

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

№ 2 (2024)

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/ZSHT7059>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.,

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора
Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*
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>
Омарова А.Р.	<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

МРНТИ 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/VINY7625>***Б. Е. Машрапов, М. Я. Клецель, Р. М. Машрапова**

Торайгыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

*e-mail: bokamashrapov@mail.ru

КЕРІ ТІЗБЕКТЕГІ ТОКТАРДЫ БАҚЫЛАУМЕН ТОКТЫҚ ҚОРҒАНЫСҚА АРНАЛҒАН ӨЛШЕУ ОРГАНЫ

Дәстүрлі ток трансформаторларын пайдаланбай қорғаныс құру электр энергетикасының өзекті мәселелерінің бірін шешуге мүмкіндік беретіні атап өтілді. Тең бүйірлі үшбұрыштың төбелерінде орналасқан фазалардың ток өткізгіштері бар электр қондырғылары үшін геркондар мен индуктивтілік катушкалары негізіндегі тоқтық қорғаныс үшін өлшеу органы ұсынылған. Геркондар мен индуктивтілік катушкалары электр қондырғысының фазаларының ток өткізгіштеріндегі токтардың магнит өрісінде олардың колденең қимасы жазықтығында қауіпсіз қашықтықта орналасады. Геркон үш фазалы қысқа тұйықталу токтарын анықтау үшін, ал индуктивтілік катушкаларындағы электр қозғаушы күші кері тізбектегі токтардың сүзгісін құру үшін қолданылатыны көрсетілген. Өлшеу органының сызбасы және геркондар мен индуктивтілік катушкаларын орнату координаталарын, сондай-ақ кері тізбектегі токтардың сүзгі сұлбасының элементтерінің параметрлерін анықтау әдістемесі ұсынылған. Өлшеу органының жұмыс істеу сенімділігін қамтамасыз ету үшін ол ақаулықтардың кіріктірілген функционалды диагностикасымен жабдықталған. Диагностика индуктивтілік катушкаларының шықпаларындағы кернеулерді және геркондардың түйіспелерінің тұйықталған күйінің уақытын бақылау арқылы жүзеге асырылады. Ұсынылған өлшеу органының беталысы әртүрлі режимдерде, сондай-ақ диагностиканың қалай

жүзеге асырылатындығы және оны орындау барысында қандай ақаулар анықталатыны егжей-тегжейлі қарастырылған.

Кілтті сөздер: қорғаныс, өлшеу органы, геркон, индуктивтілік катушкасы, кері тізбек тоғы.

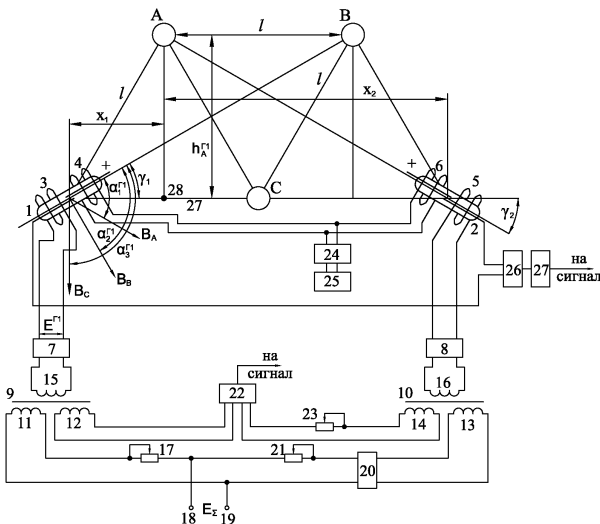
Кіріспе

Токтық қорғаныстар кернеуі 6-110 кВ электр қондырғыларында (ЭҚ) қолданылатын қысқа тұйықталудан ең көп таралған қорғанысы болып табылады. Жағдайлардың басым көпшілігінде олардың өлшеу органдары ЭҚ-ның шиналарындағы токтар туралы ақпаратты ферромагниттік өзектері бар дәстүрлі ток трансформаторларынан (ТТ) алады. Бұл ТТ-ларында бірқатар белгілі кемшіліктер бар [1; 2; 3], бұл ғылыми отырыстарда оларды өте кішігірім ток датчиктерімен ауыстыру қажеттілігі туралы мәселесі бірнеше рет көтерілді. Қазіргі уақытта релелік қорғаныс құрылғыларын құруға арналған осындай датчиктер ретінде: геркондар [4; 5], Роговский катушкалары [2; 3; 6], Холл датчиктері [7] және индуктивтілік катушкалары (ИК) [8] ұсынылады. Біз геркондар мен ИК-ларын келесі себептер бойынша таңдадық: геркондар бір уақытта ток датчигінің, ток релесінің және аналогты-цифрлық түрлендіргіштің функцияларын орындай алады, ИК-сы Роговский катушкасымен салыстырғанда жоғары вольтты оқшаулауды қажет етпейді, өйткені олар геркондар сияқты қауіпсіз қашықтықта бекітілуі мүмкін. Олардың негізінде кері тізбектегі токтарды бақылайтын ток қорғанысын орындаудың бірнеше нұсқалары ұсынылған [9], бірақ жұмыс істеу сенімділігін арттыру мәселелері қарастырылмаған. Бұл жұмыста тең бүйірлі үшбұрыштың төбелерінде орналасқан фазалардың ток өткізгіштері бар ЭҚ үшін ақаулықтардың кіріктірілген диагностикасымен геркондар мен ИК-сы негізінде өлшеу органын орындау мүмкіндігі ұсынылады.

Материалдар мен әдістер

Ұсынылған өлшеу органында [10] (1-сурет) 1 және 2 геркондар 3, 4 және 5, 6 орамдарымен бар. 7 және 8 күшейткіштер 3 және 5 орамдарға қосылған. 11, 12 және 13, 14 қайталама орамдары бар 9 және 10 бөлу трансформаторлары 15 және 16 бастапқы орамаларымен 7 және 8 күшейткіштерге қосылған. 9 бөлу трансформаторының 11 қайталама орамасы 17 резистор арқылы 18 және 19 шықпа қысқыштарына қосылған,

оларға 20 фазалық айналмалы сұлбасы және резистор 21 арқылы 10 бөлу трансформаторының қайталама орамасы 13 қосылған. 9 бөлу трансформаторының 12 қайталама орамасы 22 нөл индикаторға қосылған. 10 бөлу трансформаторының 14 қайталама орамасы резистор 23 арқылы 22 нөл индикаторына қосылған, оның шықпасы дабыл тізбегіне қосылған. Кернеуді реттеу блогы 24 кірістерімен тұрақты кернеудің көзіне 25, ал шықпаларымен 4 және 6 орамаларға қосылған. 1 және 2 геркондарының түйіспелері НЕМЕСЕ 26 элементінің кірісіне және үш фазалы қысқа тұйықталудан қорғаудың логикалық бөлігіне қосылған (1-суретте көрсетілмеген). 27 уақыт релесі кірісімен НЕМЕСЕ 26 элементінің шығысына, ал шығысымен дабыл тізбегіне қосылған. Геркондар үш фазалы ҚТ токтарын анықтау үшін, ал ИК кері тізбектегі токтар сүзгісін құру үшін қолданылады.



Сурет 1 – Қорғаныс құрылғысын ЖТҚ ішкі құрылымдық элементтеріне бекіту және оның элементтерін қосу сұлбасы

Геркондар 1 және 2 үшбұрыштың төбелері бойымен орналасқан А, В, С фазаларының ток өткізгіштерінің жанында, 1 герконның бойлық осі А фазасының ток өткізгішін В фазасының ток өткізгішімен және В фазасының ток өткізгішін С фазасының ток өткізгішімен қосатын сызықтар арасындағы бұрыштың биссектрисасымен сәйкес келетін, ал 2 герконның

бойлық осі В фазасының ток өткізгіштерін А фазасының ток өткізгішімен және А фазасының ток өткізгішін осы жазықтықтағы С фазасының ток өткізгішімен байланыстыратын сызықтар арасындағы бұрыштың биссектрисасымен сәйкес келетін, қауіпсіз қашықтықта орнатылады. Олардың орналасуы С фазасы мен геркондардың ауырлық центрлері арқылы өтетін 27 көлденең сызықтан ток өткізгіштерге дейінгі $h_A^{r1} = h_B^{r1} = h_A^{r2} = h_B^{r2}$ және $h_C^{r1} = h_C^{r2} = 0$ арақашықтықтармен, сондай-ақ А фазасының ток өткізгіші мен сызық 27 арқылы өтетін вертикальдың қиылысу 28 нүктесінен 1, 2 геркондардың ауырлық центрлеріне дейінгі x_1, x_2 арақашықтықтармен және сәйкесінше сызық 27 мен геркондардың бойлық осьтері арасындағы γ_1, γ_2 бұрыштарымен анықталады. $x_1 (x_2)$ арақашықтығы және $\gamma_1 (\gamma_2)$ бұрышы 1 (2) герконына тек А және С (В және С) фазаларының тогымен құрылған магнит өрісі әрекет ететіндей етіп таңдалады. Мұны істеу үшін 1 герконның бойлық осі бойымен оған әсер ететін магнит өрісінің тиісті B_{np} индукциясы үшін өрнекті қарастырамыз

$$B_{np} = B_A \cos \alpha_1 + B_B \cos \alpha_2 + B_C \cos \alpha_3 = \mu_0 (g_A I_A + g_B I_B + g_C I_C) / 2\pi, \quad (1)$$

мұндағы B_A, B_B, B_C – герконды орнату жеріндегі А, В, С фазаларының токтарынан магнит өрістерінің индукциялары; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – геркон осі мен B_A, B_B, B_C арасындағы сәйкесінше бұрыштар; μ_0 – ауаның магниттік өткізгіштігі; I_A, I_B, I_C – А, В, С фазаларындағы токтар; g_A, g_B, g_C – өткізгіштегі токтан өрістің кернеулігін анықтау үшін элементарлық геометрия және Био-Савар-Лаплас заңы арқылы алынған коэффициенттер:

$$\begin{aligned} g_A &= (h_A^{r1} \cos \gamma_1 + x_1 \sin \gamma_1) / \left((h_A^{r1})^2 + (x_1)^2 \right); \\ g_B &= (h_B^{r1} \cos \gamma_2 + (x_2 - d) \sin \gamma_2) / \left((h_B^{r1})^2 + (x_2 - d)^2 \right); \\ g_C &= (h_C^{r1} \cos \gamma_3 + (x_2 - 0,5d) \sin \gamma_3) / \left((h_C^{r1})^2 + (x_3 - 0,5d)^2 \right), \end{aligned} \quad (2)$$

мұндағы d – көршілес фазалардың өткізгіштері арасындағы қашықтық.

Сүзгіні құру үшін 1 (2) герконы А және С (В және С) фазаларының ток айырмасына әсер етуі керек, яғни:

$$\begin{aligned} B_{np}^{\Gamma 1} &= \mu_0 g_A^{\Gamma 1} (I_A - I_C) / 2\pi; \\ B_{np}^{\Gamma 2} &= \mu_0 g_B^{\Gamma 2} (I_B - I_C) / 2\pi; \end{aligned} \quad (3)$$

мұндағы $B_{np}^{\Gamma 1}$ және $B_{np}^{\Gamma 2}$ – кері тізбектегі токтарды окшаулау үшін қажет, 1 және 2 геркондардың бойлық осьтері бойындағы магниттік индукциялар. (3) формулалар (1)-ден келесі шарттарда алынады:

$$g_A^{\Gamma 1} = -g_C^{\Gamma 1}; g_B^{\Gamma 1} = 0; g_B^{\Gamma 2} = -g_C^{\Gamma 2}; g_A^{\Gamma 2} = 0. \quad (4)$$

B_{np} жасайтын F ағыны геркон орамасында электр қозғаушы күш (ЭҚК) тудырады. Сондықтан геркондардың координаталарын (3)-тен табамыз.

Геркон 1 үшін, мысалы 110 кВ электр қондырғысы үшін, қарапайым геометрияны қолдана отырып және $x_1 = -0,5$ м мен $\gamma_1 = 30^0$ ескере отырып, А

$$\text{фазасы үшін } h_A^{\Gamma 1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ м, } g_A^{\Gamma 1} = \frac{(h_A^{\Gamma 1} \cos \gamma_1 + x_1 \sin \gamma_1)}{\left((h_A^{\Gamma 1})^2 + (x_1)^2 \right)} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 0,5 \cdot \frac{1}{2}}{0,75 + 0,25} = 0,5 \text{ м, В фазасы}$$

$$\text{үшін } h_B^{\Gamma 1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ м: } g_B^{\Gamma 1} = \frac{(h_B^{\Gamma 1} \cos \gamma_1 + (x_1 - d) \sin \gamma_1)}{\left((h_B^{\Gamma 1})^2 + (x_1 - d)^2 \right)} = 0 \text{ м, С фазасы үшін}$$

$$h_C^{\Gamma 1} = 0 \text{ м: } g_C^{\Gamma 1} = \frac{(h_C^{\Gamma 1} \cos \gamma_1 + (x_1 - 0,5d) \sin \gamma_1)}{\left((h_C^{\Gamma 1})^2 + (x_1 - 0,5d)^2 \right)} = -0,5 \text{ м.}$$

$$\text{Геркон 2 үшін } x_2 = 1,5 \text{ м, } \gamma_2 = -30^0, h_A^{\Gamma 2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ м, } h_B^{\Gamma 2} = 0 \text{ м, } h_C^{\Gamma 2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\text{координаталарымен А фазасы үшін: } g_A^{\Gamma 2} = \frac{(h_A^{\Gamma 2} \cos \gamma_2 + x_2 \sin \gamma_2)}{\left((h_A^{\Gamma 2})^2 + (x_2)^2 \right)} = 0 \text{ м. В}$$

және С фазалары үшін коэффициенттердің мәндері аналогиялық түрде есептелінеді: $g_B^{\Gamma 2} = 0,5 \text{ м; } g_C^{\Gamma 2} = -0,5 \text{ м.}$

А және С фазаларының $I_A - I_C$ токтар айырмасы магнит өрісінің $B_{np}^{\Gamma 1} = \mu_0 g_A^{\Gamma 1} (I_A - I_C) / 2\pi = K_1 (I_A - I_C)$ индукциясын тудырады. $\Phi^{\Gamma 1}$ магнит

ағыны геркон орамасының S көлденең ауданы арқылы $B_{np}^{\Gamma 1}$ магниттік индукция векторының ағыны болып табылады, яғни $\Phi^{\Gamma 1} = \int_S \overline{B_{np}^{\Gamma 1}} d\overline{S} = K_2 B_{np}^{\Gamma 1}$.

Φ магнит ағыны 3 орамасында $\Phi^{\Gamma 1}$ қатысты $\pi/2$ -ге жылжытылған ЭҚК $E^{\Gamma 1} = -d\Phi^{\Gamma 1}/dt = K_3 \Phi^{\Gamma 1}$ тудырады. $E^{\Gamma 1}$ күшейткішпен 7 күшейтіледі және 7 күшейткішінің күшейту коэффициентімен K_y біркелкі реттелуі мүмкін. Күшейткіштің шығысында $E_y^{\Gamma 1} = K_y E^{\Gamma 1}$. 1 және 2 геркондарының координаталарын, K_1 , K_2 , K_3 , K_y токтарды түрлендіру коэффициенттерін сәйкестендіру үшін, барлық геркондардың B_{np} шамасы бойынша сәйкес келетіндей етіп (симметриялық жүктеме режимінде) таңдау керек екенін ескерміз. Демек, 9 бөлу трансформаторының 11 қайталама орамасының шықпаларында I_A - I_C токтарының айырмасына пропорционалды ЭҚК бар:

$$E_7 = K_y \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 (I_A - I_C) = K_{ПАС} \cdot (I_A - I_C),$$

мұндағы $K_{ПАС}$ – пропорционалдылық коэффициенті; K_4 – резистордың 17 көмегімен реттеуді көрсететін коэффициент; K_5 – бөлу трансформатордың 9 трансформация коэффициенті.

Сол сияқты 20 ФПС-тан 18 және 19 қысқыштарға ЭҚК беріледі, ол оны жасаған токқа қатысты $2\pi/3$ бұрышына жылжытылған, яғни (I_B - I_C).

$$E_{20} = K_y \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_6 \cdot K_7 (I_B - I_C) e^{-j120} = K_{ПВС} \cdot (I_B - I_C) e^{-j120},$$

мұндағы $K_{ПВС}$ – пропорционалдылық коэффициенті; K_6 – резистордың 21 көмегімен реттеуді көрсететін коэффициент; K_7 – бөлу трансформатордың 10 трансформация коэффициенті.

Резисторлардың көмегімен 9 және 10 бөлу трансформаторларының 11 және 13 қайталама орамаларының шықпаларындағы ЭҚК реттеу қажет, өйткені ол геркондардың дұрыс орнатылмауынан және құрылғы элементтерінің параметрлерінің құжаттық параметрлерден ауытқуынан туындаған қателіктерді өтеуге мүмкіндік береді және $K_{ПАС} = K_{ПВС}$ теңдігін қамтамасыз етеді. Осылайша, 18 және 19 шықпа қысқыштарында өлшенетін жалпы ЭҚК тең:

$$\begin{aligned}
 E_{\Sigma} &= E_7 + E_{20} = K_{IIAC} \cdot (I_A - I_C) + K_{IIBC} \cdot (I_B - I_C) e^{-j120^\circ} = \\
 &= K_{IIAC} \cdot [(I_A - I_C) + (I_B - I_C) e^{-j120^\circ}].
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Егер фазалардың токтарында кері тізбектің құраушылары I_{A2} , I_{B2} , I_{C2} болса, онда оларды, $I_{A2} = I_2 e^{j0^\circ}$, $I_{B2} = I_2 e^{j120^\circ}$, $I_{C2} = I_2 e^{-j120^\circ}$ түрінде, (5)-ке қойып, $E_{\Sigma} = 3K_{IIAC} I_2 \gg 0$ аламыз. (5)-ке нөлдік тізбектегі I_{A0} , I_{B0} , I_{C0} токты қойғанда $E_{\Sigma} = 0$, сондықтан бұл токтар фаза бойынша сәйкес келеді. Сондай-ақ, А, В және С фазаларында тура тізбектегі ток құраушылары I_{A1} , I_{B1} , I_{C1} болған кезде $E_{\Sigma} = 0$.

Нәтижелер және талқылау

Ұсынылған құрылғы келесідей жұмыс істейді. Жүктеме режимінде 18 және 19 қысқыштарында кернеу жоқ, өйткені фазаларда кері тізбектегі токтар ақпайды. 1 және 2 геркондары да жұмыс істемейді, өйткені олардың әсер ету индукциялары жүктеменің максималды мүмкін тогымен жасалған V_1 индукциясынан орнатылады.

Үш фазалы қысқа тұйықталу (ҚТ) кезінде $E_{\Sigma} = 0$, ал 1 және 2 геркондары қорғаныстың логикалық бөлігіне сигналдар беру арқылы іске қосылады (1-суретте көрсетілмеген). Нәтижесінде электр қондырғысының ажыратқышы ажыратылады. Екі фазалы ҚТ кезінде $E_{\Sigma} \gg 0$, өйткені кері тізбектегі токтар пайда болады және егер екі фазалы қысқа тұйықталу тогымен пайда болған магнит өрісінің индукциясы V_{cp} -ге жетсе, 1 және 2 геркондары іске қосылады. Нәтижесінде электр қондырғысы өшіріледі. Егер кез келген герконның түйіспелері жабысып қалса, онда элемент НЕМЕСЕ 26 уақыт релесін 27 іске қосады, ол уақыт ұстанымы өткеннен кейін, мысалы 0,02 с, дабыл тізбегіне сигнал береді.

Үш фазалы ҚТ токтарына 1 және 2 геркондарының қажетті сезімталдығын қамтамасыз ету үшін, тұрақты кернеу 25 көзінен кернеуді реттеудің 24 блогы арқылы 4 және 6 орамаларына ток беру арқылы магниттеледі.

Ақаулық туындаған кезде, мысалы, басқару 3 орамасының тізбегінде, 22 нөл индикатордың кірісіне 9 және 10 бөлу трансформаторларының 12 және 13 орамаларының шықпаларынан түсетін, ЭҚК теңдігі бұзылады.

Сондықтан ол іске қосылады және қорғаныстың логикалық бөлігін бұғаттауға дабыл тізбегіне сигнал береді (1-суретте көрсетілмеген). 22 нөл индикаторы жалған іске қосылмауы үшін, ол электр қондырғысында үш фазалы қысқа тұйықталу кезінде пайда болатын теңгерімсіздіктің ЭҚК-нен реттеледі.

Қорытынды

Ұсынылған өлшеу органы енгізу кезінде мыс, болат және жоғары вольтты оқшаулауды үнемдеуге мүмкіндік береді, өйткені ол металды қажет ететін ток трансформаторларын керек етпейді. Оның негізіндегі қорғаныс басқа белгілі қорғаныстарға қарағанда сенімді болады деп жорамалдауға негіз бар, өйткені ол ақаулықтың функционалды диагностикасымен жабдықталған.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

2 **Дьяков, А. Ф., Ишкин, В.Х., Мамиконянц, Л.Г., Семенов, В.А.** XXI ғасырдың басындағы әлемнің Электр энергетикасы (СИГРЕ 39-сессия матер бойынша, Париж) // Шетелдегі Энергетика. -М.: «Энергопрогресс» Ғылыми-техникалық фирмасы ЖАҚ, 2004. - 4–5 шығ.. – 176 б.

2 **Kojović, L. A.** New Protection Schemes Based on Novel Current Sensors for Up-To-Date Grid // IET Conference Publications, 2013. – P. 10–13.

3 **Kojović, L. A.** Non-conventional instrument transformers for improved substation design // CIGRE Session 46, 2016.

4 **Goryunov V., Kletsel M., Mashrapov B., Mussayev Zh., Talipov O.** Resource-saving current protections for electrical installations with isolated phase busducts // Alexandria Engineering Journal, 2021. – Vol. 61, Issue 8 – P. 6061-6069.

5 **Teng J., Luan S., Huang W., Lee D., Huang Y.** A cost-effective fault management system for distribution systems with distributed generators // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2015. – Vol. 65. – P. 357-366.

6 **Nurmansah, A. P., Hidayat, S.** Design and testing PCB Rogowski-coil current sensor for high current application // 2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), Sanur, 2017. – P. 493–497.

7 Guan-Jie Huang, Nanming Chen, Kun-Long Chen Self-calibration method for coreless Hall effect current transformer // 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, 2016. – P. 1-5.

8 Сирота, И. М. Шурин, В. М. Қашықтағы датчиктері бар тізбектердегі симметриялы құраушыларының сүзгілері // Электричество, 1971. – № 11. – 26-31 б.

9 Kletsel, M., Zhantlesova, A., Mayshev, P., Mashrapov B., Issabekov, D. New filters for symetrical current components // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2018. – Vol. 101. – P. 85-91.

10 Клецель, М. Я., Машрапов, Б. Е., Машрапова, Г. Н. Тең бүйірлі үшбұрыштың төбесінде орналасқан фазалардың өткізгіштері бар электр қондырғыларына арналған кері тізбектегі ток сүзгісі // Пат. 36286 ҚР МПІК Н02Н 3/00; 30.06.2023 жарияланды.

REFERENCES

1 Diakov, A. F, Ishkin, V. Kh, Mamikoniants, L. G, Semenov V. A. Elektroenergetika mira v nachale XXI stoletiaa (po mater 39-i sessii SIGRE Parizh) [Electric power industry of the world at the beginning of the XXI century (based on the materials of the 39th session of CIGRE, Paris)] // Energy Abroad. – М.: CJSC Scientific and technical firm «Energoprogress», 2004. – Issue 4–5. – 176 p.

2 Kojović, L. A. New Protection Schemes Based on Novel Current Sensors for Уцр-To-Date Grid // IET Conference Publications, 2013. – P. 10–13.

3 Kojović, L. A. Non-conventional instrument transformers for improved substation design // CIGRE Session 46, 2016.

4 Goryunov V., Kletsel M., Mashrapov B., Mussayev Zh., Talipov O. Resource-saving current protections for electrical installations with isolated phase busducts // Alexandria Engineering Journal, 2021. – Vol. 61, Issue 8 – P. 6061-6069.

5 Teng, J., Luan S., Huang, W., Lee, D., Huang, Y. A cost-effective fault management system for distribution systems with distributed generators // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2015. – Vol. 65. – P. 357–366.

6 **Nurmansah, A. P., Hidayat, S.** Design and testing PCB Rogowski-coil current sensor for high current application // 2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), Sanur, 2017. – P. 493-497.

7 **Guan-Jie Huang, Nanming Chen, Kun-Long Chen** Self-calibration method for coreless Hall effect current transformer // 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, 2016. – P. 1-5.

8 **Sirota I. M., Shurin V. M.** Fil'try simmetrichnykh sostavlyayushchikh v tsepyakh s distantsionnymi datchikami [Filters of symmetrical components in circuits with remote sensors] // Elektrichestvo, 1971. – № 11. – S. 26-31.

9 **Kletsel M., Zhantlesova A., Mayshev P., Mashrapov B., Issabekov D.** New filters for symmetrical current components // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2018. – Vol. 101. – P. 85-91.

10 **Kletsel M. Ya., Mashrapov B. E., Mashrapova R. M.** Fil'tr toka obratnoy posledovatel'nosti dlya elektroustanovok s tokoprovodami faz, raspolozhennymi po vershinam ravnostoronnego treugol'nika [Negative sequence current filter for electrical installations with phase conductors located at the vertices of an equilateral triangle] // Pat. 36286 RK IPC H02H 3/00; publ. 30/06/2023.

13.04.24 ж. баспаға түсті.

16.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды

**Б. Е. Маурапов, М. Я. Клецель, Р. М. Маурапова*

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

Поступило в редакцию 13.04.24.

Поступило с исправлениями 16.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН ДЛЯ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ С КОНТРОЛЕМ ТОКОВ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Отмечено, что построение защит без использования традиционных трансформаторов тока позволяет решить одну из актуальных задач электроэнергетики. Предложен измерительный орган для токовых защит на герконах и катушках индуктивности для электроустановок с токопроводами фаз, расположенными по вершинам равностороннего треугольника. Герконы и катушки индуктивности располагаются в магнитном поле токов в токопроводах фаз электроустановки на безопасном расстоянии в плоскости их поперечного сечения. Показано, что геркон используется для выявления токов трехфазного короткого замыкания, а электродвижущая сила на выводах катушек индуктивности – для построения фильтра токов обратной последовательности. Представлены схема измерительного органа и методика определения координат установки герконов и катушек индуктивности, а также параметров элементов схемы фильтра токов обратной последовательности. Для обеспечения надежности функционирования измерительного органа он оснащен встроенной функциональной диагностикой неисправностей. Диагностика выполняется путем контроля напряжений на выводах катушек индуктивности и времени замкнутого состояния контактов герконов. Подробно рассмотрено поведение предлагаемого измерительного органа в различных режимах, а также как осуществляется диагностика, и какие неисправности выявляются в процессе ее выполнения.

Ключевые слова: защита, измерительный орган, геркон, катушка индуктивности, ток обратной последовательности.

*B. E. Mashrapov, M. Ya. Kletsel, *R. M. Mashrapova*
Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar,
Received 13.04.24.
Received in revised form 16.04.24.
Accepted for publication 02.06.24.

MEASURING ELEMENT FOR CURRENT PROTECTION WITH CONTROL OF NEGATIVE SEQUENCE CURRENTS

It is noted that the construction of protection without the use of traditional current transformers makes it possible to solve one of the pressing problems of the electric power industry. A measuring element is proposed for current protection on reed switches and inductance coils for electrical installations with phase conductors located at the vertices of an equilateral triangle. Reed switches and inductance coils are located in the magnetic field of currents in the electrical installation phase conductors at a safe distance in the plane of their cross section. It is shown that the reed switch is used to detect three-phase short circuit currents, and the electromotive force at the terminals of the inductors is used to construct a negative sequence current filter. A diagram of the measuring element and a method for determining the installation coordinates of reed switches and inductance coils, as well as the parameters of the elements of the negative sequence current filter circuit, are presented. To ensure reliable functioning of the measuring element, it is equipped with built-in functional fault diagnostics. Diagnostics is performed by monitoring the voltages at the terminals of the inductors and the time of the closed state of the reed switch contacts. The behavior of the proposed measuring element in various modes is examined in detail, as well as how diagnostics are carried out, and what faults are identified during its implementation.

Keywords: protection, measuring element, reed switch, inductance coils, negative sequence current.

Теруге 03.06.2024 ж. жіберілді. Басуға 28.06.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

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

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4248

Сдано в набор 03.06.2024 г. Подписано в печать 28.06.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4248

«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