

MODELAREA CONSUMATORILOR DIN NODURILE SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE

1. Introducere

Rețelele electrice de repartiție și distribuție de medie și joasă tensiune reprezintă, în prezent, peste 88 % din totalul rețelelor de transport și distribuție din țara noastră. Dezvoltarea acestor rețele, precum și restructurarea celor existente capătă o importanță din ce în ce mai mare în ansamblul instalațiilor electroenergetice, datorită deplasării, în ultimii ani, a consumului de energie electrică de la noi din țară spre medie și joasă tensiune. Pentru exploatarea eficientă a sistemelor de distribuție și o gestionare economico-financiară cât mai rațională a unităților teritoriale de distribuție a energiei electrice, una din cerințele care trebuie satisfăcute constă în o bună cunoaștere a necesarului de putere și energie, în termenii *unde, când și cât*.

Rețelele de distribuție de medie tensiune și, mai ales, cele de joasă tensiune au un număr mare de elemente componente, sunt răspândite pe suprafațe întinse, prezintă o densitate relativ mare, fiind caracterizate, în general, prin absența posibilităților tehnice de monitorizare a funcționării lor. De exemplu, deși rețelele de distribuție de joasă tensiune asigură distribuirea energiei electrice la peste opt milioane de abonați, se constată că numărul de informații culese din aceste rețele este mic, durata de obținere a acestora fiind mare, utilizatorii de energie electrică sunt nemulțumiți într-un procent considerabil de calitatea necorespunzătoare a energiei electrice livrate, întreprinderile mici și mijlocii alimentate din rețeaua electrică de joasă tensiune perturbă, de regulă, calitatea energiei electrice.

În prezent, sunt necesare cât mai multe informații din rețelele de distribuție, iar pentru obținerea acestora este nevoie de instalarea unor aparate electronice înregistratoare, căi de transmitere a informațiilor către un punct central (dispecer zonal, municipal sau local), calculatoare numerice, programe de calcul specializate etc. Lipsa unor astfel de informații face ca unitățile teritoriale de distribuție a energiei electrice să nu poată efectua o analiză completă și corectă a regimurilor de funcționare ale rețelelor de distribuție, estimarea stării rețelelor electrice, prognoze ale consumului de energie în timp și spațiu, selectarea sistemelor de tarifyare pentru clienți etc.

Dacă, în cazul consumatorilor industriali, curbele de sarcină pot fi cunoscute, deoarece majoritatea acestor consumatori au în dotare contoare electronice, nu același lucru se poate spune și despre consumatorii casnici și terțari, care constituie, în general, consumatori captivi. Aceștia din urmă reprezintă, de fapt, ponderea principală a clienților unei unități de distribuție a energiei electrice, iar contorizarea lor cu ajutorul sistemelor electronice este neeconomică, ținând seama de energia electrică consumată de aceștia.

În acest context, pentru a putea lua, în mod corect, în considerație și această categorie de consumatori, este necesară reprezentarea sarcinilor acestora printr-un model adecvat. Un astfel de model, folosit frecvent în unitățile de electricitate din întreaga lume, este cel al *curbelor tip de sarcină*.

Curble tip de sarcină reprezintă variația probabilă a sarcinii (activă / reactivă), pe un interval de timp dat, de regulă o zi, și pot fi definite ca un *tipar* al consumatorului de energie electrică, pe această perioadă de timp. În țara noastră, astfel de curbe tip se construiesc sub formă de paliere cu durată de o oră (24 paliere), sarcinile fiind exprimate în unități relative, raportate la sarcina medie a sarcinilor din curbele înregistrate și prelucrate.

2. Categoriile de consum și curbe tip de sarcină

Sarcinile din nodurile rețelelor de distribuție sunt funcții aleatoare, depinzând de mai mulți parametri, care, la rândul lor, au, de asemenea, un caracter aleatoriu. Din aceste motive, analiza corectă a curbelor de sarcină și a principalilor indicatori ai acestora este posibilă numai pe baza statisticii matematice și a calculului probabilităților.

Sarcinile active și reactive din nodurile rețelelor de distribuție urbane și rurale sunt funcții aleatoare de timp, iar variațiile zilnice, trecute, ale sarcinii reprezintă realizări concrete ale funcțiilor respective. Ținând seama de aceste aspecte, în literatura de specialitate s-a adoptat ipoteza, destul de precisă în calculele practice, conform căreia, în cazul rețelelor de distribuție, sarcinile active și reactive se supun, în orice moment al zilei, *legii normale de distribuție*. Această lege este caracterizată prin două mărimi și anume *valoarea medie* sau *speranța matematică* - M_x și *dispersia* D_x , care pot fi determinate cu relațiile următoare:

$$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; \quad D_x = \frac{n}{n-1} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i - M_x \right)^2 \quad (1)$$

în care X_i este valoarea mărimii aleatoare obținută sau măsurată în experimentul i , iar n reprezintă numărul total de experimente.

Valoarea maximă a variabilei aleatoare X_{max} poate fi evaluată cu o relație de forma:

$$X_{max} = M_x + t \cdot \sigma_x \quad (2)$$

unde $\sigma_x = \sqrt{D_x}$ și reprezintă abaterea standard, iar t este un parametru al legii de distribuție normală.

Măsura dependenței stohastice între două variabile aleatoare (X_k și X_l) se poate caracteriza cu ajutorul coeficientului de corelație, de forma următoare:

$$r_{kl} = \frac{\frac{n}{n-1} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ki} \cdot X_{li} - M_{xk} \cdot M_{xl} \right)}{\sigma_{xk} \cdot \sigma_{xl}} \quad (3)$$

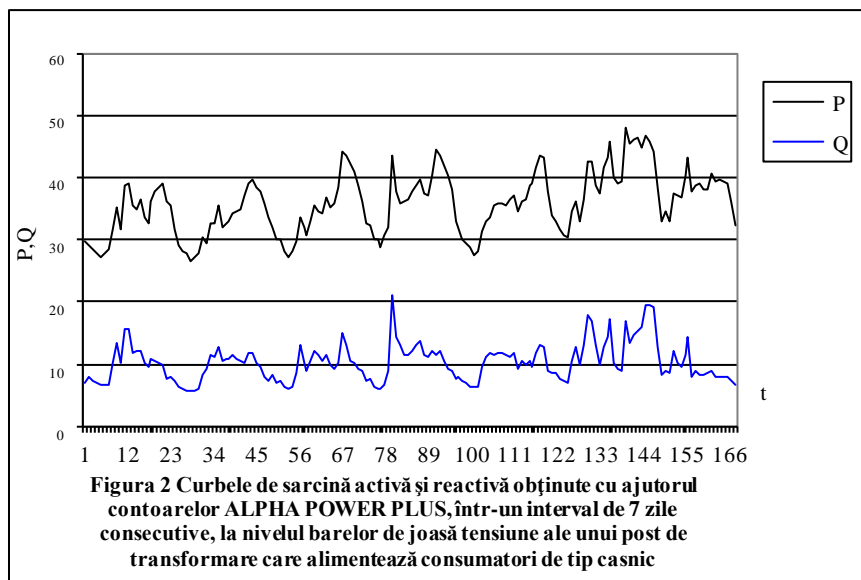
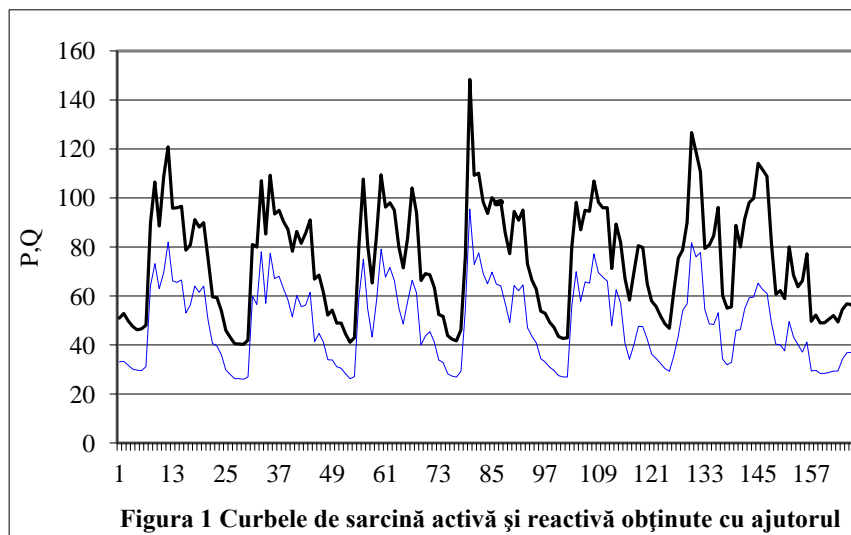
În cazul a două variabile aleatoare independente, acest coeficient de corelație are valoarea zero, iar pentru variabilele dependente liniar, coeficientul are valori cuprinse între +1 și -1. Mulțimea coeficienților de corelație pentru un sistem de m variabile aleatoare se dispune, de regulă, într-o matrice pătrată $[r_{kl}]$, având pe diagonala principală toate elementele egale cu 1.

Curbele tip de sarcină se construiesc pentru grupuri sau categorii de consumatori, care se deosebesc de restul consumatorilor prin caracteristici comune. Totodată, în cadrul unei aceleiași categorii, pe lângă unele influențe de natură socio-economică, cum ar fi dotarea cu aparate, instalații și echipamente electrice la consumatori, alți factori care influențează semnificativ forma curbelor de sarcină sunt variațiile temperaturii de la o zi la alta și ciclul sezonier, reflectat, în principal, de lungimea unei zile.

Abordarea clasică a problemei construirii *curbelor tip de sarcină* respectă, în general, următoarea schemă de principiu. În primul rând, toți consumatorii monitorizați sunt împărțiți în clase, conform unui criteriu stabilit, cum ar fi, de exemplu, activitatea desfășurată. În continuare, se înregistrează curbele zilnice de sarcină pentru fiecare categorie de consum separată în etapa anterioară, curbe care acoperă o perioadă suficient de mare pentru a putea individualiza comportări specifice după zilele din săptămână și anotimpuri. Pentru exemplificare, în Figurile 1 și 2 sunt prezentate curbele de sarcină activă și reactivă la nivelul barelor de joasă tensiune ale unui post de transformare care

alimentează un hotel, respectiv consumatori casnici. Măsurătorile s-au efectuat cu ajutorul contoarelor Alpha Power Plus, iar pentru achiziția datelor s-a folosit un calculator PC conectat la contoarele Alpha, transferul de date fiind facilitat de programul PQM (Power Quality Inspector). Culegerea de date s-a realizat în mod continuu, pe o perioadă de 7 zile consecutive.

Următorul pas, conform schemei de principiu, îl reprezintă construirea propriu-zisă a curbelor tip de sarcină. Astfel, pentru fiecare zi caracteristică (lucrătoare sau de repaus) dintr-un anotimp specific, se face medierea oră cu oră a curbelor de sarcină înregistrate pentru o categorie de consum. Rezultatul este o curbă de sarcină unică, corespunzătoare *curbei tip de sarcină* a categoriei respective de consum, pentru ziua din săptămâna și anotimpul considerate. Prin aplicarea acestei proceduri, pentru fiecare categorie de consum, se obțin curbele tip de sarcină ce pot fi asociate categoriei respective. Pentru exemplificare, în Figurile 3 și 4 sunt prezentate curbele tip de sarcină activă și reactivă pentru categoria de consum casnic urban, respectiv hotel, în zile lucrătoare și de repaus, în regim de iarnă.



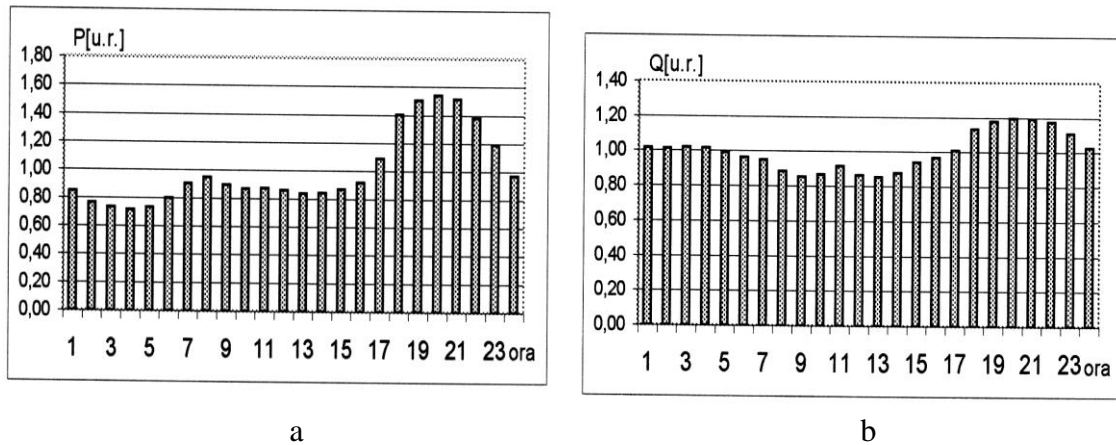


Figura 3. Curbe tip de sarcină activă (a), respectiv reactivă (b), pentru categoria de consum casnic urban, în zile lucrătoare din regimul rece (iarnă)

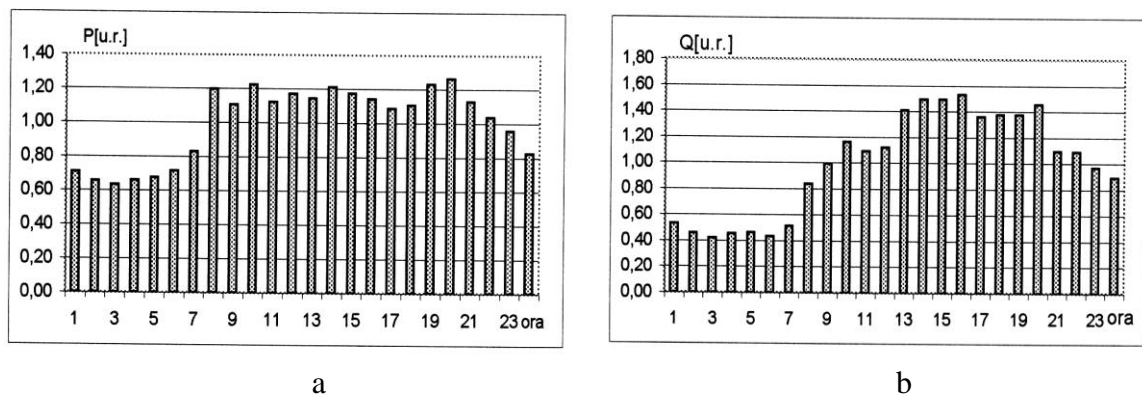


Figura 4. Curbe tip de sarcină activă (a), respectiv reactivă (b), pentru categoria de consum de tip hotel, în zile lucrătoare din regimul rece (iarnă)

3. Bază de date constituită din curbe tip de sarcină

Cu toate că, în principiu, se pot construi zeci de curbe tip de sarcină, se constată că o mare parte a consumatorilor au tipare comune, foarte apropiate, ale curbelor zilnice de sarcină. În acest context, stabilirea portofoliului propriu-zis de curbe tip de sarcină ale unei unități teritoriale de distribuție a energiei electrice necesită precizarea numărului și specificului acestor curbe, care vor constitui *baza de date*. Principalele criterii care ar trebui utilizate în alegerea unui set dintre mai multe seturi de curbe tip de sarcină sunt următoarele:

- Fiecare curbă tip de sarcină trebuie să reprezinte un grup relativ omogen de consumatori și să fie bine diferențiată de restul curbelor tip de sarcină.
- Setul de curbe tip de sarcină trebuie să acopere o proporție semnificativă a consumatorilor casnici și terțieri, care sunt, de regulă, consumatori captivi.
- Atunci când se folosește eșantionarea după caracteristicile de consum, criteriile pe baza cărora unui anumit consumator i se asociază o curbă tip de sarcină trebuie să fie bine precizate, pentru a permite, în aplicațiile practice, utilizarea simplă a curbelor tip de sarcină conținute în baza de date.

➤ Numărul curbelor tip de sarcină sau al categoriilor de consum reținute în baza de date trebuie să fie relativ redus.

Alte cerințe pe care trebuie să le respecte procesul de constituire a curbelor tip de sarcină, respectiv a bazei de date care conține aceste curbe, sunt următoarele: curbele tip de sarcină se construiesc prin monitorizarea consumului la clienți reprezentativi, pe durata unui an calendaristic, iar actualizarea datelor se face anual; se recomandă ca estimarea curbelor tip de sarcină să se facă separat pentru fiecare unitate sau companie regională de distribuție a energiei electrice sau pe zone geografice cu caracteristici socio-economice comune; precizia de reprezentare a curbelor tip de sarcină trebuie analizată, în primul rând, din perspectiva aplicației la care sunt folosite.

Având în vedere criteriile și cerințele menționate anterior, fiecare unitate de distribuție a energiei electrice își poate stabili propria *bază de date* constituită din curbe tip de sarcină, care să se adapteze cât mai bine tipului de activități ce folosesc acest mod de reprezentare a sarcinii. În vederea identificării diferitelor curbe tip de sarcină activă și reactivă, pentru diverse categorii de consumatori, în literatura de specialitate se propune un sistem de sondare extins al consumatorilor alimentați din sistemele de distribuție a energiei electrice. Realizarea acestui deziderat reclamă un efort important în ceea ce privește personalul implicat în această acțiune, precum și din punct de vedere al aparaturii de măsurare-înregistrare. Costul ridicat, asociat unei astfel de campanii de măsurători, face ca procedura de dimensionare a sistemului de sondare a mulțimii consumatorilor să fie anevoioasă.

Din aceste motive, în literatura de specialitate se propun o serie de modele matematice, dintre care se poate menționa *metoda eșantionării stratificate*. Această metodă de cercetare statistică utilizează, de regulă, proprietățile estimațiilor provenite dintr-un eșantion stratificat, precum și cea mai bună alegere asupra mărimii eșantionului n_j din stratul l al populației investigate, în scopul obținerii unei precizii dorite în ce privește stabilirea caracteristicilor consumatorilor. Utilizarea tehnicii de *eșantionare stratificată* oferă o opțiune obiectivă și corectă, pentru a stabili coordonatele unui sistem de sondare a consumatorilor de energie electrică.

De asemenea, în literatura de specialitate se propune și o abordare alternativă, care acordă o importanță mai mică clasificărilor prestabilite, lăsând libertatea procedurii de clasificare să extragă atâtea categorii de consum câte rezultă a fi necesare, în limita unui prag prestabilit. În această variantă, principalul criteriu de clasificare este forma curbelor zilnice de sarcină activă și reactivă înregistrate. De menționat faptul că o asemenea procedură face parte din categoria așa-numitelor *algoritme de autoorganizare*. Autoorganizarea este denumită, de obicei, și *învățare nesupravegheată*, fiind una din paradigmele inteligenței artificiale. Aceasta descrie un proces de organizare a informației, cel mai adesea prin clasificare, care se desfășoară în absența oricărui element extern de îndrumare și supraveghere, procesul de organizare are loc numai pe baza unor elemente locale, încorporate în informația prelucrată și anume forma curbelor zilnice de sarcină înregistrate.

În literatură există o varietate largă de algoritmi de autoorganizare, însă cel care se potrivește cel mai bine situației practice considerate, privind curbele zilnice de sarcină, este algoritmul SOFMs (Self Organizing Feature Maps), aplicat pe suportul *rețelelor neuronale Kohonen*. Acest tip de rețea neuronală are structura unei plase, ale cărei noduri conțin câte un neuron, care reprezintă o clasă sau o categorie. *Algoritmul Kohonen standard* produce un cuantificator vectorial prin actualizarea repetată a prototipurilor asociate fiecărui *neuron – clasă*. Fiecare dintre neuronii – clasă primește informațiile necesare prin intermediul conexiunilor cu care sunt legați de neuronii de intrare. În situația analizată, se folosesc 24 neuroni de intrare, corespunzători celor 24 paliere orare ale curbelor de sarcină pentru puterea activă și respectiv reactivă. Fiecărui neuron – clasă k îi este asociat un prototip, descris de ponderile w_{kj} ale conexiunilor dintre neuronul k și neuronii de intrare $j = \overline{1,24}$. Aceste prototipuri descriu, de fapt, curbele tip de sarcină.

În vederea constituirii unei baze de date judicios dimensionată, care să conțină curbe tip de sarcină, fiecare unitate de distribuție a energiei electrice trebuie să adopte un sistem de sondare extins al consumatorilor alimentați. Pentru stabilirea dimensiunilor optime ale acestei baze de date, în funcție de scopul urmărit, se pot folosi metodele anterior menționate – *metoda eșantionării stratificate și algoritmi de autoorganizare aplicați pe suportul rețelelor neuronale Kohonen*.

4. Modelarea curbelor de sarcină din nodurile rețelelor electrice de distribuție

Având la dispoziție o *bază de date* constituită din curbe tip de sarcină, curbele zilnice de sarcină activă și reactivă din nodurile rețelelor de distribuție, în regimurile caracteristice anuale (regim vară, respectiv iarnă – pentru zilele lucrătoare și de repaus), se pot modela prin asocierea, la *curbele tip de sarcină* ale consumatorilor alimentați și a structurii de consum din noduri, a unor informații culese din rețea, cum ar fi:

- *Curentul măsurat în nod, la o oră oarecare din zi.* În acest caz, sarcina activă și reactivă, la ora t din curbele de sarcină zilnice, ce se vor aloca nodului, se determină cu relațiile:

$$P_{n,j}(t) = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{n,j}(k) \cdot \cos \varphi_j^T(k) \frac{P_j^T(t)}{P_j^T(k)} \quad t = \overline{1,24} \quad (4)$$

$$Q_{n,j}(t) = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{n,j}(k) \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_j^T(k)} \frac{Q_j^T(t)}{Q_j^T(k)}$$

unde: $P_{n,j}(t)$, $Q_{n,j}(t)$ - puterea activă, respectiv reactivă în nodul n , în regimul j , la ora t ;
 $I_{n,j}(k)$ - curentul măsurat în nodul n , în regimul j , la ora k ;

$P_j^T(t)$, $P_j^T(k)$, $Q_j^T(t)$, $Q_j^T(k)$ - valoarea medie a sarcinii active și reactive din curbele tip, corespunzătoare regimului j , la ora t , respectiv k ;

$\cos \varphi_j^T(k)$ - valoarea factorului de putere corespunzătoare curbelor tip de sarcină activă și reactivă, din regimul j , la ora k ;

U_n - tensiunea nominală a rețelei.

- *Energia activă vehiculată într-un interval de 24 ore prin nod.* În această variantă, sarcina activă și reactivă, la ora t din curbele de sarcină zilnice ce se vor aloca nodului, se determină cu relații de forma:

$$P_{n,j}(t) = \frac{W_{n,j}}{24} P_j^T(t); \quad t = \overline{1,24} \quad (5)$$

$$Q_{n,j}(t) = P_{n,j}(t) \cdot \sqrt{\frac{1}{[\cos \varphi_j^T(t)]^2} - 1}$$

în care:

Laborator Transportul și distribuția energiei electrice - B. Neagu

$W_{n,j}$ – energia activă vehiculată prin nodul n într-un interval de 24 ore, în regimul j ; ;
 $\cos \varphi_j^T(t)$ – valoarea factorului de putere corespunzătoare curbelor tip de sarcină activă și reactivă, din regimul j , la ora t .

În situația în care din nodul respectiv nu se cunoaște decât coeficientul mediu de încărcare a transformatorului, sarcina activă și respectiv reactivă pentru regimul j , la ora t , se calculează cu următoarele relații:

$$\begin{aligned} P_{n,j}(t) &= \bar{k}_{zj_p} \cdot S_n \cdot P_j^T(t); \\ Q_{n,j}(t) &= \bar{k}_{zj_q} \cdot S_n \cdot Q_j^T(t). \end{aligned} \quad t = \overline{1,24} \quad (6)$$

unde:

$P_j^T(t), Q_j^T(t)$ - valoarea medie a sarcinii active și reactive din curbele tip de sarcină, în regimul j , la ora t , corespunzătoare sectorului principal al distribuitorului;
 $\bar{k}_{zj_p}, \bar{k}_{zj_q}$ – valorile medii statistice ale coeficienților de încărcare a transformatoarelor din posturile de transformare, la sarcina medie zilnică activă și respectiv reactivă, în regimul j ;

S_n – puterea nominală aparentă a transformatorului care echipează postul de transformare.

Dacă modelarea curbelor zilnice de sarcină din nodurile rețelelor de distribuție se realizează cu ajutorul relațiilor (6), în funcție de coeficientul mediu de încărcare și de abaterea standard a acestuia, determinate cu următoarele relații:

$$\bar{k}_{zj} = \frac{M_i}{N_i} \quad (7)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{I}{N_i - 1} [S_i - N_i (\bar{k}_{zj})^2]} \quad (8)$$

valorile coeficienților de încărcare \bar{k}_z trebuie verificate, în sensul satisfacerii următoarei restricții:

$$\bar{k}_z \leq \bar{k}_{zj} + 3\sigma_j \quad (9)$$

unde:

\bar{k}_{zj} – coeficientul mediu de încărcare pentru curba tip de sarcină, din regimul j ;

M_i – suma coeficienților de sarcină pentru un număr N_i de noduri;

σ_j – abaterea standard a coeficientului de încărcare din curba tip de sarcină, în regimul j ;

S_i – suma pătratelor coeficienților de sarcină pentru un număr de N_i noduri, în regimul j .

Totodată, verificarea coeficienților de încărcare se mai realizează și prin satisfacerea următoarei inegalități:

$$\bar{k}_{max} \leq \frac{k_{max}}{P_{jmax}^T} \quad (10)$$

în care: k_{max} – coeficientul real de încărcare a rețelei, pe perioada maximului de sarcină (vârf de sarcină);

P_{jmax}^T – valoarea maximă din curba tip de sarcină activă, în regimul j .

În cazul nodurilor cu o structură de consum mixtă, curbele tip de sarcină activă și reactivă asociate acestora se stabilesc în funcție de curbele tip ale categoriilor de consumatori alimentați și de ponderea lor în structura de consum a nodurilor respective.

Pentru creșterea preciziei privind modelarea sarcinilor active și reactive din nodurile rețelelor electrice de distribuție publică, curbele de sarcină, determinate conform metodologiei descrise, pot fi corectate, în vederea îndeplinirii balanței de puteri orare, pe porțiuni de rețea sau pe întreaga rețea analizată.

În sensul realizării balanței de putere activă, este necesar ca, pentru fiecare oră t din zi, să fie îndeplinite relațiile:

$$\gamma_{P,j} \cdot P_j(t) - \sum_{n=1}^m P_{n,j}(t) = 0, \quad t = \overline{1,24} \quad (11)$$

unde: $\gamma_{P,j}$ - coeficient care ține seama de pierderile de putere activă în linii și transformatoare, în sectorul de rețea analizat;

$P_j(t)$ - puterea activă injectată în sectorul de rețea analizat, în regimul j , la ora t ;

$P_{n,j}(t)$ - sarcina activă modelată cu ajutorul relațiilor (4), (5) sau (6), în nodul n , pentru regimul j , la ora t ;

m - numărul total de noduri din sectorul de rețea analizat.

Relația de bilanț (11) nu este îndeplinită, de regulă, și sunt necesare corecții asupra sarcinilor active modelate în nodurile rețelei și anume:

$$\gamma_{P,j} \cdot P_j(t) - \sum_{n=1}^m [P_{n,j}(t) + \Delta P_{n,j}(t)] = 0; \quad t = \overline{1,24} \quad (12)$$

unde $\Delta P_{n,j}(t)$ reprezintă corecția sarcinii active, în nodul n , pentru regimul j , la ora t .

Corecția sarcinii active $\Delta P_{n,j}(t)$ trebuie să satisfacă următoarea relație:

$$\Delta P_{n,j}(t) = k_j(t) \cdot P_{n,j}(t) [1 - \omega_{n,j}(t)]; \quad t = \overline{1,24} \quad (13)$$

în care: $P_{n,j}(t)$ – sarcina activă alocată nodului n , în regimul j , la ora t ;

$k_j(t)$ – coeficient de proporționalitate, corespunzător regimului j , la ora t ;

$\omega_{n,j}(t)$ – coeficient de veridicitate.

Ținând seama de relațiile (12) și (13), corecția sarcinilor active $\Delta P_{n,j}(t)$ se va determina cu relații de forma:

$$\Delta P_{n,j}(t) = \frac{\left[\gamma_{n,j} \cdot P_j(t) - \sum_{n=1}^m P_{n,j}(t) \right] \cdot P_{n,j}(t) [1 - \omega_{n,j}(t)]}{\sum_{n=1}^m P_{n,j}(t) [1 - \omega_{n,j}(t)]}; \quad t = \overline{1,24} \quad (14)$$

5. Descrierea programului de calcul MODCS

Programul de calcul MODCS (MODELarea Curbelor de Sarcină) oferă, printre multe alte facilități, posibilitatea modelării sarcinilor din nodurile sistemelor de distribuție a energiei electrice. Într-un prim pas, acesta permite crearea unei rețele de distribuție de către utilizator sau deschiderea unui fișier cu datele unei rețele anterior create. La crearea unei rețele de distribuție noi, se deschide o primă fereastră de dialog, în care utilizatorul introduce date privind arhitectura generală a rețelei:

- tensiunea nominală a rețelei de distribuție de medie tensiune;
- tipul și numărul de transformatoare din stația de transformare coborâtore (ÎT/MT), din care este alimentată rețeaua de distribuție de medie tensiune;
- rezistența echivalentă a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune prin care este alimentată stația de transformare coborâtore;
- numărul de distribuitori de medie tensiune din rețeaua de distribuție.

Câmpurile din fereastra ce facilitează introducerea datelor privind arhitectura generală a rețelei sunt ilustrate în Figura 5.

Setup Retea

ARHITECTURA REȚELEI DE DISTRIBUȚIE

Tensiunea nominală a rețelei [kV]

Tip transformator pe partea de IT

Numar de distribuitori

Numar de transformatoare in paralel pe IT

Rezistența echivalentă a LEA din amonte

OK Cancel Help

Figura 5. Fereastră privind arhitectura generală a rețelei de distribuție de medie tensiune

După completarea tuturor câmpurilor din această fereastră, la apăsarea butonului OK se deschide o altă fereastră, în care utilizatorul va introduce date despre laturile și nodurile fiecărui distribuitor din rețea. Trecerea la un nou distribuitor se face prin apăsarea butonului 'Următorul distribuitor'. După încheierea acestei etape, programul cere utilizatorului să precizeze numele fișierului în care vor fi salvate toate datele despre rețea. Acesta primește extensia '.ret' pentru a fi ușor de recunoscut atunci când se va dori deschiderea unui fișier de rețea existent.

Setup Distribuitor

DISTRIBUITORUL NR. 1

Numar tronsoane

TIP CONSUMATOR

Consumator tip

Consumator special

Numar transformatoare

Nod record

| | n.init. | n.fin. | R[ohm] | X[ohm] | B[microS] | I[max][A] |
|---|---------|--------|--------|--------|-----------|-----------|
| 1 | 0 | 1 | 0.4 | 0.2 | 120 | 285 |
| 2 | 1 | 2 | 0.2 | 0.15 | 85 | 250 |
| 3 | 2 | 3 | 0.1 | 0.08 | 36 | 250 |

| | Nod | Cons. | P[kW] | Un[kV] | Pcu[kW] | Pfe[kW] | usc[%] | i0[%] |
|---|-----|--------|-------|--------|---------|---------|--------|-------|
| 1 | 1 | Tip | 630 | 0.4 | 9.72 | 1.92 | 6 | 2.4 |
| 2 | 2 | Specia | 400 | 0.4 | 6.85 | 1.47 | 4 | 2.6 |
| 3 | 3 | Specia | 250 | 0.4 | 5.04 | 1.10 | 6 | 2.9 |

250 kVA 20 / 0.4 +5 Pcu= 5.04 kW Pfe= 1.10 kW usc= 6% i0=

Urmatorul distribuitor OK Cancel Help

Figura 6. Fereastră pentru introducerea caracteristicilor fiecărui distribuitor de medie tensiune

Fereastra prin intermediul căreia se introduc caracteristicile fiecărui distribuitor conține o serie de câmpuri, ale căror poziție și denumire sunt indicate în Figura 6.

Pentru modelarea curbelor de sarcină activă și reactivă din nodurile rețelei de distribuție analizate, în regimurile caracteristice anuale, s-a creat în meniul principal *Opțiuni* un submeniu numit *Măsurători*, care permite introducerea de către utilizator, de la tastatură, a datelor privind banda de tensiuni pe parcursul unei zile, la nivelul barelor de medie tensiune ale stației de transformare coborâtoare, structura de consum a fiecărui nod din rețea și măsurătorile efectuate în rețea (curentul și ora la care s-a efectuat măsurătoarea), pentru fiecare regim caracteristic anual. Structura de consum trebuie indicată printr-un indice subunitar înscris în dreptul unuia sau mai multor consumatori tip existenți în baza de date. Suma indicilor înscriși trebuie să fie egală cu 1 (adică 100%), în caz contrar programul indicând un mesaj de eroare și solicitând utilizatorului să realizeze corectura necesară. De asemenea, în fereastra *Măsurători*, utilizatorul trebuie să indice cel puțin o măsurătoare pentru fiecare nod consumator, în caz contrar, programul nepermițând utilizatorului să treacă la un alt nod. O astfel de fereastră este prezentată în Figura 7.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|----|
| U[kV] | 20.1 | 20.1 | 20.1 | 20.1 | 20.15 | 20.15 | 20.2 | 20.2 | 20.2 | 20.3 | |

| | Pondere |
|--------|---------|
| urban | 0.7 |
| rural | |
| spital | 0.1 |
| poșta | |
| licee | |
| magaz. | 0.2 |
| hotel | |

| | Ora | I[A] |
|---|-----|------|
| 1 | 10 | 95 |
| 2 | 20 | 108 |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |

Figura 7. Fereastră pentru introducerea măsurătorilor corespunzătoare fiecărui regim caracteristic

Atunci când utilizatorul a terminat de introdus toate datele și le validează prin apăsarea butonului *OK*, se deschide fereastra *Save as...* care cere un nume pentru fișierul în care vor fi salvate curbele de sarcină pentru regimul caracteristic introdus. Acest fișier primește extensia *.mas* și conține banda de tensiuni și curbele de sarcină deja modelate pe baza profilelor sau curbelor tip de sarcină și a măsurătorilor efectuate în rețea, conform modelului matematic prezentat în paragraful 4 al lucrării. În continuare, aceste grafice pot fi vizualizate alegând din meniul *Opțiuni* linia *Reprezentări grafice*. Se deschide o fereastră în care utilizatorul își poate alege un anumit nod, de pe un anumit distribuitor, pentru care dorește reprezentarea curbelor de sarcină activă sau reactivă, dintr-un anumit regim specificat de el. Valorile orare ale puterilor active sau reactive sunt indicate într-un tabel alăturat. Prin apăsarea butonului *Abandon*, utilizatorul părăsește fereastra de reprezentări grafice și aceasta se va închide. În Figura 8 este ilustrată fereastra pentru reprezentarea curbelor de sarcină modelate în nodurile rețelelor electrice.

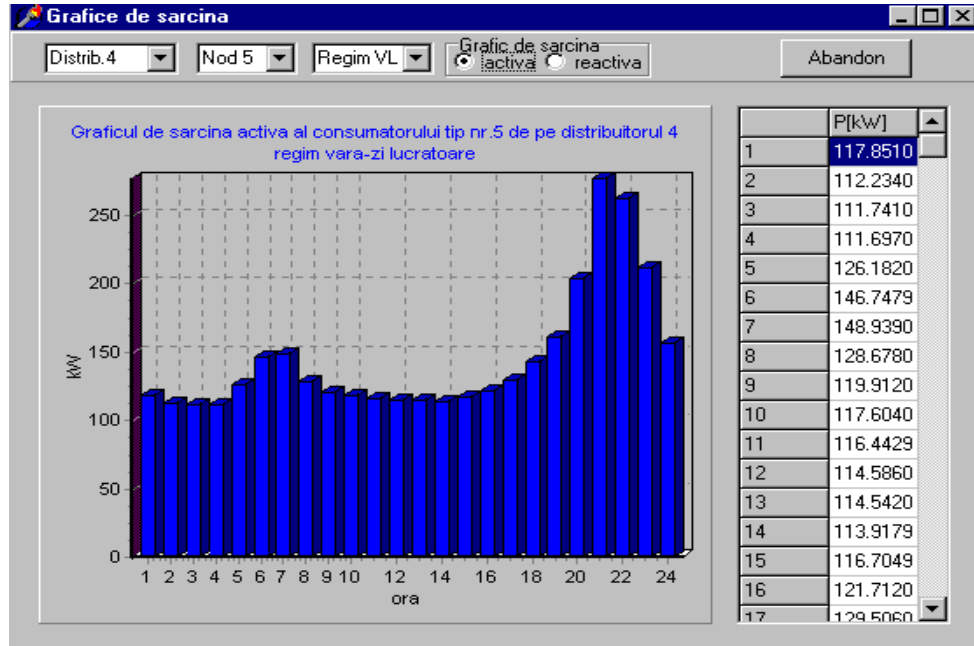


Figura 8. Fereastră pentru reprezentarea curbelor de sarcină activă / reactivă

6. Modul de desfășurare a lucrării

Studentii sau utilizatorii trebuie să certifice înțelegerea modelului matematic și a modului de utilizare a programului de calcul *MODCS*, în vederea modelării curbelor de sarcină din nodurile rețelelor de distribuție publică, prin rezolvarea următorului exemplu de caz.

Se consideră o rețea de distribuție urbană de medie tensiune, a cărei schemă monofilară este reprezentată în Figura 9. Tot în această figură este indicat modul de numerotare a nodurilor rețelei, în vederea utilizării programului de calcul *MODCS*. Rețeaua de distribuție de medie tensiune (20 kV), propusă pentru analiză, alimentează 12 posturi de transformare, echipate cu transformatoare cu puterea nominală de 400 kVA sau 630 kVA. Consumatorii deserviți sunt de tip casnic sau de tip edilitar.

Datele privind topologia rețelei, caracteristicile de material, structura de consum din noduri și măsurătorile, sub formă de curenți, efectuate pe barele de joasă tensiune ale posturilor de transformare, la o oră oarecare dintr-o zi de miercuri din luna ianuarie, sunt sintetizate în Tabelele 1, 2 și 3.

Toate transformatoarele din posturile de transformare ale rețelei analizate funcționează pe priza mediană. În ce privește benzile de tensiuni menținute pe barele de medie tensiune ale stației de alimentare a rețelei, acestea sunt: 19 – 20.5 kV, pentru regimurile de gol de sarcină; 20.7 – 21 kV, pentru regimurile normale de funcționare; 21 – 21.5 kV, pentru regimurile de sarcină maximă (vârf de sarcină).

După execuția programului de calcul, curbele de sarcină activă și reactivă modelate în nodurile rețelei de distribuție analizate, pe barele de joasă și, respectiv, de medie tensiune ale posturilor de transformare, vor putea fi vizualizate folosind, din meniul *Opțiuni*, linia *Reprezentări grafice*.

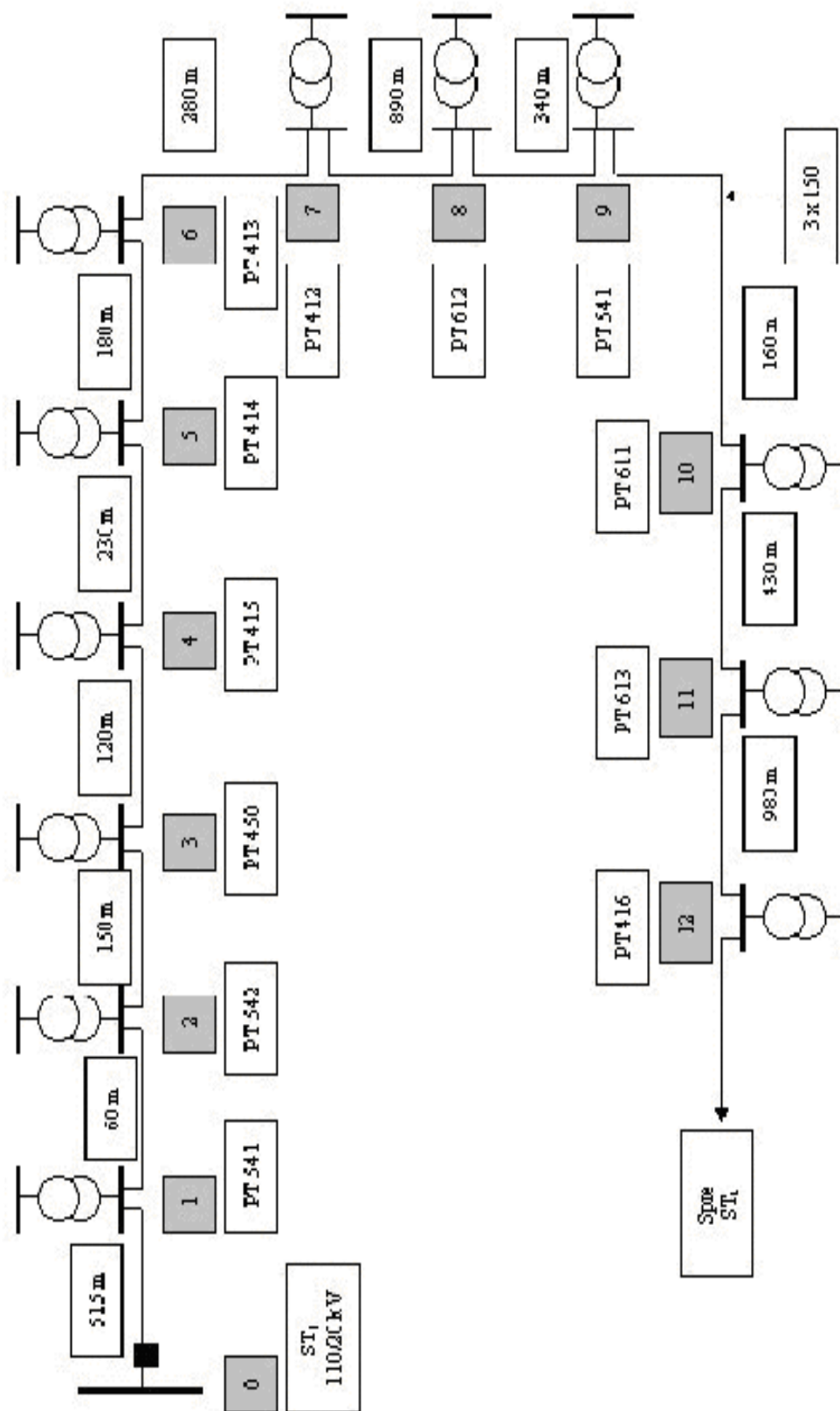


Figura 9. Schema monofilară a rețelei de distribuție de 20 kV

*Structura consumului din posturile de transformare
din rețeaua de medie tensiune*

Tabelul 1

| Denumire nod | Nr. nod | S_n^{PT} (kVA) | Structura consumului |
|--------------|---------|------------------|--|
| PT541 | 1 | 400 | 100% consum casnic |
| PT542 | 2 | 630 | 100% consum casnic |
| PT450 | 3 | 630 | 100% consum casnic |
| PT415 | 4 | 630 | 100% consum casnic |
| PT414 | 5 | 630 | 100% consum casnic |
| PT413 | 6 | 630 | 100% consum casnic |
| PT412 | 7 | 400 | 100% consum casnic |
| PT612 | 8 | 630 | 100% consum casnic |
| PT610 | 9 | 400 | 70% consum casnic; 30% centrală termică |
| PT611 | 10 | 400 | 70% consum casnic; 30% centrală termică |
| PT613 | 11 | 630 | 90% consum casnic; 10% magazine |
| PT416 | 12 | 630 | 100% consum casnic |

*Parametrii de material pentru rețeaua
de medie tensiune analizată*

Tabelul 2

| Tronson | | Tip cablu | S | L | R | X | B |
|---------|--------|--------------|--------------------|-----|--------|--------|--------|
| PT_i | PT_j | | [mm ²] | [m] | [Ω] | [Ω] | [μS] |
| ST_1 | PT541 | A2YSbY | 150 | 515 | 0.1061 | 0.0531 | 60.52 |
| PT541 | PT542 | A2YsbY | 150 | 60 | 0.0124 | 0.0062 | 7.12 |
| PT542 | PT450 | A2YSbY | 150 | 150 | 0.0309 | 0.0158 | 17.63 |
| PT450 | PT415 | A2YSbY | 150 | 120 | 0.0247 | 0.0124 | 14.10 |
| PT415 | PT414 | A2YSbY | 150 | 230 | 0.0474 | 0.0239 | 27.06 |
| PT414 | PT413 | A2YSbY | 150 | 180 | 0.0371 | 0.0186 | 21.15 |
| PT413 | PT412 | A2YSbY | 150 | 280 | 0.0577 | 0.0288 | 32.91 |
| PT412 | PT612 | A2YSbY | 150 | 890 | 0.1833 | 0.0917 | 104.60 |
| PT612 | PT610 | A2YSbY | 150 | 340 | 0.0701 | 0.0351 | 39.95 |
| PT610 | PT611 | A2YSbY | 150 | 160 | 0.0329 | 0.0165 | 18.65 |
| PT611 | PT613 | A2YSbY | 150 | 430 | 0.0886 | 0.0443 | 50.53 |
| PT613 | PT416 | A2YSbY | 150 | 980 | 0.2091 | 0.1091 | 115.15 |

*Măsurători de curent în posturi de transformare, pe partea de joasă tensiune,
într-o zi de miercuri din luna ianuarie*

Tabelul 3

| Denumire nod | Nr. nod | Curent măsurat [A] | | | | | Ora efectuării măsurătorii |
|-----------------|------------|--------------------|-----|-----|----|-------|----------------------------------|
| | | R | S | T | N | Mediu | |
| PT541 | 1 | 110 | 140 | 130 | 40 | 126.7 | 19 |
| PT542 | 2 | 150 | 175 | 185 | 75 | 170.0 | 19 |
| PT450 | 3 | 95 | 113 | 122 | 15 | 110.0 | 17 |
| PT415 | 4 | 20 | 25 | 21 | - | 22.0 | 18 |
| PT414 | 5 | 128 | 124 | 109 | 18 | 120.3 | 18 |
| PT413 | 6 | 148 | 130 | 133 | 19 | 137.0 | 18 |
| PT412 | 7 | 125 | 86 | 92 | 14 | 101.0 | 18 |
| PT612 | 8 | 135 | 130 | 145 | 37 | 136.7 | 17 |
| PT610 | 9 | 170 | 165 | 180 | 55 | 171.7 | 18 |
| PT611 | 10 | 165 | 155 | 160 | 35 | 160.0 | 18 |
| PT613 | 11 | 180 | 170 | 175 | - | 175.0 | 19 |
| PT416 | 12 | 35 | 23 | 20 | 2 | 26.0 | 17 |