

PARTICULARITĂȚILE REȚELELOR DIN SISTEMELE DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE ÎN CAZUL ANALIZEI ASISTATĂ DE CALCULATOR A REGIMURILOR PERMANENTE DE FUNCȚIONARE

1. Introducere

Un sistem de distribuție a energiei electrice conține o rețea electrică, de regulă, dezvoltată, formată dintr-o multitudine de laturi și noduri, în care liniile electrice aeriene și în cablu de transport și distribuție a energiei electrice, precum și transformatoarele și autotransformatoarele de putere constituie, în mod caracteristic, laturile. Chiar o companie de electricitate de dimensiune medie, care deservește o populație mixtă, urbană și rurală, de câteva milioane de oameni, funcționează ca o rețea, conținând sute de noduri și mii de laturi.

Prin câteva noduri puterea este injectată în rețea, iar prin marea majoritate a celorlalte este consumată. Între noduri, puterile circulă prin plasa rețelei, adică prin liniile de transport și distribuție. Astfel, un set de puteri dat poate fi obținut de la un grup de generatoare, într-un număr infinit de configurații ale calculului de regim. Analiza regimurilor de funcționare interesează nu numai din punct de vedere al mecanismului fizic actual, care controlează circulațiile de puteri active și reactive în rețea, ci și pentru a selecta o configurație optimă dintre miile de variante posibile.

Regimurile de funcționare ale rețelelor electrice, care aparțin sistemelor de distribuție a energiei electrice, respectiv sistemului electroenergetic, se pot împărți în două mari categorii:

- *Regimuri permanente*, caracterizate prin valori ale mărimilor de stare (valorile efective ale curenților, tensiunilor etc.), constante în timp. Regimurile permanente pot fi clasificate, la rândul lor, după tipul regimului permanent al circuitelor electrice trifazate din structura sistemului de distribuție a energiei electrice: sinusoidal echilibrat (regim simetric), sinusoidal dezechilibrat (regim nesimetric), nesinusoidal echilibrat (regim deformant simetric), nesinusoidal dezechilibrat (regim deformant nesimetric);
- *Regimuri tranzitorii* provocate de apariția unor perturbații și caracterizate prin variația în timp a mărimilor de stare. Din această categorie fac parte și regimurile de scurtcircuit, care mai sunt denumite regimuri de avarie.

Analiza regimurilor permanente normale ale rețelelor electrice (regimuri simetrice) permite determinarea circulațiilor de curenți sau puteri în fiecare ramură componentă a acestora, a căderilor de tensiune care apar pe elementele rețelei, a nivelului de tensiune în nodurile de racordare a consumatorilor, precum și a pierderilor de putere și energie în elementele rețelei (linii, transformatoare) și pe total rețea. În urma unor astfel de analize, care presupun calculul unui număr mare de regimuri permanente, pentru diferite variante existente sau de perspectivă, se pot adopta următoarele decizii: configurația și dimensionarea corespunzătoare a elementelor rețelei electrice; alegerea judicioasă a mijloacelor de reglare a tensiunii; amplasarea optimă a surselor de putere reactivă în vederea reducerii pierderilor de putere și energie și a îmbunătățirii calității energiei electrice furnizate consumatorilor etc.

2. Ipoteze de calcul

În vederea întocmirii acestor calcule, se adoptă, de regulă, o serie de ipoteze simplificatoare privind reprezentarea elementelor rețelei și a caracteristicilor consumatorilor racordați.

Pentru reprezentarea liniilor electrice aeriene sau în cablu se adoptă, de regulă, următoarele ipoteze simplificatoare:

- ✓ Liniile electrice trifazate aeriene sau în cablu se consideră că satisfac condițiile de omogenitate, simetrie și repartitie simetrică a sarcinilor și a surselor de tensiune pe toate cele trei faze. În aceste condiții, este suficient să se efectueze calculele pe o singură fază, cu ajutorul unei scheme electrice monofilare, iar rezultatele să se generalizeze și pentru celelalte faze.
- ✓ În cazul liniilor electrice aeriene scurte și de tensiuni nominale scăzute, intensitățile curenților transversali au valori mici în comparație cu valorile curentului de conducție care străbate conductorul, putând fi astfel neglijați. În această situație, schemele electrice echivalente sunt constituite din dipoli cu parametri concentrați, de tipul celui reprezentat în Figura 1a. Dacă se dorește o precizie mai mare a rezultatelor, liniile electrice pot fi reprezentate în schema echivalentă prin cuadripoli în Π sau T, cu parametri concentrați, conform celor prezentați în Figurile 1b și 1c.
- ✓ Pentru liniile electrice subterane, de tensiuni ridicate, chiar la lungimi reduse, curenții capacitivi transversali pot avea valori relativ mari și nu mai pot fi neglijați. În aceste situații, se impune reprezentarea liniilor prin scheme electrice corespunzătoare, cu parametri concentrați, de tipul celor prezentate în Figurile 1b și 1c sau uniform distribuiți (lanțuri de cuadripoli elementari).
- ✓ În cazul liniilor de transport al energiei electrice cu tensiuni nominale mai mari sau egale cu 220 kV și lungimi de peste 250 km (linii lungi), curenții transversali ating valori importante, care nu mai pot fi neglijate. Prin urmare, regimurile acestor linii se studiază folosind teoria propagării undelor electromagnetice, pe un mediu cu parametri uniform distribuiți. În aceste condiții, pentru calculul regimurilor permanente simetrice de funcționare ale liniilor de transport, se impune reprezentarea lor prin scheme electrice corespunzătoare, fie cu parametri uniform distribuiți (lanțuri de cuadripoli elementari), fie cu parametri concentrați, de tipul celor reprezentate în Figurile 1b și 1c, unde impedanța \underline{Z} și admitanța \underline{Y} se obțin din parametrii globali ai liniei de transport, corecțai cu ajutorul coeficienților Kennelly, în funcție de lungimea liniei.

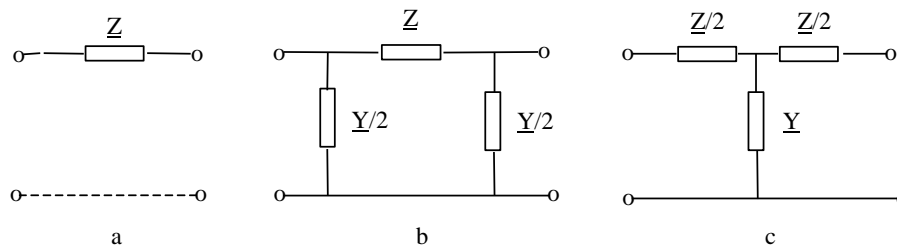


Figura 1 Schemele electrice echivalente ale liniilor aeriene sau în cablu

Caracteristicile statice ale consumatorilor $P(U)$ și $Q(U)$ se echivalează, de regulă, prin una din următoarele variante:

- Reprezentarea consumatorilor prin curenți activi și reactivi constanți, absorbiți din rețea:

$$I_a = K_1 \quad ; \quad I_r = K_2 \quad (1)$$

În acest caz, puterile active și reactive absorbite de consumatorii alimentați din rețea sunt proporționale cu tensiunea U aplicată la borne, conform relațiilor:

$$P_c = K_1 U \quad ; \quad Q_c = K_2 U \quad (2)$$

- Reprezentarea consumatorilor prin puteri active și reactive constante absorbite din rețea, acestea fiind independente de tensiunea aplicată la bornele consumatorilor:

$$P_c = K_1' \quad ; \quad Q_c = K_2' \quad (3)$$

Curenții activi și reactivi absorbiți de consumatori sunt, în acest caz, invers proporționali cu tensiunea de alimentare, fiind de forma:

$$I_a = \frac{K_1'}{U} \quad ; \quad I_r = \frac{K_2'}{U} \quad (4)$$

- Reprezentarea consumatorilor prin impedanțe, ale căror valori sunt constante în timp și independente de curenții care le străbat sau de tensiunile aplicate la borne. Puterile și curenții absorbiți de consumatori sunt, în acest caz, de următoarea formă:

$$I_a = K_1'' U \quad ; \quad I_r = K_2'' U \quad (5)$$

$$P_a = K_1'' U^2 \quad ; \quad Q_r = K_2'' U^2 \quad (6)$$

În cele ce urmează, pentru calculele de regim, consumatorii se vor reprezenta prin una din variantele prezentate, specificându-se, în fiecare caz, ipoteza de calcul.

3. Analiza asistată de calculator a regimurilor permanente de funcționare ale rețelelor electrice

La întocmirea unor astfel de analize, pentru studiul regimurilor permanente de funcționare ale rețelelor electrice, atât în cazul elementelor pasive, cât și al celor active, se adoptă, de regulă, o serie de ipoteze simplificatoare, care conduc la aproximații admisibile în practică, și anume:

- elementele active și pasive se caracterizează printr-o construcție simetrică a circuitelor electrice și magnetice pe cele trei faze;
- între elementele componente ale rețelelor electrice, care aparțin sistemelor de distribuție a energiei electrice, nu se exercită influențe mutuale;
- elementele pasive de circuit sunt considerate, în mod obișnuit, ca circuite liniare;
- elementele active de circuit sunt, de regulă, circuite neliniare, caracterizate prin caracteristicile statice de putere, care exprimă dependența puterilor active și reactive debitate sau absorbite, în funcție de tensiunea la borne și de frecvență.

Conform ipotezelor menționate, rezultă că regimul permanent al unei rețele complexe se poate studia pe o singură fază, utilizând scheme echivalente monofazate.

Modelele matematice folosite pentru analiza regimurilor permanente ale rețelelor electrice, în vederea determinării mărimilor de stare electrică, utilizează legea lui Ohm în curent alternativ și teoremele Kirchhoff pentru rețea, în ansamblul ei. Totodată, se impune exprimarea puterilor active și reactive, cunoscute și necunoscute, în funcție de curenți și tensiuni. În felul acesta, problema se reduce la rezolvarea fie a unui sistem de ecuații liniare, în cazul alegerii unor ipoteze simplificatoare, pentru caracteristicile consumatorilor și ale generatoarelor, fie a unui sistem de ecuații neliniare (neliniaritate de gradul doi), în cazul considerării puterilor active și reactive ale consumatorilor și generatoarelor, după caracteristici apropiate de cele reale. Sistemele de ecuații neliniare se rezolvă, în general, prin

aproximații succesive, cu ajutorul unor sisteme intermediare de ecuații liniare.

Numărul mărimilor de stare necunoscute, care urmează a fi determinate, fiind mare, pentru formarea și rezolvarea sistemelor de ecuații, a fost necesar să se introducă metode și modele matematice care să permită scrierea completă și compactă a acestora, precum și automatizarea calculului în vederea utilizării calculatoarelor numerice. Folosirea metodelor matriceale și topologice a răspuns în bună măsură necesităților menționate.

4. Particularitățile rețelelor electrice care aparțin sistemelor de distribuție a energiei electrice

Datorită particularităților funcționale ale rețelelor electrice care aparțin sistemelor de distribuție a energiei electrice, în calculele de regim permanent se cunosc puterile injectate în noduri – puterile nodale – și nu curenții nodali, aceștia depinzând neliniar de tensiunile nodale, care sunt necunoscutele regimului. Din acest motiv, analiza regimului permanent conduce la soluționarea unui model neliniar.

Expresia generală a puterii complexe, cu care se operează natural în schema monofazată, este de următoarea formă:

$$\underline{S} = P + jQ = \underline{U} \cdot \underline{I}^* \quad (7)$$

unde \underline{U} este un element din matricea $[\underline{U}_n]$, iar \underline{I} un element din matricele $[\underline{I}_n]$ sau $[\underline{I}]$. În practica curentă a calculului de regim, pentru a opera direct cu puteri trifazate și tensiuni între faze, tensiunile nodale au modulul egal cu valoarea tensiunii între faze și argumentul egal cu argumentul tensiunii de fază. Prin urmare, valorile complexe ale curenților nodali și ale curenților din laturi sunt de $\sqrt{3}$ ori mai mari în raport cu valorile curenților de fază. În aceste condiții, puterea aparentă complexă trifazată se exprimă, în cele ce urmează, cu expresia (7).

4.1 Tipuri de noduri caracteristice din sistemele electrice

Pentru calculul regimurilor permanente de funcționare ale sistemelor de distribuție a energiei electrice, starea electrică a unui nod independent este caracterizată prin două mărimi complexe \underline{S} – puterea aparentă nodală și \underline{U} – tensiunea nodală, respectiv cu patru mărimi reale P , Q – puterile, activă și reactivă, nodale și U , δ – modulul și argumentul tensiunii nodale. Din cauza interdependenței care există între cele două mărimi, într-un nod este suficient să se impună două dintre mărimi, celelalte două urmând să se determine prin calcul. Conform celor menționate în Tabelul 1, în funcție de alegerea celor două mărimi impuse în nod, există următoarele tipuri de noduri caracteristice.

Tipuri de noduri caracteristice

Tabelul 1

Tip nod	Mărimi impuse	Mărimi necunoscute	Restricții impuse necunoscutelor
Nod de echilibru	U, δ	P, Q	$P \leq P_{max}; Q \leq Q_{max}$
consumator	P, Q	U, δ	$U_{min} \leq U \leq U_{max}$
generator	P, U	Q, δ	$Q^{min} \leq Q \leq Q^{max}$

Nodurile de tip consumator sau noduri de tip PQ sunt cele pentru care puterea activă și reactivă sunt cunoscute, iar în urma calculului de regim rezultă modulul și argumentul tensiunii. La aceste noduri, restricțiile asupra necunoscutelor privesc încadrarea valorilor tensiunilor într-o bandă admisibilă, la fiecare treaptă de tensiune. De regulă, restricțiile nu sunt integrate în modelul de regim

permanent, încălcarea lor fiind semnalată după soluționarea modelului, în scopul adoptării deciziilor adecvate de restabilire a valorilor normale. Nodurile de tip *PQ* sunt, în marea majoritate, noduri consumatoare sau de sarcină, cuprinzând mai mult de 80% din mulțimea nodurilor din rețelele electrice. Tot în această categorie se pot încadra și unele noduri generatoare, de exemplu, barele unor centrale electrice locale.

Nodurile de tip generator sau noduri de tip PU (noduri de tensiune controlată) sunt cele la care se impune puterea activă, modulul tensiunii și limitele puterii reactive nodale, iar în urma calculului de regim rezultă puterea reactivă și argumentul tensiunii. Mărimile *P* și *U* sunt controlate prin sistemele de reglare automată a vitezei și tensiunii RAV și RAT, ale turbinei și respectiv generatorului sincron. Nodurile de tip *PU* sunt, în general, noduri generatoare, dar în această categorie pot fi încadrate și nodurile de tip *PQ* cu tensiune reglată, pentru care se urmărește obținerea unei valori impuse a tensiunii, prin reglajul prizei unui transformator sau autotransformator.

Nodul de echilibru (relaxare, balansare) sau nodul $U \delta$ este cel la care se impune tensiunea ca modul și argument, iar în urma calculului de regim se obține puterea activă și reactivă nodală. Introducerea nodului de echilibru este impusă de necesitatea asigurării bilanțului general al puterilor active și reactive în rețeaua analizată, ținând seama și de pierderile de putere, care sunt necunoscute. Acest nod corespunde funcțional cu un generator adaptabil, care își menține tensiunea la borne, modificându-și încărcarea după necesități. Deși teoretic pot exista mai multe noduri de echilibru, se alege, de regulă, un singur nod de acest tip, pentru care se fixează modulul și argumentul tensiunii. Valoarea impusă pentru modulul tensiunii este importantă în stabilirea unui nivel general al tensiunilor nodale, pe când argumentului *i* se atribuie, în mod obișnuit, valoarea zero, cu alte cuvinte, tensiunea nodului de echilibru este considerată ca origine de fază a tensiunilor nodale. Se menționează că alegerea nodului de echilibru nu trebuie să fie întâmplătoare. Pe lângă considerentele tehnice, trebuie avute în vedere și considerente de ordin matematic, deoarece alegerea nodului de echilibru poate influența, în mare măsură, procesul de convergență la unele metode de calcul al regimului permanent.

4.2 Reprezentarea liniilor electrice în schemele echivalente pentru calculul regimurilor permanente

În ceea ce privește elementele rețelei pasive, formată din linii electrice aeriene sau în cablu, pentru reprezentarea lor în calculele de regim permanent se fac următoarele precizări:

În regim permanent, funcționarea unei linii electrice se poate studia cu ajutorul schemei echivalente monofazate cu parametri concentrați, în Π , simetrică, de tipul celei reprezentate în Figura 2.

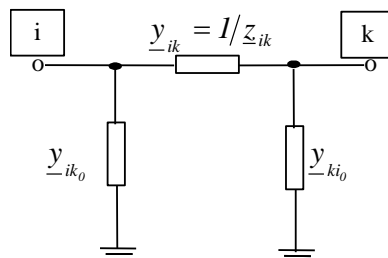


Figura 2 Reprezentarea LEA sau LEC în schema echivalentă prin cuadripol în Π simetric

Parametrii acesteia se determină, în funcție de parametrii globali ai liniei, cu ajutorul următoarelor relații:

$$\begin{aligned} \underline{z}_{ik} &= r_{ik} + jx_{ik} = \frac{l}{n_c} [(r_0 + jx_0) \cdot l] \cdot \underline{K}_z \\ \underline{y}_{ik_0} &= \underline{y}_{ki_0} = n_c \left[\frac{l}{2} (g_0 + jb_0) \cdot l \right] \cdot \underline{K}_y \end{aligned} \quad (8)$$

unde n_c reprezintă numărul de circuite identice care funcționează în paralel, iar \underline{K}_z și \underline{K}_y au rolul unor coeficienți de corecție (coeficienți Kennelly), valorile lor fiind funcție de parametrii specifici ai liniei r_0 , g_0 , x_0 , b_0 , și de lungimea liniei respective l .

Elementele componente ale rețelelor electrice, active și pasive, se reprezintă în schemele echivalente monofazate prin dipoli sau cuadripoli echivalenți. Prin conexiunea acestora, conform schemei monofilare, se formează schema monofazată echivalentă a rețelei, un circuit complex, în care punctul neutru comun tuturor schemelor componente se alege ca *nod de referință*, celelalte noduri ale rețelei fiind *noduri independente*.

În structura schemelor echivalente ale rețelelor electrice există, de asemenea, două tipuri de laturi și anume:

- *laturi longitudinale*, care au ambele extremități incidente la noduri independente;
- *laturi transversale*, având una dintre extremități incidentă la nodul de referință.

4.3 Reprezentarea transformatoarelor și autotransformatoarelor în schemele echivalente pentru calculul regimurilor permanente

Rețelele electrice, care aparțin sistemelor de distribuție a energiei electrice, prezintă mai multe trepte de tensiune, conectate între ele prin intermediul transformatoarelor sau autotransformatoarelor de putere. Din acest motiv, nu se poate întocmi o schemă echivalentă exactă a instalațiilor de transport și distribuție a energiei electrice din sistemul electroenergetic, pentru calculul regimurilor permanente de funcționare ale acestora, în care parametrii de circuit să fie raportați la o treaptă unică de tensiune. Acest lucru este posibil numai într-o serie de cazuri particulare, cum ar fi: scheme cu legături unice între treptele de tensiune, scheme având configurația radială sau arborescentă, precum și în unele calcule practice aproximative, ca de exemplu calculul simplificat al curenților de scurtcircuit.

În consecință, pentru modelarea exactă a rețelelor electrice în vederea analizei regimurilor permanente de funcționare, schemele echivalente ale transformatoarelor vor trebui să includă transformatoare ideale, care să țină seama de rapoartele de transformare ale acestora, astfel încât calculele de regim permanent să se efectueze în mărimi neraportate.

Pentru înlăturarea unor posibile confuzii, se menționează faptul că, în datele de catalog, înfășurările transformatoarelor și autotransformatoarelor sunt specificate, în funcție de tensiunea lor nominală, folosind simbolurile *IT* și *JT* în cazul transformatoarelor cu două înfășurări, respective *IT*, *MT* și *JT* în cazul transformatoarelor cu trei înfășurări. Simbolurile respective au numai rolul de a diferenția valoric tensiunile nominale, ele neavând semnificația denumirilor consacrate celor trei niveluri de tensiune normalizate din țara noastră și anume: *IT* – înaltă tensiune (750 kV; 400 kV; 220 kV; 110 kV), *MT* – medie tensiune (660 V; 6 kV; 10 kV; 20 kV) și *JT* – joasă tensiune (380 V). Tensiunile nominale ale înfășurărilor transformatoarelor și autotransformatoarelor pot coincide cu tensiunile normalizate sau sunt mai mari decât acestea cu 5÷10 %.

De asemenea, interconexiunea a două rețele electrice, care aparțin unor trepte diferite de tensiune, se realizează prin intermediul transformatoarelor sau autotransformatoarelor de putere. Chiar

dacă transformatoarele și autotransformatoarele folosite au, practic, aceleași date nominale și funcționează, în general, pe ploturi diferite, acestea vor prezenta rapoarte de transformare diferite.

Din motivele prezentate anterior, pentru modelarea cât mai exactă a rețelelor electrice, în vederea efectuării calculelor de regim permanent, schemele echivalente ale laturilor care conțin transformatoare și autotransformatoare vor include obligatoriu într-o structură unică a lor și transformatoare ideale, caracterizate prin rapoarte de transformare reglabile, reale sau complexe.

În ceea ce privește transformatorul ideal, acesta se conectează la bornele corespunzătoare înfășurării raportate ale cuadripolului echivalent al transformatorului sau autotransformatorului, formând astfel împreună cu acesta o schemă echivalentă unică, care are la intrare și la ieșire valorile complexe neraportate ale tensiunii și curentului. De remarcat faptul că este avantajos ca înfășurarea reglată să fie raportată la înfășurarea nereglată, deoarece parametrii transformatorului, Z_{SC} – impedanța de scurtcircuit a transformatorului și $Y_0 = 1/Z_m$ – admitanța de magnetizare a transformatorului, se calculează cu tensiunea nominală a înfășurării nereglate, fiind practic independenți de modificarea raportului de transformare. Adoptând această ipoteză, în cele ce urmează sunt analizate schemele echivalente ale transformatoarelor, care conțin în structura lor transformatoare ideale.

Pentru calculul raportului de transformare al transformatoarelor, se va ține seama atât de plotul sau priza de funcționare a acestora într-un anumit regim, cât și de conexiunile înfășurărilor.

În marea majoritate a cazurilor, la transformatoarele de putere, înfășurarea reglată este înfășurarea de IT , prevăzută cu același număr p de ploturi de reglaj în ambele sensuri. Cunoscând mărimile p și ΔU_p – variația tensiunii cu priza pentru înfășurarea reglată, în mod convențional se numerotează ploturile de la $w = I$ la $w_{max} = 2p + 1$, în sensul descrescător al numărului de spire. În aceste condiții, numărul plotului nominal va fi $w_n = p + 1$.

În principiu, conexiunile înfășurărilor transformatoarelor se notează, de regulă, cu litere mari, în cazul înfășurării de IT (Y – stea, D – triunghi, Z – zigzag) și respectiv cu litere mici (y – stea, d – triunghi, z – zigzag), pentru înfășurarea de JT . Acestor simboluri le este atașat indicele zero, dacă neutrul înfășurării este accesibil. Modul de bobinare și de realizare a conexiunilor determină un anumit defazaj între tensiunile transformatorului de înaltă și joasă, la mersul în gol al acestuia. Acest defazaj este indicat de grupa de conexiuni a transformatorului, specificarea realizându-se printr-un număr asociat simbolurilor de conexiune, ca de exemplu: $Yy -12$; $Dd -12$; $Yd -11$; $Dy -11$; $Yd -5$; $Yz -5$; $Dy -5$ etc. De exemplu, în cazul transformatorului de putere având conexiunile $Y_{0d} -11$, utilizat frecvent în instalațiile de transport și distribuție a energiei electrice, tensiunea între două borne de fază ale înfășurării de IT cu conexiunea Y_0 este decalată cu $11 \cdot \frac{\pi}{6}$ înainte sau cu $\frac{\pi}{6}$ în urmă, față de tensiunea

între bornele analoage ale înfășurării de JT cu conexiunea d . În cazul transformatoarelor de putere din grupa 12, defazajul între cele două tensiuni, de înaltă și respectiv joasă tensiune, este zero.

Raportul de transformare asociat transformatorului ideal din schema echivalentă poate fi un număr real sau un număr complex, în funcție de tipul reglajului și de grupa de conexiuni a transformatorului sau autotransformatorului.

În cazul transformatoarelor sau autotransformatoarelor cu două înfășurări, care aparțin grupei de conexiuni 12 și prezintă un reglaj obișnuit, de tip longitudinal, raportul de transformare al acestora este un număr real. Valoarea acestui raport poate fi determinată ca raport al tensiunilor la mers în gol al transformatorului sau autotransformatorului, cu o relație de forma:

$$N = \frac{U_n^{IN}}{U^{IR}} \quad (9)$$

unde U_n^{IN} reprezintă tensiune nominală a înfășurării nereglate, iar U^{IR} este tensiunea înfășurării reglate a transformatorului sau autotransformatorului.

Tensiunea înfășurării reglate este dependentă de plotul de funcționare al transformatorului sau autotransformatorului w , putându-se determina cu următoarea relație:

$$U^{IR} = U_n^{IR} \left[1 + (w_n - w) \frac{\Delta U_p}{100} \right] \quad (10)$$

în care U_n^{IR} reprezintă tensiunea nominală a înfășurării reglate, indicată în fișa tehnică a transformatorului (autotransformatorului) sau în cataloage, care corespunde funcționării acestora pe plotul nominal w_n .

Raportul de transformare al transformatorului ideal va fi un număr complex, în cazul transformatoarelor cu reglaj longitudinal, care au grupa de conexiuni diferită de 12, precum și în cazul transformatoarelor și autotransformatoarelor cu reglaj longo-transversal.

Pentru exemplificare, se consideră un transformator de putere cu două înfășurări, incident în rețeaua analizată la nodurile i și k , cu înfășurarea reglată conectată la nodul k . Schema echivalentă a transformatorului va conține un transformator ideal cu raport de transformare, în general, complex, simbolizat prin \underline{N}_{ik} , figurat în mod convențional pe latura longitudinală la extremitatea k . Valoarea raportului de transformare al transformatorului ideal \underline{N}_{ik} se calculează ca raport al tensiunilor, de la nodul i la nodul k . În mod asemănător, dacă înfășurarea reglată este incidentă la nodul i , transformatorul ideal este conectat în schema echivalentă la nodul i și are raportul de transformare notat \underline{N}_{ki} și calculat de la nodul k la nodul i .

Este necesar să se precizeze faptul că transformatoarele de putere având conexiunile înfășurărilor de tipul $Y_{od} - 11$ sau din altă grupă, diferită de 12, constituie, de regulă, ramuri radiale ale instalațiilor de transport și distribuție a energiei electrice și se vor putea considera, de asemenea, în calculele de regim permanent, prin rapoarte de transformare reale. Conform ecuațiilor de funcționare ale schemelor echivalente cu transformatoare ideale, acest lucru este posibil, deoarece circulațiile de puteri, modulele tensiunilor, precum și pierderile de putere activă și reactivă nu depind de defazajul constant, determinat de grupa de conexiuni. În situația când prezintă interes din punct de vedere practic, defazajul respectiv se poate introduce ulterior calculului de regim. Totodată, într-o situație similară se află și transformatoarele cu trei înfășurări, astfel încât, pentru analiza regimurilor permanente de funcționare ale instalațiilor de transport și distribuție a energiei electrice, ambele rapoarte de transformare ale acestor transformatoare se pot considera reale.

Transformatoarele și autotransformatoarele cu reglaj longo-transversal (reglaj de unghi) funcționează, de regulă, în buclele neomogene ale rețelelor electrice, asigurând o circulație forțată a puterilor active și reactive, în scopul minimizării pierderilor de putere activă și îmbunătățirii calității tensiunii în nodurile rețelelor. La aceste transformatoare, tensiunea suplimentară introdusă de reglaj prezintă, în raport cu tensiunea reglată, o componentă longitudinală și una transversală. În rețelele electrice buclate neomogene de înaltă tensiune, componenta longitudinală a tensiunii suplimentare introduse în rețea influențează circulația puterilor reactive și, deci, nivelul tensiunilor, pe când componenta transversală a tensiunii suplimentare este legată, cu precădere, de modificarea circulației puterilor active și a defazajelor tensiunilor.

Ținând seama de condițiile prezentate anterior, în calculele de regim permanent, schemele echivalente ale transformatoarelor și autotransformatoarelor cu reglaj longo-transversal vor include, în mod obligatoriu, transformatoare ideale cu rapoarte de transformare complexe, definite de următoarea relație de calcul:

$$\underline{N} = \frac{U_n^{IN}}{U^{IR}} \quad (11)$$

unde U_n^{IN} reprezintă tensiunea nominală a înfășurării nereglate, iar \underline{U}^{IR} este tensiunea înfășurării reglate a transformatorului sau autotransformatorului.

Tensiunea înfășurării reglate \underline{U}^{IR} este dependentă de plotul de funcționare al transformatorului sau autotransformatorului w și de unghiul de reglaj γ , fiind posibilă determinarea sa cu o relație de forma:

$$\underline{U}^{IR} = U_n^{IR} \left[1 + (w_n - w) \frac{\Delta U_p}{100} e^{j\gamma} \right] \quad (12)$$

în care mărimile U_n^{IR} , w_n , w , ΔU_p au aceeași semnificație ca în expresia (10), iar γ reprezintă unghiul de reglaj.

Ținând seama de considerentele prezentate anterior, pentru modelarea cât mai exactă a rețelelor electrice în vederea efectuării calculului de regim permanent, schemele echivalente ale transformatoarelor și autotransformatoarelor de putere vor include obligatoriu și transformatoare ideale, caracterizate prin rapoarte de transformare reglabile, reale sau complexe.

În practica curentă, în funcție de tipul de reglaj, se întâlnesc două situații distincte, prezentate, în mod explicit, în cele ce urmează.

- *Transformatoarele și autotransformatoarele cu două înfășurări și raport real de transformare, cu reglaj longitudinal*, se pot reprezenta în schema echivalentă printr-o impedanță sau admitanță conectată în serie cu un transformator ideal, ca în Figura 3a, neglijând pierderile transversale. Pentru eliminarea cuplajelor magnetice (transformatorul ideal), schema reprezentată în Figura 3a se poate echivala cu un cuadripol în Π , cu legături galvanice, de tipul celui prezentat în Figura 3b, ale cărui elemente au următoarele valori:

$$\underline{y}_{ik} = N_{ii} \underline{y}_T; \quad \underline{y}_{iko} = N_{ii} (N_{ii} - 1) \underline{y}_T; \quad \underline{y}_{kio} = (1 - N_{ii}) \underline{y}_T \quad (13)$$

unde: $N_{ii} = U_i' / U_i$ - raportul de transformare al transformatorului ideal, considerat dinspre latură spre nod;

$$\underline{y}_T = \frac{I}{\underline{z}_T} = \frac{I}{R_T + jX_T} \text{ - admitanța longitudinală a transformatorului;}$$

$$Z_T = \frac{U_n^2}{S_n} \text{ - impedanța nominală a transformatorului cu două înfășurări;}$$

$$u_r = \frac{\Delta P_{sc} \cdot 10^{-3}}{S_n} 100 \quad [\%] \text{ - componenta activă a tensiunii de scurtcircuit;}$$

$$u_x = \sqrt{u_{sc}^2 - u_r^2} \quad [\%] \text{ - componenta reactivă a tensiunii de scurtcircuit;}$$

u_{sc} - tensiunea de scurtcircuit a transformatorului, în %;

S_n - puterea aparentă nominală trifazată a transformatorului, în MVA;

ΔP_{sc} - pierderile active în regim de scurtcircuit ale transformatorului, în kW;

U_n^{II}, U_n^{JT} - tensiunile nominale ale înfășurărilor de înaltă și respectiv joasă tensiune ale transformatorului, în kV.

$$R_T = \frac{u_r}{100} Z_n = \frac{\Delta P_{sc} \cdot U_n^2}{S_n^2} 10^{-3} [\Omega] \text{ - rezistența transformatorului cu două înfășurări;}$$

$$X_T = \frac{u_x}{100} Z_n \approx \frac{u_{sc} \cdot U_n^2}{S_n} 10^{-2} [\Omega] - \text{reactanța transformatorului cu două înfășurări.}$$

• În calculele de regim permanent, *transformatoarele și autotransformatoarele cu două înfășurări și reglaj longo-transversal* pot fi reprezentate printr-o impedanță sau o admitanță în serie cu un transformator ideal cu raport de transformare complex, având simbolul \underline{N}_{ii} , conform celor reprezentate în Figura 4a. Această reprezentare corespunde unui cuadripol echivalent în Π , cu legături galvanice, de tipul celui reprezentat în Figura 4b. Elementele cuadripolului echivalent au următoarele valori:

$$\begin{aligned} \underline{y}_{ik} &= \underline{N}_{ii}^* \underline{y}_T; & \underline{y}_{ki} &= \underline{N}_{ii} \underline{y}_T \\ \underline{y}_{iko} &= \underline{N}_{ii}^* (\underline{N}_{ii} - 1) \underline{y}_T; & \underline{y}_{kio} &= (1 - \underline{N}_{ii}) \underline{y}_T \end{aligned} \quad (14)$$

unde: $\underline{N}_{ii} = N_{ii} \alpha_{ii} = \underline{U}_i' / \underline{U}_i$ – raportul complex de transformare al transformatorului ideal.

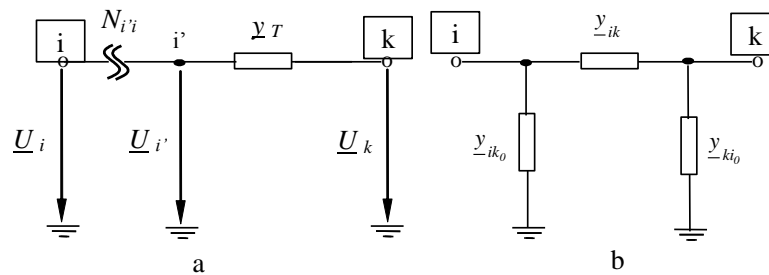


Figura 3 Scheme echivalente pentru transformatoare cu două înfășurări și raport de transformare real

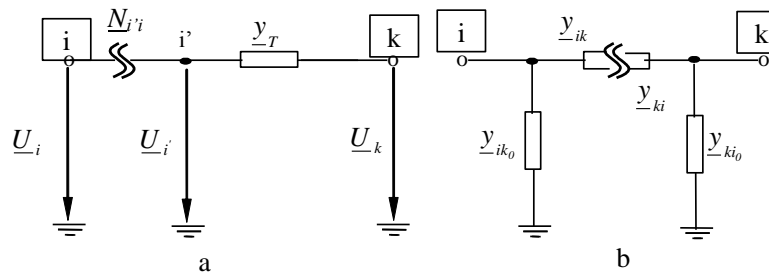


Figura 4 Scheme echivalente pentru transformatoare cu două înfășurări și raport complex de transformare

Din analiza relațiilor (14) se constată că, din cauza raportului complex de transformare, schema echivalentă în Π , prezentată în Figura 4b, nu mai este simetrică.

4.4 Schemele echivalente și parametrii instalațiilor de compensare

Controlul circulației puterilor reactive și al nivelului tensiunilor în instalațiile de transport și distribuție a energiei electrice necesită o serie de instalații suplimentare de compensare: *compensatoare sincrone, bobine de reactanță (reactoare) și baterii de condensatoare* conectate în derivație (șunt).

Bobinele de reactanță și bateriile de condensatoare, montate în diverse puncte ale rețelelor

electrice, se reprezintă în schema echivalentă monofazată prin dipoli cu reactanță, conectați transversal între nodurile respective și pământ, ca în Figura 5. Reactanțele instalațiilor de compensare pot fi calculate cu următoarele relații:

- bobine de reactanță : $X_b = Q_{b_n} \frac{U_n^2}{\Delta P^2 + Q_{b_n}^2} \quad [\Omega]$ (15)

- baterii de condensatoare : $X_c = -\frac{U_n^2}{Q_{c_n}} \quad [\Omega]$ (16)

unde:

- U_n - tensiunea nominală, în kV;
- ΔP - pierderi de putere activă în bobină, în MW;
- Q_{b_n} - puterea nominală a bobinei, în MVar;
- Q_{c_n} - puterea nominală a bateriei de condensatoare, în MVar.

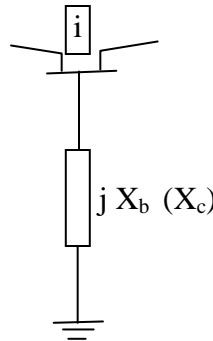


Figura 5 *Reprezentarea bobinelor de reactanță sau a bateriilor de condensatoare*

5. Matricea admitanțelor nodale

Matricea admitanțelor nodale corespunzătoare unei rețele electrice este definită de următoarea expresie :

$$[Y_n] = [A] \cdot [Y] \cdot [A] \quad (17)$$

în care $[A]$ reprezintă matricea redusă de incidență laturi-noduri independente, corespunzătoare rețelei, iar $[Y]$ este matricea admitanțelor proprii și mutuale ale laturilor rețelelor.

Această matrice a admitanțelor nodale este o matrice nesingulară, pătrată, simetrică față de prima diagonală, având numărul de linii și numărul de coloane egal cu numărul nodurilor independente ale rețelei.

Dacă pentru reprezentarea transformatoarelor sau autotransformatoarelor se folosesc scheme echivalente cu cuplaj magnetic (Figurile 3a și 4a), regulile de scriere directă ale matricei $[Y_n]$ sunt următoarele:

- Orice termen de pe diagonala principală Y_{ii} este egal cu suma admitanțelor longitudinale și transversale ale laturilor incidente galvanic în nodul $i \in n-1$, la care se adaugă suma produsului dintre admitanța longitudinală și pătratul raportului de transformare al laturilor incidente magnetic în nod $(y_T \frac{N_{ii}^2})$.

- Orice termen \underline{Y}_{ik} nediagonal este egal cu admitanța laturii de legătură dintre nodul i și nodul k , considerată cu semnul minus, pentru laturile care nu conțin cuplaje magnetice ($\underline{Y}_{ik} = \underline{Y}_{ki} = -\underline{y}_{ik}$). În cazul laturilor care conțin cuplaje magnetice, dacă latura este incidentă magnetic în nodul i , atunci termenii nediagonali au următoarele valori:

$$\underline{Y}_{ik} = -N_{ii}^* \underline{y}_T; \quad \underline{Y}_{ki} = -N_{ii} \underline{y}_T.$$

De menționat că, în cazul rețelelor care conțin transformatoare sau autotransformatoare cu reglaj longo-transversal în laturi, matricea admitanțelor nodale $[\underline{Y}_n]$ nu mai este simetrică.

Pentru exemplificare, în Figura 6 a este prezentată schema monofilară a unei rețele electrice, care conține linii electrice și transformatoare cu raport real de transformare. În Figura 6 b este reprezentată schema echivalentă monofazată a rețelei, în care liniile electrice sunt reprezentate prin cuadripoli în Π simetrici (Figura 2), pentru transformatoare se folosește schema echivalentă cu cuplaj magnetic (Figura 3 a), iar incidența magnetică se consideră la nodurile de înaltă tensiune (2, 3 și 5).

Conform regulilor menționate anterior, matricea admitanțelor nodale $[\underline{Y}_n]$, pentru rețeaua reprezentată în Figura 6, are structura prezentată în Figura 7.

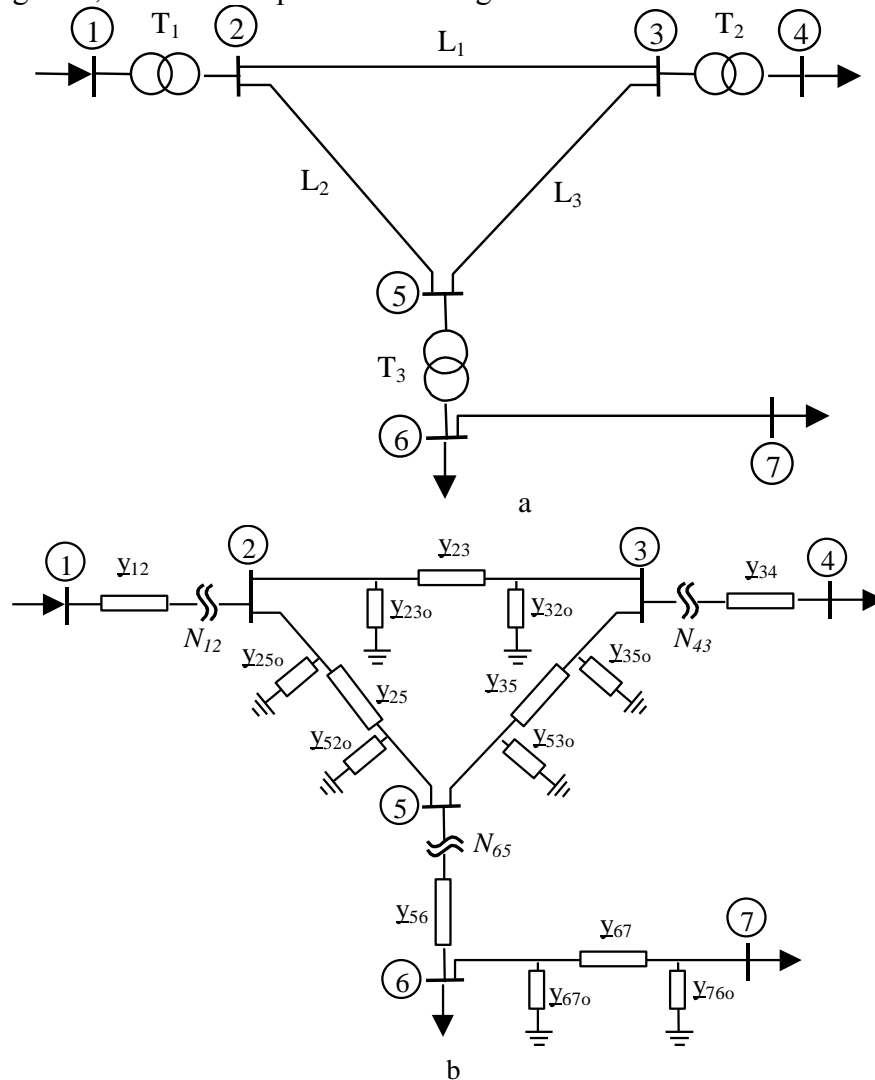


Figura 6 Schema monofilară (a) și echivalentă (b) a rețelei electrice analizate

$$[Y_n] = \begin{bmatrix} y_{12} & -N_{12}y_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -N_{12}y_{12} & N_{12}^2y_{12} + y_{23} + y_{25} & -y_{23} & 0 & -y_{25} & 0 & 0 \\ 0 & -y_{23} & y_{23} + N_{43}^2y_{43} + y_{35} + y_{32_0} + y_{35_0} & -N_{43}y_{34} & -y_{35} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -N_{43}y_{34} & y_{34} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -y_{25} & -y_{35} & 0 & y_{25} + y_{35} + N_{65}^2y_{56} + y_{52_0} + y_{53_0} & -N_{65}y_{56} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -N_{65}y_{56} & y_{56} + y_{67} + y_{67_0} & -y_{67} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -y_{67} & y_{67} + y_{76_0} \end{bmatrix}$$

Figura 7 Matricea admitanțelor nodale $[Y_n]$ pentru o rețea electrică cu transformatoare în laturi

În cazul rețelelor electrice de dimensiuni mari, cu număr de noduri de ordinul sutelor sau miilor, matricea admitanțelor nodale este o *matrice rară*, deoarece cele mai multe din elementele sale au valoarea zero. Această proprietate, întâlnită în literatura de specialitate și sub denumirile de *lacunaritate* sau *sparsitate*, se explică prin gradul redus de conectivitate dintre nodurile rețelelor electrice din sistemul electroenergetic. Matricele rare se caracterizează, de regulă, prin *coeficientul de umplere*, c_{ump} , exprimat adesea procentual, care reprezintă ponderea elementelor nenule din numărul total de elemente ale matricelor.

Pentru o rețea electrică care conține n noduri și l laturi longitudinale în schema echivalentă monofazată, coeficientul de umplere al matricei admitanțelor nodale $[Y_n]$ este definit de următoarea expresie:

$$c_{ump} = \frac{n + 2 \cdot l}{n^2} \cdot 100 \quad [\%]$$

sau notând cu l_{med} numărul mediu al laturilor longitudinale incidente la un nod din rețeaua analizată, coeficientul de umplere poate fi calculat, cu aproximație, folosind relația:

$$c_{ump} = \frac{l_{med} + 1}{n} \cdot 100 \quad [\%]$$

Ținând seama de lacunaritatea matricei admitanțelor nodale $[Y_n]$, precum și a altor matrice specifice rețelelor electrice din sistemele de distribuție a energiei electrice, programele actuale de calcul destinate analizei regimurilor permanente simetrice de funcționare ale rețelelor electrice au la bază algoritmi performanți, care folosesc tehnici și metode adecvate de stocare și prelucrare a matricelor rare, în scopul minimizării numărului total de operații, precum și a utilizării eficiente a memoriei sistemelor de calcul utilizate.

6 Algoritm și schemă logică pentru formarea matricei admitanțelor nodale

Algoritmul pentru formarea matricei admitanțelor nodale se bazează pe regulile simple prezentate anterior. În vederea calculului direct al termenilor diagonali și nedijagonali din această matrice trebuie parcurși următorii pași:

1. Inițializarea cu zero a elementelor viitoarei matrice pătrate a admitanțelor nodale, $[\underline{Y}_n]$.
2. Inițializarea numărului curent al laturii $l = 1$.
3. Citirea datelor referitoare la latura l (cuadripolul $i - k$) al rețelei.
4. Calculul elementelor cuadripolului în Π folosind relațiile (8) pentru laturile constituite din linii electrice și relațiile (13) sau (14) pentru laturile care conțin transformatoare.
5. Însurubarea, la termenii de pe diagonala principală \underline{Y}_{ii} și \underline{Y}_{kk} , a valorilor admitanțelor longitudinale \underline{y}_{ik} , respectiv \underline{y}_{ki} și transversale \underline{y}_{ik0} , respectiv \underline{y}_{ki0} .
6. Calculul termenilor din afara diagonalei principale, folosind relații de forma: $\underline{Y}_{ik} = -\underline{y}_{ik}$ și $\underline{Y}_{ki} = -\underline{y}_{ki}$.

În cazul rețelelor fără transformatoare cu reglaj longo-transversal, termenii nediagonali sunt egali, $\underline{Y}_{ik} = \underline{Y}_{ki}$.

7. Dacă nu s-au citit datele referitoare la toate laturile rețelei, se stabilește $l = l + 1$ și se repetă operațiile începând cu pasul 3.
8. Tipărirea matricei admitanțelor nodale $[\underline{Y}_n]$ corespunzătoare rețelei electrice.

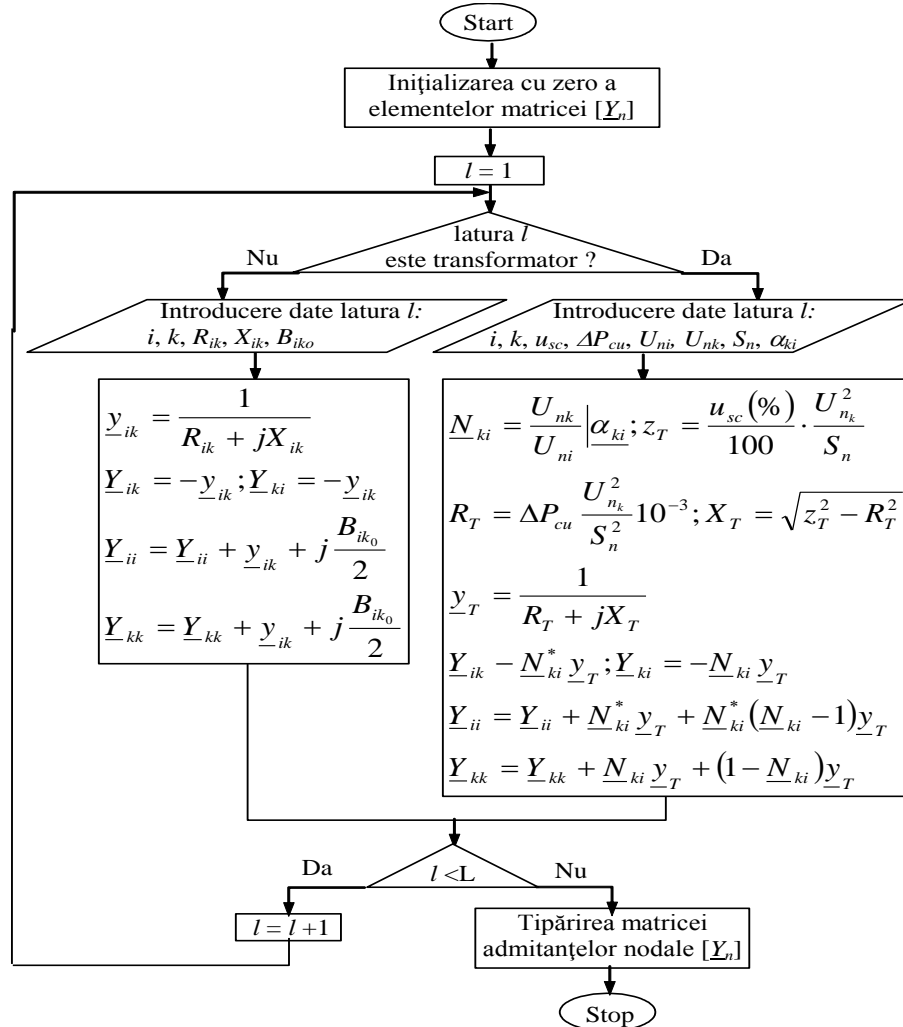


Figura 8 Shema logică pentru formarea matricei admitanțelor nodale $[\underline{Y}_n]$

Pe baza algoritmului de calcul deschis anterior, a fost întocmită schema logică prezentată în Figura 8, pentru formarea matricei admitanțelor nodale a rețelelor electrice care includ în componență și transformatoare de putere cu raport de transformare complex. În această schemă logică, s-a considerat că nodurile i și k au aceeași tensiune nominală, adică $\underline{N}_{ii} = \underline{N}_{ki} = U_{nk} / U_{ni} \alpha_{ki}$. Dacă transformatoarele din rețeaua electrică prezintă raport real de transformare, în datele de intrare se va considera $\alpha_{ki} = 0$.

7. Program specializat pentru calculul matricei admitanțelor nodale [Yn]

Pe baza algoritmului și schemei logice prezentate anterior, s-a implementat un program de calcul, numit Yn , având o interfață dialog cu caracter pronunțat conversațional, ceea ce permite utilizatorului o mai bună familiarizare cu sistemul de calcul. Programul este scris în C# și efectuează calculele necesare formării matricei admitanțelor nodale. Yn poate fi rulat pe orice sistem Win32 (Win9x, Me, NT, 2000, XP), dar trebuie instalate în prealabil componenta ".net Framework Runtime" și o versiune MDAC "Microsoft Data Access Components" 2.6 sau mai nouă, pentru a putea rula într-un mod adecvat.

Programul Yn poate fi lansat în execuție aplicând dublu-click pe fișierul executabil $Yn.exe$, în urma căruia se va deschide o fereastră principală, care informează utilizatorul despre posibilitățile programului, conform reprezentării din Figura 9.

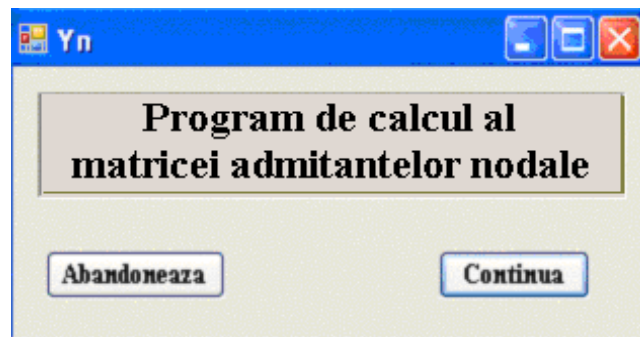


Figura 9. Fereastră principală a programului de calcul Yn

În afară de caracterul informativ al ferestrei principale, se observă din Figura 9 două opțiuni și anume:

- *Continuă* – în cazul în care utilizatorul dorește rularea programului, după ce a fost informat despre posibilitățile acestuia, iar pe ecranul calculatorului va apărea o fereastră pentru introducerea datelor generale ale rețelei electrice, ca în Figura 10.
- *Abandonează* – se utilizează în cazul în care utilizatorul nu mai dorește lansarea în execuție și se va face ieșirea definitivă din programul de calcul.

Este important de menționat că aceste opțiuni se vor regăsi în fiecare fereastră din program, având același rol – de continuare a aplicației și de ieșire din programul de calcul.

7.1 Date de intrare

Programul Yn poate analiza o rețea electrică conținând 30 de noduri și 60 de laturi. Datele de intrare se introduc sub formă modulară, în ferestre, a căror structură este prezentată, în detaliu, în cele ce urmează.

În Figura 10 este prezentată fereastra care permite introducerea, de la tastatură, a *datelor generale* ale rețelei ce urmează a fi analizată, în scopul întocmirii matricei admitanțelor nodale. Aceste date se referă la numărul total de noduri n și numărul total de laturi l din rețeaua electrică analizată.



Figura 10. Fereastră pentru introducerea datelor generale ale rețelei

În cazul în care nu vor fi introduse date numerice de la tastatură, programul va atenționa utilizatorul printr-un mesaj „*Vă rugăm să introduceți date numerice*”, iar atunci când de la tastatură au fost introduse date eronate, se vor genera mesaje-eroare, de forma celor prezentate în Figura 11.

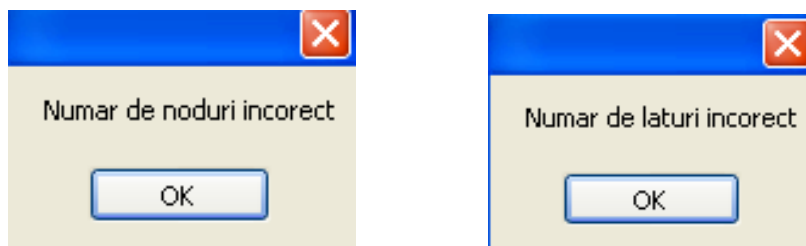


Figura 11. Mesaje de eroare la introducerea eronată a datelor generale

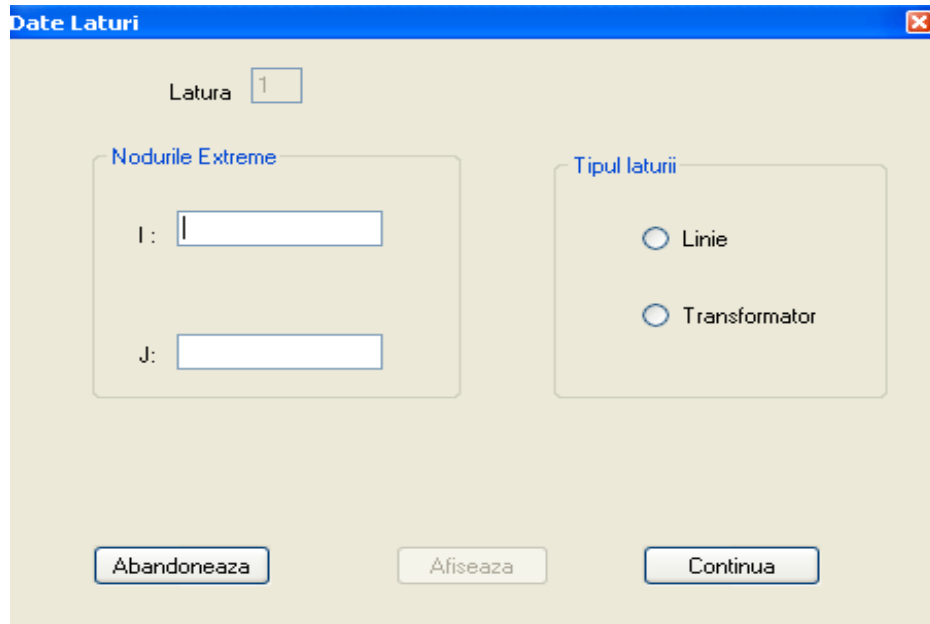
Pentru fiecare *latură* din rețeaua electrică analizată, se introduce câte un set de date reprezentând nodurile de la extremitățile laturii și tipul laturii (linie sau transformator), conform ferestrei reprezentate în Figura 12.

Dacă nodurile de la extremitățile laturii au fost introduse incorect, folosind litere sau simboluri, programul va afișa un mesaj-eroare, de tipul „*Introduceți date numerice pentru extremități*”. De asemenea, programul va genera o eroare sugestivă cu mesajul „*Date extremități incorecte. Vă rugăm introduceți din nou*”, în următoarele situații: declararea unei extremități a laturii ca fiind „0”; introducerea, pentru nodurile extreme ale laturii, a unor valori mai mari decât numărul total de noduri declarat pentru rețeaua analizată; nodurile extreme i și j pentru o latură sunt introduse cu aceeași valoare numerică.

Atunci când utilizatorul nu a selectat tipul laturii și a accesat butonul „*Continuă*”, programul va genera un mesaj de avertizare „*Nu ați selectat tipul laturii*”, iar dacă nu au fost introduse date referitoare la extremitățile laturii, se va afișa următorul mesaj „*Nu ați introdus date pentru extremități*”.

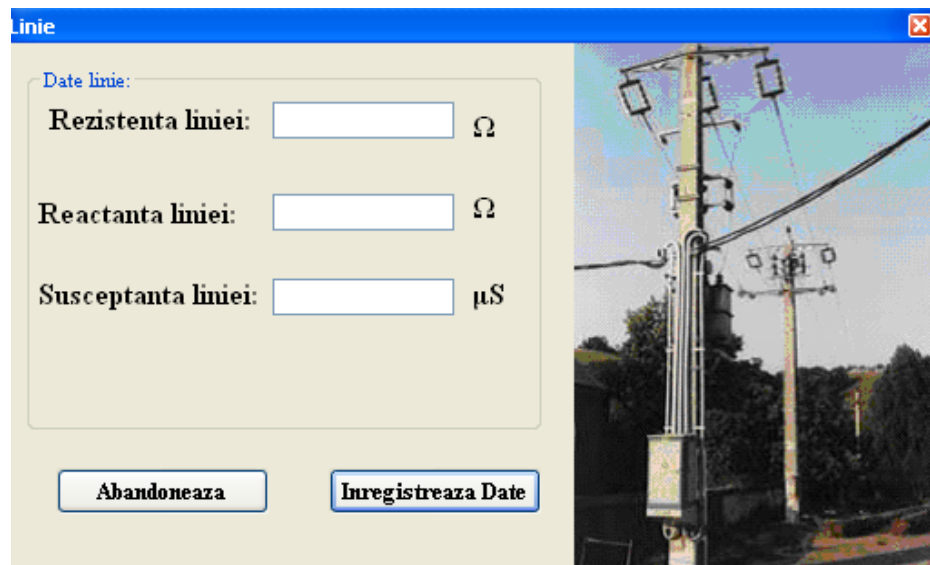
În cazul rețelelor electrice care aparțin sistemului electroenergetic sau sistemelor de distribuție a energiei electrice, laturile acestora sunt constituite fie din linii electrice, fie din transformatoare de putere. Prin urmare, pentru programul *Yn* laturile pot fi declarate de tip *Linie* sau de tip *Transformator*.

Dacă latura selectată este de tip *Linie*, accesând butonul „*Continuă*” programul va genera o fereastră de forma celei prezentate în Figura 13. Atunci când latura selectată este de tip *Transformator*, accesând butonul „*Continuă*” programul va genera o fereastră de forma celei prezentate în Figura 14. În ambele situații, în ferestrele respective vor fi introduse parametrii electrice sau datele caracteristice laturii respective.



The screenshot shows a dialog box titled "Date Laturi". At the top, there is a label "Latura" followed by a text input field containing the number "1". Below this, there are two main sections. The first is "Nodurile Extreme", which contains two input fields labeled "I:" and "J:". The second is "Tipul laturii", which contains two radio button options: "Linie" and "Transformator". At the bottom of the dialog, there are three buttons: "Abandoneaza", "Afiseaza", and "Continua".

Figura 12. Fereastră pentru introducerea datelor referitoare la laturi



The screenshot shows a dialog box titled "Linie". On the left side, there is a section labeled "Date linie:" containing three input fields: "Rezistenta liniei:" with the unit symbol Ω , "Reactanta liniei:" with the unit symbol Ω , and "Susceptanta liniei:" with the unit symbol μS . On the right side of the dialog, there is a photograph of a utility pole with power lines. At the bottom, there are two buttons: "Abandoneaza" and "Inregistreaza Date".

Figura 13. Fereastră pentru introducerea parametrilor electrice caracteristici unei laturi de tip linie

Conform ferestrei reprezentate în Figura 13, se observă că pentru fiecare latură de tip *linie* trebuie introduși de la tastatură următorii parametri electrici care caracterizează latura și anume:

- Rezistența liniei, în Ω .
- Reactanța liniei, în Ω .
- Susceptanța liniei, în μS .

Dacă latura selectată este de tip *Transformator*, conform ferestrei reprezentate în Figura 14, pentru o astfel de latură este necesar să se introducă de la tastatură următorul set de date:

- Puterea aparentă nominală a transformatorului S_n , în MVA.
- Pierderile în cupru P_{cu} , în KW.
- Tensiunea de scurtcircuit u_{sc} , în %.
- Tensiunea nominală în extremitatea inițială a laturii $U_n(i)$, în kV.
- Tensiunea nominală în extremitatea finală a laturii $U_n(j)$, în kV.



Figura 14. Fereastră pentru introducerea setului de date specifice unei laturi de tip transformator din rețeaua analizată

După introducerea tuturor datelor despre fiecare *Linie* sau *Transformator* în parte, se accesează butonul „Înregistrează date” și automat programul va salva într-un fișier datele introduse. Butonul „Abandonează” va executa iesirea automată din programul de calcul.

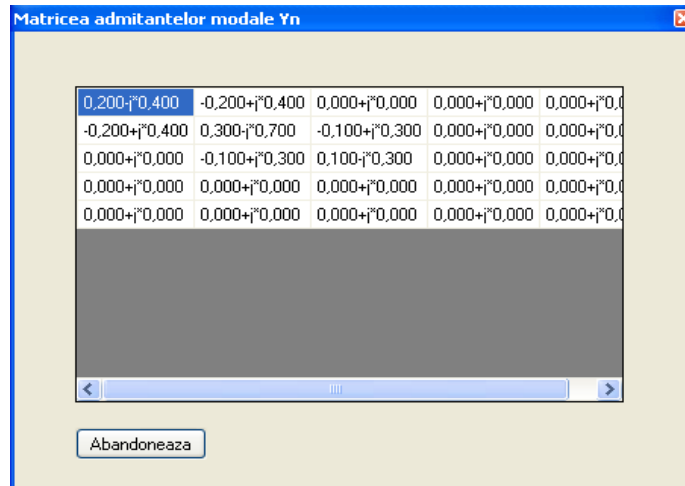
La introducerea eronată a datelor de intrare (simboluri, litere, etc) atât la *Linie*, cât și la *Transformator*, programul va genera un mesaj-eroare „Va rugăm introduceți date numerice”.

Trebuie menționat faptul că, în cazul în care utilizatorul introduce date greșite de la tastatură, programul de calcul *Yn* oferă posibilitatea *modificării* acestora, doar revenind, la momentul respectiv, asupra datelor eronate, selectând căsuța în care s-au introdus și modificându-le corespunzător. Această opțiune este valabilă pe tot parcursul execuției programului *Yn*.

7.2 Afișarea rezultatelor

După execuția programului de calcul Y_n , prin accesarea butonului „Afișare” de către utilizator, se afișează, sub formă tabelară, în numere complexe, matricea admitanțelor nodale, conform ferestrei reprezentate în Figura 15.

Este important de precizat că, pe parcursul execuției programului, mai exact în etapa de introducere a datelor despre laturi, butonul „Afișare” nu este activ. Această opțiune este activată numai după introducerea tuturor datelor corespunzătoare fiecărei laturi din rețea, declarate inițial în cadrul datelor generale privind rețeaua electrică analizată.



0,200-j*0,400	-0,200+j*0,400	0,000+j*0,000	0,000+j*0,000	0,000+j*0,000
-0,200+j*0,400	0,300-j*0,700	-0,100+j*0,300	0,000+j*0,000	0,000+j*0,000
0,000+j*0,000	-0,100+j*0,300	0,100-j*0,300	0,000+j*0,000	0,000+j*0,000
0,000+j*0,000	0,000+j*0,000	0,000+j*0,000	0,000+j*0,000	0,000+j*0,000
0,000+j*0,000	0,000+j*0,000	0,000+j*0,000	0,000+j*0,000	0,000+j*0,000

Figura 15. Fereastră pentru afișarea matricei admitanțelor nodale

8. Modul de desfășurare a lucrării

- Studenții sau utilizatorii trebuie să certifice înțelegerea modelului matematic și a algoritmului de calcul pentru formarea și calculul matricei admitanțelor nodale, precum și modul de utilizare a programului de calcul Y_n .

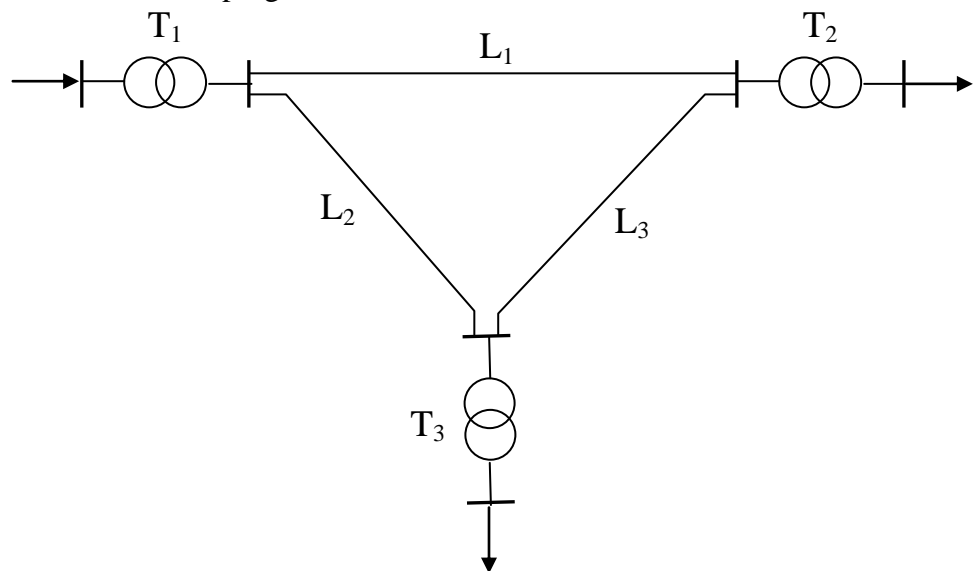


Figura 16. Schema monofilară a rețelei de transport al energiei electrice analizată

- Prin utilizarea programului de calcul Y_n , se cere, de asemenea, să se calculeze matricea admitanțelor nodale pentru o rețea de transport al energiei electrice, a cărei schemă monofilară este reprezentată în Figura 16.

Laturile rețelei electrice sunt constituite din linii electrice aeriene simplu circuit cu tensiunea nominală de 220 kV, precum și din transformatoare de putere cu reglaj longitudinal și raport real de transformare. Caracteristicile și parametrii electrici globali ai liniilor de transport L_1 , L_2 , și L_3 sunt prezentați în Tabelul 2. În ceea ce privește transformatoarele trifazate cu două înfășurări T_1 , T_2 , și T_3 , care echepează stațiile de transformare din rețeaua analizată, datele nominale și cele reieșite din încercări ale acestora sunt indicate în Tabelul 3.

Caracteristicile și parametrii electrici globali ai liniilor electrice aeriene de transport al energiei electrice

Tabelul 2

Linia	Un [kV]	Secțiunea [mm ²]	Lungimea [km]	R [Ω]	X [Ω]	B [S]
L_1	220	450	140	9,38	56,56	$388 \cdot 10^{-6}$
L_2	220	450	90	6,05	36,37	$251 \cdot 10^{-6}$
L_3	220	450	110	7,37	44,44	$306 \cdot 10^{-6}$

Datele nominale și caracteristicile transformatoarelor din stațiile de transformare

Tabelul 3

Transformator	S_n [MVA]	U^{JT} [kV]	U^{JT} [kV]	ΔP_{sc} [KW]	u_{sc} [%]
T_1	250	242	15,75	586	11
T_2	100	231	121	275	10
T_3	125	230	121	380	10,5