

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII  
AL REPUBLICII MOLDOVA**

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

**Admis la susținere**

**Șefă departament:**

**HLUSOV Viorica, conf. univ., dr.**

**„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025**

**Studiul protecțiilor homopolare utilizate în rețelele de  
medie tensiune și implementarea protecției homopolare  
direcționale în stația 110/10/6 kV Sculeni**

**Teză de master**

**Masterand:**

**SCRIPCARI Andrian,**

\_\_\_\_\_ gr. EE-23M

**Conducător:**

**STRATAN ION,**

\_\_\_\_\_ prof. univ., dr.

**Chișinău, 2025**

## ADNOTARE

**Autor – SCRIPCRI Andrian. Titlul –** *Studiul protecțiilor homopolare utilizate în rețelele de medie tensiune și implementarea protecției homopolare direcționale în stația 110/10/6 kV Sculeni.*

**Structura lucrării:** lucrarea conține o introducere, cinci capitole, concluzii, bibliografie din 40 titluri și 10 link-uri utilizate, 1 anexă, 94 pagini, 65 figuri, 6 tabele.

**Cuvinte-cheie:** rețele de medie tensiune, defect monofazat, punere simplă la pământ, mărimi de stare, tratarea neutrului, neutrul natural, neutrul artificial, protecție homopolară de curent (tensiune) direcțională (nedirecțională), protecție neselectivă (selectivă).

**Problematica studiului:** Descrierea protecțiilor homopolare, utilizate la depistarea selectivă a defectelor monofazate, în rețelele de medie tensiune. Determinarea valorilor de reglaj și ajustarea acestora. Implementarea protecției homopolare de curent direcționale la stația 110/10/6 kV Sculeni.

**Obiectivele studiului:** Îmbunătățirea calității energiei electrice prin asigurarea continuității alimentării și depistarea selectivă a fiderului defectat, eliminând „deconectările întâmplătoare”.

**Rezultate obținute:** S-a implementat și este exploatată cu succes protecția homopolară de curent direcțională la stația electrică 110/10/6 kV Sculeni, din cadrul companiei ÎSC „Premier Energy Distribution” SA.

## ABSTRACT

**Author – SCRIPCARI Andrian. Title –** *Study of Homopolar Protection Used in Medium Voltage Networks and the Implementation of Directional Homopolar Protection at the 110/10/6 kV Sculeni Substation.*

**Structure of the thesis:** The thesis contains an introduction, five chapters, conclusions, a bibliography with 40 references and 10 used links, 1 appendix, 94 pages, 65 figures, and 6 tables.

**Keywords:** medium voltage networks, single-phase fault, simple grounding, state quantities, neutral treatment, natural neutral, artificial neutral, homopolar protection (current/voltage) directional (non-directional), non-selective(selective) protection.

**Problem addressed:** Description of homopolar protections used for the selective detection of single-phase faults in medium voltage networks. Determination of setting values and their adjustment. Implementation of directional homopolar current protection at the 110/10/6 kV Sculeni substation.

**Objectives of the study:** Improving the quality of electrical energy by ensuring the continuity of power supply and selectively detecting the faulty feeder, eliminating "random disconnections."

**Results obtained:** Directional homopolar current protection has been successfully implemented and is operational at the 110/10/6 kV Sculeni substation, within the company ÎSC “Premier Energy Distribution” SA.

## CUPRINS

Pag.

<b>INTRODUCERE.....</b>	<b>8</b>
<b>1. PUNEREA UNEI FAZE LA PĂMÂNT ÎN REȚELELE DE MEDIE TENSIUNE.....</b>	<b>11</b>
1.1. Metodele de tratare ale neutrului în rețelele de medie tensiune.....	11
1.2. Punerea unei faze la pământ în rețelele de medie tensiune cu neutrul izolat.....	12
1.3. Neutrul tratat prin bobină de stingere a arcului electric.....	18
1.4. Neutrul tratat prin rezistor.....	23
1.5. Tratarea mixtă a neutrului.....	27
<b>2. DETERMINAREA MĂRIMILOR DE STARE LA UN DEFECT MONOFAZAT ÎN REȚELELE DE MEDIE TENSIUNE.....</b>	<b>30</b>
2.1. Determinarea parametrilor pasivi ai rețelei electrice utilizând date de catalog.....	30
2.2. Determinarea parametrilor pasivi ai rețelei electrice utilizând oscilogrammele de punere la pământ.....	33
2.3. Determinarea mărimilor de stare prin utilizarea metodei componentelor simetrice.....	37
2.4. Calculul mărimilor de stare în timpul defectului monofazat într-o rețea cu neutrul izolat.....	40
2.5. Calculul mărimilor de stare în timpul defectului monofazat într-o rețea cu neutrul tratat printr-o impedanță.....	42
<b>3. PROTECȚIILE HOMOPOLARE UTILIZATE ÎN REȚELELE DE MEDIE TENSIUNE ȘI PRINCIPIILE DE FUNCȚIONARE ALE ACESTORA. CALCULUL VALORILOR DE REGLAJ.....</b>	<b>45</b>
3.1. Protecția homopolară de tensiune.....	45
3.2. Protecția homopolară de curent nedirecțională.....	48
3.3. Protecția homopolară de curent direcțională.....	50
3.4. Protecția homopolară direcțională cu determinarea direcției prin utilizare $\cos\phi$ .....	54
3.5. Protecția homopolară direcțională cu determinarea direcției prin utilizare $\sin\phi$ .....	55
3.6. Protecția homopolară bazată pe utilizarea armonicilor superioare.....	57
3.7. Protecția homopolară bazată pe „suprapunerea” curenților.....	58
3.8. Protecția homopolară bazată pe utilizarea mărimilor regimului tranzitoriu.....	60
3.9. Protecțiile homopolare de curent colective.....	60
<b>4. DESCRIEREA PROTECȚIILOR HOMOPOLARE PREVĂZUTE ÎN DISPOZITIVELE SIEMENS 7SJ81 ȘI 7SJ82.....</b>	<b>64</b>
4.1. Protecția de curent direcțională de secvență homopolară.....	64
4.2. Protecția nedirecțională împotriva punerilor la pământ intermitente și scurtcircuitelor intermitente.....	71
4.3. Protecția direcțională împotriva punerilor la pământ intermitente.....	73
4.4. Depistarea sensibilă a punerilor simple la pământ.....	76
4.5. Studiu de caz, calculul protecție homopolare de curent direcționale pentru stația de transformare 110/10/6 kV „sculeni”.....	89
<b>CONCLUZII .....</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXE.....</b>	<b>95</b>
A1 Schema monofilară a stației electrice 110/10/6 kV „Sculeni”.....	95

## INTRODUCERE

Problema protecției rețelelor de medie tensiune prevăzută să acționeze selectiv și să protejeze rețeaua în cazul punerii unei faze la pământ (punere simplă la pământ) este una globală. Au fost propuse mai multe concepte și principii de realizare a protecției date, acestea depinzând în mare măsură de modul de tratarea a neutrului rețelei concrete și de tradiția care s-a format istoric în țara/regiunea concretă.

La etapa actuală se utilizează patru metode de tratare a neutrului rețelelor de medie tensiune: neutrul izolat, neutrul compensat prin bobină de stingere, neutrul legat la pământ prin rezistor de rezistență înaltă și prin rezistor de rezistență joasă. Modul în care se tratează neutrul într-o rețea concretă este determinant pentru alegerea conceptuală a protecției la punerea simplă la pământ.

Neutrul izolat, din punct de vedere istoric, este primul concept de tratare al neutrului. Cu așa regim de tratare a funcționat prima rețea trifazată de lungime mare, prezentată la expoziția internațională care a avut loc în 1891, or. Frankfurt, Germania. Acest concept s-a păstrat și până azi în rețelele de medie tensiune, având ca avantaj posibilitatea utilizării pe o perioadă relativ îndelungată a liniei defectate pentru alimentarea cu energie electrică a consumatorilor, până la realizare manevrelor operative de realimentare a consumatorilor de pe linia defectată. Punerea la pământ a unei faze este cel mai frecvent defect care apare în rețelele electrice de distribuție. În cele de medie tensiune, după unele surse [1], acest defect constituie de la 80 % până la 90 % din toate defectele apărute. Luând în considerație faptul că aceste rețele sunt sumar cele mai lungi și mai ramificate, posibilitatea de funcționare cu o fază pusă la pământ, mărește siguranța în alimentare cu energie electrică a consumatorilor, adică crește calitatea serviciilor alocate de către furnizor. Acesta este motivul de bază pentru care neutrul izolat se utilizează și până azi. Un alt motiv ar fi solicitarea mai mică a echipamentului, care nu are de suportat frecvent supracurenți de scurtcircuit, mai ales acest lucru se referă la întreruptoare care trebuie să deconecteze acești curenți, și care au un număr redus de deconectări (cca. 70-100) în regim de scurtcircuit.

Cu dezvoltarea și ramificare rețelelor de medie tensiune au crescut și curenții capacitivi, ceea ce a mărit considerabil curenții de punere la pământ. Arcul electric care apare în locul de punere la pământ, din cauza curentului mare, deja nu se stinge la trecerea curentului prin zero, temperatura enormă a arcului dezvoltă mai departe deteriorarea izolației și punerea la pământ trece inevitabil în scurtcircuit bi- sau trifazat, care este deconectat rapid de protecțiile de curent. Acest fapt anulează avantajul neutrului izolat care permite mărirea continuității în alimentare cu energie electrică. Apare necesitate unei noi soluții, și aceasta a fost tratarea neutrului prin bobina de stingere a arcului electric. Principiul constă în aceea ca bobina conectată în nulul rețelei, la apariția unei puneri la pământ, creează un curent inductiv, opus ca fază cu curentul capacitiv de defect, micșorând curentul în locul punerii la pământ, în caz ideal, până la zero. Arcul se stinge și defectarea izolației nu se dezvoltă mai departe.

Normele de Amenajare ale Instalațiilor Electrice [2, p.1.2.16] și Normele de Exploatare Tehnică ale Instalațiilor Electrice [3, p.5.11.8] cer instalarea bobinei de stingere în următoarele cazuri:

- În rețelele cu tensiunea 3-20 kV compuse din linii aeriene, cu piloni din beton armat și metal, și în toate rețelele 35 kV, când curentul capacitiv depășește 10 A;
- În cazul liniilor aeriene cu pilonii din beton armat și metal: când curentul capacitiv depășește 30 A pentru 3-6 kV, când curentul capacitiv depășește 20 A pentru 10 kV și când curentul capacitiv depășește 15 A pentru 15-20 kV;
- În schemele generatoarelor cu tensiunea 6-20 kV, care funcționează în bloc generator-transformator, când curentul capacitiv depășește 5 A.

Normele nu reglementează valoarea curentului capacitiv după depășirea căreia se cere instalarea bobinei de stingere în cazul rețelelor în cablu. Aceasta se explică prin faptul că curenții capacitivi în aceste rețele sunt destul de mari și instalarea bobinelor este inevitabilă, cu toate că sunt și excepții, când rețeaua are un număr mic de fidere și acestea sunt scurte, în acest caz rețeaua poate funcționa cu neutrul izolat.

Soluția cu bobina Petersen a dat și mari bătăi de cap la capitoul depistării selective a fiderului defectat. Dacă în cazul neutrului izolat, de obicei, este posibil de realizat o protecție selectivă, utilizând relee maximale de curent cu sensibilitate înaltă, adică utilizând o protecție homopolară de curent nedirecțională (excepție este cazul unei rețele care are un fidere, al cărui curent capacitiv propriu este de același nivel ca și curentul sumar capacitiv de punere la pământ al întregii rețele), atunci, în cazul utilizării bobinei de stingere, această protecție nu mai poate fi selectivă. Mai mult, nici protecțiile de curent direcționale nu pot asigura mereu selectivitatea. De exemplu, în cazul utilizării bobinelor cu acordare automată la rezonanță, curentul de defect de frecvență industrială este extrem de mic, protecția nu poate fi destul de sensibilă și selectivă. Din aceste motive, nu se poate realiza în aceste cazuri, o protecție selectivă, chiar și prin utilizare protecției homopolare de curent direcționale. Protecția homopolară de curent, poate fi utilizată în cazul când bobina nu este acordată la rezonanță, dacă curentul de defect este destul pentru asigurarea sensibilității protecției, cu condiția că bobina funcționează în regim de supracompensare, așa cum permit și Normele de Exploatare Tehnică a Instalațiilor Electrice [3, 5.11.10]. În acest caz curentul de defect în fiderul defectat are aceeași direcție ca curenții capacitivi în fiderele sănătoase. Regimul de subcompensare este interzis de către normele în vigoare [3, 5.11.10]. Din acest motiv, s-au propus și s-au realizat protecții bazate pe relee care acționează pe baza componentelor curentului tranzitoriu care apare în fiderul defectat în momentul punerii la pământ și relee care depistează punerea la pământ prin analiza spectrului armonic care îl conține curentul de punere la pământ [4]. Dar protecțiile date, bazate pe relee electronice, din cauza complexității și eficienței nesatisfăcătoare, nu au obținut răspândire.

Situația s-a ameliorat la apariția releelor cu microprocesor, dar totodată, s-au căutat și alte soluții, fiind propuse și alte două metode de tratare a neutrului: tratarea prin rezistor de rezistență înaltă și tratare prin rezistor de rezistență joasă. Prima soluție se aplică în rețelele cu curenți capacitivi care iau valori sub cel din [2, p.1.2.16] și pot funcționa și cu neutrul izolat, adică cel mai des această soluție se utilizează în rețelele aeriene. Prezența rezistorului micșorează supratensiunile care apar la punerea unei faze la pământ prin arc electric intermitent, pe de o parte, iar pe de alta, creează o componentă activă care se închide prin fiderul defectat și ajută protecția la detectare selectivă a acestui fider. Componenta activă, în acest caz, este mică și nu este necesară deconectarea imediată a fiderului defectat, ceea ce prezintă un avantaj, pe de o parte, iar pe de altă parte, acest fapt este și dezavantaj, întrucât necesită o protecție foarte sensibilă și pot apărea erori în depistarea liniei cu defect. A doua soluție poate fi aplicată pentru oricare tip de rețea, fie aeriană sau în cablu, cu curenți capacitivi de valoare mică sau mare. Curentul de punere la pământ atinge valori în jur de 100 A și protecția acționează la deconectarea rapidă a defectului. Avantajele sunt: poate fi utilizată protecția maximală de curent nedirecțională și asigurarea mai ușoară a selectivității. Dezavantajul este faptul că fiderul trebuie deconectat rapid [5].

Există și alte soluții de asigurare a sensibilității, la baza cărora stă principiul de creare pe o durată scurtă a unui curent mărit de punere la pământ, destul pentru sensibilitatea protecției (de obicei se mărește componenta activă), pentru depistarea selectivă a liniei defectate, despre ce se va vorbi în continuare.

Scopul acestei tezei este descrierea protecțiilor homopolare utilizate în rețelele de medie tensiune, calcul valorilor de reglaj, ajustare acestora. Teza conține și un studiu de caz, în care sunt prezentate etapele parcurse la ajustare protecției homopolare de curent direcționale, bazate pe rele Siemens, pentru stația de transformare 110/10/6 kV Sculeni (PDC-1), din cadrul companiei ÎSC „Premier Energy Distribution” SA.

## BIBLIOGRAFIE

1. ЕЗЕРСКИЙ ВЛАДИМИР ГЕОРГИЕВИЧ (ООО «НТЦ «МЕХАНОТРОНИКА»). Комбинированная защита от однофазных замыканий на землю. 2006. – 4 р.;
2. ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК. Шестое и седьмое издания (все действующие разделы).
3. ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И СЕТЕЙ Российской Федерации (ПТЭЭСС). 04.10.2022 № 1070.
4. ШУИИ В.А., ГУСЕНКОВ А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ. М.:НТФ «Энергопрогресс». //Приложение к журналу, «Энергетик», выпуск 11(35) 2001, 102 с.
5. DOBREA, I.; STRATAN, I.; ROTARU, A. Opportunity of using a mixed neutral treatment solution in the distribution electrical networks of the Republic of Moldova. *Journal of Engineering Science* 2023, 30(3), pp. 10-28.
6. DOBREA INA. ÎMBUNĂTĂȚIREA REGIMULUI DE FUNCȚIONARE A REȚELELOR ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE 6-35 kV PRIN ALEGEREA MODULUI DE TRATARE A NEUTRULUI. Teză de doctor în științe inginerești. Chișinău 2023, 191 p.
7. МАРТЫНОВ В.А. Несимметричные режимы работы силовых трансформаторов со схемой соединения обмоток Y/Y0. «Вестник ИГЭУ» № 2, 2009, 5 р.
8. CURCANU, G., TOAXEN, V. Determination of Transient Overvoltages in Medium Voltage Networks at Single Phase Faults. In: *Electrical Engineering Electronic Journal*, 2013.
9. CHANG, C.-K. Optimal neutral ground resistor rating of the medium voltage systems in power generating stations. In: *Journal of International Council on Electrical Engineering*. Volume 5, 2015.
10. ГЛУШКО, В., ЯМНЫЙ, О., КОВАЛЕВ, Э., БОХАН, Н. Белорусские сети 6–35 кВ переходят на режим заземления нейтрали через резистор. В: *Новости ЭлектроТехники*. 2006. № 3(39). Disponibil: <http://www.news.elteh.ru/arh/2006/39/05.php>
11. Preview IEEE 142-2007: IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Disponibil: [https://hibp.ecse.rpi.edu/~connor/education/Fields/IEEEStd142\\_2007.pdf](https://hibp.ecse.rpi.edu/~connor/education/Fields/IEEEStd142_2007.pdf)
12. SHIPP, DAVID, ANGELINI, FRANK. Characteristics of different power systems neutral grounding techniques: Fact and fiction. USA, Etalon 2018, pp.7-8.
13. КУЖЕКОВ, С. Низкоомное заземление нейтрали в сетях 6–35 кВ. Электробезопасность и обеспечена в полном объеме. В: *Новости ЭлектроТехники*. 2013. № 2(80). Disponibil: <http://www.news.elteh.ru/arh/2013/80/07.php>

14. БЕКЛЕМЕШЕВ, И., БОНЧУК, И. Анализ влияния режима заземления нейтрали на суточный график потребления электроэнергии. В: Электроэнергетика глазами молодежи: материалы XI Международной научно-технической конференции, 15 – 17 сентября 2020, Т 2. – Ставрополь, Северо-Кавказский федеральный университет. – 301 с. ISBN 978-5-9296-1064-6 Disponibil: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44308764\\_96933114.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44308764_96933114.pdf)
15. Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрической сети 6-35 кВ. СТП 09110.20.361-04. ОАО "Белэнергоремналадка", 2004.
16. ВАЙНШТЕЙН, Р.А., КОЛОМИЕЦ, Н.В., ШЕСТАКОВА, В.В. Режимы заземления нейтрали в электрических системах: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2006.– 118 с.
17. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. РД 34.20.501-95, 15-е издание. Москва, 1996, pp.128, 129.
18. ЕВДОКУНИН Г.А. Анализ внутренних перенапряжений в сетях 6-10 кВ и обоснование необходимости перевода сетей в режим с резистивным заземлением нейтрали. Труды Всероссийской научно-тех. конференции “Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтралей сетей 6-35 кВ”. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002, pp.9-13.
19. EREMIA MIRCEA. Electric Power Systems. Volume I. Electric Networks. București, 2006, pp.355-357.
20. ВИЛЬГЕЙМ Р., УОТЕРС М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах. Москва, Ленинград, 1959, pp. 18-32.
21. GUȘĂ Mircea. Tehnica Tensiunilor Înalte. Iași, 2020, pp.2-18.
22. БЕССОНОВ Л.А. Теоретические Основы Электротехники. Москва, 1967, pp. 208-210.
23. КРУГ А.К. Основы Электротехники. Госэнергоиздат, Москва- Ленинград, 1946, p.152.
24. Metode de detectare a defectelor homopolare în rețelele cu neutrul compensat. Protection, Automation & Control. 09-Nov-17. Pp.21-31. Disponibil: [https://electro-sistem.com/wp-content/uploads/2017/11/Electro\\_Sistem\\_Protecta\\_presentation\\_RO-.pdf](https://electro-sistem.com/wp-content/uploads/2017/11/Electro_Sistem_Protecta_presentation_RO-.pdf)
25. HAZI GHEORGHE. *Protecția împotriva punerilor la pământ a rețelelor de medie tensiune. Proiect de diplomă. Facultatea de Inginerie Secția Energetică Industrială. Universitatea din Bacău. 2007. P.1.*
26. PETRESCU DORIAN. *Protecția rețelelor de medie tensiune. Universitatea Politehnică din Timișoara. 2023. Pp.5-9.*
27. COOPER BUSSMANN. Ground Fault Protection. 2005. Pp.106-115.
28. ABB. Introduction to next generation earth-fault protection. 2024. Pp.1-15.
29. СИРОТА И.М. Защита от замыканий на землю в электрических сетях. Киев:Изд-во АН УССР, 1955.



30. КИСКАЧИ В.М. Защита от однофазных замыканий на землю ЗЗП-1 (описание, наладка, эксплуатация). М.:Энергия, 1972.
31. ШАЛИН АЛЕКСЕЙ. Замыкания на землю в сетях 6-35 кВ. Расчет уставок ненаправленных токовых защит. Новости Электротехнике №5(35), 2005. Рр.1-3.
32. SIEMENS. SiProtec 5. Overcurrent Protection 7SJ82/7SJ85. Manual. Document version: C53000-G5040-C017-8.00 Edition: 07.2017. Рр.301-966.
33. SIEMENS. Максимальная токовая защита 7SJ81. Руководство по эксплуатации. Версия документа: C53000-G5056-C079-2.03. Издание: 12.2020. Версия изделия: V08.01. Рр.277-866.
34. ПАВЛОВ Н. Виды защит от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). 22.05.2023. Accesibil pe: <https://i-mt.net/vidy-zashhit-ot-odnofaznyh-zamykanij-na-zemlyu-ozz/>
35. ПАВЛОВ Н. Алгоритмы работы селективной защиты от ОЗЗ Геум. 23.05.2023. Accesibil pe: <https://i-mt.net/algorithmy-raboty-selektivnoj-zashhity-ot-ozz-geum/>
36. Микропроцессорные технологии ГЕУМ. Accesibil pe: <http://www.i-mt.tech/zaschita-zamykany-zemlyu-geum>
37. Earth Fault Detection System EFD500. Accesibil pe: <https://pdf.directindustry.com/pdf/trench-group/earth-fault-detection-system-efd500/70418-248457.html>
38. ЕЗЕРСКИЙ В. Г. Комбинированная защита от однофазных замыканий на землю. (ООО «НТЦ «МЕХАНОТРОНИКА»), 2006. Рр.1-4.
39. Трансформаторы тока внутренней установки нулевой последовательности. Accesibil: [czt.ru/catalog/transformatory-toka/transformatory-toka-vnutrenney-ustanovki/nulevoy-posledovatelnosti/](http://czt.ru/catalog/transformatory-toka/transformatory-toka-vnutrenney-ustanovki/nulevoy-posledovatelnosti/)
40. ЗАО «Группа компаний «ЭЛЕКТРОЦИТ»-ТМ САМАРАТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТЗЛК-СЭЩ-0,66, ТЗЛКР-СЭЩ-0,66. Самара 2015, Рр. 18.