



# Нейтрални ерга улаш учун қаршиликларнинг оптимал қийматлари ва танлаш мезонлари

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

<sup>1</sup> DSc, проф., Тошкент давлат техника университети, Тошкент, 100095, Ўзбекистон; [tstu\\_energy@mail.ru](mailto:tstu_energy@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-2856-6287>

<sup>2,а)</sup> Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети, Навои, 210100, Ўзбекистон;  
[feruz.raximov.2017@mail.ru](mailto:feruz.raximov.2017@mail.ru) <https://orcid.org/0009-0008-6832-0509>

<sup>2</sup> PhD, доц., Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети, Навои; [raximov-farrux@list.ru](mailto:raximov-farrux@list.ru)  
<https://orcid.org/0000-0001-8286-6163>

**Долзарблик:** ушбу мақолада 20 кВ электр тармоқларида нейтрални ерга улаш учун қаршиликларни танлаш ва оптималлаштириш учун тизимли ёндашув тақдим этилган. Асосий эътибор электр хавфсизлигини ошириш, ортиқча кучланиш хавфини камайтириш ва релей химоя тизимларининг самарадорлигини таъминлашга қаратилган. Тадқиқот оптимал қаршилик қийматларини аниқлаш, трансформаторлар кучланишларини ерга улаш талаблари билан мувофиқлаштириш ва тегишли хавфсизлик стандартларига риоя қилиш каби муҳим жиҳатларни ўрганеди. Техник ва иқтисодий нуқтаи назарларни бирлаштирган ҳолда мақола муҳандислар ва лойиҳа қилувчилар учун амалий тавсияларни тақдим этади, шунингдек, ҳақиқий мисоллар ва мавзў бўйича тадқиқотларни ўз ичига олади.

**Мақсад:** ушбу мақолада 20 кВ электр тармоқларида нейтрални ерга улаш учун оптимал қаршилик параметрларини аниқлаш ва уларни амалга оширишдан мақсад электр хавфсизлигини ошириш, ортиқча кучланиш хавфини камайтириш ва релей химоя тизимларининг самарадорлигини таъминлашдир. Бу орқали электр тармоғининг барқарорлигини, технологиялик жараённинг узлуксизлигини таъминлаш ва харажатларни камайтириш кўзланмоқда.

**Усуллар:** тадқиқот тизимли ёндашув, электр тармоқларининг энергетика экспертлари натижаларига тизимли таҳлил қилиш, регрессия таҳлили ва назарий режалаштириш методлари орқали олиб борилган. 20 кВ электр тармоқларида нейтрални ерга улаш учун қаршиликларни танлаш ва оптималлаштиришда электромеханик параметрларни вақтга боғлиқ ҳолда ўзгартириш функцияларини математик модел орқали тасвирлаш ва оптимал ечимларни топиш учун регрессия таҳлили методидан фойдаланилган.

**Натижалар:** тадқиқот натижалари, хусусан, Худудий электр тармоқлари акциядорлик жамияти Навоий худудий филиалидаги 20 кВ электр тармоғида нейтрални ерга улаш учун трансформаторлар ва қаршиликларнинг оптимал параметрларини аниқлаш бўйича олинган. Синовлар MATLAB/Simulink дастури ёрдамида ўтказилди ва натижалар ортиқча кучланиш, қисқа туташувлар, тизим барқарорлиги ва электр тармоқ хавфсизлиги бўйича самарали қарорлар ишлаб чиқиш имконини берди.

**Калиб сўзлар:** қаршилик, нейтрал, ерга улаш, кучланиш, трансформатор, электр тармоғи, хавфсизлик, MATLAB/Simulink, оптималлаштириш, релей химоя тизими.

**For citation:** Taslimov A.D., Raximov F.M., Rakhimov F.M. Optimal Values and Selection Criteria for Resistors Used in Neutral Grounding. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 3, pp. 22–30.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14030638>

Received: 15.09.2024  
Revised: 27.09.2024  
Accepted: 21.10.2024  
Published: 02.11.2024

**Copyright:** © Abduraxim D. Taslimov, Feruz M. Raximov, Farrukh M. Rakhimov, 2024. 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/>).

## Оптимальные значения и критерии выбора резисторов для заземления нейтрали

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

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

<sup>2,а)</sup> 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>

<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>

**Актуальность:** в данной статье представлен системный подход к выбору и оптимизации сопротивлений для заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 20 кВ. Основное внимание уделяется повышению электрической безопасности, снижению риска перенапряжений и обеспечению эффективности релейной защиты. Исследование охватывает важные аспекты, такие как определение оптимальных значений сопротивлений, согласование требований к заземлению напряжений трансформаторов и соблюдение соответствующих стандартов безопасности. Статья предоставляет практические рекомендации для инженеров и проектировщиков, объединяя технические и экономические аспекты, а также включает реальные примеры и исследования по теме.

**Цель:** в данной статье рассматривается определение оптимальных параметров сопротивления для заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 20 кВ и их внедрение с целью повышения электрической безопасности, снижения риска перенапряжений и обеспечения эффективности релейной защиты. Это направлено на повышение стабильности электросети, обеспечение непрерывности технологического процесса и снижение затрат.



**Методы:** исследование проведено с использованием системного подхода, включая системный анализ результатов энергетических экспертиз электрических сетей, регрессионный анализ и методы теоретического планирования. При выборе и оптимизации сопротивлений для заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 20 кВ использованы математические модели для описания функций изменения электромеханических параметров во времени и метод регрессионного анализа для поиска оптимальных решений.

**Результаты:** результаты исследования, в частности, получены для определения оптимальных параметров трансформаторов и сопротивлений для заземления нейтрали в 20 кВ электрической сети регионального филиала акционерного общества «Региональные электрические сети» в Навои. Испытания проводились с использованием программы MATLAB/Simulink, и результаты позволили разработать эффективные решения по перенапряжениям, коротким замыканиям, стабильности системы и безопасности электрической сети.

**Ключевые слова:** сопротивление, нейтраль, заземление, напряжение, трансформатор, электрическая сеть, безопасность, MATLAB/Simulink, оптимизация, релейная защита.

## Optimal Values and Selection Criteria for Resistors Used in Neutral Grounding

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

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

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

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

**Relevance:** this article presents a systematic approach to selecting and optimizing resistances for neutral grounding in 20 kV electrical networks. The main focus is on enhancing electrical safety, reducing the risk of overvoltage, and ensuring the effectiveness of relay protection systems. The study addresses key aspects such as determining optimal resistance values, aligning with transformer grounding voltage requirements, and adhering to relevant safety standards. The article offers practical recommendations for engineers and designers by integrating technical and economic perspectives, and includes real-world examples and research on the topic.

**Aim:** this article discusses the determination and implementation of optimal resistance parameters for neutral grounding in 20 kV electrical networks, with the aim of enhancing electrical safety, reducing the risk of overvoltage, and ensuring the effectiveness of relay protection systems. This approach is intended to improve the stability of the electrical network, ensure the continuity of technological processes, and reduce costs.

**Methods:** the research was conducted using a systematic approach, including systematic analysis of energy audit results for electrical networks, regression analysis, and theoretical planning methods. For selecting and optimizing resistances for neutral grounding in 20 kV electrical networks, mathematical models were used to describe time-dependent functions of electromechanical parameters, and regression analysis was employed to find optimal solutions.

**Results:** the research results specifically pertain to determining the optimal parameters for transformers and resistors for neutral grounding in the 20 kV electrical network of the Regional Branch of the Joint-Stock Company "Regional Electric Networks" in Navoi. The tests were conducted using MATLAB/Simulink, and the results facilitated the development of effective solutions for overvoltage, short circuits, system stability, and electrical network safety.

**Keywords:** resistance, neutral, grounding, voltage, transformer, electrical network, safety, MATLAB/Simulink, optimization, relay protection.

### 1. Кириш (Introduction)

Электр тармоқларининг самарали ишлаши ва хавфсизлиги, айниқса юқори кучланишли тизимларда, тармоқ нейтрални ерга улаш усуллари ва технологияларига боғлиқ. Нейтрални ерга улаш, қисқа туташувларни олдини олиш ва тармоқнинг барқарорлигини таъминлашда муҳим роль ўйнайди. Ушбу мақола, 20 кВ электр тармоқларида нейтрални ерга улашнинг оптимал параметрлари ва уларнинг амалиётдаги таъсирини баҳолашга қаратилган. Нейтрални резисторлар орқали ерга улаш, электр тармоқларининг асосий компонентларидан бири бўлиб, улар тармоқнинг иш фаолиятини ва хавфсизлигини таъминлашда муҳим аҳамиятга эга. Бу усул айниқса, 20 кВ кучланишдаги электр тармоқларида кизиқарли, чунки ушбу кучланишдаги тармоқлар юқори хавфсизлик ва самарадорликни талаб қилади [1-3].

Нейтрални ерга улаш резисторлари ҳозирги кунда электр тармоқларининг мустаҳкам ва муҳим элементларидир. Улар эски ёки қисқа туташувлар натижасида юзага келган ўтказувчанликларни бошқариш ва жойлаштириш учун зарур ҳисобланади. Резисторлар орқали нейтрални ерга улаш усули электр тармоқларининг химояси, хавфсизлиги ва самарадорлигини яхшилашга қаратилган. Ушбу мақола, резисторлар орқали нейтрални ерга улашнинг оптимал



параметрларини ва уларнинг таъсирини ўрганишга қаратилган. Нейтрални ерга улашда резисторлар учун ўрнатилган стандартларга риоя қилиш, электр хавфсизлиги, хатолар ва ортиқча таъсирларни минималлаштириш каби муҳим жиҳатлар кўриб чиқилади. Шунингдек, резисторлар орқали нейтрални ерга улашнинг техник ва иқтисодий жиҳатлари таҳлил қилинган ҳолда, амалий тавсиялар тақдим этилган. Симуляция моделларини яратиш ва уларнинг амалиётда қўлланилиши, тармоқнинг барқарорлиги ва хавфсизлигини оширишга ёрдам бериши учун зарур бўлади. Симуляция орқали нейтрални ерга улашнинг турли параметрларининг тармоқдаги таъсири ўрганилади. Кириш қисмида нейтрални ерга улашнинг аҳамияти, унинг тармоқ хавфсизлиги ва ишончилигини оширишдаги роли кўриб чиқилади, шунингдек, симуляция моделларини яратиш ва уларнинг амалий натижаларини баҳолаш мақсад қилиб қўйилади. Симуляция методологияси ва моделларни яратишда фойдаланиладиган воситалар ҳақида маълумотлар тақдим этилади [2-6].

## 2. Материаллар ва усуллар (Materials and Methods)

Резистор орқали нейтрални ерга улаш тартибини белгилаш, бир нечта мураккаб ва муҳим босқичларни ўз ичига олади. Бу босқичлар қуйидагиларни қамраб олади:

- ✓ Юқори даражада электр хавфсизлигини таъминлаш;
- ✓ Тармоқда ўта кучланиш даражасини пасайтириш;
- ✓ Авария ҳолатларидан ишончи реле ҳимоясини ташкил этиш;
- ✓ Нейтрални резистор орқали улашни техник-иқтисодий томондан асослаш;
- ✓ Резисторни улаш учун трансформаторнинг қувватини танлаш.

Электр хавфсизлигини таъминлашнинг асосий шартини, ерга улаш мосламасининг ёки тегиниш кучланишининг рухсат этилган қаршилик қийматларини белгиланган стандартларга мувофиқлигини ҳисобга олган ҳолда, подстанцияда бир фазали ер билан қисқа туташув жараёнида инсонлар учун электр хавфсизлиги талабларига қатъий риоя қилишдир. Нейтрални резистор орқали ерга уланган 20 кВли подстанцияда, агар ерга улаш қурилмасининг рухсат этилган қаршилик қиймати  $R_{px}$  қуйидаги шартни қаноатлантирса, электр хавфсизлиги таъминланади:

$$R_{px} \leq \frac{R_{e,y} \cdot R_p}{\sqrt{R_p^2 + X_c^2}}, \text{ Ом}; \quad (1)$$

бу ерда  $R_{e,y}$ -электр ускуналарни ўрнатиш коидалари билан нормаллаштирилган ерга улаш қурилмасининг қаршилик қиймати, Ом.

Мумкин бўлган бир фазали қисқа туташувлар шароитида электр тармоғининг хавфсиз ва барқарор ишлашини таъминлаш муҳим аҳамиятга эга. Шу нуқтаи назардан, нейтралнинг юқори қаршиликли ерга улашини амалга ошириш, қисқа туташув тоқларини минималлаштиришда муҳим рол ўйнайди. Ушбу резисторли ерга улашнинг самарадорлиги, қабул қилинган сигнал асосида бир фазали қисқа туташувларни аниқлаш ва ўрнатилган реле ҳимояси билан сезиларли даражада яхшиланади [4,3,6].

Ўта кучланиш даражасини пасайтириш меъзони ўта кучланиш коэффициенти  $K_{\check{y},K}$  бўлиб, у резистор қаршилигининг қийматини танлаш, тармоқ ва электр жиҳозларида изоляцияни танлашда муҳим аҳамиятга эга:

$$K_{\check{y},K} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{max}}{U_L}; \quad (2)$$

бу ерда  $U_{max}$  - шина қисмига уланган ускунанинг профилактик синов кучланиши.

Бундай ҳолда, ўта кучланиш коэффициенти тенг бўлади:

- паст қаршиликли резисторли ерга улаш учун  $K_{\check{y},K}=1,0-2,2$ ;
- юқори қаршиликли резисторли ерга улаш учун  $K_{\check{y},K}=2,2-2,6$ .

Ўта кучланиш даражасининг маълум қийматида резисторнинг қаршилиги  $K_{\check{y},K}$  коэффициенти орқали аниқланади:

$$R_p = X_c \cdot \frac{K_{\check{y},K} - 1}{3,4 - K_{\check{y},K}}, \text{ Ом}; \quad (3)$$

бу ерда  $X_c$  - сўғим қаршилиги қуйидагича аниқланади:

$$X_c = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot I_c}, \text{ Ом}; \quad (4)$$

Ўта кучланишни камайитиришни таъминлаш учун мўлжалланган резисторларни сертификатлашда аниқловчи мезон  $K_{\check{y},K}$  ўта кучланиш коэффициентининг қиймати бўлиб, у қуйида берилган ифода бўйича ҳисобланади:

$$K_{\check{y},K} = \frac{2,4R_p}{R_p + X_c} + 1. \quad (5)$$

Тармоқ ва электр жиҳозларининг изоляциясини ўта кучланишдан ҳимоя қилишнинг асосий даражаси сифатида  $K_{\check{y},K}=2,6$  ҳимоя даражаси олинади, бу электр машиналарини профилактик синовлари учун стандартга мос келади. Ҳимоя даражасини танлаш  $K_{\check{y},K} > 2,6$  тегишли асосга эга

бўлиши керак. (2) ва (3) ифодалардан фойдаланиб резистор қаршилигини ҳисоблашнинг математик моделини қуйидагича ифодалашимиз мумкин:

$$R_p = \frac{U_L(\sqrt{3}U_{\max} - U_L)}{\sqrt{3}I_C(3,4U_L - \sqrt{3}U_{\max})}. \quad (6)$$

Реле ҳимоясининг самарали ишлаши мезонига асосланган резистор қийматини танлаш талаб қилинадиган селективлик ва сезгирликка эга бўлган ҳимоя турини аниқлашдан иборат бўлади. Бир фазали ер билан қисқа туташув режимида нейтралнинг паст қаршиликли резисторли ерга улаш билан қисқа туташув нуқтаси орқали ўнлаб ва юзлаб ампер ток оқади ва шунинг учун шикастланган тармоқни узиш эффеќти билан максимал нол кетма-кетликдаги ток ҳимояси ўрнатилади [5,6]. Нейтралнинг юқори қаршиликли резисторли ерга улаш билан оддий ток ҳимояси ҳам, узилиш ёки сигналга таъсир кўрсатадиган янада мураккаб ҳимоя турлари ҳам ўрнатилиши мумкин. Реле ҳимояси ва автоматлаштиришнинг самарали ишлаши шarti билан резисторнинг рухсат этилган қаршилиги қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$R_p \leq \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot I_{xu}}, \text{ Ом}; \quad (7)$$

бу ерда  $I_{xu}$ - бир фазали ер билан қисқа туташувда реле ҳимоясини ишга тушириш токи.

$I_{xu}$  қиймати ҳимояланган уланишнинг максимал ишчи токидан соланади:

$$I_{xu} = k_u K_{cmk} I_{i,\max}; \quad (8)$$

бу ерда  $k_u=1,2$  – ишончилилик коэффициенти;  $K_{cmk}$  – бир фазали қисқа туташув содир бўлган пайтдаги сиғим токининг ошишини ҳисобга олувчи коэффицент.

Бир фазали ер билан туташув учун ҳимоя сезгирлиги қуйидаги ифода ёрдамида текширилади:

$$K_c = \frac{I_{km}}{I_{xu}}; \quad (9)$$

бу ерда  $I_{km}$  - умумий қисқа туташув токи, яъни қисқа туташувдан ҳимоя қилишни ўрнатиш жойида оқадиган умумий сиғимли ток ва резисторли ерга улаш актив токининг геометрик йиғиндиси.

Сезгирлик коэффициенти қуйидагича бўлиши керак:

$$K_c \geq 1,5 - \text{ҳаво ва кабел линияларини ҳимояси учун.}$$

Резисторнинг қаршилиги қиймати  $U_{e.k.uu}$  - шиналаридаги энг катта ишчи кучланиши шarti билан танланиши керак, кучланиши 20 кВ тармоқ учун  $U_{e.k.uu} = 24$  кВга тенг бўлади.

Паст қаршиликли резисторнинг термал қаршилиги рухсат этилган қисқа муддатли ток билан баҳоланади,  $I_{pyx}$  - бу қуйидаги шартларни қондириши керак:

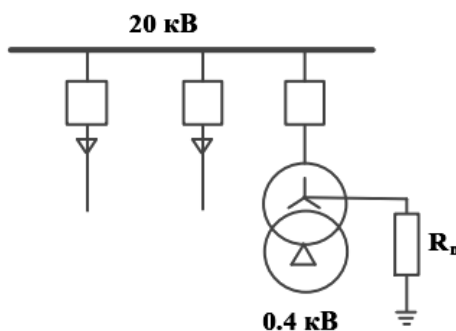
$$I_{pyx} \geq I_p; \quad (10)$$

бу ерда  $I_p$ - бир фазани ер билан қисқа туташув режимида резистордан оқатган ток. Унинг қиймати қуйидагича аниқланади:  $I_p = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot R_p}, \text{ А}.$  (11)

Тармоқ нейтрални резистор орқали ерга улашдаги оддий ва кенг тарқалган усул – бу ерга улаш учун махсус трансформатор (ТЗН) чўлғамларини Y/Δ-11 схемаси асосида ўрнатиш ҳисобланади (1-расм). Бунда трансформаторнинг куввати қуйидаги берилган шарт асосида танланади:

$$S_T \geq \frac{U^2}{3K_{\check{y}.юк} R_p}, \text{ кВА}; \quad (12)$$

бу ерда  $K_{\check{y}.юк}=1,0-1,4$ -трансформатор учун рухсат этилган ўта юкланиш коэффициенти.



1-расм. Нейтрал ерга уланган трансформатор (ТЗН)

Fig.2. Neutral Grounded Transformer (NGT)

Таъминот марказлари бўлган 220(110)/20 кВли подсансияларда нейтрални резистор орқали ерга улашда ёнгин хавфсизлиги қоидаларига асосан, қуруқ изолятсияли трансформатрлар ерга

улаш трансформатори (НЕУТ) сифатида ишлатилади. [6]га асосан, НЕУТ нинг қувватини ҳисоблаш қисқа туташувдаги куруқ трансформаторларнинг чидамлигидан келиб чикиб амалга оширилади. Қисқа туташув токи оқадиган режимда трансформаторларнинг чидамлилигига қўйилган талаблар ҳисобий токнинг қиймати, [6] асосида, ток оқишининг келтирилган вақти  $t_{\text{кmax}} = 4$  с нинг меъёрлаштирилган қийматидан келиб чикиб аниқланади.

$I_{\text{БФЕТ4}}$  нинг рухсат этилган тўрт сонияли токнинг қийматига асосланиб, нейтрални ерга улаш трансформаторининг номинал қуввати қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$S_{\text{НОМ}} = \sqrt{3} U_{\text{К}} U_{\text{НОМ}} I_{\text{БФЕТ4}} / 100 ; \quad (13)$$

бу ерда  $U_{\text{К}}$  – қисқа туташув кучланиши;  $U_{\text{НОМ}}$  – тармоқнинг номинал кучланиши.

MATLAB Simulinkда 20 кВ электр тармоқларида нейтрални ерга улашнинг симуляция моделларини яратиш учун қуйидаги асосий қадамлар амалга оширилади:

1) Тармоқ моделини тузиш – тармоқ моделини тузишда асосий блоклардан фойдаланилади, жумладан трансформаторлар, кабеллар, резисторлар ва бошқа қурилмалар. Ҳар бир блокнинг параметрлари, масалан, кучланиш, ток ва қаршилиқ симуляциянинг аниқлиги учун тўғри белгиланиши зарур.

2) Тармоқ конфигурацияси – тармоқ схемаси ва конфигурацияси, хусусан, нейтрални ерга улаш схемасини, симуляция моделига киритилади. Моделда трансформаторларнинг  $Y/\Delta$  ва  $Y/\Delta-11$  схемалари каби конфигурациялари ишлатилади.

3) Нейтрални ерга улаш схемасини созлаш – нейтрални ерга улаш учун резисторлар ва трансформаторларнинг параметрлари, жумладан уларнинг қаршилиги ва номинал кучланишлари моделга қўшилади. Бу элементлар тармоқнинг муаммоларини аниқлаш ва оптимал ечимларни ишлаб чиқишда муҳим аҳамиятга эга.

4) Қисқа туташув моделлари – тармоқдаги қисқа туташувларни моделлаш учун махсус блоклардан фойдаланилади ва уларнинг параметрлари белгилаш орқали қисқа туташувлар билан боғлиқ муаммоларни таҳлил қилиш мумкин бўлади.

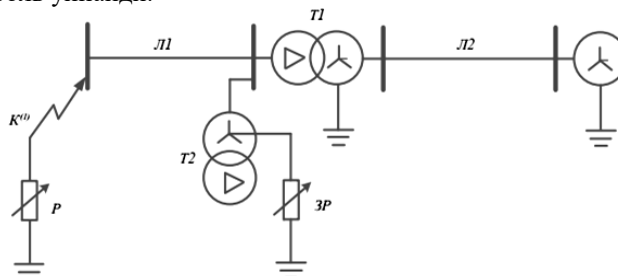
5) Ток ва кучланиш параметрлари – симуляцияда ишлатиладиган ток ва кучланиш параметрлари стандартлар ва техник шартлардан келиб чиққан ҳолда белгиланади. 20 кВ тармоқларида параметрларни аниқлашда мавжуд техник талаблар ва стандартлар ҳисобга олинади.

6) Ҳисоб-китоблар ва алгоритмлар – симуляция натижаларини тўғри ҳисоблаш учун резисторлар ва трансформаторлар учун аниқ ҳисоб-китоблар ва алгоритмлар ишлатилади.

7) Эҳтимолий хато ҳисоб-китоблар: Симуляция натижаларини аниқлашда хато ҳисоб-китоблари ёки хатоларни минималлаштириш учун тегишли ҳисоб-китоблар амалга оширилади.

8) Симуляция натижаларини таҳлил қилиш – симуляция натижаларини визуализация қилиш учун графиклар ва диаграммалардан фойдаланилади. Бу графиклар ток ва кучланишнинг вақт давомидаги ўзгаришларини кўрсатади ва моделнинг ишлашини тўлиқ тушунишга ёрдам беради [7,8].

MATLAB Simulinkда симуляция орқали электр тармоқларида нейтрални ерга улашнинг турли параметрлари ва услубларини амалий равишда таҳлил қилиш, тармоқнинг барқарорлиги ва хавфсизлигини ошириш учун зарур бўлган аниқ маълумотларни олишга ёрдам беради. Симуляция натижалари электр тармоқларини оптималлаштириш ва уларнинг ишлашини таъминлашда муҳим роль ўйнайди.



**2-расм.** Электр тармоқ нейтрални резистор орқали ерга улашнинг моделлаштирилган схемаси  
**Fig.2.** Modelled Circuit of Electrical Network Neutral Grounding through a Resistor

### 3. Натижалар (Results)

2-расмда кўрсатилган схема тузилиши асосида 20кВ ли электр тармоқларда резистор орқали нейтрални ерга улаш режими ва параметрларини тўғри танлаш учун яратилган имитацион модели MATLAB Simulink дастури орқали тадқиқот ўтказилиб бир фазали ерга туташув ҳолати ўрганилди. 3-расмда 20 кВ кучланишга эга тармоқларда нейтрални резистор орқали ерга уланган ҳолатда бир фазали ерга туташувнинг имитацион модели 2-расмда кўрсатилган схема асосида ишлаб чиқилган. 1-жадвалда, 2- расмдаги тажриба натижаларига асосланиб, турли хил номинал



тоқларга эга резисторлар учун нейтрални ерга улаш трансформаторларининг тахминий қувват қийматлари (камайтирилмаган  $U_k=8,5\%$ ) келтирилган:

Нейтрални ерга улаш трансформаторининг қувватини танлашнинг тавсия этилган усули чулғамларнинг  $Y_0/\Delta$  – 11 уланиш схемали билан ТЛС, ТСЗ ёки ТСЗФ маркали курук трансформаторлар учун амал қилади. 20 кВ кучланиш синфига  $Z_0$  схемали нол кетма-кетликдаги тоқларнинг куч филтрлари ҳозирги вақтда серияли ишлаб чиқарилмайди.

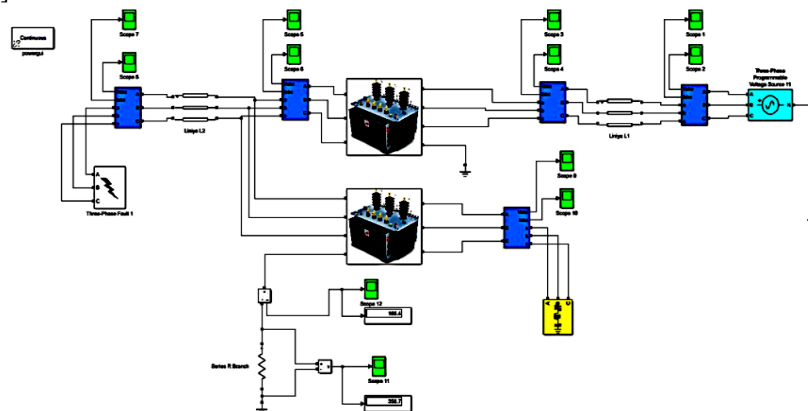
**1- жадвал.** Турли номинал тоқли резисторлар учун нейтрални ерга улаш трансформаторларининг қувват қийматлари

**Table 1.** Power values of neutral ground coupling transformers for different rated current resistors

$I_R, A$	100	150	250	400	600	800	1000
$I, A$	33,33	50,00	83,33	133,33	200,01	266,66	333,33
$I_{SPEFA}, A$	52,58	79,09	131,18	210,78	316,19	421,61	527,21
$S_{nom}, кВА$	160	250	400	630	100	1250	1600

Нейтрални ерга улаш трансформаторининг қувватини танлашнинг тавсия этилган усули чулғамларнинг  $Y_0/\Delta$  – 11 уланиш схемали билан ТЛС, ТСЗ ёки ТСЗФ маркали курук трансформаторлар учун амал қилади. 20 кВ кучланиш синфига  $Z_0$  схемали нол кетма-кетликдаги тоқларнинг куч филтрлари ҳозирги вақтда серияли ишлаб чиқарилмайди.

Нейтрални ерга улаш трансформатори ўзининг актив-индуктив қаршилигига эга, шунинг учун БФЕТ режимида резистор орқали оқадиган ток унинг номинал тоқидан 9-14% га кам бўлади. Буни ерга қисқа туташувдан тоқли ҳимоя параметрларини танлашда эътиборга олиш керак [7,8,9].



**3-расм.** 20 кВ кучланишли тармоқларда нейтрални резистор орқали ерга уланган ҳолатда бир фазали ерга туташувнинг имитацион модели

**Fig.3.** Simulation Model of a Single-Phase Ground Fault in 20 kV Networks with Neutral Grounded through the Resistor

Дастурий таҳлиллар орқали имитацион моделлардан келиб чиққан натижалар асосида қуйидаги асосий мақсадларга эришиш мумкин:

- ✓ Ишлашни оптималлаштириш: Имитацион моделлар электр тармоғининг операцион параметрларини яхшилашга ёрдам беради. Турли конфигурациялар ва ишлаш стратегияларини таҳлил қилиш орқали муҳандислар тармоқни энг яхши юк таъминотлаш, йўқотишларни камайитириш ва умумий самарадорликни ошириш мақсадида оптималлаштиришлари мумкин.

- ✓ Шикастланишларни минималлаштириш: Моделларнинг чуқур таҳлили тармоқдаги заифликларни ва хавф-хатарларни аниқлаш имконини беради. Қисқа туташувлар ёки ортиқча юк ҳолатлари каби турли шикастланиш шартларида тизимнинг қандай ишлашини тушуниш орқали, шикастланишларни олдини олиш ёки уларнинг таъсирини камайитириш учун тегишли чора-тадбирлар амалга оширилиши мумкин, бу тармоқнинг ишончилигини яхшилашга ёрдам беради.

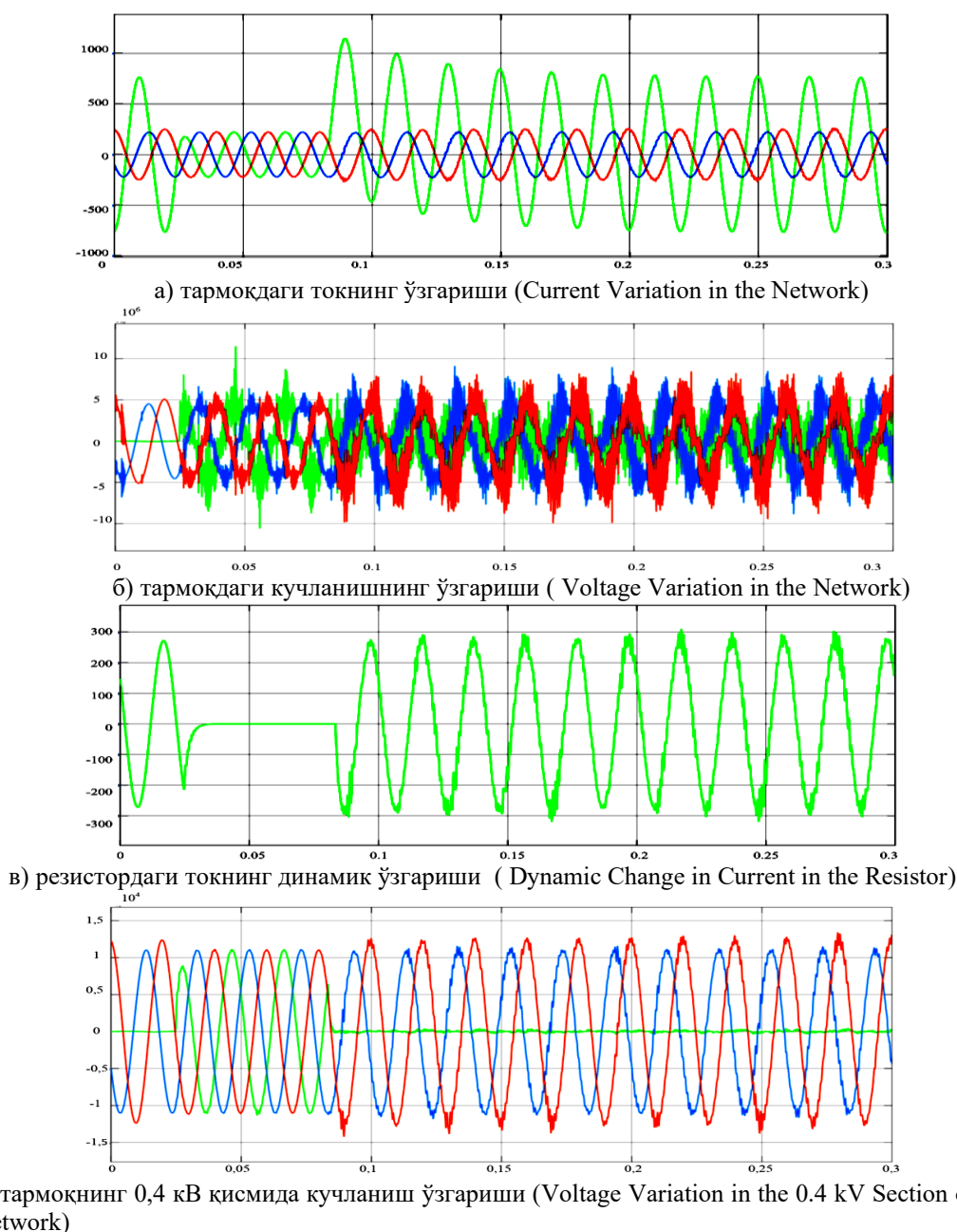
- ✓ Қўшимча аниқликка эришиш: Имитацион моделлар ҳақиқий шартларни тўғри акс эттириш имконини беради. Таҳлиллар динамик омиллар ва мураккаб ўзаро алоқаларни ўз ичига олган ҳолда, тармоқнинг турли ҳолатларда қандай ишлашини аниқ тушунишга ёрдам беради, бу эса натижаларнинг аниқлиги ва қарор қабул қилишнинг самарадорлигини оширади.

- ✓ Хавф-хатарларни баҳолаш ва минималлаштириш: Имитацион натижалар хавф-хатарларни чуқур баҳолашга ёрдам беради, шунингдек, шикастланишлар ва уларнинг

окибатларини моделлаштириш орқали самарали минималлаштириш стратегиялари ва эҳтимолий эҳтиёт чораларини ишлаб чиқишга имкон беради [8,9,10].

#### 4. Муҳокама (Discussion)

Ушбу номинал кучланиши 20 кВ бўлган тармоқда нейтрални резистор орқали ерга уланган ҳолатда бир фазали ерга туташувнинг имитацион модели тадқиқ этилган. Нейтрални резистор орқали ерга уланган тармоқларда бир фазали ерга туташувлар электр тўғрилиқларини ва химоя тизимларининг ишлашини аниқлашда муҳим аҳамиятга эга. Бир фазали ерга туташувнинг имитацион модели электр тармоғининг резистив элементлар, химоя қурилмалари ва коммутация механизмларининг таъсирини ҳисобга олади. Бу модел энергия тизимлари бўйича муҳандислар ва тадқиқотчиларга электр тармоқларидаги хато ҳолатларини башорат қилиш, тармоқ химоясини оптималлаштириш ва энергия самарадорлигини ошириш учун қўлланилади [4,11].



**3-расм.** 20 кВли тармоқда А фазанинг ер билан туташуви вақтида тармоқдаги ва ерга уланган резистордаги ток ва кучланишнинг ўзгариши

**Fig/3.** Changes in Current and Voltage in the Network and Grounding Resistor During the Earth Fault of Phase A in a 20 kV Network



3-расмда 0,3 сония вақт оралиғидаги эксперимент натижалари келтирилган бўлиб, 20 кВ электр тармоғида А фазанинг нейтрал билан ерга ерга туташув ҳолатида резистор орқали ерга уланиши симуляция орқали Matlab Simulink дастурида олинган. Ушбу тажриба графикларида тармоқдаги ток, кучланишнинг ўзгариши ва ерга уланган резистордаги токнинг динамик ўзгариши графиклари кўрсатилган. Ушбу тажриба натижалари, тармоқ нейтрални резистор орқали ерга уланган ҳолатнинг параметрларини таҳлил қилиш ва аниқлаш имконини беради. Тармоқнинг турли ҳолатларида кучланиш ва ток ўзгаришларини тажрибалар ёрдамида аниқлаш орқали нейтралнинг ерга улаш ҳолатининг оптимал параметрларини ва электр хавфсизлигини таъминлаш усулларини ўрганиш мумкин бўлди. Бу натижалар, электр тармоқларининг ишончилиги ва хавфсизлигини ошириш, шунингдек нейтрални резистор орқали ерга улаш самарадорлигини ошириш учун зарур бўлган техник тавсияларни ишлаб чиқишга имконият яратади [4,6,12].

## 5. Хулосалар (Conclusions)

20 кВ кучланишдаги электр тармоқларида нейтрални ерга улаш тизимининг хавфсизлиги резисторларнинг рухсат этилган қаршилик қийматиға мувофиқлигини таъминлаш билан боғлиқ ва бу қийматға роя қилиш электр хавфсизлигини юқори даражада таъминлайди. Резистор орқали нейтрални ерга улаш, қисқа туташув шартларида кучланишни камайтириш имконини беради. Юқори қаршиликли резисторлар ўрнатилганда эса, кучланишнинг камайиши меъёрий даражада бўлади, бу эса изоляция ва ҳимоя тизимларини сақлашда ёрдам беради. Реле ҳимояси ва автоматиканинг самарали ишлаши, резисторнинг рухсат этилган қаршилик қийматини ҳисобга олиб ўрнатилган бўлиши керак. Бир фазали қисқа туташувлар шароитида, резисторнинг қаршилик қийматини оптимал селективлик ва сезгирликни таъминлаш учун аниқлаш зарур бўлади. Резистор қаршилиги қийматини аниқлаш қисқа туташув тоқларининг юқори қийматларини ҳисобга олиб ва реле ҳимоясининг сезгирлигини таъминлаш шартини ҳисобга олиб амалга оширилиши керак.

## АДАБИЁТ

1. Аллаев К Р. Современная энергетика и перспективы ее развития / Под общей редакцией академика Салимова АУ. –Т.:Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi. – 2021. 936 с.
2. Taslimov A., Rakhimov F., Rakhimov F. Economic interval analysis of loads for selection of cross-section surfaces of electrical transmission lines //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 384. – С. 01037. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401037>.
3. A.D. Taslimov. Impact of climate change on electrical energy losses in electrical networks. E3S Web of Conf. Volume 384, 2023 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401036>.
4. Raximov F., Taslimov A., Majidov A. & Norqulov A. (2024). Optimization of losses by switching to higher voltage in distribution networks. In E3S Web of Conferences (Vol. 525, p. 03009). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452503009>.
5. Rakhmonov I., Shayumova Z., Reymov K., Nematov L. Energy efficiency indicators. AIP Conference Proceedings, Volume 3152, Issue 1, id.020002, 5 pp. <https://doi.org/10.1063/5.0218763>.
6. Methodological guidelines for grounding the neutrals of 6-35 kV networks: STP 09110.20187.09–55. – Minsk : Belenergosetproekt, 2009. – 71 p.
7. Akram N. Tovboyev, Islom B. Tog'ayev , Islombek Q. Uzoqov and G'ulom Y. Nodirov. Use of reactive power sources in improving the quality of electricity. E3S Web of Conferences 417, 03001 (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341703001> GEOTECH-2023.
8. A.N. Tovboyev, D.Sh. Mardonov, A.X. Mamatazimov and S.S. Samatova. Analysis of subharmonic oscillations in multi-phaseferroresonance circuits using a mathematical model. Journal of Physics: Conference Series 2094 (2021) 052048 <https://doi:10.1088/1742-6596/2094/5/052048>.
9. Farrukh Rakhimov. Study of reliability indicators of cable lines in rural areas. E3S Web of Conferences 525, 03014 (2024) GEOTECH-2024, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452503014>.
10. Boboqulov J., Narzullayev B. Development of a model for diagnosing rotor conditions in the parallel connection of synchronous generators with the network //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 525. – С. 06001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452506001>.
11. Lawrence J. New Solution of identification of High-Impedance Earth-fault in Sompensated MV Network / J. Lawrence, J. Handke, A. Kwapisz, W. Staszak, R. Balserek / / SIREN. – 2013.
12. Mayorov A.V. On the choice of a single-phase earth fault current in a network with a low-resistance resistive neutral grounding / A.V. Mayorov, K.A. Osintsev, A.V. Shuntov // Electricity.





## REFERENCES

1. Allaev K.R. Advanced engineering and prospects for its development // Under the general editorship of academician Shalimov A. Yu. "Science and technology nashriet-printing house". – T.: – 2021. p. 936.
2. Taslimov A., Rakhimov F., Rakhimov F. Economic interval analysis of loads for selection of cross-section surfaces of electrical transmission lines //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 384. – C. 01037. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401037> .
3. A.D. Taslimov. Impact of climate change on electrical energy losses in electrical networks. E3S Web of Conf. Volume 384, 2023 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401036>.
4. Raximov F., Taslimov A., Majidov A. & Norqulov A. (2024). Optimization of losses by switching to higher voltage in distribution networks. In E3S Web of Conferences (Vol. 525, p. 03009). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452503009>.
5. Rakhmonov I., Shayumova Z., Reymov K., Nematov L. Energy efficiency indicators. AIP Conference Proceedings, Volume 3152, Issue 1, id.020002, 5 pp. <https://doi.org/10.1063/5.0218763>
6. Methodological guidelines for grounding the neutrals of 6-35 kV networks : STP 09110.20187.09–55. – Minsk : Belenergosetproekt, 2009. – 71 p.
7. Akram N. Tovboyev, Islom B. Tog'ayev , Islombek Q. Uzoqov, and G'ulom Y. Nodirov. Use of reactive power sources in improving the quality of electricity. E3S Web of Conferences 417, 03001 (2023).
8. A.N. Tovboyev, D.Sh. Mardonov, A.X. Mamatazimov and S.S. Samatova. Analysis of subharmonic oscillations in multi-phaseferroresonance circuits using a mathematical model. Journal of Physics: Conference Series 2094 (2021) 052048 <https://doi:10.1088/1742-6596/2094/5/052048>.
9. Farrukh Rakhimov. Study of reliability indicators of cable lines inrural areas. E3S Web of Conferences 525, 03014 (2024) GEOTECH-2024, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452503014>.
10. Boboqulov J., Narzullayev B. Development of a model for diagnosing rotor conditions in the parallel connection of synchronous generators with the network //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 525. – C. 06001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452506001>.
11. Lawrence J. New Solution of identification of High-Impedance Earth-fault in Sompensated MV Network / J. Lawrence, J. Handke, A. Kwapisz, W. Staszak, R. Balserek. / SIREN. – 2013.
12. Mayorov A.V. On the choice of a single-phase earth fault current in a network with a low-resistance resistive neutral grounding / A.V. Mayorov, K.A. Osintsev, A.V. Shuntov // Electricity.