

CZU 621.311.014.019.3.

PRINCIPIILE DE ELABORARE A ALGORITMELOR DE OPTIMIZARE A FIABILITĂȚII SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE ȘI ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ A CONSUMATORILOR

F.ERHAN, IRINA LUPUȘOR¹, ELENA LUKIANENKO²

¹ Universitatea Agrară de Stat din Moldova,

² Institutul de Economie și Statistică al A.Ș.M.

Abstract. The problems of determining the optimum reliability level of electrical energy distribution and supply systems of the different consumers are multifunctional and have a probabilistic nature.

In this article a mathematical model is designed and offered.

On the basis of this article the algorithm for the optimum reliability level determination of distribution systems can be worked out.

Key words: Distribution system, Electrical power distributing systems and supply of the consumers, Mathematical model, Methods of algorithms modeling, Optimum reliability level, Reliability factors, Structural and functional reliability element.

INTRODUCERE

Pentru ca eficacitatea de funcționare a consumatorilor să fie optimă este necesar ca nivelul de fiabilitate al sistemelor de distribuție și alimentare cu energie electrică să corespundă cerințelor tehnice înaintate de consumator. Numai respectând aceste cerințe se poate atinge nivelul de fiabilitate, care poate fi optim atât pentru furnizor, cât și pentru consumator. Este cunoscut că fiabilitatea este o noțiune economică și depinde de cheltuielile curente și cele actualizate suportate atât de furnizor, cât și de consumator la concret [F. Erhan, 1985].

Practic se poate de atins orice nivel de fiabilitate stabilit preventiv, dar depinde la ce preț. Astfel, poate apărea problema de optimizare a nivelului de fiabilitate al structurii sistemelor de distribuție, precum și al fiabilității de alimentare a consumatorilor.

MATERIAL ȘI METODĂ

Problemele fiabilității de alimentare a consumatorilor sunt niște probleme aleatorice, care depind de o serie de factori atât determinați, cât și nedeterminați și practic pot fi deviate în câteva grupe [F. Erhan, 1991]:

- a) problemele fiabilității de structură a sistemelor de distribuție a energiei electrice;
- b) problemele fiabilității de funcționare a elementelor și echipamentelor componente;
- c) problemele fiabilității consumatorilor.

Asupra valorii finale al fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare al consumatorilor influențează o serie de factori, care pot fi foarte diverși, dintre care se pot evidenția:

- caracteristica elementelor sistemelor de distribuție și alimentare și fiabilitatea lor funcțională;
- schemele de racordare a elementelor sistemelor de distribuție și alimentare;
- tipul consumatorului și cerințele lui înaintate față de fiabilitatea de alimentare cu energie;
- influența factorilor atât determinați, cât și a celor nedeterminați asupra fiabilității de alimentare a consumatorilor.

Prin urmare, determinarea strictă a nivelului optimal al fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare cu evidența acțiunii factorilor exteriori este destul de complicată, deoarece toți factorii descriși au un caracter probabilistic de variație în timp.

Pentru a aprecia și a determina nivelul optim al fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare, cu evidențierea influenței unor factori determinați, este necesar de a aplica câteva criterii de optimizare a schemelor electrice ale sistemelor de distribuție și alimentare, printre care pot fi evidențiate:

- criteriul cheltuielilor raportate sumare;
- criteriul rezervării optimale al schemelor sistemelor de distribuție și alimentare în întregime;

- criteriul optimizării schemelor de distribuție și alimentare cu evidența concretă a utilajului electric instalat.

Determinarea nivelului optim al fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare și aprecierea influenței factorilor exteriori asupra acestora în nodurile sistemului este necesar de a le examina ca o problemă tehnico-economică, soluționarea căreia trebuie asigurată pe baza criteriului de minimizare a cheltuielilor raportate.

Nivelul fiabilității în acest caz se apreciază reieșind din valoarea cheltuielilor capitale și a celor suplimentare, necesare pentru sporirea nivelului fiabilității de structură al sistemelor de distribuție și alimentare, valoarea daunelor așteptate atât la consumator, cât și în SDAEE ca rezultat al fiabilității scăzute a funcționării schemelor și elementelor componente și a utilajului electric instalat, ținând cont de influența factorilor exteriori.

Dependențele examinate analitic pot fi prezentate conform expresiei (1).

$$R = f(C_s, C_r, I_{SC}^3, I_{SC}^1) \quad (1)$$

Componenta cheltuielilor racordate (C_r) ce apreciază fiabilitatea de structură a sistemelor de distribuție și alimentare, ținând cont de valorile funcțiilor aleatorii $C = f(I_{SC})$, poate fi determinată prin volumul sumar de energie nelivrată consumatorului precăutat $\sum W = f(P, \Delta t)$ și de valoarea daunelor ce poartă un caracter probabilist (ΔD) la consumatori și sistem ce pot fi determinate conform ecuației (2).

$$\Delta D = \sum \alpha_i * W_i \quad (2)$$

unde: α_i - caracteristica intensității specifice a fiabilității echipamentelor și elementelor componente ale sistemelor de distribuție și alimentare, în dependență de valorile probabiliste ale funcțiilor ce caracterizează la momentul respectiv valoarea estimată în nodurile sistemului respectiv și pot fi determinate conform (3).

$$\alpha_i = (0.3 \div 0.75) uc / kWh \quad (3)$$

W_j - speranța matematică a volumului sumar de energie nelivrată în sistemele de distribuție și alimentare din cauza nivelului scăzut de fiabilitate de structură și de funcționare a elementelor componente ale sistemului examinat în dependență de apariția regimurilor nesimetrice și a altor fenomene (de cele mai dese ori însoțite de curenți de scurtcircuit).

Deconectările de avarie în sistemele de distribuție și alimentare a consumatorilor cauzate de fiabilitatea scăzută a echipamentelor aduc la acțiuni negative ce provoacă daune atât la consumatori, cât și SDAEE din cauza nelivrării de energie [A. Hamfis, 1980].

Pentru rezolvarea problemelor de acest tip nu este rațional de a determina decrementul la consumatori separați, deoarece e necesar de aplicat metodele de modelare matematică atât a daunelor cauzate, cât și a nivelului de fiabilitate minim necesar pentru a evita daunele respective (F. Erhan, 1980). Determinarea daunelor în sistemele de distribuție și de alimentare cu energie electrică unde sunt aplicate valorile minime și maxime a decrementului în dependență de tipul consumatorului, puterea lui instalată, categoria de fiabilitate de alimentare cu energie, durata staționării de avarie, poate fi efectuată după V. Zorin [1984]. Dacă durata staționării de avarie ($t_{av} \leq \Delta t_0$) este mai mică ori egală cu durata minimă preconizată a staționării de avarie (Δt_0), atunci consumatorul nu suportă pagube (ΔD_C), în așa caz și pentru SDAEE daunele din cauza nelivrării energiei lipsesc, deci ($\Delta D_C = 0$) (F. Erhan, 1991).

Dacă durata staționării de avarie ($t_{av} \geq \Delta t_0$) este mai mare decât durata minimă (Δt_0), atunci daunele aduse de consumator din cauza nelivrării de energie trebuie să fie determinate, deci ($\Delta D_C \neq 0$).

Deoarece majoritatea elementelor SDAEE sunt renovabile și se pot restabili, pentru așa tip de sisteme, utilizând metodele de rezervare ale unor elemente, se poate de atins nivelul optim de fiabilitate [D. Enderi, 1983].

Economic această problemă necesită cheltuieli esențiale capitale actualizate, necesare pentru sporirea fiabilității SDAEE, ce concomitent pot aduce la micșorarea daunelor atât în SDAEE, cât și la consumatori, cauzate de nivelul de fiabilitate scăzut.

Pentru efectuarea calculului respective apare necesitatea de a elabora un algoritm de optimizare a fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare cu energie electrică a consumatorilor

Sistemele de distribuție și alimentare cu energie electrică (SDAEE) a diferitor receptori se află în stare dinamică de dezvoltare permanentă, de aceea fiabilitatea unui astfel de sistem este funcție de o serie de factori atât determinați cât și nedeterminați. Dacă un așa sistem conține n elemente cu fiabilitatea respectiv (r_1, r_2, \dots, r_n) , fiabilitatea la elementul - i , este $-r_i$, în așa caz fiabilitatea sistemului în întregime reprezintă o funcție monoton neîntreruptă, $R = f(r_1, r_2, \dots, r_n)$ și poate fi reprezentată analitic prin ecuația (4).

$$R = r_j[\psi(r_1, r_2, \dots, r_n)_j] + (1 - r_j)[\psi(r_1, r_2, \dots, r_n)_j] \quad (4)$$

Deoarece fiabilitatea elementelor componente (r_1, r_2, \dots, r_n) al SDAEE este comparativ destul de înaltă, și poate să se afle în limitele $0,85 \leq r_j \leq 0,95$, apoi fiabilitatea SDAEE sporește concomitent cu creșterea fiabilității elementelor componente.

Dacă pentru sporirea nivelului de fiabilitate al elementului i de la r_i până la r_j , deci $(\Delta r = r_j - r_i)$ sunt necesare cheltuieli suplimentare actualizate $\Delta K_i(\Delta r)_i$, iar costul sistemului întreg este limitat și nu trebuie să depășească valoarea $\sum C(t)$ - stabilită în procesul de prognoză și proiectare. În așa caz, cheltuielile actualizate pot fi determinate conform ecuației (5).

$$\sum C(t) = \sum K_i(\Delta r)_i \quad (5)$$

Practic aceasta înseamnă, că $\Delta K_i(\Delta r)_i$ este o funcție monoton crescătoare și neîntreruptă ce depinde de valoarea r_j .

Problema respectivă constă în determinarea valorii C_j , ce contribuie la stabilirea valorii optime a fiabilității sistemului studiat la concret.

Deoarece cheltuielile capitale sumare pentru structura determinată a SDAEE sunt determinate și fixate se poate de constatat că se va îndeplini egalitatea (6).

$$C(t) = const \quad (6)$$

Pentru rezolvarea acestei probleme, de cele mai dese ori, se poate folosi metoda factorilor nedeterminați a lui Lagranje.

În așa caz se poate determina mulțimea valorilor r_j , ce îndeestulează expresia (7) [F. Erchan, 1988].

$$\delta(t) \cdot f(r_1, r_2, \dots, r_n) = 0 \quad (7)$$

unde: $\delta(t)$ este variația funcției studiate în dependență de limita stabilită, pentru care se îndeplinește relația de tip (8).

$$\delta(t) \cdot C = \sum_{j=1}^n \delta(t) \cdot K_{ij}(r_j) \quad (8)$$

Astfel fiabilitatea de structură optimă a elementelor SDAEE se va determina conform (9).

$$\delta(t) \cdot R(r_1, r_2, \dots, r_n) - \lambda \cdot [\delta(t) \cdot C - \sum_{j=1}^n \delta(t) \cdot K_{ij}(r_j)] = 0 \quad (9)$$

unde: λ este constanta reală ce depinde de structura grafului SDAEE examinat și deseori poartă un caracter nedeterminat.

Dacă se va ține cont, că derivatele parțiale ale funcției $R(r_1, r_2, \dots, r_n)$, în dependență de modul de schimb a valorii r_j , are forma expresiei (10), și se va obține funcția de tip (11) ce exprimă modul de variație a fiabilității de funcționare a sistemului în timp.

$$\frac{\partial R}{\partial r_j} = R(r_1, r_2, \dots, r_n)_{j=1} - R(r_1, r_2, \dots, r_n)_{j=0} \quad (10)$$

$$R(r_1, r_2, \dots, r_n)_{j=1} - R(r_1, r_2, \dots, r_n)_{j=0} = \lambda \cdot \frac{dC_j}{dr_j} \quad (11)$$

Valoarea optimă a fiabilității elementelor componente ale sistemului studiat r_j , ce se va obține din sistemul de ecuații analogice (11) alcătuite pentru toate elementele componente, când indexul j variază respectiv în limitele ($j=1,2,\dots,n$) și poate fi definită cu ajutorul factorului nedeterminat λ .

Pentru a determina valoarea coeficientului nedeterminat λ este necesar de cunoscut valoarea fiabilității elementului r_j și valoarea cheltuielilor suplimentare actualizate minime necesare, pentru sporirea nivelului de fiabilitate a elementului respectiv $\Delta K_i(\Delta r_j)$.

Analiza ecuației (11) indică că dacă sunt indicate limitele nivelului de fiabilitate a elementelor componente, fiabilitatea sistemului devine optimă în cazul când pentru toate elementele componente ale SDAEE, raportul dintre valoarea sporirii maxime a fiabilității elementului (Δr_j) către valoarea cheltuielilor minimal necesare ΔK_i , obțin valori maxime și devin identice și egale cu valoarea factorului nedeterminat λ , pentru toate elementele componente.

Deoarece fiabilitatea elementelor componente $R(r_1, r_2, \dots, r_n)$, al SDAEE poartă un caracter probabilist și se află în limitele determinate conform (12).

$$(0 < r_j < 1) \quad (12)$$

Astfel cheltuielile minime, suportate de sistem pentru a atinge valorile respective, trebuie să îndeplinească expresia (8).

În așa caz pentru rezolvarea ecuațiilor de tip (10) se poate de utilizat diferite metode, dar în lucrarea respectivă au fost utilizate metodele descrise de F. Erhan și E. Zaica [1987].

Reieșind din presupunerea, că sistemul examinat, constă din elemente cu o conexiune mixtă între ele, apare necesitatea de a determina numărul optim de elemente paralele rezervate între ele, care asigură nivelul optim de fiabilitate în dependență de cheltuielile minim necesare limitate de cerințele inițiale.

Evident, că fiabilitatea sistemului în starea inițială se va determina conform (13).

$$R = \prod r_j \quad (13)$$

Deoarece fiabilitatea elementului j a subsistemului i poate fi determină conform (14), apoi fiabilitatea sistemului cu elemente rezervate poate fi apreciată din expresia (15).

$$r_j = 1 - q_i^{x_i} \quad (14)$$

$$q_i = (1 - r_i) \quad (15)$$

$$R_S = \prod r_j \quad (16)$$

Dacă costul deplin al sistemului examinat se determină conform (17), apoi în așa caz e necesar să se îndeplinească expresia (18). Pentru un astfel de sistem de alimentare, reieșind din condițiile și limitele inițiale, este necesar să se îndeplinească relația de tip (18).

$$C_S = \sum_{i=1}^n C_i \cdot x_i \quad (17)$$

$$\delta \cdot T = \delta \cdot [\log r_i - \lambda \cdot (C - \sum_{j=1}^n C_j x_j)] \quad (18)$$

unde C_j este costul elementului j , și se îndeplinește inegalitatea $C_0 < C$,

Valorile maxime a logaritmului funcției ce permite de a determina nivelul de fiabilitate a elementelor componente ale SDAEE, distribuția optimă a valorii x_j se vor determina conform (19).

$$\frac{dg_i^{x_i}}{dx_i} + \lambda \cdot C_i = 0; (i = 1, 2, \dots, n) \quad (19)$$

La înlocuirea echivalentă a valorii ($\log r_i$) prin C_j se va obține o egalitate analitică de tip (20).

$$(g_i^{x_i} \cdot \log g_i) / [(1 - g_i^{x_i}) - \lambda \cdot C_i] = 0 \quad (20)$$

Dacă se va ține cont de expresiile (19 și 20) valoarea $g_j^{x_j}$ se va determina din expresia (21).

$$g_i^{x_i} = \lambda \cdot C_i / (\lambda \cdot C_i + \log g_i) \quad (21)$$

La rezolvarea ecuației (20) în dependență de valorile g_j și x_j și dependența de tip (22) se va obține expresia (23).

$$\alpha_j = \frac{C_i}{\log g_i} \quad (22)$$

$$C_i = \sum_{j=1}^n x_j \cdot C_j \quad (23)$$

Dacă se va efectua înlocuirea echivalentă a valorii $(x \cdot \log g_i)$, apoi conform expresiei (22) poate fi obținută expresia (23).

Pentru a determina nivelul optim de fiabilitate R a sistemului examinat se poate de aplicat metoda aproximației consecutive a valorilor componente ce corespunde [F.Erchan; S. Melnic, 1988].

La prima iterație se fixează valoarea aleatorie R_i și înlocuind-o cu valoarea echivalentă a costului actualizat conform (11) poate fi determinată valoarea x_j .

Dacă în expresia (23) se va introduce valoarea obținută pentru mărimea x_j , se poate determina și valoarea cheltuielilor actualizate, minim necesare pentru obținerea nivelului optim de fiabilitate conform (24).

$$\Delta K_{11} = \sum x_i' \cdot K_i \quad (24)$$

Dacă se îndeplinește inegalitatea, $K_j(t) > K(t)$, apoi valoarea nivelului de fiabilitate R depășește valoarea optimă, deoarece valorii R_i îi corespunde o valoare determinată a cheltuielilor $K_j(t)$.

Pentru elementele componente ale SDAEE practic în majoritatea cazurilor valoarea fiabilității elementelor componente ($r_i \Rightarrow l$) este destul de înaltă, deoarece elementele componente dispun de un nivel de fiabilitate destul de înalt ($r_i \Rightarrow 1$) și se află în limitele ($0.85 < r_j < 0.95$).

Dacă se va ține cont de expresia (22), apoi valoarea x_j poate fi obținută din expresia (25).

$$x_j \approx (\log \lambda \alpha_j / \log g_i) \quad (25)$$

Dacă se va reiese din presupunerea că expresia (25) este determinată numeric, apoi se poate determina cheltuielile actualizate necesare pentru crearea unei sistem cu nivelul optim de fiabilitate preventiv determina, care poate fi obținut conform (26).

$$C_{OPT} = \sum_{j=1}^n \alpha_j \log(-\alpha) + \sum_{j=1}^n \alpha_j / \log(-\alpha) \quad (26)$$

Din expresia (25) se poate obține valoarea factorului nedeterminat λ conform (27).

$$\lambda = \exp \left[C - \sum_{j=1}^n \alpha_j \log(-\alpha) \right] / \left[\sum_{j=1}^n \alpha_j \right] \quad (27)$$

Valoarea obținută al factorului nedeterminat λ , poate fi utilizată ca prima etapă de aproximare pentru determinarea nivelului optim de fiabilitate al sistemelor de distribuție a energiei electrice.

E necesar de menționat, că valoarea x_j poate fi doar un număr întreg al elementelor conectate în componența subsistemelor studiate.

În procesul de calcul analitic al valorii x_j , conform ecuației (25) poate fi obținută o valoare arbitrară ce nu este valoare întregă, în așa caz apare necesitatea de a rotunji valoarea x_j obținută până la un număr întreg conform legilor respective.

În mod general pentru așa caz se vor îndeplini inegalități de tip (28).

$$C_s - \sum_{j=1}^n C_j \cdot x_j \leq C_i \quad (28)$$

Dacă ecuația (28) se va îndeplini, în așa caz pentru mulțimea x_j se va îndeplini expresia (26), în așa caz x_j - este rezolvarea optimă a problemei fiabilității SDEE în caz concret.

Dacă se va îndeplini inegalitatea (29) atunci determinarea nivelului optim de fiabilitate pentru x_j fixat nu se va obține pentru condițiile descrise la concret.

$$C_s - \sum_{j=1}^n C_j \cdot x_j \geq C_i \quad (29)$$

Deoarece SDAEE din punct de vedere al fiabilității pot fi aliniate către sistemele cu nivelul de fiabilitate ce dispune de o variație aleatorie și este discretă în timp, apoi se poate de utilizat următorul procedeu pentru atingerea scopului respectiv și anume:

- pentru fiecare nod al SDAEE se calculează raportul sporii nivelului de fiabilitate care se obține respectiv, reieșind din valorile cheltuielilor suplimentare actualizate minimal necesare pentru sporirea nivelului de fiabilitate;

- se determină elementele necesare pentru rezervare reieșind din coincidență de descreștere a rapoartelor respective.

Ca rezultat al procedeelor respective se determină elementele ce trebuiesc rezervate și nivelul optim de fiabilitate al nodului respectiv.

Fie x_j numărul elementelor conectate paralel în sistemul de distribuție a energiei electrice. Dacă se va reiese din presupunerea, că în nodul i al sistemului respectiv va fi conectat încă un element $\gamma_k(x_k)$, apoi, notând prin k raportul respectiv, se va obține expresia (30) care poate fi transformată echivalent în expresia (31).

$$\gamma_k(x_k) = \frac{\sum_{j=1}^n (1-q_j^{x_m}) - \sum_{j=1}^m \log(1-q_j^{x_m}) + \log(1-q_j^{x_m})}{C_j} \quad (30)$$

$$\gamma_k(x_k) = C_j^{-1} \log[1 + q_j^{x_m} \cdot r_j] / (1 - q_j^{x_m}) \quad (31)$$

Deoarece probabilitatea de refuz a elementului respectiv îndeplinește inegalitatea de tip (32), iar numărul mulțimii elementelor x_j e un număr pozitiv întreg, rezultă expresia (33) în așa caz e evident că se va îndeplini și inegalitatea (34).

$$q = (1 - r) < 1 \quad (32)$$

$$0 < q_i^x (1 - q_i)^r \cdot (1 - q_j^{x+1})^r < 1 \quad (33)$$

$$\gamma_1(x+1) < \gamma_1(x) \quad (34)$$

Din cele prezentate rezultă că pentru fiecare valoare k , expresia $y_k(x_k)$ ca funcție de (x_k) este monoton descrescătoare .

Din cele prezentate reiese că algoritmul elaborat pentru optimizarea nivelului de fiabilitate a nodurilor SDAEE dispune de câteva etape și poate fi descris în modul următor:

- la prima etapă se determină valoarea $y_k(x_k)$ pentru valorile $x_k = (1, 2, 3, \dots, n_0)$;
- la etapa a doua se determină valoarea $y_k(x_k)$ și se aliniază în dependență de gradul de descreștere;
- în conformitate cu indicii k consecutivitatea $y_k(x_k)$ în noduri se asumă valorile elementelor rezervate și se calculează valoarea fiabilității nodului sau a sistemului determinat integral;
- ciclul elaborat se repeta până nu va fi atinsă valoarea fiabilității respective, ori a cheltuielilor minim necesare pentru nodul studiat, sau al sistemului respectiv.
- analiza succesiunii cu indicii identici $y^1; y^2, \dots, y^n$, dacă ultimul termen din ei va coincide cu $y_{k_0}(x_{k_0})$ atunci rezolvarea optimă corespunde numărului de elemente (ramuri - x_{k_0});
- dacă sistemul respectiv poartă un caracter determinat, indicii care se întâlnesc în succesiunea $y_k(x_k)$, indică numărul optim al elementelor și foarte des acest număr coincide cu o unitate.

Modul de schimb a funcției de variație a nivelului de fiabilitate și a daunelor suportate de consumatori și sistemul de furnizare a energiei, în dependență de cheltuielile actualizate minim necesare pentru sporirea nivelului de fiabilitate, este prezentat în fig.1.

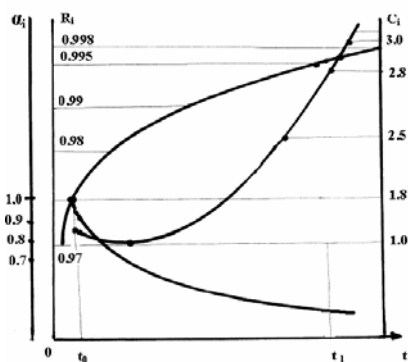


Fig.1. Dependenta nivelului de fiabilitate al rețelelor cu tensiunea de $U_n=10\text{kV}$ și secțiunea $F= 70 \text{ mm}^2$ și a daunelor duse de consumatori și sistemul de furnizare a energiei în dependență de cheltuielile actualizate minimal necesare pentru sporirea nivelului de fiabilitate

CONCLUZII

Determinarea nivelului optim de fiabilitate a sistemelor de distribuție și alimentare cu energie electrică a consumatorilor este o problemă multifuncțională care are un caracter aleatoriu în timp.

În lucrarea dată este propus și argumentat modelul matematic necesar pentru determinarea nivelului optim de fiabilitate al sistemelor de distribuție și alimentare cu energie electrică a consumatorilor.

Este elaborat principiul de alcătuire al algoritmilor de calcul analitic al nivelului de fiabilitate, ținând cont de graficul de structură, categoria de alimentare al consumatorilor și dinamica de dezvoltare al sistemului de distribuție și alimentare cu energie electrică a consumatorilor și modul de schimb în timp al parametrilor ce poartă un caracter aleatoriu.

BIBLIOGRAFIE

1. Ерхан, Ф.М. Токи короткого замыкания и надежность энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1989, 256 с.
2. Ерхан, Ф.М. Взаимосвязь между токами короткого замыкания и надежности электрооборудования. Известия ВУЗов. - Минск: Энергетика, №11, 1991, с. 13-17.
3. Хамфис, А. Переходное восстанавливающееся напряжение в режиме удаленного короткого замыкания. В кн. Отключение токов короткого замыкания в сетях высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1981, 327 с.
4. Ерхан, Ф.М. Оценка влияния уровней токов короткого замыкания на статическую устойчивость электроэнергетических систем. Известия АН МССР, серия физико-технических и математических наук, №2, 1980, с.77-87.
5. Зорин, В.В.; Тисленко, В.В. и др. Надежность систем электроснабжения. - Киев: Высшая Школа, 1984, 192 с.
6. Ерхан, Ф.М. Исследование влияния уровней токов короткого замыкания на надежность электрооборудования (выключателей). Известия АН СССР, Энергетика и Транспорт, М.: 1991, №6, с. 89-94.
7. Ендери, Д. Надежность электроэнергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1983, 421 с.
8. Ерхан, Ф.М.; Заика, Е.Я. Выбор критерия оптимизации схем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. Известия АН МССР, серия физико-технических и математических наук, №2, 1987, с.72-77.
9. Erchan, F.; Melnic, S. Short circuit currents level effect on the electric power system s reliability. The III-International Symposium Short circuit currents in a power system. Sulejow, 1988, 74-89 p.

Data prezentării articolului – 02.06.2008