

**MINISTERUL EDUCAȚIEI, CULTURII ȘI CERCETĂRII
AL REPUBLICII MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Energetică și Inginerie Electrică
Departamentul Energetică**

Admis la susținere

Șef departament:

HLUSOV Viorica, conf. univ., dr.

„_____” _____ 2020

**Impactul regimului dezechilibrat asupra eficienței
distribuției energiei electrice prin rețeaua de joasă
tensiune 0,4 kV**

Teza de master

Student: _____ **GARȘTEA Vitalie,**
gr. EE-19M

Conducător: _____ **BERZAN Vladimir,**
prof. univ., dr. hab.

Chișinău, 2020

ADNOTARE

Autor – Garștea Vitalie. **Titlul** – Impactul regimului dezechilibrat asupra eficienței distribuției energiei electrice prin rețeaua de joasă tensiune 0,4 kV.

Structura lucrării: lucrarea conține o introducere, trei capitole, concluzii, bibliografie din 24 titluri și 8 link-uri utilizate, 75 pagini, 32 figuri, 1 tabel.

Cuvinte-cheie: linie electrică, regim nesimetric, metode de calcul, metoda potențialelor nodale, metoda componentelor simetrice, condițiilor de limită, conceptul de decompoziție.

Problematica studiului: examinarea regimului nesimetric în rețelele de distribuție.

Obiectivele studiului: analiza metodelor de calcul a regimului nesimetric în rețelele electrice de joasă tensiune, care poate să apară sub acțiunea diferitor factori.

Rezultate obținute: prezintă interes pentru procesul educațional și pot fi dezvoltate pentru cazul examinării regimului nesimetric în rețelele de distribuție în cazul manifestării nesimetriei în mai multe noduri ale rețelei.

ABSTRACT

Author – Garștea Vitalie. **Title** – Impact of the unbalanced regime on the efficiency of electricity distribution through the 0.4 kV low voltage network.

Thesis structure: The paper comprises an introduction, three chapters, conclusions, 24 references and 8 links used, 75 pages, 32 figures, 1 table.

Keywords: power line, asymmetric regime, calculation methods, nodal potentials method, symmetric components method, boundary conditions, decomposition concept.

Study issues: examination of the asymmetric regime in distribution networks.

The study's objectives: analysis of methods for calculating the asymmetric regime in low voltage electrical networks, which may occur under the action of various factors.

Result obtained: Presents interest for the educational process and can be developed for the examination of the asymmetric regime in the distribution networks in case of the manifestation of the asymmetry in several nodes of the network

INTRODUCERE	8
1. TENDINȚE ÎN EVOLUȚIA DE FUNCȚIONARE A REȚELELOR ELECTRIC DE DISTRIBUȚIE DE JOASĂ TENSIUNE	9
1.1. Istoric al dezvoltării tehnologiilor de furnizare a energiei electrice.....	9
1.2. Topologia sistemelor electroenergetice. Caracteristica generală a rețelelor electrice de joasă tensiune.....	12
1.3. Regimurile de funcționare ale rețelelor electrice și principalii factori de influență asupra eficienței distribuției energiei electrice consumatorilor finali.....	18
1.4. Regimuri nesimetrice și indicatorii de evaluare a nesimetriei în rețelele electrice de joasă tensiune.....	20
1.5. Abordări moderne a problemei limitării nesimetriei în rețelele electrice de joasă tensiune.....	22
2. METODE DE CALCUL A REGIMULUI NESIMETRIC ÎN REȚELELE ELECTRICE	24
2.1. Generalități.....	24
2.2. Metode analitice de calcul al circuitelor electrice alternative.....	25
2.3. Metoda componentelor simetrice.....	27
2.3.1. Definiții și clasificări.....	27
2.3.2. Ecuațiile generale ale teoriei componentelor simetrice.....	28
2.3.3. Semnificația fizică a componentelor simetrice.....	30
2.3.4. Impactul nesimetriei asupra aplicării metodei componentelor simetrice.....	31
2.3.5. Calculul regimului rețelelor trifazate în regim simetric.....	32
2.3.6. Calculul regimului rețelelor trifazate în regim nesimetric.....	34
2.3.7. Avantaje și dezavantaje a metodei componentelor simetrice.....	36
2.4. Metoda coordonatelor de fază.....	36
2.4.1. Esența metodei coordonatelor de fază.....	37
2.5. Caracteristica generalizată a unor metode numerice.....	39
2.6. Modelul de calcul al rețelei electrice de joasă tensiune cu receptori distribuiți.....	40
2.7. Calcularea regimului rețelei cu trei faze de joasă tensiune.....	45
3. APLICAȚII A METODELOR DE CALCUL A REGIMULUI NESIMETRIC ÎN REȚELELE ELECTRICE	50

3.1.	Cauzele apariției regimurilor nesimetrice în rețelele electrice.....	50
3.2.	Tipuri de nesimetrii.....	50
3.2.1.	Condiții marginale de limită a simetriei transversale.....	5
3.3.	Aspecte metodologice a aplicării metodelor de calcul al regimului nesimetric.....	55
3.3.1.	Metoda potențialului nodal.....	56
3.3.2.	Metoda componentelor simetrice la calculul regimului nesimetric al rețelei de joasă tensiune cu conductor nul.....	59
3.3.2.1.	Componentele principale ale algoritmului de calcul al rețelei cu metoda componentelor simetrice.....	60
3.3.2.2.	Particularități ale impedanțelor schemelor echivalente pentru diferite componente simetrice	60
3.4.	Aplicații a metodei componentelor simetrice în calcule ale regimului rețelei electrice.....	62
3.4.1.	Calculul rețelei cu nesimetrie transversală.....	62
3.4.2.	Calculul circuitului cu asimetrie longitudinală.....	67
3.4.3.	Calculul regimului prin metoda componentelor simetrice cu sarcină echilibrată și alimentare de la o sursă neechilibrată.....	69
	CONCLUZII	72
	BIBLIOGRAFIE	73

INTRODUCERE

Energia electrică are multe avantaje în comparație cu alte forme de energie, deoarece este o formă de energie pură, pentru care este ușor de realizat transportul, distribuția și consumul final.

Sistemul electroenergetic manifestă semene de conservitate și din aceste considerente topologia lui se schimbă puțin pe parcursul anilor. Pierderile de energie, calitate energiei furnizate consumatorilor sunt indicatori de performanță, care trebuie să satisfacă cerințele parvenite din partea consumatorilor

Dezvoltarea potențialului de capacităților de elaborare și asimilare a tehnologiilor inovative în energetică (transformarea, transportul, distribuția și utilizare a energiei, valorificarea surselor de energie regenerabilă) constituie o tendință actuală cu semnificație majoră privind siguranța alimentării cu energie. Disponibilitatea privind resurse energetice primare și accesul la aceste resurse are impact asupra economiei și asupra mediului înconjurător. Dezechilibrul în producerea și în consumul resurselor energetice în diverse regiuni ale lumii conduce la tensiuni; 1 problemă în asigurarea cu energie a majorității țărilor din lume.

Elaborarea de soluții noi constructive bazate pe asimilarea tehnologiilor de inovative de producere a materialelor noi izolatoare, conductive și magnetice, dezvoltarea electronicii de putere creează noi orizonturi de eficientizare a funcționării sistemelor electroenergetice, dar și noi probleme cu asigurarea fiabilității în exploatare și a calității energiei furnizate consumatorilor. Problemele curente ale sistemului energetic se pot sistematiza cu evidențierea unor tendințe noi de dezvoltare a rețelelor electrice. O tendință ce se manifestă astăzi constă în dezvoltarea rețelelor inteligente.

Sursele regenerabile de asemenea pot contribui la conduce la schimbări cantitative și calitative în funcționarea sistemelor electroenergetice contemporane. Aceasta conduce la transformarea rețelelor electrice pasive în rețele active, în care transferul de energie este bidirecțional, dar acest fapt poate fi cauza apariției a unor noi probleme în domeniul asigurării cu energie.

Circulația bidirecțională de putere în unele porțiuni ale rețelor electrice poate afecta sistemele de protecție existente. Regimurile anormale de funcționare se regăsesc tot mai frecvent în rețelele de medie și joasă tensiune. Regimul în rețele de distribuție este influențat de curenții cu frecvență înaltă, care diferă de frecvența fundamental – armonici superioare [1.1].

Regimurile deformante sunt un factor care afectează calitatea energiei electrice furnizate consumatorilor [1.2]. Creșterea numărului de consumatori neliniari de asemenea conduce la creșterea riscului de apariție a regimurilor deformante, inclusiv, și a regimurilor nesimetrice.

Calitatea și continuitatea alimentării cu energie a devenit o componentă importantă a conceptului de dezvoltare a sistemelor de alimentare cu energie electrică. Analiză indicatorilor de calitate a energiei electrice se poate face doar în cazul în care se utilizează analize a perturbațiilor generate de neliniarități și neechilibrul sarcinilor trifazate.

Bibliografia la capitolul I.

- 1.1. Степанов В. М., Базиль И. М. Влияние высших гармоник в системах электроснабжения предприятия на потери электрической энергии. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Электросбережение и надежность в системах энергоснабжения, 2013, № 4.
- 1.2. Codreanu C. Regimuri deformante cauzate de funcționarea unor surse de iluminat la variația tensiunii rețelei. Conference: a XV-a Conferință Internațională „Confort, Eficiență, Conservarea Energiei și Protecția Mediului, At: U.T.C.B., București, 26-28 noiembrie 2008. <https://www.researchgate.net/publication/341252358>. 6p.
- 1.3. CAP.5. MAȘINI ȘI TRANSFORMATOARE ELECTRICE. Microsoft Word - Cap.5 Final 25.01.07.doc (ugal.ro)
- 1.4. Mihaela MOREGA. MASINI si ACTIONARI ELECTRICE. NOTE DE CURS. 2006 – 2007, - 162 p. Microsoft Word - Cuprins.doc (vistoserv.ro)
- 1.5. www. moldelectrica.md)
- 1.6. RAPORT privind activitatea Agenției Naționale pentru Reglementare în Energetică în anul 2016. Raport de Activitate (anre.md).
- 1.7. Постолатий В.М., Берзан В.П., Быкова Е.В., Андронати Н.Р. Режим энергосистемы Республики Молдова при включении вставки постоянного тока на подстанции Вулканешть. Problemele energeticii regionale , 2016/ 3(32), pp. 1-14. ISSN 1857-0070.
- 1.8. BERZAN, V. Electrofizica și energetica. Universitatea Academiei de Științe a Moldovei; IE AȘM. – Chișinău, 2014. – 262p. ISBN 978-99-75-62
- 1.9. Ionel LEPĂDAT. Contribuții privind creșterea calității și eficienței energetice în sistemul de alimentare la consumator. Rezumatul tezei de doctora. BRAȘOV, 2014. . 74p. old.unitbv.ro
LepadatIonel. Cap 1 (unitbv.ro).

Bibliografia la capitolul II.

- 2.1. Демкин А. Почему ток в нулевом (нейтральном) проводе может превысить ток в фазном проводе. https://peremena.com/blog/blog_peremena/kogda-tok-v-nulevom-neytralnom-provode-mozhet-prevysit-tok-v-faznom-pr/. (Accesat 13.11.2020).
- 2.2. Брацлавский С.Х., Гершенгорн А.И., Лосев С.Б. Специальные расчеты электропередач сверхвысокого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1985.

- 2.3. Berzan V., Patiuc V., Rybacova G. Mathematical Model of Electrical Line with Transposition of Phase Circuits. Problemele energeticii regionale, 2018, no.2(37).- pp.1-12. ISSN 1857-0070. DOI: 10.5281/zenodo.1343398.
- 2.4. Берман А.П., Расчет несимметричных режимов электрических систем с использованием фазных координат. // Электричество, № 12, 1985.
- 2.5. Гусейнов А.М. Расчет в фазных координатах несимметричных установившихся режимов в сложных системах. // Электричество, 1989, № 3.
- 2.6. Бошняга В.А. Расчет и анализ несимметричных режимов работы участка электрической сети с трансформаторными устройствами // Электрические станции, № 3, 1997
- 2.7. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. 7-ое издание, переработанное и дополненное. -М.:Высшая школа, 1978. -528с.
- 2.8. Якимчук Н. Н. Применение метода фазных координат для анализа несимметричных режимов электроэнергетических систем. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.14.02- электрические станции (электрическая часть), сети, электроэнергетические системы и управление ими. Санкт-Петербург, 2000.
- 2.9. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Зуев Э.Н. Повышение пропускной способности за счет рационального размещения проводов двухцепных линий электропередачи. // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1965, №6.
- 2.10. Berzan V., Rimschi V. Procese nestationare în circuite electrice neomogene. Sub red. Prof., dr.ing. Petru Postolache., Universitatea POLITEHNICA București. Chișinău:Combinatul Poligrafic, 1998. -412p.
- 2.11. Considerații și teorii privind regimurile nesimetrice. http://retele.elth.ucv.ro/Rusinaru%20Denisa/mce2009_site/mce%20curs%208.pdf(Accesat 14.11.2020)
- 2.12. Popa V.M. Regimuri nesimetrice în electrotehnică. Editura Universității “Lucian Blaga” din Sibiu Sibiu, 2012 . -193p. http://digital-library.ulbsibiu.ro/xmlui/bitstream/handle/123456789/804/Popa_V.M_Regimuri-nesimetrice-in-electrotehnica.pdf?sequence=5&isAllowed=y (Accesat 14.11.2020)
- 2.13. 2.12 Mocanu C.I. - Teoria circuitelor electrice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
- 2.14. 2.13 Șora C. - Bazele electrotehnicii, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.

- 2.15. 2.14 Vieru D. Cercetarea impactului generării distribuite asupra modificărilor lente de tensiune în rețelele electrice de joasă tensiune. Problemele energeticii regionale, 2020, no.3(47).- pp.20-28. ISSN 1857-0070. DOI: 10.5281/zenodo.4028507.
- 2.16. 2.15 Евдокунин Г.А., Чуйков Ю.В., Щербачев О.В. О целесообразном расположении фаз двухцепных воздушных линий для снижения пофазной несимметрии // Электрические станции, № 3, 1980.
- 2.17. Висящев А. Н., Осак А. Б. Расчет режимов электроэнергетических систем в фазных координатах. Conference Paper, May 2000. <https://www.researchgate.net/publication/286928322>
- 2.18. BERZAN V., PATSYUK V. RYBACOVA G., PORUMB R., POSTOLACHE P. Calculation of the Electrostatic Field in Non-Homogeneous Structures. Problemele energeticii regionale, 2020, no. 1(45), pp.42-50. ISSN 1857-0070. DOI: 10.5281/zenodo.3723641
- 2.19. BERZAN, V.; PATSYUK, V.; RYBACOVA, G.; MAEVSKY, D, BOJKO A. AND MAEVSKAYA, E. Long Line Mode Analysis with Superconducting Transformer. 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET - 2020). Lviv-Slavske, Ukraine February 25-29, 2020. Lviv-Slavske, Ukraine February 25-29, 2020. IEEE Ukraine section. **DOI:**[10.1109/TCSET49122.2020.235516](https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235516)
- 2.20. KULIYEV, Z. YU., VOROPAYEV, P. V. Application of methods for the numerical integration of the equations of electrical circuits with distributed parameters. Elektrichestvo, 1975, №10, s.8-12.
- 2.21. KANE, YEE. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 2001, vol. 14, pp. 302–307.
- 2.22. Berzan V. Comparative analysis of methods of calculation in transient and wave processes in electric circuits. Journal of Engineering Science, Vol. XXVI, no. 2 (2019), pp. 40 – 57. ISSN 2587-3474. DOI: 10.5281/zenodo.3249182