

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2025)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/TPDW7598>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/GUSI7447>

**Ж. Б. Исабеков¹, *Б. Б. Исабекова², Б. Е. Ордабаев³,
А. Б. Жантлесеова⁴, Л. Н. Есмаханова⁵**

^{1,2,3}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

⁴С. Сейфуллин атындағы Қазақ мемлекеттік университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

⁵М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті,
Қазақстан Республикасы, Тараз қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5044-3211>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5457-3490>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3730-0579>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3308-9676>

*e-mail: asbizh@mail.ru

ЖЕРГЕ ТҰЙЫҚТАЛУ ТОГЫН АНЫҚТАУДЫҢ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ӘДІСТЕРІ

Бұл жұмыста релелік қорғаныста қолданылатын оқшауланған бейтарап электр желілеріндегі жерге тұйықталу токтарын анықтаудың эксперименттік әдістері қарастырылады. Жерге тұйықталу токтарын анықтаудың дәлдігін арттыруға бағытталған әртүрлі тәсілдерге назар аударылады, бұл электр қондырғыларының қауіпсіз жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін өте маңызды. Параметрлерді бағалау, сондай-ақ олардың артықшылықтары мен шектеулерін талдау үшін желінің жұмыс кернеуін қолданатын әдістерге ерекше назар аударылады.

Қолданыстағы әдістерге шолу желіде жасанды асимметрияны құруға негізделген дәстүрлі әдістер әрқашан жеткілікті дәлдікті қамтамасыз етпейтінін анықтады. Сонымен қатар, фазалардың бірін жерге қосымша резистор арқылы жсабу әдісі қарастырылады. Бұл тәсіл желінің қорғаныс құрылғыларының жалған дабылдарын болдырмайды және сонымен бірге Жерге қатысты фазалық сыйымдылықты есептеу кезінде ескерілмейтін көптеген желі параметрлерін ескереді. Бұл әдісті релелік қорғаныста қолдану үшін ерекше тартымды етеді.

Жерге тұйықталу токтарын анықтау саласындағы әдістер мен бағыттарға жасалған бұл шолу фазаны жерге тұйықтау үшін қосымша резисторды қолдану ең тиімді шешімдердің бірі болып табылады деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс токтың сыйымдылық компонентін өтеу құрылғыларының жұмысын ескереді және осылайша жерге тұйықталу токтарын анықтаудың дәл әдісін ұсынады.

Кілтті сөздер: жерге тұйықталу тогы, эксперименттік әдістер, оқшауланған бейтарап желі, релелік қорғаныс, токтарды анықтау дәлдігі.

Кіріспе

Әлемдік тәжірибеде оқшауланған бейтарапты желідегі жерге тұйықталу токтарын анықтаудың көптеген әдістері белгілі [1; 2; 3]. Оларды жіктеудің де сипаттары баршылық. Сондай-ақ әртүрлі датчиктер мен заманауи технологияларды, мысалы, жоғары дәлдіктегі өлшеу құрылғылары мен цифрлық бақылау жүйелерін пайдалана отырып, ақаулық ток параметрлерін бағалауға мүмкіндік беретін эксперименттік тәсілдер де бар. Бұл әдістер сенімді релелік қорғанысты қамтамасыз ету және электр қондырғыларындағы апаттар қаупін азайту үшін жаңа мүмкіндіктер туғызады.

Дегенмен, релелік қорғаныс тұрғысынан бұл әдістердің ең перспективалысы өлшенетін кернеу ретінде желінің жұмыс кернеуін пайдаланатын әдістер болып табылады [4; 5; 6]. Осының негізінде оқшауланған бейтарапты желідегі жерге тұйықталу токтарын анықтау үшін төмендегі әдістерді қолдануға болады.

Материалдар мен әдістері

Ең қарапайым, сондықтан ең сенімді әдіс жерге тұйықталу тогын тікелей анықтау болып табылады. Бұл әдісте оқшауланған бейтарап симметриялы желіде фазалардың бірі жерге қосқыш арқылы жасанды түрде қосылады, бұл жерге тұйықталу тогын өлшеуге мүмкіндік береді. Бұл әдіс практикалық әсерге және ағымдағы параметрлердегі өзгерістерді тіркеуге негізделген, бұл оны жеткілікті дәл және талдауға ыңғайлы етеді.

Бұл әдіс бойынша оқшауланған бейтарап симметриялы желіде оның фазаларының бірін қосқышпен жерге қосады және жерге тұйықталу тогы I_3 өлшенеді.

Егер электр қондырғысының жерге қатысты $Z_{из}$ оқшаулау кедергісінің шамасы қажет болса, онда вольтметр мен кернеу трансформаторының көмегімен фазаның жерге қатысты кернеуі U_{ϕ} қосымша өлшенеді. Олай болса жерге қатысты электр қондырғысының фазалық оқшаулау кедергісінің шамасы

$$Z_{из} = U_{\phi} / I_z \text{ болады.} \quad (1)$$

Алайда, фазаның жерге тікелей тұйықталуы, әдетте, осы желінің релелік қорғанысының жерге тұйықталуы салдарынан өндіріс процесінің бұзылуына әкеледі. Нөлдік тізбектегі кернеуді және фазалық кернеулердің бірін өлшеу нәтижелері бойынша жерге тұйықталу тогын анықтау әдісінде бұл кемшілік болмайды [6, 47–49 бб.].

Бұл кернеулер фаза A мен жер арасында қосымша қарсылық енгізілгенге дейін және одан кейін өлшенеді. Нәтижесінде жерге бір фазалы тұйықталу тогы төмендегі формуламен анықталады:

$$I_z = \dot{U}_A / Z_{изA}, \quad (2)$$

бұл ретте қосымша өткізгіштікті A енгізу кезінде толық кедергі $Z_{изA}$, сондай-ақ оның электр қондырғысы окшауламасының белсенді $R_{из}$ және сыйымды $X_{с,из}$ құрамдас бөліктері келесі түрде жүзеге асырылады

$$Z_{изA} = Z_{\partial A} \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_{0e}}{\dot{U}_{0и} - \dot{U}_{0e}} = R_{из} - jX_{с,из} \quad (3)$$

мұнда U_A – значение вектора напряжения фазы A желісінің кернеу векторының мәні, B ;

$U_{0и}$ – қосымша қарсылықты қосқаннан кейінгі бейтарап кернеудің орын ауыстыру векторының мәні.

Дегенмен, окшауланған бейтарап желілер әдетте жерге қатыстылғы тұрғысынан бейасимметриялы. Бұл, мысалы, сызықтардың фазалық өткізгіштерінің ұзындығының теңсіздігінен және фазалық өткізгіштердің жерден әр түрлі қашықтығынан туындайды. Нәтижесінде электр қондырғысының нөлдік нүктесі мен жер арасында бейтараптың табиғи кернеуінің орын ауыстыруы U_{0e} пайда болады. Бұл жағдайда

$$Z_{изA} = Z_{\partial A} \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_{0e}}{\dot{U}_{0и} - \dot{U}_{0e}} = R_{из} - jX_{с,из} \quad (4)$$

Бірақ бұл әдісті қолдану шектеулі. Өте жоғары дәлдікпен бұл әдіс $0 < U_{0e} < 0,25 U_{\phi}$ болған жағдайда ғана қолданылады. Бейтараптылық пен жер арасында қосымша қарсылық $Z_{\partial 0}$ енгізілгенде ғана, бұл аймақты кеңейтуге болады. Нәтижесінде

$$Z_{из} = Z_{\partial 0} \frac{\dot{U}_{0e} - \dot{U}_{0и}}{\dot{U}_{0и}} \quad (5)$$

болады, ал қолдану саласы $0,25 U_{\phi} < U_{0e} < 0,5 U_{\phi}$ мәніне дейін кеңейтіледі.

Мұндай жағдайларда жерге тұйықталу тогын анықтау үшін нөлдік тізбектегі кернеу мен ток модульдерін өлшейтін әдісті қолдану ыңғайлы [7, 156-162 бб.].

Бұл әдісті жүзеге асыру үшін үш фазалы трансформатор қолданылады, онда бейтараптың орын ауыстыру кернеуі U_{0e} және нөлдік тізбектің тогы I_{0e} дәйекті түрде өлшенеді. Электр қондырғысының жерге қатысты оқшаулауының толық кедергісі және жерге тұйықталу тогы төмендегідей анықталады

$$Z_{из} = \frac{U_{0e}}{I_{0e}} = \frac{R_{из} X_{из}}{\sqrt{R_{из}^2 + X_{из}^2}} \quad \text{и} \quad I_z = U_{\phi} \dot{I}_{0e} / \dot{U}_{0e} \quad (6)$$

Жерге тұйықталу тогының компоненттерін, сондай-ақ толық кедергінің $Z_{из}$ ыдырауын анықтау үшін $R_{и}$ және $X_{из}$ құрамасы және келесі қосымша өлшемдер жасалуы керек. Амперметрмен тізбектей жалғанған X_{∂} белгілі сыйымдылықты немесе R_{∂} белсенді кедергіні қосу кезінде U_X немесе U_R кернеулері жасанды нөлдік нүкте мен жер арасында өлшенеді. Бұл жағдайда осы амперметрдің көрсеткіштері I_X немесе I_R токтары түрінде жазылады. I_X немесе I_R токтарын және Z_X немесе Z_R кернеуді өлшеу нәтижелері бойынша толық қарсылық ретінде анықталады

$$Z_X = \frac{U_X}{I_X} = \sqrt{Z_{из}^2 + \frac{2Z_{из}^2}{X_{из}^2} X_{\partial} + X_{\partial}^2} \quad \text{и} \quad (7)$$

$$Z_R = \frac{U_R}{I_R} = \sqrt{Z_{из}^2 + \frac{2Z_{из}^2}{X_{из}^2} R_{\partial} + R_{\partial}^2}$$

Оқшаулау кедергісінің құрамдас бөліктерінің $R_{из}$ және $X_{из}$, сондай-ақ оларға сәйкес келетін токтардың шамалары келесі формулалары бойынша анықталады [7, 156–162 бб.].

Әдісі жерге тұйықталу тогын [8, 98 б.] және жерге қатысты электр қондырғысының оқшаулау кедергісін барлық үш фазаның тізбегі бойынша L_{∂} дроссель арқылы жерге тұйықталу кезіндегі нөлдік тізбектегі кернеу мен токтарды өлшеу нәтижелері бойынша анықтауға негізделген. Және [9, 122 б.] әдістерінің дамуы болып табылады.

Сәйкес бұл әдіс [8, 98 б.] U_{0A} , U_{0B} және U_{0C} кернеулерінің орташа мәндерін және дроссель арқылы өтетін $I_{\partial pA}$, $I_{\partial pB}$ және $I_{\partial pC}$ токтардағы бейтараптың орын ауыстыруын және оны желінің А, В және С фазаларына кезек-кезек қосуды ұсынады.

Нәтижесінде, бейтараптың орын ауыстыру кернеулерінің орташа мәні және оны желінің тиісті фазаларына қосқан кезде индуктивтілік арқылы өтетін токтар

$$U_{0cp} = \frac{U_{0A} + U_{0B} + U_{0C}}{3} \text{ және } I_{cp, \partial p} = \frac{I_{\partial pA} + I_{\partial pB} + I_{\partial pC}}{3}.$$

Олай болса, электр қондырғысының оқшаулау кедергісінің шамасын төмендегідей есептеуге болады.

$$Z_{из} = \frac{U_{\partial p}}{I_{\partial p, cp}}, \text{ где } U_{\partial p} = \frac{U_{0cp} \times 100}{100 + b\%}; \quad (8)$$

b – желі фазасы мен жер арасындағы индуктивтіліктің пайызбен қосылуына байланысты орын ауыстыру кернеуінің шамасын анықтаудағы ақау.

Бұл жағдайда жерге тұйықталу тогы

$$I_3 = \dot{U}_A / Z_{из}. \quad (9)$$

Нәтижелер және талқылау

Әдісі электр қондырғысының А фазасы [10, 60-70 бб.] мен қосымша сыйымдылықтағы C_d жер арасындағы қосылымға дейін және кейін сызықтық кернеуді U_{BC} , сондай-ақ жерге қатысты фазалық кернеуді өлшеуге негізделген. Өлшенетін кернеулер тоқ таратылатын желідегі фазалардың тікелей ауысуы кезінде жүзеге асырылады 6–10 кВ U_A , U_B және U_C болып, ал фазалардың кері ауысуы – U_A , U_B және U_C болып белгіленеді.

Өлшеу нәтижелері бойынша желіні оқшаулау өткізгіштігінің жиынтық белсенді компоненті

$$g_{\Sigma} = \frac{1}{r_{\Sigma}} = \frac{\omega C_d (da' - d'a)}{(a - a')^2 + (d - d')^2} \quad (10)$$

болады, ал жерге қатысты электр желісінің фазаларының жалпы сыйымдылығы

$$C_{\Sigma} = \frac{C_o[a'(a-a')+(d-d')]}{(a-a')^2+(d-d')^2} \quad (11)$$

болады, $a = \frac{2U_A^2 - (U_B^2 + U_C^2)}{6U_{\phi}} + U_{\phi}$ мұндағы және;

$$d = \frac{U_c^2 - U_d^2}{2\sqrt{3}U_{\phi}} \text{ және } ' = \frac{U_c'^2 - U_d'^2}{2\sqrt{3}U_{\phi}}.$$

Егер қосымша сыйымдылықтың орнына R_o резисторы қолданылса, онда желінің оқшаулау өткізгіштігінің жалпы белсенді компоненті және оның жерге қатысты фазаларының жалпы сыйымдылығы сәйкесінше тең болады

$$g_{\Sigma} = \frac{1}{r_{\Sigma}} = \frac{a'(a-a') + d(d-d')}{R_d(a-a')^2 + (d-d')^2} \text{ және } C_{\Sigma} = \frac{1}{R_d} = \frac{d'(a'-a) + a'(d'-d)}{(a-a')^2 + (d-d')^2}. \quad (12)$$

Жоғарыда көрсетілгендей желінің табиғи асимметриясы болған кезде нөлдік тізбектегі кернеуді төмендегі формуламен көрсетуге болады

$$\dot{U}_0 = \dot{U}_{0e} + \dot{U}_{0и}. \quad (13)$$

Бұл жағдайда бейтараптың табиғи орын ауыстыру U_{0e} кернеуі тек C_A , C_B және C_C сыйымдылықтарының, А, В және С фазаларының және жерге қатысты табиғи асимметриясына байланысты деп саналады. Бейтараптың жасанды орын ауыстыруы $U_{0и}$ кез-келген фазалар мен C_o қосымша сыйымдылықтағы жер арасында қосылады.

Шынында да, C_o қосымша сыйымдылықты қосу, мысалы, желінің А фазасына U'_A , U'_B , U'_C кернеулерін, желінің жерге қатысты фазаларын, U_0 бейтараптың орын ауыстыру кернеуін және А фазасының тұйықталу тогы арасындағы φ бұрышты жерге және қосымша сыйымдылық пен U'_{BC} фазааралық кернеу арқылы өзгертеді.

Кернеу әдісін жүзеге асыру кезінде U'_A , U'_B , U'_C және U'_{BC} кернеуді өлшеу трансформаторының бірінші екіншілік жағында, ал кернеу U_0 ашық үшбұрыштың схемасы бойынша қосылған екінші қысқышта өлшенеді

Нәтижесінде жерге қатысты желінің сыйымдылығын анықтау үшін

$$C_{из} = C_o \left(\frac{U_{\phi} k_{mn}}{U'_0 k'_{mn}} - 1 \right), \quad (14)$$

мұнда U_{ϕ} – қалыпты режимдегі кернеуді өлшеу трансформаторының фазалық терминалдарындағы екіншілік кернеу, В;

k_{mn} – кернеу трансформаторының трансформация коэффициенті;

k'_{mi} өлшеу кезіндегі кернеу трансформаторының трансформация коэффициенті U_0

Әдістің ақаулығын азайту үшін қосымша сыйымдылықтың мөлшері төмендегідей анықталады. Бастапқыда желінің қалыпты жұмыс режимінде фазалық кернеулер өлшенеді және орташа мән U_ϕ есептеледі. Содан кейін бейтараптың табиғи орын ауыстыру кернеуін U_{0e} өлшейді және параметрдің ең төменгі рұқсат етілген мәнін k_c келесідей анықтайды

$$k_{c\min} = \frac{1,05 U_{0e}}{0,05 U_\phi - U_{0e}} \quad (15)$$

Әуе және кабель желілерінің белгілі ұзындықтары бойынша [10] жерге тұйықталу тогының болжамды шамасын I_{cn} есептейді және шарт бойынша қосымша сыйымдылықтың болжамды шамасы C_o анықталады.

$$\frac{k_{c\min} I_{cn}}{\omega U_\phi} < C_o < \frac{I_{cn}}{\omega U_\phi} \quad (16)$$

Қорыта айтқанда, емкость величиной C_o көлеміндегі сыйымдылықты желінің фазаларының біріне қосып, U_{0u} бейтараптың жасанды орын ауыстыру кернеуін өлшейді. Жерге және жерге тұйықталу тогына қатысты желі сыйымдылығының шамасы $C_{из}$ (14 және 1) формулалар бойынша есептеледі.

Қаржыландыру туралы ақпарат.

Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (грант №AP23486411).

Қорытынды

Релелік қорғаныс мақсатында жерге тұйықталу токтарын анықтау саласындағы негізгі үрдістерге жасалған бұл шолу жерге тұйықталу тогын жанама анықтау үшін желіде жасанды асимметрия құру жоғары дәлдікті қамтамасыз ете алмайды деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қосымша резистор арқылы фазадан жерге қысқа тұйықталу, бір жағынан, осы желінің «жер» қорғанысының жалған жұмысына әкелмейді, ал екінші жағынан, желілік фазалардың жерге қатысты сыйымдылығын есептеу кезінде ескеру мүмкін емес көптеген желі элементтерін ескереді. Егер жерге тұйықталу тогының сыйымдылық құрамдас бөлігін өтеуге арналған құрылғылардың жұмысын ескеретін болсақ, онда бұл қазіргі уақытта бұл мәселені шешудің ең шынайы әдістерінің бірі болып табылады.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Валов, В. Н., Ширковец, А. И., Ильных, М. В., Хадыев, И. Г., Макарьев, А. О.** Определение тока однофазного замыкания на землю на основе натурного эксперимента с осциллографированием. // Релейная защита и автоматизация. – 2021. – № 3. – С. 104–113.

2 **Щуцкий, В. И., Гущин, Н. Я.** Методика исследования состояния изоляции сетей 6 кВ // Безопасность труда в промышленности. – 1973. – № 10. – С. 47–49.

3 **Важов, В. Ф., Лавринович, В. А.** Техника высоких напряжений / Учебник для бакалавров направления 140200 «Электроэнергетика» – ТПУ, 2014. – 263 с.

4 **Шалин, А. И., Политов, Е. Н.** Анализ характеристик направленных защит от замыканий на землю в сетях 6–35 кВ / Энергетика : экология, надежность, безопасность. Материалы докладов восьмой всероссийской научно-технической конференции. – Томск : изд-во ТПУ, 2002. – Том 2. – С. 35–39.

5 **Гладилин, Л. В., Карелин, В. И.** Измерение сопротивления изоляции карьерных распределительных электрических сетей и установок напряжением 6–35 кВ. // Изв. вузов. Горный журнал. – 1974. – №10. – С. 156–162.

6 **Лурье, А. И.** Электрические измерения в сетях сильного тока. – Л-М. : Госэнергоиздат, 1948. – 384 с.

7 **Цапенко, Е. Ф.** Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 128 с.

8 **Новожилов, А. Н., Исабеков, Ж. Б., Новожилов, Т. А.** Конфигурация кабельных электрических сетей 6-10 кВ // Вестник ПГУ. Серия Энергетическая. – 2017. – № 3. – С. 107–115.

9 **Новожилов, А. Н., Исабеков, Ж. Б.** Повышение надежности работы кабельных сетей при однофазных замыканиях на землю // Вестник ПГУ. Серия Энергетическая. – 2015. – № 3. – С. 88–97.

10 **Issabekov, Zh. B., Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A., Issabekova, B. B.** Protection of a two-cable line from single phase-to-earth fault with absolute selectivity. // NEWS of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of geology and technical sciences. – 2018. – V.5 (431). – P. 128–132.

REFERENCES

1 **Valov, V. N., Shirkovecz, A. I., Il'iny`x, M. V., Xady`ev, I. G., Makar`ev, A. O..** Opredelenie toka odnofaznogo zamy`kaniya na zemlyu na osnove naturnogo e`ksperimenta s oscillografirovaniem. [Determination of the single-phase earth fault current based on a field experiment with oscillography.] // Relay protection and automation. – 2021. – No. 3. – P. 104–113.

2 **Shhuczkij, V. I., Gushhin, N. Ya.** Metodika issledovaniya sostoyaniya izolyacii setej 6 kV [Methodology for studying the state of insulation of 6 kV networks] // Occupational safety in industry. – 1973 – No. 10 – P. 47–49.

3 **Vazhov, V. F., Lavrinovich, V. A.** Texnika vy`sokix napryazhenij [High voltage engineering] / Textbook for bachelors of the direction 140200 «Electric power engineering». 2014. – 263 p.

4 **Shalin, A. I., Politov, E. N.** Analiz xarakteristik napravlenny`x zashhit ot zamy`kanij na zemlyu v setyax 6–35 kV [Analysis of the characteristics of directional earth fault protection in 6–35 kV networks] // Energy: ecology, reliability, safety. Materials of the reports of the eighth All-Russian scientific and technical conference. Tomsk: TPU Publishing House, 2002. – Vol. 2. – P. 35–39.

5 **Gladilin, L. V., Karelin, V. I.** Izmerenie soprotivleniya izolyacii kar`erny`x raspreditel`ny`x e`lektricheskix setej i ustanovok napryazheniem 6–35 kV [Measurement of insulation resistance of quarry distribution electric networks and installations with a voltage of 6–35 kV.]. // Izv. vuzov. Mining journal. – 1974 – No. 10 – P. 156–162.

6 **Lur`e, A. I.** E`lektricheskije izmereniya v setyax sil`nogo toka [Electrical measurements in high current networks.] – L.-M.: Gosenergoizdat, 1948. – 384 p.

7 **Czapenko, E. F.** Zamy`kaniya na zemlyu v setyax 6–35 kV [Earth faults in 6–35 kV networks.]. – M. : Energoatomizdat, 1986. – 128 p.

8 **Novozhilov, A. N., Issabekov, Zh. B., Novozhilov, T. A.** Konfiguraciya kabel`ny`x e`lektricheskix setej 6–10 kV [Configuration of 6–10 kV cable electric networks] // Bulletin of PSU. The series is Energetic. – 2017. – No. 3. – P. 107–115.

9 **Novozhilov, A. N., Issabekov, Zh. B.** Povy`shenie nadezhnosti raboty` kabel`ny`x setej pri odnofazny`x zamy`kanij na zemlyu [Improving the reliability of cable networks with single-phase earth faults] // Bulletin of PSU. The series is Energetic. – 2015. – No. 3. – P. 88–97.

10 **Issabekov, Z. B., Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A., Issabekova, B. B.** Protection of a two-cable line from single phase-to-earth fault with absolute selectivity. // NEWS of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of geology and technical sciences. – 2018. – V.5 (431). – P. 128–132.

09.11.24 ж. баспаға түсті.

08.04.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.09.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Ж. Б. Исабеков¹, *Б. Б. Исабекова², Б. Е. Ордабаев³,*

А. Б. Жантлесева⁴, Л. Н. Есмаханова⁵

^{1,2,3}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

⁴Казахский государственный университет имени С. Сейфуллина,

Республика Казахстан, г. Астана;

⁵Таразский университет имени М. Х. Дулати,

Республика Казахстан, г. Тараз.

Поступило в редакцию 09.11.24.

Поступило с исправлениями 08.04.25.

Принято в печать 05.09.25.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

В данной работе рассматриваются экспериментальные методы определения токов замыкания на землю в электрических сетях с изолированной нейтралью, используемые в релейной защите. Внимание уделено различным подходам, направленным на повышение точности определения токов замыкания на землю, что особенно важно для обеспечения безопасной работы электроустановок. Особое внимание уделено методам, использующим рабочее напряжение сети для оценки параметров, а также анализу их преимуществ и ограничений.

Обзор существующих методов выявил, что традиционные способы, основанные на создании искусственной несимметрии в сети, не всегда обеспечивают достаточную точность. В качестве альтернативы рассматривается метод замыкания одной из фаз на землю через дополнительный резистор. Такой подход позволяет избежать ложных срабатываний защитных устройств сети и одновременно учитывать многочисленные параметры сети, которые невозможно учесть при расчетах фазной емкости по отношению к земле. Это делает метод особенно привлекательным для использования в релейной защите.

Этот обзор методов и направлений в области определения токов замыкания на землю позволяет сделать вывод, что применение дополнительного резистора для замыкания фазы на землю является одним из наиболее эффективных решений. Данный метод учитывает работу устройств компенсации емкостной составляющей тока и, таким образом, предоставляет более точный способ определения токов замыкания на землю.

Ключевые слова: ток замыкания на землю, экспериментальные методы, сеть с изолированной нейтралью, релейная защита, точность определения токов.

Zh. B. Issabekov¹, *B. B. Issabekova², B. Y. Ordabayev³,

*A. B. Zhantlessova⁴, L. Yesmakhanova⁵

^{1,2,3}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

⁴Kazakh State University named after S. Seifullin,

Republic of Kazakhstan, Astana;

⁵M. Kh. Dulaty Taraz University, Republic of Kazakhstan, Taraz.

Received 09.11.24.

Received in revised form 08.04.25.

Accepted for publication 05.09.25.

EXPERIMENTAL METHODS FOR DETERMINING THE EARTH FAULT CURRENT

This paper discusses experimental methods for determining ground fault currents in electrical networks with an isolated neutral used in relay protection. Attention is paid to various approaches aimed at improving the accuracy of determining ground fault currents, which is especially important to ensure the safe operation of electrical installations. Special attention is paid to methods that use the operating voltage of the network to evaluate parameters, as well as to analyze their advantages and limitations.

A review of existing methods has revealed that traditional methods based on creating artificial asymmetry in the network do not always provide sufficient accuracy. As an alternative, the method of closing one of the phases to the ground through an additional resistor is considered. This approach allows you to avoid false alarms of network protection devices and at the same time take into account numerous network parameters that cannot be taken into account when calculating the phase capacitance relative to the ground. This makes the method particularly attractive for use in relay protection.

This review of methods and directions in the field of determining ground fault currents allows us to conclude that the use of an additional resistor for phase closure to ground is one of the most effective solutions. This method takes into account the operation of devices for compensating the capacitive component of the current and, thus, provides a more accurate way to determine ground fault currents.

Keywords: earth fault current, experimental methods, network with isolated neutral, relay protection, accuracy of current detection

Теруге 09.09.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4447

Сдано в набор 09.09.2025 г. Подписано в печать 30.09.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4447

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz