85491	-0.82386
8	119.55389+0.47940*j	119.55485	0.22975

Figura 6. Fereastră în care sunt afișate rezultatele referitoare la tensiunile nodale ale rețelei analizate în regim permanent

Latura	« Circulația de putere »		Pierderi de putere [MW/MUar]	Aportul capacitiv [MUar]
	Sij [MW/MUar]	Sji [MW/MUar]		
1 - 2	32.104+7.481*j	-31.732-9.977*j	0.3726+2.4952*j	3.3327
1 - 4	34.024+11.228*j	-33.659-13.173*j	0.3652+1.9453*j	2.7662
1 - 5	23.199+11.161*j	-22.958-11.626*j	0.2408+0.4643*j	1.1259
2 - 3	11.233+7.342*j	-11.132-8.367*j	0.1006+1.0252*j	1.2478
2 - 7	-7.126-3.750*j	7.160+2.476*j	0.0337+1.2733*j	1.3479
2 - 6	-17.375-12.775*j	17.588+11.884*j	0.2130+0.8913*j	1.4650
3 - 4	-16.868-8.973*j	17.025+8.315*j	0.1569+0.6583*j	1.0055

Figura 7. Fereastră în care sunt afișate circulațiile de puteri, pierderile de putere și aportul capacitiv al laturilor din rețeaua analizată în regim permanent

Ferestrele în care sunt afișate rezultatele furnizate de programul de calcul conțin, de asemenea, în partea lor inferioară, trei opțiuni:

- *Continuare* – atunci când se dorește afișarea în continuare a rezultatelor privind regimul permanent simetric analizat.
- *Revizualizare* – pentru situația când se dorește reafișarea mărimilor de stare care caracterizează regimul permanent simetric analizat.
- *Abandon* – la terminarea afișării tuturor rezultatelor procesului de calcul.

5. Modul de desfășurare a lucrării

- Studenții sau utilizatorii trebuie să certifice înțelegerea modelului matematic și a algoritmului de calcul pentru analiza regimurilor permanente simetrice de funcționare ale rețelelor electrice, precum și modul de utilizare a programului de calcul *UNOD*.
- Prin utilizarea programului de calcul *UNOD*, se cere, de asemenea, să se analizeze regimurile permanente simetrice de funcționare ale sistemului de distribuție a energiei electrice, a cărui schemă monofilară este reprezentată în Figura 8 și anume regimurile extreme – vârf de sarcină, respectiv gol de sarcină.

Sistemul de distribuție propus pentru studiul regimurilor permanente de funcționare se compune practic dintr-o rețea de repartiție cu tensiunea nominală de 110 kV, având configurație complex buclată. Rețeaua electrică respectivă conține 7 noduri și 10 laturi.

Laturile sau tronsoanele rețelei de repartiție sunt constituite din linii electrice aeriene, simplu și dublu circuit. Stâlpii de susținere utilizați la realizarea acestor linii electrice sunt de tip Sn 110 102, pentru LEA simplu circuit și de tip SC 110 106, în cazul liniilor dublu circuit. Conductoarele active de fază ale LEA sunt conductoare bimetalice multifilare din OL-Al, de construcție normală.

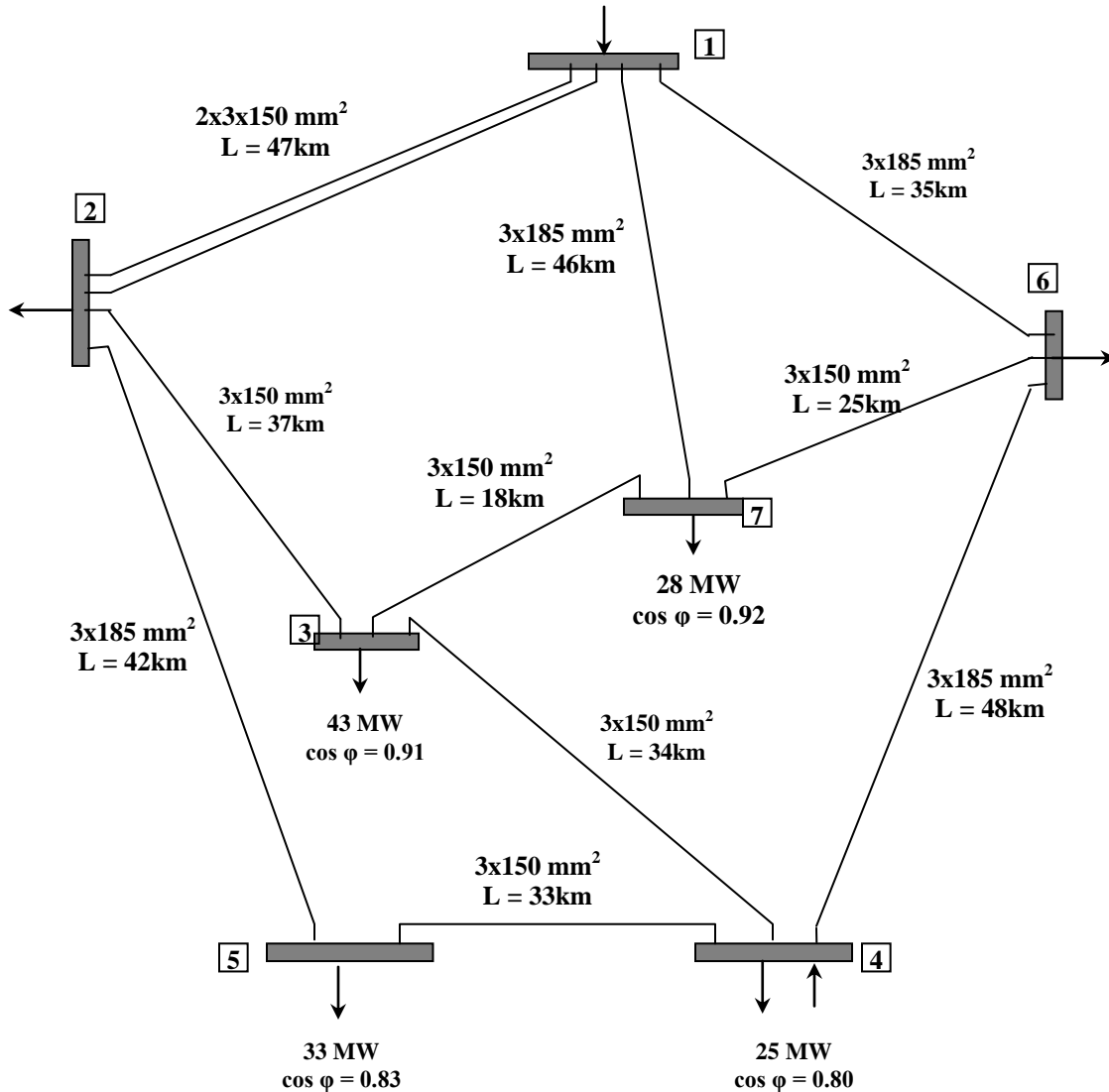


Figura 8. Schema monofilară a sistemului de distribuție a energiei electrice, în configurație complex buclată

Lungimile tronsoanelor de linie, în km și secțiunile, în mm^2 , sunt indicate în schema monofilară a rețelei reprezentată în Figura 8. Parametrii specifici corespunzători tronsoanelor rețelei propuse pentru analiză sunt:

$$S = 150 \text{ mm}^2 \begin{cases} r_0 = 0,198 \Omega / \text{km} \\ x_0 = 0.409 \Omega / \text{km} \\ b_0 = 2.80 \mu\text{S} / \text{km} \end{cases}$$

$$S = 185 \text{ mm}^2 \begin{cases} r_0 = 0,160 \Omega / \text{km} \\ x_0 = 0.402 \Omega / \text{km} \\ b_0 = 2.85 \mu\text{S} / \text{km} \end{cases}$$

Alimentarea cu energie electrică a rețelei de repartiție se realizează prin nodul 1 din sistemul electroenergetic, acest nod fiind considerat nod de echilibru în calculele de

regim, precum și de la centrala termoelectrică locală (CTE), care injectează energie electrică în nodul 4 al rețelei. În regim de vârf de sarcină (regim de sarcină maximă), tensiunea nodului de echilibru sa va considera de 120 kV, iar în regim de gol de sarcină (regim de sarcină minimă), 117 kV.

Pentru regimul de vârf de sarcină sau sarcină maximă, sarcinile nodale ale nodurilor din care sunt alimentate cu energie electrică rețelele de distribuție de medie tensiune (noduri de tip PQ), sub formă de putere activă, în MW și factor de putere la vârf de sarcină, sunt indicate în Figura 8. În acest regim, centrala termoelectrică locală din nodul 4 injectează în rețea o putere activă de 48 MW și o putere reactivă de 18 Mvar.

În regimul de gol de sarcină sau sarcină minimă, puterile nodale active și factorii de putere sunt mai reduse, având următoarele valori:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Nodul 2} \begin{cases} P = 21 \text{ MW} \\ \cos \varphi = 0,83 \end{cases} & \text{Nodul 5} \begin{cases} P = 12 \text{ MW} \\ \cos \varphi = 0,81 \end{cases} \\
 \text{Nodul 3} \begin{cases} P = 24 \text{ MW} \\ \cos \varphi = 0,80 \end{cases} & \text{Nodul 6} \begin{cases} P = 18 \text{ MW} \\ \cos \varphi = 0,84 \end{cases} \\
 \text{Nodul 4} \begin{cases} P = 15 \text{ MW} \\ \cos \varphi = 0,78 \end{cases} & \text{Nodul 7} \begin{cases} P = 14 \text{ MW} \\ \cos \varphi = 0,82 \end{cases}
 \end{array}$$

În ceea ce privește centrala termoelectrică locală din nodul 4, aceasta injectează o putere activă de 20,5 MW și o putere reactivă de 7,8 MVar.

- Verificarea mărimilor de stare care caracterizează regimurile de funcționare, calculate cu ajutorul programului UNOD, la principalele restricții tehnice și anume:
 - Modulul tensiunilor nodale pentru toate nodurile din rețeaua de repartiție ($|\underline{U}_k|$, $k = \overline{1, n}$) să se înscrie în banda admisibilă a treptei de tensiune la care sunt racordate nodurile rețelei, adică 106 kV ÷ 123 kV, respectiv în banda favorabilă de tensiune 110 kV ÷ 121 kV.
 - Verificarea din punct de vedere termic, în regim de durată, a încărcării liniilor electrice din rețeaua analizată, pentru regimurile studiate (vârf și gol de sarcină), astfel încât acestea să satisfacă următoarea inegalitate:

$$I_{adm_k} \geq \frac{I_{sarc_k}}{K_1}; \quad k = \overline{1, l}$$

în care:

I_{adm_k} - curentul admisibil din punct de vedere termic, în regim de durată corespunzător laturii k din rețeaua analizată, în A; valorile acestor curenți admisibili de încărcare pentru conductoarele liniilor electrice aeriene sunt prezentate în Tabelul 1, în funcție de materialul din care sunt realizate conductoarele liniilor (cupru, aluminiu și oțel-aluminiu) și secțiunea acestora, în mm²;

K_1 - coeficient de corecție, a cărui valoare este funcție de temperatura mediului exterior; valorile acestui coeficient de corecție sunt indicate în Tabelul 2.

$$I_{sarc_k} = \frac{\sqrt{P_k^2 + Q_k^2}}{\sqrt{3}U_k} - \text{curentul care tranzitează conductoarele active de fază ale}$$

liniei electrice aeriene k , în regim de durată cu sarcină constantă sau sarcina echivalentă constantă, care produce aceeași încălzire maximă a conductorului încărcat conform curbei reale de sarcină, în A;

P_k , Q_k , U_k - puterea activă și reactivă care tranzitează latura, precum și tensiunea corespunzătoare laturii k din regimul analizat.

Conductoarele liniilor electrice aeriene din cupru, aluminiu și oțel-aluminiu

Tabelul 1

Secțiunea nominală a conductorului [mm ²]		10	16	25	35	50	70
Încărcarea maximă admisibilă în regim de durată [A]	Cu	10	120	170	205	255	320
	Al	-	100	125	160	200	250
	Ol-Al	-	100	125	160	205	260

Secțiunea nominală a conductorului [mm ²]		95	120	150	185	240	300
Încărcarea maximă admisibilă în regim de durată [A]	Cu	390	455	535	605	725	850
	Al	305	355	415	470	575	665
	Ol-Al	315	360	420	485	575	665

Coeficienți de corecție aplicați încărcării maxime admisibile a conductoarelor liniilor electrice aeriene, în funcție de variația temperaturii mediului exterior (k_1)

Tabelul 2

Temperatura mediului exterior [°C]	10	15	20	25	30	35	40
Valoarea coeficientului de corecție k_1	1,110	1,075	1,040	1,000	0,960	0,920	0,880