

INDICATORII FIABILITĂȚII SISTEMELOR ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE COMPLEXE

RELIABILITY INDICATORS OF COMPLEX ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS

Victor POPESCU

Universitatea Tehnică a Moldovei

E-mail: victor.popescu@ie.utm.md

ORCID ID: 0000-0002-4634-2255

Mihail BALAN

Universitatea Tehnică a Moldovei

E-mail: mihail.balan@pmai.utm.md

ORCID ID: 0000-0002-7788-345X

Adrian GRĂDINARU

Universitatea Tehnică a Moldovei

E-mail: adrian.gradinaru@colegiu.utm.md

ORCID ID: 0009-0005-5469-441X

Natalia ȚISLINSKAIA

Universitatea Tehnică a Moldovei

E-mail: natalia.tislinscaia@pmai.utm.md

ORCID ID: 0000-0003-3126-5792

Vitali VIȘANU

Universitatea Tehnică a Moldovei

E-mail: vitali.visanu@pmai.utm.md

ORCID ID: 0000-0002-2273-342X

Igor KURDOV

Universitatea Tehnică a Moldovei

E-mail: igor.kurdov@ie.utm.md

ORCID ID: 0000-0002-0731-5967

Rezumat: Studiul vizează evaluarea indicatorilor fiabilității sistemelor electrice de distribuție complexe. Obiectivul principal al acestui studiu este stabilirea indicatorilor principali ai fiabilității acestor sisteme, care în prezent se caracterizează prin multiple probleme, deoarece au o configurație complexă și sunt afectate de un număr semnificativ de refuzuri. Pentru atingerea scopului propus, au fost selectați cei mai importanți indicatori, care permit estimarea nivelului de fiabilitate al sistemelor electrice de distribuție examinate. Principalele rezultate obținute sunt cele cu referire la aplicarea procedurii de evaluare a fiabilității propus pentru examinarea indicatorilor, care au o importanță semnificativă pentru analiza stării funcționale a sistemelor de distribuție cu structură și configurație complexă, oferind o prezentare clară a nivelului de fiabilitate.

Cuvinte-cheie: sisteme electrice de distribuție, indicatori de fiabilitate, procedeu de evaluare, configurație complexă

Abstract: The study aims to evaluate the reliability indicators of complex electrical distribution systems. The main objective of this study is to establish the main reliability indicators of these systems, which are currently characterized by multiple problems, since they have a complex configuration and are affected by a significant number of refusals. To achieve the proposed goal, the most important indicators were selected, which allow estimating the reliability level of the examined electrical distribution systems. The main results obtained are those with reference to the application of the reliability assessment procedure proposed for examining the indicators, which are of significant importance for analyzing the functional state of distribution systems with a complex structure and configuration, providing a clear presentation of the reliability level.

Keywords: electrical distribution systems, reliability indicators, evaluation procedure, complex configuration

Introducere

În stadiul actual, funcționarea sistemelor electrice de complexe este marcată de o serie de probleme, dintre care cea mai importantă este asigurarea nivelului de fiabilitate a funcționării acestor sisteme.

Rezolvarea acestor probleme necesită o cunoaștere aprofundată a indicatorilor care caracterizează sistemele în cauză. În condițiile specifice unui sistem real, pornind de la anumite cerințe impuse, există o serie de indicatorii și variante de scheme care trebuie avute în vedere pentru a găsi o soluție eficientă pentru evaluarea și asigurarea fiabilității. Fiecare variantă se caracterizează prin investiții, costuri de exploatare și un anumit nivel de siguranță în funcționare [3-7].

Sistemele electrice de distribuție sunt în prezent sisteme complexe care se dezvoltă continuu [8-11]. Acest lucru se explică prin faptul că, din cauza solicitărilor socio-economice contemporane, apar un număr tot mai mare de noi linii electrice și acest lucru duce la apariția mai multor noduri de sarcină, iar schemele structurale ale sistemelor de distribuție devin din ce în ce mai ramificate. Este clar că acest lucru este benefic în dezvoltarea sistemelor, dar odată cu el apar noi cerințe și probleme în evaluarea indicatorilor fiabilității sistemelor de distribuție.

Creșterea continuă a numărului de componente ale schemelor structurale face ca riscul defecțiunilor și întreruperilor în funcționare să crească, cauzând probleme serioase [1-5,12]. Asigurarea nivelului de fiabilitate oferă posibilitatea de a aduce așteptările privind întreruperile și daunele la o valoare acceptabilă. Este clar că aceasta rezultă din analiza indicatorilor, care sunt determinați apariția întreruperilor aleatorii, pentru a reduce numărul lor semnificativ și de a asigura nivelul de fiabilitate [6-9].

Astfel, au fost selectați cei mai importanți indicatori, care permit evaluarea nivelului de fiabilitate al sistemelor electrice de distribuție complexe, de orice structură și configurație. Principalele rezultate obținute în acest studiu sunt cele privind aplicarea criteriului de evaluare a fiabilității propus pentru estimarea indicatorilor de fiabilitate, care au o importanță semnificativă pentru condițiile de exploatare a sistemelor de distribuție, ceea ce oferă posibilitatea planificării justificate a măsurilor pentru prevenirea defecțiunilor și asigurarea fiabilității acestor sisteme.

Metodologia cercetării

În această cercetare, ca obiect principal al studiului au fost selectate sistemele electrice de distribuție cu configurație complexă, cu scopul de a stabili indicatorii de evaluare a fiabilității acestor sisteme, care în prezent este dificilă, din cauza multiplelor probleme specifice și a schemelor complexe, care influențează procesul de funcționare și afectează procesele de distribuție. Au fost selectate pentru studiul în cauză anume aceste sisteme, deoarece la etapa actuală sistemele cu grad de complexitate înalt, necesită o atenție sporită și studii ample, atât din punct de vedere cantitativ, cât și calitativ, în vederea stabilirii și prognozării indicatorilor de fiabilitate.

Astfel, pentru atingerea scopului propus, au fost sistematizați indicatorii cei mai relevanți utilizați la estimarea fiabilității, care permit evaluarea reală a nivelului de fiabilitate a sistemelor electrice de distribuție.

În studiu au fost utilizate: modelarea matematică; teoria grafelor și a matricelor; teoria probabilității; criteriile de analiză statistică și procesare a datelor; teoria ecuațiilor liniare și neliniare; tehnica de calcul cu soft-urile specializate „Microsoft Excel“, „EasyFit 5.5 Professional“.

Rezultate

În urma analizei schemelor structurale ale sistemelor de distribuție investigate, s-a constatat, că acestea au un grad de complexitate destul de ridicat și din aceste considerente, astfel de scheme pot fi modelate și prezentate ca scheme echivalente de grafice cu legătură serie-paralel sau sub formă de secțiuni paralel-consecvențiale. Prezentarea schemelor sistemelor electrice de distribuție permite utilizarea unor expresii de calcul pentru a evalua indicatorii de fiabilitate în raport cu nodul de sarcină sau un grup de noduri. Fiecare secțiune individuală reprezintă prin ea însăși una dintre posibilele stări de refuz complet al schemei analizate în ceea ce privește nodul de sarcină examinat, iar fiecare posibil graf de structură independent indică existența circuitului electric funcțional.

În mod aleatoriu se poate constata că probabilitatea de respingere a secțiunii este egală cu suma probabilităților de respingere respective. În acest fel se determină probabilitatea unor respingeri sumare conform relației (1), iar în procesul de calcul se introduc secțiuni cu un număr de elemente, pe baza problemelor concrete și a preciziei calculelor efectuate:

$$q = \frac{1}{T} \left[\sum_{i=1}^n \left(\bar{T} \cdot \lambda_i - 1 \right) \cdot t_i + \sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot \bar{T} \cdot t_j \right] \quad (1)$$

Rezultatul în esență este calculul probabilității de refuz a sistemului analizat în raport cu nodul de încărcare, sau probabilitatea de funcționare fără refuz (probabilitatea evenimentului diametral opus):

$$p \left(\sum_{i=1}^k C_i \right) = \sum_{i=1}^k p \cdot (C_1) \quad (2)$$

La prezentarea modelului sub forma de secțiuni minime procesul dat se poate realiza mai rapid și mai simplu în comparație cu prezentarea schemei respective sub forma unui graf minim, dar din cele prezentate reiese că procesul de determinare a secțiunilor minime în sine este mai complex și mai dificil.

Fiabilitatea nodurilor de sarcină a schemelor complexe este determinată de refuzurile care apar nu numai în funcționarea normală, ci și în timpul deconectărilor preventive planificate ale elementelor sistemului de distribuție (cel mai adesea în procesul de realizare a întreruperilor planificate pentru profilaxie sau reparații de rutină sau capitale).

Ordinea calculării indicatorilor de fiabilitate ținând cont de deconectările planificate preventive determinate este următoarea:

- se dimensionează grupuri de elemente, a căror deconectare preventivă poate fi suprapusă, astfel că elementele de cele mai multe ori sunt cu legătură în serie între ele iar deconectarea unuia dintre aceste elemente duce la apariția respingerii grafului respectiv, întrucât astfel de elemente pot fi anume cele cu legătură în serie;
- pentru astfel de cazuri se determină indicatorii de fiabilitate planificați ai acestor scheme.

Astfel, pentru un grup de elemente reale cu frecvențe de deconectare sau timp de funcționare determinat, se stabilește cel mai mic interval de timp în care un au loc număr întreg de deconectări planificate ale fiecărui element component. Din grupul de elemente, se alege cel care are un timp maxim de deconectare preventivă. Parametrul debitului deconectărilor planificate pentru elementul echivalent se va determina din expresia:

$$q_s = \sum_{i=1}^{k_i} p \cdot (C_i) + \sum_{j=1}^n q_{pj} \cdot k_{pj} \left[\sum_{i=1}^{k-rj} p \cdot (C_1) \right] \quad (3)$$

Indicatorii de fiabilitate ai elementului echivalent al schemei complexe sunt aliniați la un element real al acelei scheme și tuturor celorlalte elemente componente primesc indicatori nuli. Pentru acest caz este necesar ca probabilitatea de respingere să satisfacă condiția descrisă de următoarea relație:

$$q_c = \left[\sum_{i=1}^{k_1} q_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \notin k_1}}^{k_2} (q_j \cdot q_e)_i \right] + \left[\sum_{i=1}^{k_{1,i}} q_{di} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \notin k_2}}^{k_{2,i}} (q_{dj} \cdot K_{dj} \cdot q_i + q_{dl} \cdot K_{dl} \cdot q_j)_i \right] \quad (4)$$

Starea aceasta nu este îndeplinită, atunci această condiție înseamnă că deconectările planificate ale diferitelor elemente ale diferitelor grupuri se suprapun. Pentru astfel de cazuri este necesar să se creeze o nouă succesiune a stărilor de deconectare determinate în prealabil, astfel încât să fie îndeplinite condițiile prezentate.

Necesitatea creării acestor stări apare adesea în procesul de calcul analitic al schemelor de proiect, când nu se cunoaște programul deconectărilor planificate și reparațiilor curente ale elementelor componente.

Discuții

În procesul de alcatuire a grupelor de deconectare preventivă a elementelor componente se va respecta condițiile prezentate și atunci înseamnă că în perioada de timp analizată în sistemul analizat vor lipsi stări cu elemente deconectate cu o planificare preventivă determinată.

Din cele de mai sus, reiese că cu cât dimensiunea liniilor sistemului de distribuție analizat este mai mică, cu atât probabilitatea stărilor respective este mai mare.

Din analiza efectuată reiese că probabilitatea de refuz al schemelor de sistem complex poartă practic un caracter determinat și pot fi calculate analitic.

În evaluarea fiabilității sistemelor de distribuție complexe, este absolut necesar să se caracterizeze ambele componente, adică fiabilitatea structurală și operațională. În scopul facilitării acestui proces, indicatorii respectivi trebuie evaluați în funcție de o consecutivitate bine determinată și din toate acestea s-a propus procedeul de evaluare a nivelului real de fiabilitate, pe baza căruia s-a realizat analiza de fiabilitate a sistemelor investigate.

Prin urmare, având în vedere cele de mai sus, pentru a simplifica procesul de evaluare a fiabilității, nivelul de fiabilitate al sistemelor de distribuție complexe poate fi evaluat pe baza acestor indicatori.

Din rezultate reiese că indicatorii determinați diferă de la un sistem la altul datorită mai multor factori, precum:

- condiții specifice de localizare;
- numărul liniilor electrice,
- lungimea sumară a liniilor electrice din sistem;
- configurațiile și grafele de structură ale sistemelor;
- numărul și starea elementelor componente.

Astfel, reieșind din acestea, se poate menționa că procedeul respectiv permite determinarea și analiza refuzurilor tuturor elementelor sistemelor de distribuție, ținând cont de probabilitatea de apariție a întreruperilor aleatorii.

Concluzii

Pe baza rezultatelor obținute, se poate observa că în procesul de evaluare a fiabilității sistemelor electrice de distribuție complexe este absolut necesară analiza și sistematizarea întreruperilor în funcționare în funcție de structură și localizarea reală a sistemelor de distribuție, pentru stabilirea indicatorilor de fiabilitate.

Analiza fiabilității funcționării depinde în mare măsură de cea a structurii și din acest motiv ele constituie două etape importante și absolut necesare pentru efectuarea calculului, determinarea secțiunilor minime și a grafelor structurale ale sistemului de distribuție, în raport cu elementele componente și probabilitățile de apariție a refuzurilor.

Bibliografie:

1. Popescu V., Vasilevich S., Leu V., et al. Criteria for assessing the reliability of electrical distribution systems in the agricultural sector. In monograph: Problems of sustainable development in agriculture including renewable energy production and environment protection. TOM XXIX, Falenty – Warsaw, Poland, 2023. 59-66 p. ISBN 978-83-65426-71-0.
2. Voronca S.L. Risk Analysis and Risk Management. Development of Risk Indicators in Electricity Transmission Companies. Journal of Sustainable Energy, 1, 2010. 25-31 p.
3. Popescu V., Vasilevich S., Kurdov I., et al. Distributions of refusals in electrical systems from the agricultural sector of Moldova. In monograph: Problems of sustainable development in agriculture including environment protection and alternative energy production as well as biogas. TOM XXVIII, Falenty – Warsaw, Poland, 2022. 86-93 p. ISBN 978-83-65426-68-0.
4. Popescu V., Malai L., Balan M. et.al. Instalație robustă pentru întreprinderile din sectorul agrar. În. Materialele Simpozionului Internațional Științifico-Practic „Reglementarea utilizării resurselor naturale: realizări și perspective”, UASM, Chișinău, 2021. 423-426 p. ISBN 978-9975-64-328-3.

5. Secui D.C. The Sensitivity of the Electrical Substations Reliability Indices at the Variation of the CircuitBreakers Sticking Probability. *Annals of the Oradea University, Fascicle of Energy Engineering*, 14, 2008. 51-57 p.
6. Ardeleanu M.E. Fault Localization in Cables and Accessories by Off-Line Methods. *Annales of the University of Craiova*, 13, 2007. 25-31 p.
7. Hazi G., Hazi A. Conditions for Efficient use of the 1000 V Energy Distribution. *Annales of the University of Craiova*, 31, 2007. 25-31 p.
8. Popescu V., Racul A., Bodarev G. Reliability index evaluation of electrical distribution systems. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6(4), 2015. 4229-4232 p. ISSN 2319-8753.
9. Malai C., Popescu V. Факторы влияния на процесс функционирования электрических распределительных сетей. В: Сборник научных трудов по материалам IV международной научно-практической конференции „Электрооборудование и электротехнологии в сельском хозяйстве”, Кинель, 2019. 74-80с.
10. Vasileivici S., Popescu V. Факторы влияния на процесс функционирования электрических распределительных сетей 0,4 КВ. Сборник научных трудов международной конференции: Авиация - история, современность, перспективы развития. Белорусская государственная академия авиации, Минск, 2020. 505-508 с.
11. Popescu V., Stiopca O., Vişanu V., et al. Studiul asupra sistemului fiabil pentru întreprinderile specializate în uscarea seminţelor. În: *Ştiinţa agricolă*, 1, 2023. 93-98 p. ISSN 1857-0003 /ISSNe 2587-3202. <https://doi.org/10.55505/sa.2023.1.10>
12. Popescu V., Tirsu M., Nuca I., et al. Characteristics of refusals in low-voltage distribution systems. în: *Journal Of Engineering Science*, 4, 2022. 9-16 p. [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(4\).01](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(4).01)