

## INDICATORI GENERALIZAȚI DE CALITATE A STRUCTURILOR ARBORESCENTE

V. Arion, A. Cojocari, Universitatea Tehnică a Moldovei;  
A. Bejan, Duke University, SUA

### INTRODUCERE

Calitatea unei structuri de rețea - sub aspectele de continuitate în alimentarea consumatorilor, de calitate a produsului livrat și de performanță economică - se caracterizează printr-un șir de indicatori. Numărul acestora este suficient de mare, ceea ce îngreunează atât actul de evaluare, cât și cel de comparare a structurilor. În acest context, un interes deosebit îl prezintă *indicatorii sintetici* sau *macro*, care înglobează în sine mai multe aspecte de performanță a structurilor de rețea.

În continuare vom considera patru indicatori sintetici, strâns corelați, importanți în proiectarea și optimizarea rețelelor arborescente. Aceștea sunt diagrama "sarcină-lungime", momentul total de sarcină, cheltuielile totale actualizate și așa-numitul multiplicator "tronson-rețea".

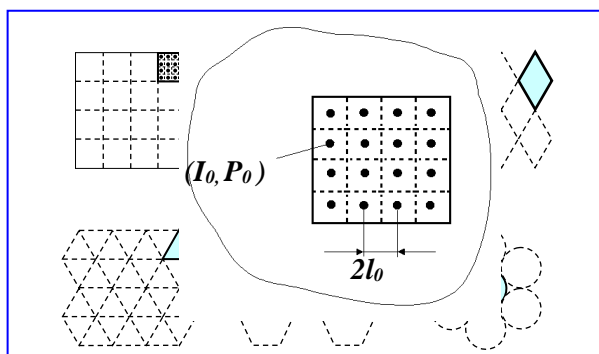
Atât descrierea indicatorilor, cât și analiza comparativă a modelelor de rețea în această lucrare este aplicată la sisteme și rețele de distribuție a energiei electrice, însă rezultatele obținute au un caracter mult mai general și pot fi răspândite și asupra multor altor tipuri de rețele inginerești cu curgere, cum sunt rețelele de termoficare, de telefonie, de alimentare cu apă și cu gaze [1].

### 1. CLASIFICAREA MODELELOR ARBORESCENTE DE REȚEA

Modelele idealizate de rețea sunt aplicate pe larg în proiectarea sistemelor [2-6]. Aceste modele reprezintă un instrument folosit pe larg la identificarea unor soluții optime generalizate - fie parametrice, fie de structură sau de dezvoltare a sistemelor - soluții-recomandări, care stau la baza proiectării obiectivelor și sistemelor concrete. Spre exemplu, dacă pentru o zonă geografică, în baza unor studii și analize s-a stabilit un set optim de tensiuni nominale, aplicate la distribuția energiei electrice, mai apoi această soluție generală va sta la baza proiectării unor sisteme concrete de distribuție, fără a se cere o fundamentare specială de fiecare dată.

Modelele de rețea se aplică, de regulă, la situații ipotetice ce țin de distribuția consumului în spațiu.

În cele ce urmează vom considera o distribuție uniformă a sarcinii electrice de consum pe o suprafață dată (fig. 1).

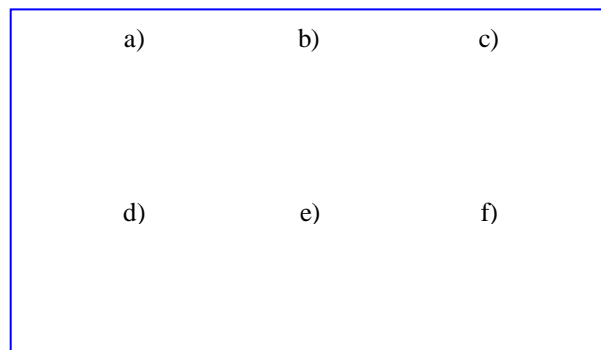


**Figura 1.** Distribuția uniformă a nodurilor de consum.

Vom nota prin  $N$  numărul de noduri de consum, iar prin  $I_0$  sau  $P_0$  sarcina nodală (curentul sau puterea de consum). Distanța dintre două noduri vecine fie  $2l_0$ .

Acum să definim noțiunea de *model elementar*: orice model ce se referă la o rețea cu un nivel de tensiune dat, ce alimentează un set de noduri de consum de la una și aceeași sursă (transformator), este numit *model elementar* sau *rețea elementară*. Această noțiune este valabilă pentru orice nivel ierarhic structural al unui sistem. Modelele elementare sunt diferite:

- ca formă geometrică (triunghi, dreptunghi, pătrat, romb, pentagon, hexagon, cerc—fig. 2);



**Figura 2.** Mai multe modalități de a împărți o suprafață dată în celule elementare.

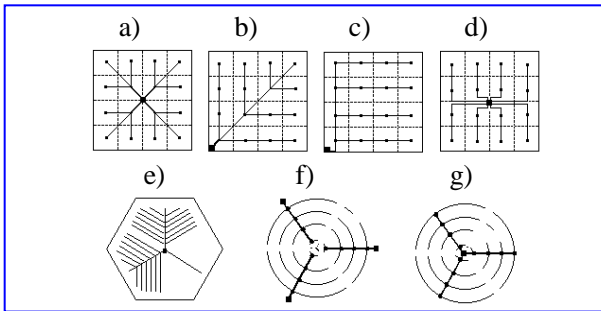
- ca amplasament al sursei (în centru, la un colț, pe o latură etc. - fig. 3.);

- ca modalitate de conexiune a nodurilor de consum la sursă (linii radiale, magistrale, linii arborescente dezvoltate etc.);
- ca traseu admisibil pentru liniile electrice (rețea numai cu linii paralele și perpendiculare etc.);
- rețea cu sau fără noduri adiționale de distribuție.

De menționat că o suprafață dată poate fi acoperită complet doar de modelele cu 3, 4 și 6 unghiuri. Din acest motiv cele mai folosite forme (celule elementare) sunt cele pătratice și hexagonale.

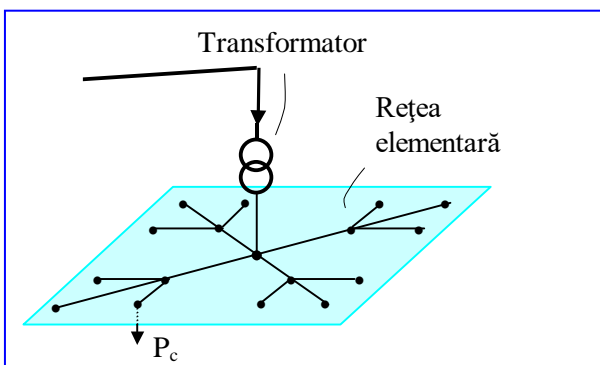
Modelele de rețea pot cuprinde unul sau mai multe nivele ierarhice, fiind numite respectiv modele cu un nivel structural, modele cu două nivele etc.

Modelele de rețea cu un singur nivel sunt nu altceva decât modelele elementare (fig. 3, 4).



**Figura 3.** Câteva modele elementare diferite ca forma geografică, amplasament a sursei, modalitate de a conecta nodurile de consum la sursă.

Aspectul spațial al unei rețele elementare este ilustrat în fig. 4.

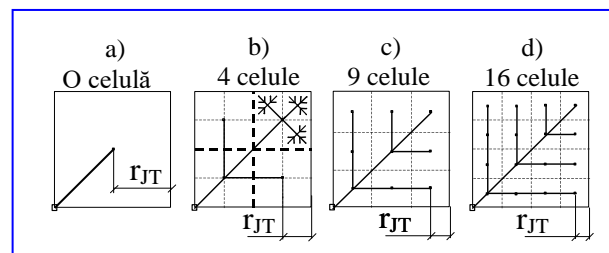


**Figura 4.** O rețea elementară și o sursă-transformator.

După cum se vede din aceeași figură, pentru o rețea elementară, de regulă, în calitate de sursă servește transformatorul de putere, ce leagă două nivele ierarhice între ele.

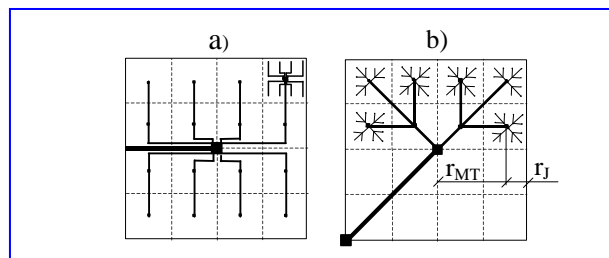
Pentru o rețea elementară, precum și pentru

un sistem cu mai multe nivele de tensiune (tensiune joasă (JT), medie (MT) și înaltă (ÎT)) raza de deservire a rețelei reprezintă una din cele mai importante caracteristici. Pentru o suprafață dată de deservire, variația razei JT  $r_{JT}$  schimbă considerabil atât configurația rețelelor JT și MT, cât și numărul de transformatoare MT/JT ce leagă cele două nivele structurale. Micșorarea razei de patru ori a condus la creșterea numărului de transformatoare și a numărului liniilor MT de la unu (fig.5,a) la șaisprezece (fig.5,d)!. Din exemplul prezentat în fig.5 rezultă clar necesitatea fundamentării complexe, sistemice a razelor ce corespund diferitelor nivele structurale ale sistemului.



**Figura 5.** Dependența numărului de transformatoare MT/JT de raza rețelei JT pentru o suprafață de deservire dată.

Într-un sistem real de distribuție a energiei electrice pot exista de la două până la patru nivele structurale. În fig.6 sunt prezentate modele de rețea cu trei nivele de tensiune, respectiv cu JT, MT și ÎT.



**Figura 6.** Modele cu trei nivele: o prezentare convențională.

Modelul de rețea cu patru nivele este prezentat în fig.7. Într-un sistem de distribuție tensiunile nominale, care ar corespunde acestor nivele, pot fi:

- nivelul JT – 0.38 kV;
- nivelul MT – 6, 10, 20, 35 kV;
- nivelul ÎT<sub>1</sub> – 110 kV;
- nivelul ÎT<sub>2</sub> – 220 kV.

În această lucrare sunt considerate modelele arborescente de rețea, de forma pătratică, aplicate pentru diferite nivele structurale.

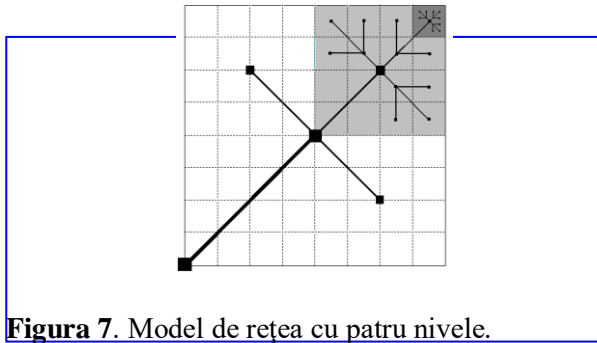


Figura 7. Model de rețea cu patru nivele.

După cum s-a menționat la începutul acestui paragraf, structura modelului, fie pătratic, poate varia în funcție de mai mulți factori. În continuare urmează a fi comparate între ele șase modele elementare de rețea, prezentate în fig.8.

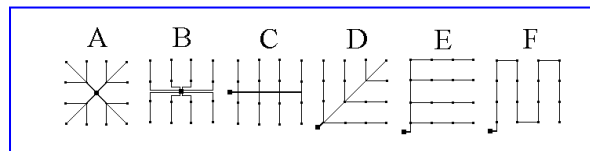


Figura 8. Modele în studiu.

Pare util de a preciza aici noțiunea de structură a rețelei. În caz general, *structura* unui sistem descrie elementele componente și legăturile dintre ele: *elemente* - noduri de consum, noduri adiționale de distribuție, sursă (transformator); *legături* - linii electrice.

## 2. CLASTERIZAREA TRONSOANELOR - O MODALITATE DE A PREZENTA STRUCTURA REȚELEI

În cele ce urmează vom aplica o descriere generalizată a configurației rețelei și a circulației fluxurilor, bazată pe gruparea tronsoanelor cu sarcini similare. Pentru o mai bună înțelegere a lucrurilor vom considera o rețea arborescentă, prezentată în fig.9. Fie că în fiecare nod avem unul și același consum  $I_0$  (vezi fig. 1). Oricare ar fi configurația rețelei, toate tronsoanele ei pot fi împărțite în  $n$  grupe, conform dimensiunii lor economice sau, același lucru, conform sarcinii tranzitate prin ele.

*Grupul 1* va cuprinde tronsoanele 1-4, tranzitate de sarcina  $I_1$  egală cu  $I_0$ ; lungimea totală a acestor tronsoane fie notată prin  $L_1$ ,  $L_1 = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$ .

*Grupul 2* va cuprinde tronsoanele tranzitate de sarcina  $I_2$  egală cu  $2I_0$ . Observăm, că pentru

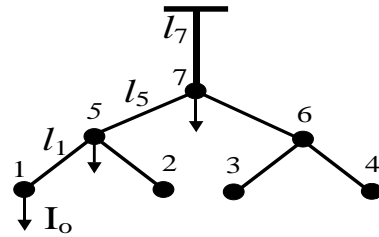


Figura 9. O simplă rețea arborescentă.

schema din fig.7, nici unul din tronsoane nu poate fi referit la această grupă.

*Grupul 3* cuprinde doar tronsoanele 5 și 6 tranzitate de sarcina  $I_3$  egală cu  $3I_0$ ; lungimea totală a tronsoanelor acestui grup fie  $L_3$ ,  $L_3 = l_5 + l_6$ .

În caz general, grupul  $i$  va cuprinde în mod similar doar tronsoanele tranzitate de sarcina  $I_i$ ,  $I_i = iI_0$ ; lungimea totală a acestor tronsoane va fi notată prin  $L_i$  etc.

Lungimea totală a tuturor tronsoanelor în rețea  $L_{\Sigma}$  va rezulta ca suma lungimilor  $L_i$  pe grupe -  $L_{\Sigma} = L_1 + L_2 + \dots + L_l + \dots + L_n$ .

Clusterizarea tronsoanelor, într-un mod mai general, poate fi efectuată în baza principiului apartenenței sarcinii acestora la unul sau alt interval de sarcină și nu la o valoare concretă dată. Întreaga plajă de valori ale sarcinii în linii, de la zero și până la careva  $I_{max}$ , poate fi segmentată în mai multe intervale. Fie că intervalul  $i$ ,  $i=1,n$ , îi corespund valorile de frontieră -  $I_i^-$  și  $I_i^+$ . Astfel, în grupul  $i$  de tronsoane urmează a fi incluse doar acele tronsoane  $j$ , a căror sarcina  $I_j$  se înscrie în intervalul  $[I_i^-, I_i^+]$ .

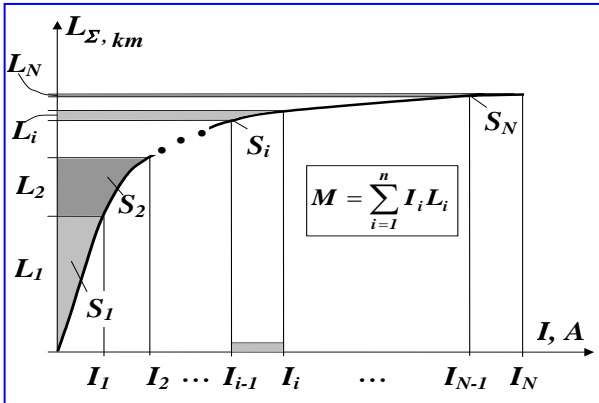
## 3. INDICATORI GENERALIZAȚI DE PERFORMANȚĂ

### 3.1. Diagrama I-L a rețelei

Descrierea generalizată a structurii rețelei și fluxurilor pe tronsoane, expusă mai sus, și bazată pe gruparea tronsoanelor cu sarcini similare, oferă posibilitatea determinării funcției distribuției sarcinii în linii (tronsoane) pe lungimea totală a liniilor. Această funcție mai poate fi numită diagrama „sarcină-lungime” sau *diagrama I-L* a rețelei (fig. 10).

- *Diagrama I-L* reprezintă un indicator sintetic ce cuprinde mai multe aspecte ale unei rețele.

Pentru a construi curba I-L pentru o rețea este îndeajuns de a determina circulația fluxurilor de sarcină prin linii. Fiind odată construită, diagrama I-L oferă o amplă informație cu



**Figura 10.** Distribuția sarcinii pe lungimea totală a liniilor.

privire la rețea sub aspectele de structură, cost total, performanță:

- mai întâi de toate, diagrama ne permite să cunoaștem care este lungimea totală a tronsoanelor pentru oricare interval solicitat de valori ale sarcinii în linii;
- mai apoi, ne permite să judecăm, în mod generalizat, asupra structurii rețelei. Având, spre exemplu, în zona sarcinilor mici o lungime mare a liniilor - acest lucru ne vorbește despre caracterul preponderent radial al structurii rețelei;
- dacă pe axa I a diagramei I-L vom suprapune intervalele economice de sarcină ale liniilor [7], vom putea ușor determina lungimea totală a tronsoanelor pentru fiecare tipodimensiune a liniei în parte. În așa fel, pentru o rețea în proiectare ușor poate fi determinată necesitatea în diferite tipodimensiuni ale liniilor și respectiv, costul investiției în linii;
- în cele din urmă, suprafața de deasupra funcției L(I) se dovedește a fi un important indicator de performanță a rețelei (vezi p. 3.2 și 3.3).

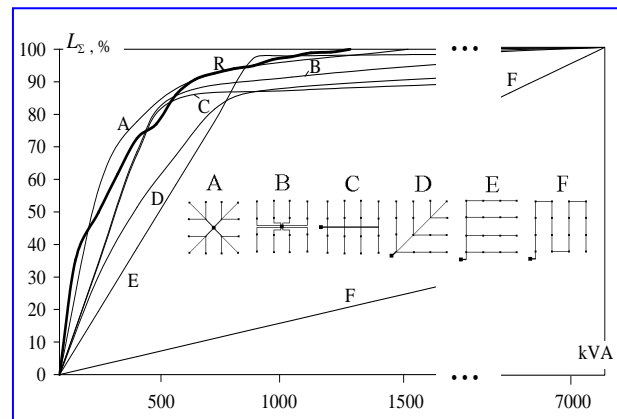
În urma unor studii și calcule, efectuate pentru structurile de rețea în studiu - A, B, C, D și F din fig.8 - au fost stabilite funcțiile integrale ale distribuției sarcinii pe lungimea totală a liniilor (fig.11). Pentru comparație în fig.11 este prezentată și distribuția I-L (vezi - R), caracteristică rețelelor rurale 10 kV construite în zona europeană a ex-u.r.s.s.[8].

### 3.2 Momentul de sarcină a rețelei

Noțiunea de "moment de sarcină" este bine cunoscută în inginerie [6]. Pentru o rețea arborescentă momentul total de sarcină  $M$  reprezintă suma produselor sarcinii în nod  $I_j$  la distanța  $l_{j-s}$  de la nod până la sursă, pentru toate nodurile  $j$  din rețea:

$$M = \sum_{j=1}^N M_j = \sum_{j=1}^N I_j l_{j-s} \dots \quad (1)$$

Pe lângă această descriere clasică a momentului de sarcină poate fi aplicată și o altă formulă, ce rezultă în cazul grupării tronsoanelor: momentul  $M$  reprezintă suma produsului sarcinii



**Figura 11.** Diagrama I-L pentru modele arborescente (A-F) și rețeaua rurală reală 10 kV.

$I_i$ , caracteristică grupului  $i$ , la lungimea totală a tronsoanelor din acest grup -  $L_i$ , pentru toate grupurile de tronsoane  $i$ ,  $i = 1, \dots, n$  -

$$M = \sum_{i=1}^n M_i = \sum_{i=1}^n I_i L_i \dots \quad (2)$$

Momentul de sarcină este unul dintre cei mai generali și reprezentativi indicatori de performanță atât electrică, cât și economică a unei rețele electrice. El încorporează, practic, toți factorii principali ce determină rețeaua - configurația și amplasamentul sursei în ea, sarcinile în noduri și fluxurile în tronsoane, lungimea liniilor.

Minimizarea momentului  $M$  în faza de proiectare a rețelei este una din principalele preocupări ale proiectantului. Efectele pozitive, posibil de a fi obținute prin minimizarea momentului în urma unei optimizării complexe a

structurii rețelei, sunt următoarele:

- micșorarea pierderilor de tensiune în rețea și, în așa fel, micșorarea abaterilor de tensiune în nodurile de consum;
- micșorarea lungimii totale a liniilor și, respectiv, a investițiilor în linii;
- micșorarea volumului consumului de metal-conductor și, respectiv, a costului liniilor;
- micșorarea pierderilor de putere și energie și respectiv a costurilor acestora.

Astfel, micșorarea momentului de sarcină într-o rețea, este un obiectiv-cheie, care ține atât de ameliorarea calității energiei, cât și de majorarea eficienței economice a rețelei.

Din formula (2) se poate de observat ușor un lucru important - momentul de sarcină al rețelei  $M$  corespunde suprafeței  $S$  de deasupra curbei I-L. Într-adevăr, grupul  $i$  de tronsoane, cu sarcina  $I_i$ , cu lungimea totală  $L_i$  și cu momentul  $M_i$ ,  $M_i = I_i L_i$ , îi corespunde aria  $S_i$  (fig.10).

Aceasta înseamnă că doar o singură privire asupra diagramei I-L a unei structuri în studiu ne poate oferi, în mod generalizat, un prim și foarte important semnal privind calitatea acestei structuri: *cu cât suprafața de deasupra curbei I-L este mai mică, cu atât performanța electrică a structurii în cauză este mai înaltă.*

Evident, că pe această cale pot fi evaluate și comparate între ele mai multe structuri de rețea.

Acum să revenim la cazul distribuției uniforme a sarcinii pe suprafața dată, având pentru fiecare punct de consum o sarcină unitară  $I_0$ . Ținând cont de relația  $I_i = i I_0$ , din expresia (2) rezultă:

$$M = I_0 \sum_{i=1}^n i L_i \quad (3)$$

sau

$$M = M_0 K_m \quad (4)$$

Conform (4) momentul de sarcină al unei rețele  $M$  poate fi prezentat ca produsul dintre un *moment elementar*  $M_0$  (ce corespunde unui singur tronson) și un coeficient  $K_m$  (ce poate fi interpretat ca un multiplicator de trecere de la tronsonul elementar la întreaga rețea). Momentul de sarcină  $M_0$  al unui tronson elementar cu lungimea  $2l_0$  (distanța dintre două noduri de consum), tranzitat de o sarcină elementară  $I_0$  (vezi fig.1), se calculează cu formula:

$$M_0 = 2I_0 l_0 \quad (5)$$

La rândul său, pentru coeficientul  $K_m$  formula generală de calcul este următoarea:

$$K_m = \sum_{i=1}^n i L_i / (2I_0) \quad (6)$$

### 3.3. Cheltuielile totale actualizate

Toate rețelele ingineresti, inclusiv și cele de distribuție a energiei electrice, presupun mari cheltuieli investiționale. Unul dintre cei mai importanți indicatori de eficiență economică a investițiilor sunt cheltuielile totale actualizate (CTA). Ele includ cheltuielile cu investiția și cheltuielile operaționale pe durata de viață a obiectivului sau pe durata de studiu [7].

Pentru rețele electrice cheltuielile totale actualizate depind de pătratul sarcinii tranzitate, însă pentru o rețea dimensionată economic aceste cheltuieli minime reprezintă deja o funcție liniară și se calculează cu formula [7]:

$$CTA = 4I_0 l_0 K_s C_m \quad (7)$$

unde  $I_0$  - sarcina unui nod de consum, în Amper;  
 $K_m$  - multiplicatorul "tronson-rețea" (vezi p. 3.4);  
 $C_m$  - costul specific al momentului de sarcină,  
 \$/(Amper · km) -

$$C_m = k_I E_\Sigma / j_{ec} \text{ sau } C_m = (3\rho k_I E_\Sigma C'_{PW}) ;$$

$k_I$  - investiția specifică în linii, \$/(mm<sup>2</sup>.km),

$E_\Sigma$  - coeficient,  $E_\Sigma = 1 + \alpha_m - \alpha_B$ ,

$j_{ec}$  - densitatea economică de curent, Amper/mm<sup>2</sup>;

$\alpha_m$  - rata cheltuielilor anuale pentru întreținerea liniilor;

$\alpha_B$  - coeficient de calcul ale valorilor remanente ale fondurilor la finele perioadei de studiu;

$\rho$  - rezistivitatea materialului conductorului,  
 Ω·mm<sup>2</sup>/km;

$C'_{PW}$  - costul specific de calcul al pierderilor variabile de putere și energie, exprimat în mod echivalent pe unitate de pierderi de putere, \$/kW.

Formula (6) lasă mai multe posibilități de interpretare atât a structurii rețelei, cât și a calculului CTA. În particular, CTA poate fi prezentat și astfel:

$$CTA = CTA_0 K_m \quad (8)$$

sau

$$CTA = 2M C_m, \quad (9)$$

unde  $CTA_0$  reprezintă cheltuielile totale actualizate pentru un tronson elementar (cu lungimea  $2l_0$ , tranzitat de o sarcină elementară  $I_0$ ) –

$$CTA_0 = I_0 l_0 C_m \quad \text{sau} \quad CTA_0 = 2M_0 C_m,$$

$M$  - momentul de sarcină al rețelei, în Amper · km.

Din analiza formulelor (7)-(9) se desprind câteva observații, ce țin de rețelele de distribuție economic dimensionate:

- cheltuielile totale actualizate  $CTA$  – se înglobează toate cheltuielile de realizare și funcționare ale unei rețele economic dimensionate – sunt direct proporționale cu valoarea sarcinii tranzitate și cu valoarea momentului de sarcină al rețelei  $M$ ;
- întrucât suprafața de deasupra funcției distribuției sarcinii pe lungimea totală a liniilor (vezi diagrama I-L, fig.10) reprezintă momentul  $M$ , iar  $CTA$  sunt direct proporționale cu momentul  $M$  - rezultă, că suprafață  $S$  reprezintă și valoarea  $CTA$ ;
- modelele de rețea pot fi aranjate în ordinea de merit economic, fără a efectua calculul  $CTA$ , doar în baza vizualizării diagramelor I-L;
- calculul valorii  $CTA$  pentru unul din modelele de rețea  $A \dots F$  poate fi efectuat pe o cale extrem de simplă - aplicând formula (7);
- $CTA$  reprezintă costul dublu al momentului de sarcină. Aici ar trebui de precizat, că fiecărei din cele două componente ale  $CTA$  - ce depind de investiție, de pierderi și care sunt egale ca valoare - îi corespunde câte un cost al momentului.

### 3.4. Multiplicatorul "tronson-rețea"

Coeficientul  $K_m$  de legătură dintre parametrii unui singur tronson elementar ( $M_0, CTA_0$ ) și cei ai întregii rețele ( $M, CTA$ ) -  $M = M_0 K_m$  și  $CTA = CTA_0 K_m$  - poate fi numit *multiplicator "tronson-rețea"*, întrucât este vorba de un coeficient de trecere de la un tronson la întreaga rețea. În esență,  $K_m$  este un *indicator generalizat de structură* ce reflectă numărul de noduri în rețea, lungimea liniilor, modul de conexiune a nodurilor de consum la sursă. Formula generală de calcul pentru  $K_m$  este

$$K_m = \sum_i i L_i / (2l_0). \quad (10)$$

În compararea variantelor de structură pentru o rețea  $K_m$  ar reprezenta nu un simplu indicator de structură, ci un indicator de calitate a structurilor. În acest context  $K_m \rightarrow \min$  servește drept *criteriu generalizat de optimizare a structurilor arborescente*.

Majorarea performanței unei structuri sub aspectul economic ( $CTA \rightarrow \min$ ) și cel tehnologic ( $M \rightarrow \min$ ) poate fi obținută prin minimizarea  $K_m$  ( $K_m \rightarrow \min$ ). Cu cât  $K_m$  se va dovedi a fi mai mic, cu atât structura rețelei va fi mai performantă.

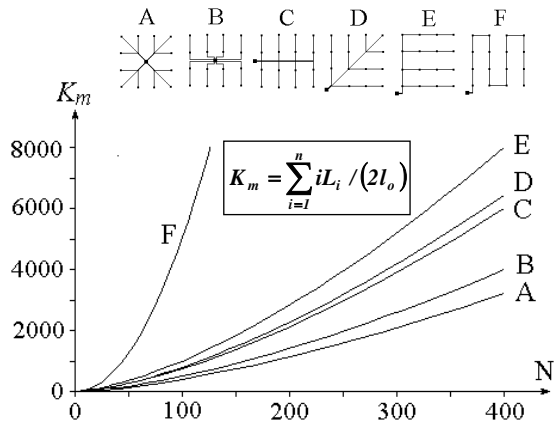
Din cele expuse rezultă importanța indicatorului  $K_m$  în descrierea, optimizarea și compararea structurilor de rețea.

Pentru modelele, prezentate în fig.8 au fost obținute formulele de calcul ale indicatorului  $K_m$ , în funcție de aria de acoperire a rețelei - mai concret, în funcție de numărul nodurilor de consum  $n_1$  pe laterala ariei pătratice de deservire. Aceste formule, obținute pentru  $n_1 = \text{par}$ , sunt prezentate în tabelul 1.

**Tabelul 1.** Formulele de calcul ale multiplicatorului „tronson-rețea”  $K_m$ .

Modelul de rețea, $x$	Formula de calcul
<b>A</b>	$(1 + 2^{0.5})n_1^3 / 6 - (2 - 2^{0.5})n_1 / 3$
<b>B</b>	$n_1^3 / 2$
<b>C</b>	$3n_1^3 / 4$
<b>D</b>	$(1 + 2^{0.5})n_1^3 / 3 - (2 - 2^{0.5})n_1 / 6$
<b>E</b>	$n_1^3$
<b>F</b>	$(n_1^4 + n_1^2) / 2$

Dependența  $K_m$  de numărul total de noduri de consum  $N$  ( $N = n_1^2$ ) pentru fiecare din cele șase modele de rețea - A, B, C, D și F - este prezentată pe fig.12.



**Figura 12.** Curbele funcției  $K_m(N)$  pentru modelele în studiu.

#### 4. ANALIZA COMPARATIVĂ A MODELELOR ARBORESCENTE DE REȚEA

În această lucrare sunt considerate două criterii de comparare a modelelor structurale - criteriul economic ( $CTA \rightarrow \min$ ) și criteriul tehnologic ( $M \rightarrow \min$ ). Ușor de observat, în urma celor expuse anterior, ca aceste două criterii, în cele de urmă, pot fi substituite printr-un singur criteriu generalizat de calitate -  $K_m \rightarrow \min$ .

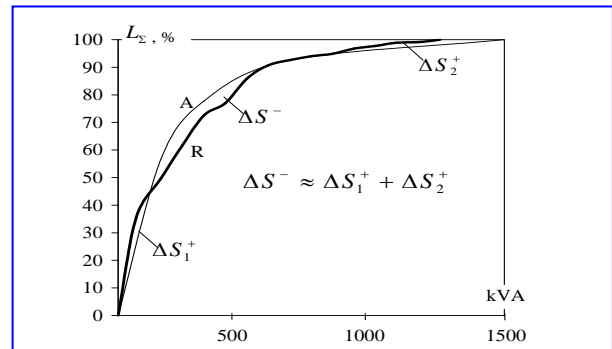
Din analiza formulelor de calcul ale indicatorului  $K_m$ , prezentate în tabelul 1, rezultă următoarele concluzii:

- performanța comparativă a modelelor idealizate de rețea este, practic, constantă și nu variază odată cu extinderea ariei de deservire;
- modelele de rețea pot fi ordonate calitativ și cantitativ conform performanței lor;
- soluția optimă privind structura unei rețele elementare nu depinde de aria de deservire.

Să revenim la cele șase modele structurale. O privire asupra diagramei I-L din fig.11 ne vorbește clar despre faptul că în ipoteza distribuției uniforme a sarcinii (vezi fig.1) - modelul de rețea F (linia magistrală) este cel mai nefavorabil, pe când modelul A, cu amplasarea sursei în centru, este cel mai performant. Pe această cale - a simplei vizualizări a diagramei I-L - modelele de rețea considerate pot fi ordonate ușor. Cel mai "reusit" este modelul A, urmat de modelul B, mai apoi vine C, D, E și F.

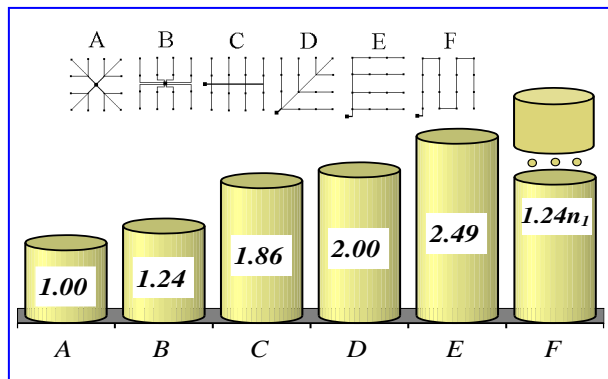
Tot în fig.11, pe lângă diagramele modelelor A...F, este prezentată și diagrama I-L a rețelelor rurale 10 kV ale zonei europene a ex-u.r.s.s. (notată cu litera R). Din comparația diagramei R și A (fig.13), în baza celor expuse

mai sus, rezultă că rețeaua R pare a fi la fel de performanță ca și modelul A - cel mai eficient model din cele șase modele analizate.



**Figura 13.** Gradul de performanță a rețelei rurale 10 kV (rețea reală) este la nivelul structurii idealizate A.

Pentru o comparație cantitativă a modelelor, vom accepta ca bază nivelul de performanță a modelului A. Ținând cont de relația  $CTA_x / CTA_A = K_{mx} / K_{mA}$ , obținem următoarele rezultate, prezentate în fig.14. În așa fel, se dovedește că modelul B este mai costisitor cu 24% decât cel mai performant model A, modelul C - cu 86%, modelul D - de două ori ș.a.m.d.



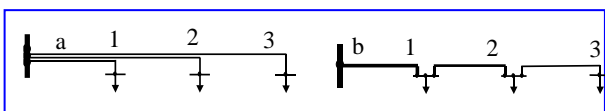
**Figura 14.** Valoarea relativă a  $CTA$  pentru diferite modele structurale ( $n_1$  - numărul consumatorilor pe o latură a celei elementare pătrate).

#### 5. O MULTITUDINE DE SOLUȚII PRIVIND CONFIGURAȚIA OPTIMĂ A REȚELEI

După cum s-a menționat anterior,  $CTA$  pentru o rețea de distribuție, economic dimensionată, reprezintă o funcție liniară de volumul energiei  $W$  tranzitate spre consumatori. Liniaritatea funcției  $CTA(W)$  servește drept bază teoretică pentru următoarea proprietate structurală a

unei rețele arborescente: la faza de proiectare a unei rețele arborescente poate fi identificată o multitudine de configurații mult diferite ca structură, ca fiabilitate, ca posibilitate de extindere etc., însă cu aceleași cheltuieli minime.

În continuare, vom aduce câteva exemple care ilustrează cele afirmate. Să pornim de la structurile prezentate în fig.15, ce alimentează același set de noduri de consum.



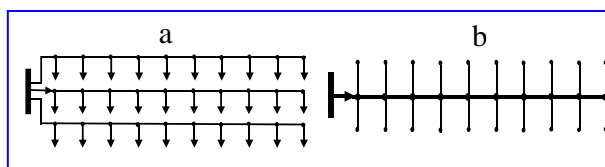
**Figura 15.** Două variante de structură cu aceleași cheltuieli totale actualizate minime.

Prima structură (fig.15,a) este una radială, pe când a doua (fig.15,b) este magistrală. Deși aceste două structuri sunt diferite ca arhitectură, fiind economic dimensionate, ele au aceeași performanță economică. Valoarea indicatorului  $K_m$  pentru ambele constituie 6 unități. Cheltuielile totale sunt identice:

$$CTA_a = CTA_b = 6CTA_0.$$

În fig.16, pentru o rețea cu 30 de noduri, sunt prezentate două variante de structură cu aceleași cheltuieli totale minime:

$$CTA_a = CTA_b = 215CTA_0.$$



**Figura 16.** Două structuri cu același cost minim ce alimentează un set de 30 de noduri de consum.

Să revenim la modelele structurale  $A...F$  din fig.8. După cum s-a menționat anterior, toate aceste modele au o performanță diferită. Însă pentru fiecare dintre ele poate exista un număr mare de structuri, cu abateri mai mari sau mai mici de la "prototip", care vor avea unul și același cost (CTA) minim - una și aceeași performanță. Apropo, ar fi de menționat ca modelele B și C se deosebesc numai prin modul amplasării sursei. În cazul în care sursa în modelul C ar fi amplasată în centru (ca și în B), cele două modele ar avea aceeași performanță.

Este important ca proiectantul să cunoască aceste particularități și să nu pretindă să caute o

soluție economică unică, întrucât ele sunt mai multe.

## 6. CONCLUZII

1. Diagrama I-L, momentul total de sarcină, cheltuielile totale și multiplicatorul „tronson-rețea” reprezintă un set de indicatori generalizați de calitate, precum și criteriile de alegere a structurii arborescente a sistemelor de distribuție.

2. Pentru diverse sisteme ingineresti de distribuție, rațional dimensionate, indicatorii generalizați de calitate, de regulă, sunt funcții liniare, sau aproape liniare, de volumul mediului tranzitat. Aceasta servește drept temei pentru existența unei multitudini de soluții structurale de aceeași performanță.

3. Toate modelele de structuri arborescente pot fi ierarhizate conform performanței lor. Eficiența comparativă a acestor modele, practic, nu depinde de dimensiunea sistemului.

## Bibliografie

1. **Bejan A.** *Shape and Structure, from Engineering to Nature.* Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000.
2. **Gonen T.** *Electric Power Distribution System Engineering.* New York: McGraw-Hill, 1986.
3. **Willis H.L.** *Power Distribution Planning Reference Book, Marcel Dekker, New York, Basel, 1997.*
4. **Будзко И., Левин М.** *Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населённых пунктов.* Москва, Агрпроимиздат, 1985.
5. **Каялов Г., Каждан А., Ковалёв И. и др.** *Основы построения промышленных электрических сетей.* Москва, Энергия, 1978.
6. **Фёдоров А., Каменева В.** *Основы электроснабжения промышленных предприятий.* Москва, Энергия, 1979.
7. **Arion V., Codreanu S.** *Bazele calculului tehnico-economic al sistemelor de transport și distribuție a energiei electrice.* U.T.M., Chișinău, 1998.
8. **Разработка методики оптимальной унификации воздушных и кабельных линий.** Отчет УО Сельэнергопроект, Киев, 1979.