



# О'рта kuchlanishli taqsimlovchi eketr tarmoqlari neytralini turlicha ulash usullarida hosil bo'ladigan o'ta kuchlanishlarning tadqiqi

Abduraxim D. Taslimov<sup>1</sup>, Farrux M. Raximov<sup>2</sup>, Feruz M. Raximov<sup>2,a</sup>)

<sup>1</sup>) DSc, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; [ataslimov@mail.ru](mailto:ataslimov@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0003-2856-6287>

<sup>2</sup>) PhD, dots., Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, 210100, O'zbekiston; [raximov-farrux@list.ru](mailto:raximov-farrux@list.ru) <https://orcid.org/0000-0001-8286-6163>

<sup>2,a</sup>) ass, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, 210100, O'zbekiston; [feruz.raximov.2017@mail.ru](mailto:feruz.raximov.2017@mail.ru) <https://orcid.org/0009-0008-6832-0509>

**Dolzarbli:** o'рта kuchlanishli (6–35 kV) taqsimlovchi elektr tarmoqlarining ishonchli va xavfsiz ishlashi butun elektr ta'minoti tizimining barqarorligi uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. Ayniqsa, neytral nuqtaning ulanish usuli tarmoqdagi avariya rejimlarida, xususan, yerga bir fazali tutashuvlar paytida hosil bo'ladigan o'ta kuchlanishlarning miqdori va davomiyligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Bu esa izolatsiya nosozliklari, uskunalar ishdan chiqishi, yong'in xavfi va xizmat muddati qisqarishi kabi salbiy oqibatlariga olib kelishi mumkin. Bugungi kunda O'zbekiston energetika sohasida kuzatilayotgan transformatsiya jarayonlari, ayniqsa, "yashil energiya" konsepsiyasi, raqamli monitoring tizimlari va energiya isroflarini kamaytirish bo'yicha bosqichma-bosqich amalga oshirilayotgan islohotlar fonida, taqsimlovchi tarmoqlarda neytralni ulash rejimlarini chuqur o'rganish, ayniqsa, o'ta kuchlanishlar shakllanish mexanizmini tahlil qilish dolzarb ilmiy-texnik masalalardan biri hisoblanadi. Ayni paytda ayrim tarmoqlarda neytralning izolyatsiyalangan, boshqalarida esa past qarshilikli rezistor orqali ulangan holatlari qo'llanilmoqda. Bu esa yagona texnologik yondashuv yo'qligi, o'ta kuchlanishlar nazoratsizligi va rele himoyasi moslashuvchanligining yetishmasligiga olib kelmoqda. Mazkur holat texnik reglamentlar, elektr qurilmalari xavfsizlik normalari va xalqaro standartlarga muvofiqlik nuqtai nazaridan ham jiddiy ilmiy asoslangan tadqiqotlarni talab etadi.

**Maqsad:** ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi – o'рта kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmoqlarida neytralni turlicha ulash usullarida (izolyatsiyalangan va past qarshilikli rezistor orqali yerga ulangan) hosil bo'ladigan o'ta kuchlanishlarning tabiati, amplitudasi va vaqt bo'yicha xarakteristikalarini nazariy va modellashtirilgan tajriba asosida tahlil qilishdan iborat.

**Usullari:** loyihada xalqaro tajribalar va ilg'or texnologik yondashuvlardan foydalaniladi. Jumladan, energiya iste'molini boshqarishning ilg'or mexanizmlari. Qiyosiy tahlil va energiya samaradorligini baholashning statistik metodlari qo'llaniladi.

**Natijalar:** tadqiqotda zamonaviy xalqaro tajriba va ilg'or hisoblash texnologiyalaridan foydalaniladi. Tahlil davomida o'ta kuchlanishlarning amplituda-vaqtidagi xarakteristikasi, fazalararo nomutanosiblik va tarmoq sig'im toklarining ta'siri hisobga olinadi. Shuningdek, statistik va qiyosiy metodlar asosida neytral ulash usullarining rele himoyasi va izolatsiya ish faoliyatiga ta'siri baholanadi. Mahalliy tarmoq topologiyalari asosida real sharoitga mos tavsiyalar ishlab chiqiladi.

**Kalit so'zlar:** o'ta kuchlanish, neytral ulanish rejimi, izolyatsiyalangan neytral, past ohmli rezistor, yerga tutashuv, rele himoyasi, fazalararo kuchlanish, elektr xavfsizligi, tarmoq ishonchliligi.

## Исследование перенапряжений, возникающих при различных способах заземления нейтрали в распределительных электрических сетях среднего напряжения

Абдурахим Д. Таслимов<sup>1</sup>, Фаррух М. Рахимов<sup>2</sup>, Феруз М. Рахимов<sup>2,a</sup>)

<sup>1</sup>) DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; [ataslimov@mail.ru](mailto:ataslimov@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0003-2856-6287>

<sup>2</sup>) PhD, доц., Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, 210100, Узбекистан; [raximov-farrux@list.ru](mailto:raximov-farrux@list.ru) <https://orcid.org/0000-0001-8286-6163>

<sup>2,a</sup>) асс, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, 210100, Узбекистан; [feruz.raximov.2017@mail.ru](mailto:feruz.raximov.2017@mail.ru) <https://orcid.org/0009-0008-6832-0509>

**Актуальность:** надежная и безопасная работа распределительных электрических сетей среднего напряжения (6–35 кВ) имеет решающее значение для устойчивости всей системы электроснабжения. Особое значение при этом имеет способ заземления нейтральной точки трансформаторов, так как он напрямую влияет на величину и продолжительность перенапряжений, возникающих при замыканиях на землю одной фазы. Это, в свою очередь, может привести к повреждению изоляции, выходу оборудования из строя, риску возгораний и снижению срока службы электроустановок. В условиях текущих трансформаций в энергетическом секторе Узбекистана — особенно в контексте внедрения концепции «зеленой энергетики», цифрового мониторинга и мер по снижению энергетических потерь, проведение

**For citation:** Taslimov A.D., Raximov F.M., Raximov Feruz.M. Investigation of overvoltages arising from different neutral grounding methods in medium-voltage distribution networks. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 3, pp. 39-45.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.16935135>

Received: 16.07.2025  
Revised: 25.07.2025  
Accepted: 13.08.2025  
Published: 23.08.2025

**Copyright:** © Abdurakhim D. Taslimov, Farrukh M. Rakhimov, Feruz, M. Rakhimov 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



глубоких исследований по выбору режима заземления нейтрали и анализу механизмов возникновения перенапряжений является актуальной научно-технической задачей. На сегодняшний день в распределительных сетях применяются как изолированный режим нейтрали, так и заземление через низкоомный резистор, что свидетельствует об отсутствии унифицированного подхода. Это влечёт за собой трудности контроля перенапряжений и адаптации релейной защиты. Существующее положение требует научно обоснованных исследований, соответствующих техническим регламентам, нормам электробезопасности и международным стандартам..

**Цель:** основная цель данного исследования — теоретически, и на основе моделирования изучить природу, амплитуду и временные характеристики перенапряжений, возникающих в распределительных сетях среднего напряжения при различных способах заземления нейтрали (изолированной и через низкоомный резистор).

**Методы:** в работе используются международный опыт и передовые технологические подходы. В частности, применяются современные механизмы управления потреблением электроэнергии. Также используются статистические методы сравнительного анализа и оценки энергетической эффективности.

**Результаты:** в исследовании применяются современные международные подходы и передовые вычислительные технологии. В процессе анализа учитываются амплитудно-временные характеристики перенапряжений, межфазная асимметрия и влияние ёмкостных токов сети. Кроме того, на основе статистических и сравнительных методов оценивается влияние способов заземления нейтрали на работу релейной защиты и изоляционных свойств оборудования. С учетом локальных топологий сети разработаны рекомендации, адаптированные к реальным условиям.

**Ключевые слова:** перенапряжение, режим заземления нейтрали, изолированная нейтраль, низкоомный резистор, замыкание на землю, релейная защита, межфазное напряжение, электробезопасность, надёжность сети.

## Investigation of overvoltages arising from different neutral grounding methods in medium-voltage distribution networks

Abdurakhim D. Taslimov<sup>1</sup>, Farrukh M. Rakhimov<sup>2</sup>, Feruz, M. Rakhimov<sup>2,a</sup>)

<sup>1)</sup> DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; [ataslimov@mail.ru](mailto:ataslimov@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0003-2856-6287>

<sup>2)</sup> PhD, assoc.prof, Navoi State Mining and Technology University, Navoi, 210100, Uzbekistan; [rakhimov-farrux@list.ru](mailto:rakhimov-farrux@list.ru) <https://orcid.org/0000-0001-8286-6163>

<sup>2,a)</sup> ass, Navoi State Mining and Technology University, Navoi, 210100, Uzbekistan; [feruz.rakhimov.2017@mail.ru](mailto:feruz.rakhimov.2017@mail.ru) <https://orcid.org/0009-0008-6832-0509>

**Relevance:** the reliable and safe operation of medium-voltage (6–35 kV) distribution networks is crucial for the overall stability of the power supply system. In this context, the method of neutral grounding plays a key role, as it directly influences the magnitude and duration of overvoltages that occur during single-phase-to-ground faults. Such events can lead to insulation failures, equipment damage, fire hazards, and a reduction in service life. Given the ongoing energy reforms in Uzbekistan—particularly the integration of "green energy" concepts, digital monitoring systems, and energy efficiency measures—there is an urgent need for in-depth scientific and technical investigation into neutral grounding methods and their impact on overvoltage formation. Currently, some distribution networks use isolated neutrals, while others employ low-ohmic resistor grounding. This inconsistency highlights the lack of a unified technical approach, resulting in uncontrolled overvoltages and difficulties in relay protection coordination. Therefore, comprehensive research aligned with technical regulations, safety standards, and international best practices is necessary.

**Aim:** the primary objective of this study is to analyze, both theoretically and through modeling, the nature, amplitude, and temporal characteristics of overvoltages arising in medium-voltage distribution networks under different neutral grounding methods (isolated and low-ohmic resistor grounded).

**Methods:** the project employs international experience and advanced technological approaches. Specifically, modern mechanisms for managing electricity consumption are utilized. Statistical methods for comparative analysis and energy efficiency assessment are also applied.

**Results:** the study incorporates cutting-edge international practices and advanced computational technologies. During the analysis, the amplitude-time characteristics of overvoltages, interphase asymmetry, and the influence of network capacitive currents are taken into account. Furthermore, using statistical and comparative methods, the impact of different neutral grounding methods on relay protection performance and insulation behavior is assessed. Based on local network topologies, practical and region-specific recommendations are developed..

**Keywords:** overvoltage, neutral grounding mode, isolated neutral, low-ohmic resistor, ground fault, relay protection, interphase voltage, electrical safety, network reliability.

### 1. Kirish (Introduction)

Elektr energiyasini ishlab chiqarish, taqsimlash va yetkazib berish, shuningdek, ichki va tashqi elektr energiyasi bozorlarida savdo, vakillik va vositachilik bilan shug'ullanadigan elektr ta'minoti kompaniyalari uchun asosiy vazifa — bu taqsimlovchi elektr tarmoqlarining ishonchli ishlashini



ta'minlash va yetkazilayotgan elektr energiyasining sifatini amaldagi me'yoriy hujjatlarga muvofiq holda ta'minlashdir. Elektr energiyasi bozorining ochilishi bilan birgalikda, "yuqori sifatli" elektr ta'minotiga bo'lgan talab ortmoqda. Bu esa, o'z navbatida, yetkazib berishning yuqori ishonchliligi va kam sonli va kam vaqtli elektr uzilishlarini anglatadi. So'nggi yillarda turar-joy va tijorat zonalari, turistik markazlar va shu kabi hududlarning jadal rivojlanishi kuzatildi va bu tendensiya davom etmoqda. Ijtimoiy taraqqiyot tegishli elektr infratuzilmasi bilan birgalikda kechishi lozim. Elektr energiyasini taqsimlash tarmog'ining kengaytirilishi yangi elektr uzatish liniyalarini asosan kabel liniyalarini qurishni talab etadi, bu esa tarmoqning umumiy sig'imli toki qiymatining sezilarli oshishiga olib keladi.

Bir fazali yerga tutashuv tokining oshishi natijasida 10(20)/0,4 kV darajasidagi yerga ulangan tizimlarda yerga ulanish shartlari va tarqalish qarshiligi tegishli me'yoriy hujjatlarda belgilangan ruxsat etilgan chegaralarda saqlanishini ta'minlash qiyinlashadi, bu esa xavfli kuchlanishlar bilan bevosita bog'liqdir. Yuqorida qayd etilgan barcha omillar neytral nuqtani ulash usulini, ya'ni transformator punktlarida neytral nuqtani yerga ulashning texnik yechimlarini chuqur o'rganish zarurligini ko'rsatadi.

Izolyatsiyalangan 10 kV tarmoqda sig'imli yerga tutashuv toki 20 A dan oshmasligi kerak, istisno holatlarda esa, o'chirish vaqti qisqartirilgan taqdirda, bu tok 40 A dan oshmasligi lozim. Agar sig'imli tutashuv toki 40 A dan yuqori bo'lsa, neytral nuqtani yerga ulash amalga oshirilishi shart.

20 kV li izolyatsiyalangan tarmoqlarda esa bu chegara yanada past: sig'imli yerga tutashuv toki 15 A dan oshmasligi kerak, va har qanday holatda, o'chirish davri qisqartirilgan taqdirda ham, 30 A dan oshmasligi kerak. Agar sig'imli tok 30 A dan yuqori bo'lsa, neytral nuqtani yerga ulash majburiy hisoblanadi [1, 2].

Rivojlangan mamlakatlarda o'rta kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmoqlar odatda past qarshilikli rezistor orqali yerga ulangan bo'lib, bunda yerga tutashuv toki 300 A dan oshmasligi bilan cheklangan. Biroq, ayrim istisno holatlarda 35 kV li tarmoqlar tarmoqlangan kabel tizimi sifatida yerga ulanadi va bunda tutashuv toki 1000 A dan oshmasligi kerak.

20 kV va 10 kV li tarmoqlarda holat yanada murakkab. Bunda izolyatsiya darajasini pasaytirish orqali tejaladigan xarajatlar unchalik katta emas, shu bilan birga yerga ulash kuchlanishining past kuchlanishli tarmoqlarga o'tib ketish xavfi ham mavjud [3, 4].

## 2. Usullar va materiallar (Methods and materials)

O'rta kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmoqlarda neytral nuqtani yerga ulash bo'yicha asosiy nazariya ilmiy va mutaxassislar hamjamiyatiga ko'p yillardan beri ma'lum. Maqolaning ushbu qismida o'rta kuchlanishli taqsimlovchi tarmoqlarda neytral nuqtani ulash bo'yicha nazariy asoslar bayon etilgan va mavzuni o'quvchilar uchun yanada ravshanroq yoritish maqsadida asosiy elementlar tavsiflangan. Nazariy asoslar [2], [3], [4]-manbalar asosida ishlab chiqilgan. O'rta kuchlanishli taqsimlovchi tarmoqlarda neytral nuqtani yerga ulash usullarini ko'rib chiqishda, odatda quyidagi yechimlar qo'llaniladi:

- neytral nuqtaning yerga nisbatan to'liq izolyatsiyalangan holatda bo'lishi;
- past qarshilikli rezistor orqali yerga ulanadigan tizim;
- rezonansli kompensatsiya orqali neytral nuqtani yerga ulash.

Neytral nuqtani qanday ulash to'g'risida to'g'ri qarorni faqat har bir usulning afzallik va kamchiliklarini har tomonlama baholash orqali qabul qilish mumkin. Har bir tarmoqning o'ziga xos ekspluatatsiya shartlari va texnik xususiyatlari mavjud bo'lganligi sababli, uzoq muddatli foydalanishda barcha talablarni to'liq qanoatlantiruvchi yagona yechimni tavsiya qilish mushkuldir. Quyida, [4,5] manbalarga asoslanib, taqsimlovchi tarmoqlarda past qarshilikli rezistorlar va avtomatik rezonansli kompensatsiyadan foydalanishning asosiy texnik xususiyatlari hamda ularning ahamiyati bayon qilinadi.

**Neytral nuqtani past qarshilikli rezistor orqali yerga ulashning qo'llanilishi.** Izolyatsiyalangan neytral nuqtaga ega tizimdan past qarshilikli yerga ulangan tizimga o'tishning asosiy maqsadi — bu ichki ortiqcha kuchlanishlarni kamaytirish va rele himoya tizimining ishonchli ishlashini ta'minlashdir. Bundan tashqari, bu usul qisqa muddatli o'ta kuchlanishlarning yuzaga kelishini bartaraf etadi.

Ichki kuchlanishlar ruxsat etilgan me'yoriy qiymatlar doirasida bo'lishi uchun, rezistor tanlovi shunday bo'lishi kerakki, bir fazali yerga tutashuv holatida yuzaga keladigan tok, asosan, ishchi xarakterga ega bo'lsin. Bunday holatga erishish uchun  $I_R : I_C \geq 3 : 1$  mezoniga amal qilinishi lozim.

Bu yerda:  $I_R$  - past qarshilikli rezistorning nominal toki (A),  $I_C$  - tarmoqning sig'imli toki (A), [6].

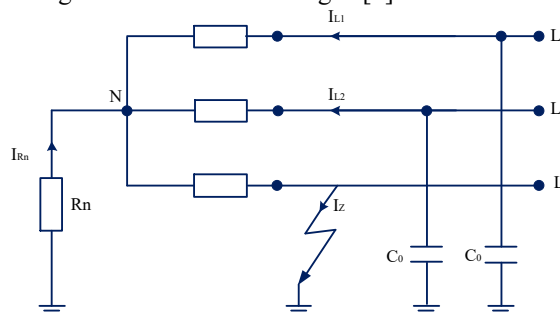
Murakkab yerga ulanish sharoitlarida, ya'ni geologik jihatdan noqulay hududlarda joylashgan transformator punktlarida esa  $I_R : I_C \geq 1.5 : 1$  mezoniga ruxsat beriladi [6].

10 (20) kV kuchlanishli tarmoqlar uchun 150 A va 300 A nominal tokli rezistorlar past qarshilikli yerga ulash tizimlari uchun odatiy hisoblanadi.

Agar 20(10)/0,4 kV transformator punktlarini yerga ulashni yaxshilash maqsadida, yuqori tuproq qarshiligi mavjud hududlarda himoya qurilmalari uchun zarur bo'lgan yetarlicha past qarshilik

qiymatlarini ta'minlash texnik jihatdan yoki iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'lmasa, bunday holda past qarshilikli rezistor orqali neytral nuqtani yerga ulash talab qilinmaydi. Bu holatda neytral nuqta izolyatsiyalangan holda qoldiriladi yoki tarmoqning sig'imli toki kompensatsiya qilinadi [6].

1-rasmda neytral nuqtasi past qarshilikli rezistor orqali yerga ulangan tarmoqda yuzaga kelgan bir fazali yerga tutashuv holatining sxematik tasviri keltirilgan [7].



**1-rasm.** Neytral nuqtasi past qarshilikli rezistor orqali yerga ulangan holatda bir fazali yerga tutashuvning sxemasi

**Fig.1.** A single-phase earth fault diagram with the neutral point grounded through a low-resistance resistor

Tarmoq past qarshilikli rezistor orqali yerga ulangan hollarda, tutashuv toki rezistorning qarshiligi bilan cheklangani sababli, tarmoqdagi har qanday yerga tutashuv holati imkon qadar tezroq o'chirilishi kerak. Yerga tutashuv toki quyidagi formula orqali hisoblanadi [6]:

$$I_Z = \frac{U_L}{\sqrt{3}R_n} \quad (1)$$

Himoya vositalarini tanlashda muhim bo'lgan tok — bu nosoz (yerga tutashgan) liniyada yerga nisbatan sig'imlar e'tiborga olinmaganda hosil bo'ladigan qoldiq tok bo'lib, u quyidagi tenglama orqali hisoblanadi [6]:

$$I_Z = \frac{\sqrt{3}U_L}{2Z_D + Z_0 + 3R_n + 3Z_K} \quad (2)$$

Bu yerda:  $U_L$  — chiziqli nominal kuchlanish (V);  $2Z_D + Z_0$  — tarmoqning ikki barobar musbat ketma-ketlik va nol ketma-ketlik qarshiliklarining yig'indisi;  $R_n$  — neytral nuqta orqali yerga ulanadigan aktiv qarshilik ( $\Omega$ );  $Z_K$  — qisqa tutashuv qarshiligi ( $\Omega$ ).

**Neytral nuqtani yerga ulash usuli sifatida rezonansli kompensatsiyadan foydalanish.** Kompensatsiyalangan (rezonansli) yerga ulangan tarmoq — bu transformatorlarning neytral nuqtalari yoyni so'ndiruvchi reaktor orqali yerga ulanadigan tarmoqdir.

Agar sig'imli bir fazali yerga tutashuv toklarining qiymati izolyatsiyalangan neytralga ega tarmoq uchun belgilangan cheklangan qiymatlardan oshib ketsa, bu tarmoq o'zining asosiy afzalligini — ya'ni yerga tutashuvning o'z-o'zidan bartaraf bo'lishi imkoniyatini yo'qotadi.

Sig'imli yerga tutashuv tokini belgilangan cheklardan pastga tushirish uchun, transformatorning neytral nuqtasi bilan yer orasiga yoyni so'ndiruvchi reaktor ulanadi. Bunday ulanishda induktiv tok sig'imli yerga tutashuv tokini kompensatsiya qiladi.

Yoyni so'ndiruvchi reaktor shunday sozlanadiki, har bir fazaning yerga nisbatan sig'imi bilan rezonans hosil qiladi. Shu sababli bunday tarmoq rezonansli yerga ulangan tarmoq deb ataladi.

2-rasm a) Yoyni so'ndiruvchi reaktor orqali neytral nuqtasi yerga ulangan holatda bir fazali yerga tutashuvning tasviri. b) yerga tutashuv vaqtida vektor diagrammasi.

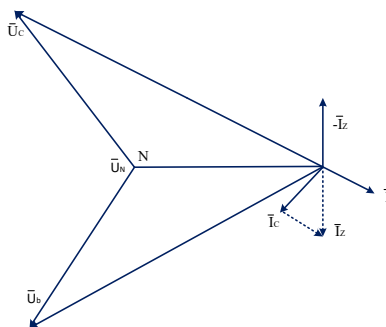
Nosozlik nuqtasidan qaralganda ko'rinadigan ekvivalent qarshilik quyidagicha aniqlanadi [7]:

Ma'qul va zarur bo'lgan holat shuki, yoyni so'ndiruvchi reaktor orqali oqadigan tok  $I_{YSR}$  tarmoqdagi yerga tutashuv toki  $I_Z$  ga taxminan teng bo'lishi kerak [8]:

$$Z_0 = \frac{j3L_{PR} \frac{1}{j\omega C_0}}{j\left(3\omega L_{PR} + \frac{1}{\omega C_0}\right)} \quad (3)$$

Ma'qul va zarur bo'lgan holat shuki, yoyni so'ndiruvchi reaktor orqali oqadigan tok  $I_{YSR}$  tarmoqdagi yerga tutashuv toki  $I_Z$  ga taxminan teng bo'lishi kerak [9]:

$$I_{YSR} = I_Z - I_{L1} - I_{L2} \quad (4)$$



**2-rasm.** a) Neytral nuqtasi yoyni so'ndiruvchi reaktor orqali yerga ulangan holatda bir fazali yerga tutashuvning tasviri. b) Yerga tutashuv davomida vektor diagrammasi  
**Fig.2.** a) Illustration of a single-phase earth fault with the neutral point grounded through an arc-suppression coil. b) Vector diagram during the earth fault

Rezonansli neytral nuqtani yerga ulash sharti formal tarzda quyidagicha ifodalanadi:  $3\omega^2 L_r C_0 = 1$  [8,9]. Amaliyotda esa, faza o'tkazgichlarining uzilishi vaqtida yuzaga keladigan rezonansli kuchlanish oshishlarini oldini olish maqsadida to'liq kompensatsiyadan qochiladi. Neytral nuqta g'altak odatda nominal tok qiymatlari (5; 10; 15; 20; 25; 30 A) uchun loyihalashtiriladi va tarmoqlarga yoki tarmoqlar tutashuviga ulanadi.

Nosozlik yuz berganda, shikastlanmagan fazalarning toklari transformatorning neytral nuqtasiga oqib boradi. Bu holat tarmoqdagi barcha boshqa shikastlanmagan uzatish liniyalari uchun ham amal qiladi, ya'ni barcha liniyalardagi sig'im toklarining yig'indisi tarmoqdan transformatorning neytral nuqtasiga oqadi.

Agar to'liq kompensatsiya bo'lsa, nosoz faza orqali faqat ushbu toklarning aktiv qismi va g'altakning aktiv tok komponenti oqadi; bu ikkisi yerga tutashuv tokini tashkil qiladi. Yerga tutashuv tokining sig'imiy qismi g'altakning induktiv toki bilan kompensatsiyalanadi.

Yerga tutashuv holatida transformatorning neytral nuqtasi kuchlanishi tarmoqdagi faza kuchlanishiga tenglashadi, shikastlanmagan fazalarning kuchlanishi esa fazalararo kuchlanish holatiga o'tadi.

Bu holatda, bir fazali yerga tutashuvda, tutashuv toki faqat nosoz fazadan yerga oqib o'tadi va u sezilarli darajada kichik bo'ladi. Bu tok odatda qoldiq yerga tutashuv toki deb ataladi va agar to'liq kompensatsiya mavjud bo'lsa, faqat aktiv komponentdan iborat bo'ladi.

Yerga bir fazali tutashuvning o'z-o'zidan so'nish shartlari – bu turdagi tarmoqlarning asosiy afzalliklaridan biri bo'lib, birinchi navbatda yerga tutashuv tokining qiymatiga bog'liq bo'ladi. Bu holatda, aynan qoldiq yerga tutashuv toki haqida so'z yuritiladi.

Nosozlik sababi bartaraf etilgandan keyingi tutashuvning o'z-o'zidan so'nish shartlari nosoz fazada kuchlanish tiklanishining tezligiga (ya'ni, teskari kuchlanish) ham sezilarli darajada bog'liq bo'lib, bu kuchlanish yerga tutashuv holatini qayta tiklashga moyildir. To'liq kompensatsiyalanmagan tarmoqlarda teskari kuchlanish odatda pulsatsiyali-tebranuvchan shaklda bo'ladi. Agar kompensatsiya ancha aniqlikdan chetlashsa, bu kuchlanish 1,7 barobargacha oshgan kuchlanish (overvoltage) holatini olishi mumkin. Biroq, bunday holatda ham teskari kuchlanish amplitudasi asta-sekin o'sadi, bu esa yerga tutashuv holatining qayta yuzaga kelish ehtimolini kamaytiradi [10].

### 3. Natijalar va muhokama (Results and Discussion)

1-rasmda tarmoq past qarshilikli rezistor orqali yerga ulangan holatda yerga tutashuv toki sxemasi ko'rsatilgan. Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, past qarshilikli rezistor orqali neytralni yerga ulash amaliyotining asosiy maqsadi — ichki o'ta kuchlanishlarni kamaytirish va rele himoyasining ishonchli ishlashini ta'minlashdan iborat. Ichki o'ta kuchlanishlar qabul qilinadigan darajada bo'lishi uchun, tanlangan rezistor qiymatlari yerga bir fazali tutashuv toki ishchi xarakterga ega bo'lishini ta'minlashi lozim. Bunday holatga erishish uchun ko'rib chiqilgan muayyan shartlar bajarilishi kerak. Tanlangan 10 kV taqsimlovchi tarmoqda past qarshilikli rezistor orqali neytral yerga ulangan bo'lib, bu holatda tokni 300 A darajada cheklash ko'zda tutilgan. 1-rasmda keltirilgan sxema asosidagi simulyatsiya natijalari shuni ko'rsatadiki, tanlangan rezistor qiymati to'g'ri tanlangan bo'lib, yerga tutashuv toki 300 A darajasida cheklangan. Biroq neytral nuqtani qanday ulash bo'yicha yakuniy qaror qabul qilish uchun texnik-iqtisodiy tahlil o'tkazish zarur. Jumladan, TS 10/0.4 kV transformator podstansiyalarining yerga ulangan qismlarida yuqori xususiy yer qarshiligi mavjud hududlarni aniqlash va ularni yaxshilash uchun maqbul investitsiya imkoniyatlarini baholash lozim [11].

Shuningdek, ayrim hollarda kerakli darajada kichik yerga ulash qarshiligiga erishishning iloji bo'lmasligi mumkin, bu holatda past qarshilikli yerga ulash himoya qurilmalari uchun belgilangan o'chirish vaqti bilan mos kelmaydi. Bunday vaziyatda neytral nuqtani izolyatsiyalangan holatda



qoldirish yoki tarmoq sig'imi tokini kompensatsiya qilish tavsiya etiladi. Real taqsimlovchi tarmoqda o'tkazilgan simulyatsiya natijalariga ko'ra, ushbu tarmoq uchun neytral kompensatsiya g'altagi orqali yerga ulanadigan bo'lsa, yerga tutashuv toki 2,02 A ni tashkil qiladi.

Sig'imi toklarining katta bo'lgan hududlarida yerga tutashuv holatlari nisbatan ko'p aniqlanishi mumkin, shuning uchun avtomatik kompensatsiya g'altigidan foydalanish tavsiya etiladi. Bu — eng ilg'or texnologik yechim hisoblanadi, biroq u sezilarli darajada ko'proq investitsiyani talab qiladi. Kompensatsiya g'altigidan foydalanishning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

Transformator podstansiyalarining yerga ulangan qismlarida haddan tashqari yuqori potentsiallar yuzaga kelish xavfi minimallashtiriladi, natijada yerga ulanganni qayta ta'mirlash bilan bog'liq xarajatlarga hojat qolmaydi.

Nosozlik toki kichik bo'lgani sababli tutashuv o'z-o'zidan o'chib qoladi, va har bir yerga tutashuv tarmoqning to'liq o'chishiga olib kelmaydi (bu past qarshilikli yerga ulash rejimi bilan taqqoslaganda elektr ta'minoti sifati yaxshilanishiga olib keladi). Kompensatsiya g'altagi bilan jihozlangan tarmoqlarning kamchiliklari — yuqori qarshilikli (yuqori ohmli) nosozliklarga nisbatan past sezuvchanlik (bu esa yanada murakkabroq himoya tizimlarini talab qilishi mumkin) va g'altak hamda boshqa uskunalarning sezilarli investitsiya xarajatlariga ega bo'lishidir.

Tanlangan taqsimlovchi tarmoq modeli uchun o'ta kuchlanish koeffitsientining taqqoslama qiymatlari 1-jadvalda keltirilgan. Jadvalda neytral nuqtaning izolyatsiyalangan, past qarshilik orqali yerga ulangan va kompensatsiya g'altagi orqali yerga ulangan holatlari ko'rib chiqilgan [12].

**1-jadval.** O'ta kuchlanish koeffitsientini hisoblash natijalari tahlili.

**Table 1.** Analysis of the results of overvoltage coefficient calculation.

O'lehov nuqtasi	Izolyatsiyalangan tarmoq	Past qarshilikli yerga ulash	Kompensatsiya g'altagi
Tarmoq boshi	1,726	1,619	1,677
Tarmoq oxiri	1,697	1,662	1,678
Tok, $I_f$ (A)	136,54	257,94	2,02

#### 4. Xulosa (Conclusion)

O'zbekiston sharoitida elektr energiyasidan foydalanish samaradorligini oshirish, xavfsizlikni O'zbekistondagi o'rta kuchlanishli elektr tarmoqlarida transformatorlarning neytral nuqtasini ulash masalasiga ko'p yillar davomida yetarli e'tibor qaratilmagan. Bu boradagi ilgari qo'llanilgan yondashuvlar o'zgartirilishi zarur. Hozirgi sharoitda elektr tarmoqlarining aksariyati izolyatsiyalangan neytralga ega bo'lib, kabel tarmoqlari kengaygani tufayli yerga tutashuv toki tavsiya etilgan chegaraviy qiymatlardan ancha oshib ketgan. Bunday holatda ruxsat etilmagan darajadagi yuqori toklar bilan yerga tutashuv avariylarini ishga tushurishni oldini olish maqsadida ko'pincha yo'nalgan yerga tutashuvdan himoya tizimi qo'llaniladi. Yerga tutashuv toklarining mavjud qiymatlarini hisobga olgan holda, o'rta kuchlanishli elektr tarmoqlarda neytral nuqtani erga ulashning to'g'ri usulini joriy etish zarurati dolzarbdir. Izolyatsiyalangan neytral nuqtali tizimdan past qarshilikli rezistor orqali yerga ulangan tizimga o'tishning asosiy maqsadi – ichki ortacha kuchlanishlarni kamaytirish va ishonchli himoya tizimini ta'minlashdir. Bunda oraliq o'ta kuchlanishlarning yuzaga kelish ehtimoli ham yo'q qilinadi. Shu bilan birga, har qanday nosozlikda kuch ta'minoti to'xtatiladi va yuqori toklar hosil bo'ladi, bu esa ayniqsa tuproqning solishtirma qarshiligi yuqori bo'lgan hududlarda kontakt kuchlanishi nuqtai nazaridan erga ulash sharoitlarini qiyinlashtiradi.

Yevropa davlatlaridagi o'rta kuchlanishli elektr tarmoqlarda transformator neytral nuqtasini erga ulash konsepsiyalarining rivojlanish tendensiyalarini tahlil qilganda, eng dolzarb va e'tiborga molik yondashuv – bu kompensatsiyalovchi g'altak orqali neytralni erga ulashdir. Kompensatsiyalovchi g'altak o'rnatilgan tarmoqlarda doimiy nosozliklar uzoqroq vaqt kechikish bilan bartaraf etiladi. Rivojlangan davlatlar tajribasida bu vaqt taxminan 7 soniyani tashkil etadi. Nosozlik joyida toklar kichik bo'lgani uchun vaqtinchalik nosozliklarni o'z-o'zidan bartaraf qilish imkoniyati saqlanib qoladi.

O'ta kuchlanish koeffitsientlari tahlili shuni ko'rsatadiki, eng yuqori o'ta kuchlanishlar izolyatsiyalangan neytral holatdagi yerga tutashuvda kuzatilgan bo'lib,  $k = 2,21$  ni tashkil etgan, eng past qiymatlar esa past qarshilikli rezistor orqali erga ulangan neytral holatida kuzatilgan bo'lib,  $k = 1,78$  ni tashkil etgan.

#### ADABIYOT

1. F.M. Raximov. Ensuring Electrical Safety In Networks With Resistive Neutral Grounding. // Фан ва Жамият илмий-услубий журнал. Серия: Табiiй ва техника фанлари № 2/1. –Нукус, 2024 й. – 24-26 б.



2. А.Д. Таслимов, Ф.М. Рахимов. 20 кВ тақсимловчи тармоқларининг нейтрални паст қаршиликли резистор орқа ерга улаш параметрларини танлаш //Энергия ва ресурс тежаш муаммолари журналі. –Тошкент 2024 й, Махсус сон (№85) – 54-60 б.
3. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития /под ред. Салимова А.У. – Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi, 2021. – 952 с.
4. Alija Jusić, Zijad Bajramović, Irfan Turković and Maja Muftić Dedović . Analiza prenapona pri nastanku zemljospoja kod različitog tretmana neutralne tačke u distributivnim mrežama. B&H Electrical Engineering. Vol. 14 (2020). Pp 53-60.
5. N. Rajaković: Analysis of electro-energetic systems. I, Beograd, Akademska misao, 2002.
6. BAS EN 50522:2011 Earthing of power installations exceeding 1 kV AC.
7. BiH Electrical Utility Company Study, Treatment of neutral point in distribution networks JP Elektroprivreda BiH, Sarajevo, 2016.
8. D. Braun and G. S. Koepl, "Intermittent Line-to-Ground Faults in Generator Stator Windings and Consequences on Neutral Grounding," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, no. 2, pp. 876-881, April 2010.
9. N. El-Sherif and S. P. Kennedy, "A design guide to neutral grounding of industrial power systems," 2017 Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC), 2017, pp. 151-162.
10. J. Garcia, E. Robles, R. Campuzano and O. del Razo, "Series resonant overvoltages due to the neutral grounding scheme used in petrochemical power systems," 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2008, pp. 1-6.
11. Protection against Transient Overvoltages Caused by Intermittent Earth Faults in Unearthed Marine Power Distribution Networks," 2022 IEEE International Conference on Power Systems Technology (POWERCON), 2022, pp. 1-6.
12. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems," in IEEE Std 142-2007, vol., no., pp.1-225, 30 Nov. 2007.

## REFERENCES

1. F.M. Rahimov. Ensuring Electrical Safety In Networks With Resistive Neutral Grounding. // Fan va Zhamiyat ilmiy-uslubiy magazine. Series: Tabiy va fanlari technique No. 2/1. –Nukus, 2024. – 24-26 p. (In Uzb).
2. A.D. Taslimov, F.M. Rakhimov. Selection of parameters for connecting the neutral of 20 kV distribution networks to the ground with a low-resistance resistor // Journal of Energy and Resource Saving Problems. – Tashkent 2024, Special issue (№85) – pp. 54-60. (In Uzb).
3. Allaev K.R. Modern energy and prospects for its development / ed. Salimov A.U. – Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi, 2021. – 952 p. (In Russ).
4. Alija Jusić, Zijad Bajramović, Irfan Turković and Maja Muftić Dedović. Analiza prenapona pri nastanku zemljospoja kod različitog tretmana neutralne tačke u distributivnim mrežama. B&H Electrical Engineering. Vol. 14 (2020). Pp 53-60.
5. N. Rajaković: Analysis of electro-energetic systems. I, Beograd, Akademska misao, 2002.
6. BAS EN 50522:2011 Earthing of power installations exceeding 1 kV AC.
7. BiH Electrical Utility Company Study, Treatment of neutral point in distribution networks JP Elektroprivreda BiH, Sarajevo, 2016.
8. D. Braun and G. S. Koepl, "Intermittent Line-to-Ground Faults in Generator Stator Windings and Consequences on Neutral Grounding," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, no. 2, pp. 876-881, April 2010.
9. N. El-Sherif and S. P. Kennedy, "A design guide to neutral grounding of industrial power systems," 2017 Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC), 2017, pp. 151-162.
10. J. Garcia, E. Robles, R. Campuzano and O. del Razo, "Series resonant overvoltages due to the neutral grounding scheme used in petrochemical power systems," 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2008, pp. 1-6.
11. Protection against Transient Overvoltages Caused by Intermittent Earth Faults in Unearthed Marine Power Distribution Networks," 2022 IEEE International Conference on Power Systems Technology (POWERCON), 2022, pp. 1-6.
12. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems," in IEEE Std 142-2007, vol., no., pp.1-225, 30 Nov. 2007.