

УДК 621.316.9

**РАЗРАБОТКА ФИЛЬТРА ТОКА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ
ПРИ ТРЕУГОЛЬНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ФАЗ ТОКОПРОВОДОВ
ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 КВ**

Жантлесова А.Б., Полищук В.И.

*ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск,
e-mail: acbizh@mail.com*

Статья посвящена разработке фильтра тока обратной последовательности на индукционном преобразователе и магнитоуправляемом контакте без использования трансформаторов тока. Магнитоуправляемые контакты – герконы, которые используются для создания резервной защиты от межвитковых замыканий. Применять их как дополнительный источник информации для релейной защиты, то есть использование принципа мажорирования. Дана методика определения координат установки магнитоуправляемого контакта и индукционного преобразователя вблизи шин электроустановки напряжением 6–35 кВ. Представлен алгоритм расчета параметров фильтра тока обратной последовательности для построения его на магнитоуправляемом контакте и индукционном преобразователе при треугольном расположении фаз токопроводов электроустановки. Приведены доказательства его работоспособности определять токи обратной последовательности. Представлен анализ чувствительности и рассчитан небаланс фильтра тока обратной последовательности. Предложенные аналитические выражения для токов обратной последовательности являются основой методики построения фильтра тока обратной последовательности, которые будут использованы для создания устройств, дублирующих одновременно и традиционную релейную защиту, и трансформаторы тока.

Ключевые слова: фильтр тока обратной последовательности, симметричные составляющие, векторные диаграммы, магнитоуправляемый контакт

**DEVELOPMENT OF THE FILTERS OF CURRENT OF SYMMETRIC COMPONENTS
AT THE TRIANGULAR ARRANGEMENT OF PHASES OF CURRENT
DISTRIBUTORS OF ELECTROINSTALLATION BY VOLTAGE 35 KV**

Zhantlessova A.B., Polishchuk V.I.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: acbizh@mail.ru

Article is devoted to development of filter of current of the return sequence on the induction converter and hermetic contact without use of transformers of current. Hermetic contacts – reed switch which are used for creation of reserve protection against interturn short circuits. To apply them as an additional source of information to relay protection, that is use of the principle of majorization. The technique of determination of coordinates of installation of hermetic contact and the induction converter near tires of electroinstallation by tension 6–35 kV is given. The algorithm of calculation of parameters of filter of current of the return sequence for construction it on hermetic contact and the induction converter is presented at a triangular arrangement of phases of current distributors of electroinstallation. Proofs of its working capacity are provided to define currents of the return sequence. The analysis of sensitivity is provided and not balance of filter of current of the return sequence is calculated. The offered analytical expressions for currents of the return sequence are basis of a technique of creation of the filter of current of the return sequence which will be used for creation of devices duplicating at the same time both traditional relay protection and transformers of current.

Keywords: the filter of current of the return sequence, symmetric components, the vector charts, reed switch (hermitic contact)

В настоящее время для релейной защиты информация снимается с трансформаторов тока (ТТ), которые имеют следующие недостатки: металлоемкость, например, для сетей 35 кВ его масса может составлять около 55 кг [1], и чем больше напряжение, тем больше масса ТТ; высокие напряжения во вторичных цепях при их разрыве [2]; большие погрешности в переходных режимах [3] и часто требуемая погрешность ТТ не укладывается в 10%. В связи с вышеизложенным для решения этой проблемы предлагается альтернатива использование магниточувствительных элементов [4–7]. Например, магнитоуправляемые контакты (МК) – герконы, которые используются для создания резервной защиты от коротких замыканий [8, 9]. Одно из преимуществ при-

менения МК как источников информации для релейной защиты (РЗ) – это использование принципа мажорирования, то есть одна из реализаций стратегического направления. Использование «одинаковых» принципов работы релейной защиты при двукратном или трехкратном дублировании ведет к понижению надежности. Поэтому необходимы разные принципы работы релейной защиты. Предлагаются фильтр тока обратной последовательности (ФТОП) на МК и индукционном преобразователе при треугольном расположении фаз токопроводов напряжением 6–35 кВ.

Постановка задачи

Исследовать возможности построения фильтров тока обратной последовательности

с треугольным расположением фаз электроустановки напряжением 6–35 кВ [10].

Предлагаемый **фильтр тока обратной последовательности (ФТОП) при треугольном расположении фаз токопроводов на напряжение 6–35 кВ** содержит (рисунок) МК 1 (выходной элемент фильтра) с обмоткой 2 управления, индукционный преобразователь ИП 6, усилитель УС 3, фазоповоротную схему (ФПС) 4, регулируемый резистор 5. МК 1 и ИП 6 расположены в магнитном поле токов I_A , I_B и I_C в токопроводах фаз A , B и C электроустановки так, чтобы их продольные оси находились в плоскости, перпендикулярной осям токопроводов.

$\underline{B}_{\text{ПР}}^{\Gamma}$ индукция магнитного поля, созданного токами I_A , I_B и I_C при любом располо-

жении токопроводов фаз, в зазоре между контактами МК 1 в точке M (рисунок), действующая вдоль его продольной оси (далее везде будем писать просто «индукция», имея в виду всё перечисленное). Тогда в соответствии с законом Био–Савара–Лапласа:

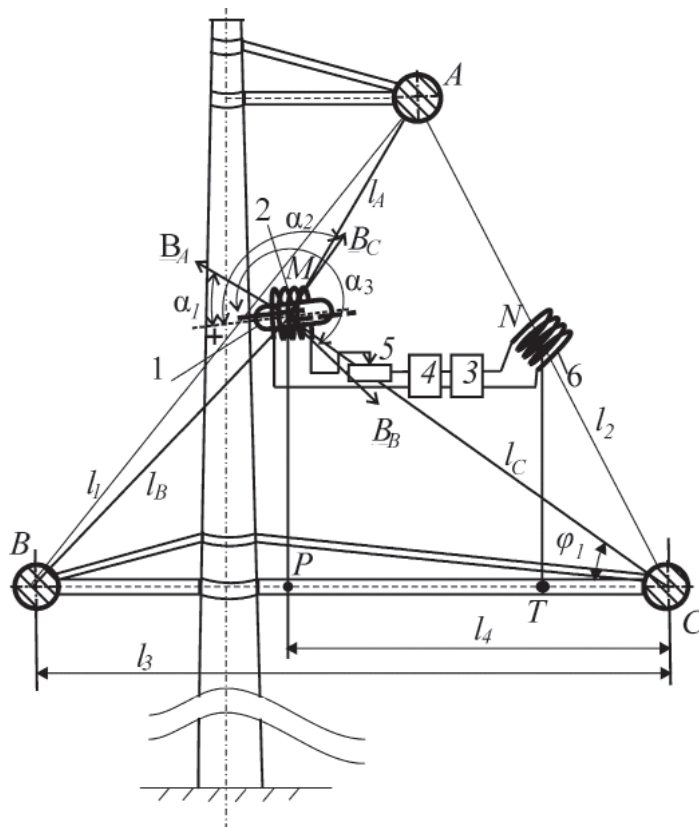
$$\underline{B}_{\text{ПР}}^{\Gamma} = \frac{\mu_0}{2\pi} (a_{\Gamma} I_A + b_{\Gamma} I_B + c_{\Gamma} I_C), \quad (1)$$

где a_{Γ} , b_{Γ} , c_{Γ} коэффициенты, характеризующие влияние тока фазы A , B , C на МК;

$$a_{\Gamma} = \cos a_1 / l_A; \quad b_{\Gamma} = \cos a_2 / l_B;$$

$$c_{\Gamma} = \cos a_3 / l_C, \quad (2)$$

где a_1 , a_2 , a_3 – углы между продольной осью МК 1 и \underline{B}_A , \underline{B}_B , \underline{B}_C соответственно.



Выбор координат МК-1 для выполнения функций ФТОП

Аналогично таким же выражением (с соответствующими углами и расстояниями), описывается и индукция $\underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ИП}}$, действующая вдоль продольной оси ИП 6 (далее отмеченными индексами ИП).

Сигнал о появлении тока I_2 обратной последовательности может выдать МК 1 путем переключения контактов (сработал), если суммарная индукция

$$\underline{B}_{\text{ПР}}^{\Sigma} = \underline{B}_{\text{ПР}}^{\Gamma} + \underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ОБМ}} = K_1 I_2, \quad (3)$$

где $\underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ОБМ}}$ – коэффициент пропорциональности; – индукция поля, созданного током $I_{\text{ВЫХ}}$ в обмотке 2 (рисунок), которая вычисляется по известной формуле:

$$\underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ОБМ}} = I_{\text{ВЫХ}} \cdot \mu_0 \cdot W_2 / V, \quad (4)$$

где $V = \sqrt{(l_{\text{ОБМ}2})^2 + (D_{\text{СР}2})^2}$;

W_2 – количество витков обмотки 2; $l_{\text{ОБМ}2}$ и $D_{\text{СР}2}$ – длина каркаса обмотки и её средний диаметр.

Ток $\underline{I}_{\text{ВЫХ}}$ в обмотке 2 создается ЭДС $\underline{E}_{\text{ИП}}$ на концах ИП 6, которая значительно увеличивается усилителем УС 3. $\underline{E}_{\text{ИП}}$ наводится потоком Φ с магнитной индукцией $\underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ИП}}$. Поток направлен вдоль оси ИП 6 и проходит через площадь S её поперечного сечения. ЭДС сдвинута относительно на угол 90° .

$$\underline{I}_{\text{ВЫХ}} = \frac{\underline{E}_{\text{ИП}} K_y e^{j\beta_{\text{ФПС}}}}{z \cdot e^{j\phi}};$$

$$\underline{E}_{\text{ИП}} = (2\pi f W_6 S) \underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ИП}} e^{-j90^\circ}, \quad (5)$$

$$\underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ОБМ}} = \underline{K}_2 \underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ИП}}; \quad \underline{K}_2 = \mu_0 \pi f S \cdot W_2 \cdot W_6 K_y e^{-j90^\circ} e^{j\beta_{\text{ФПС}}} / V \cdot z \cdot e^{j\phi}. \quad (7)$$

Чтобы этот ФТОП реагировал на токи $\underline{I}_{A,2}$, $\underline{I}_{B,2}$, $\underline{I}_{C,2}$ обратной последовательности, нужно исключить влияние токов нулевой $\underline{I}_{A,0}$, $\underline{I}_{B,0}$, $\underline{I}_{C,0}$ и прямой $\underline{I}_{A,1}$, $\underline{I}_{B,1}$, $\underline{I}_{C,1}$ последовательностей. Для этого необходимо, чтобы сумма коэффициентов в (1) (и в таком же выражении для ИП) была равна нулю, и компенсировать действие $\underline{I}_{A,1}$, $\underline{I}_{B,1}$, $\underline{I}_{C,1}$ с помощью тока $\underline{I}_{\text{ВЫХ}}$ в обмотке 2, добившись равенства:

$$\underline{B}_{\text{ПР},1}^{\text{ОБМ}} = -\underline{B}_{\text{ПР},1}^\Gamma, \quad (8)$$

где $\underline{B}_{\text{ПР},1}^{\text{ОБМ}}$ и $\underline{B}_{\text{ПР},1}^\Gamma$ – индукции магнитных полей, созданных токами $\underline{I}_{A,1}$, $\underline{I}_{B,1}$, $\underline{I}_{C,1}$ в об-

$$e^{j(\beta_{\text{ФПС}} - 90^\circ - \phi)} \cdot (a_{\text{ИП}} + b_{\text{ИП}} e^{-j120^\circ} + c_{\text{ИП}6} e^{j120^\circ}) = -(a_\Gamma + b_\Gamma e^{-j120^\circ} + c_\Gamma e^{j120^\circ}). \quad (10)$$

Рассматривая это равенство как уравнение относительно угла $\beta_{\text{ФПС}}$, рассчитываем его, а затем и коэффициент K_y усилителя УС 3 из (7). Предварительно необходимо найти координаты установки МК 1 и ИП 6 и коэффициенты a_Γ , b_Γ , c_Γ . Учитывая, что $a_\Gamma + b_\Gamma + c_\Gamma = 0$, и используя связи между параметрами треугольников АВМ, МВС, АСМ (по теореме косинусов), составляем систему из четырех уравнений. Решая систему в MathCad 14 с шестью неизвестными l_A , l_B , l_C и α_1 , α_2 , α_3 с помощью функции Find, находим координаты установки МК 1, которые удовлетворяют уравнениям и требованиям техники безопасности [11]. Так, для электроустановки напряжением 35 кВ при расстояниях между фазами $l_1 = 5$ м, $l_2 = 3,2$ м, $l_3 = 5,3$ м получено: $l_A = 2,3$ м, $l_B = 4$ м, $l_C = 5,4$ м, $\alpha_1 = 260^\circ 6'$, $\alpha_2 = 0^\circ 32'$, $\alpha_3 = 194^\circ 4'$. Подобно находят координаты установки ИП. В условиях эксплуатации можно легко установить МК 1 так, чтобы его центр тяжести находился в точке М, если предварительно найти (рисунок) угол

где W_6 и $\underline{E}_{\text{ИП}}$ – количество витков ИП 6 и ЭДС⁶, наведенная в ней; f – частота промышленного тока; K_y – коэффициент усиления усилителя УС 3; $\beta_{\text{ФПС}}$ – угол поворота, обеспечиваемый ФПС 4;

$$z = \sqrt{X_{\text{ОБМ}2}^2 + R_\Sigma^2}; \quad \phi = \arctg \frac{X_{\text{ОБМ}2}}{R_\Sigma};$$

$$R_\Sigma = r_{\text{ОБМ}2} + r_5, \quad (6)$$

где $X_{\text{ОБМ}2}$, $r_{\text{ОБМ}2}$ и r_5 – индуктивное, активное сопротивление обмотки 2 и активное сопротивление регулировочного резистора 5. Из (4) и (5) имеем

мотке 2 (получаемыми через ИП) и в фазах А, В, С. Тогда, аналогично тому, как это сделано для полных токов, используя (7), (8) и принцип суперпозиции (при разложении на симметричные составляющие коэффициент K_2 не меняется), легко показать, что

$$\underline{B}_{\text{ПР},1}^{\text{ОБМ}} = K_2 \underline{B}_{\text{ПР},1}^{\text{ИП}}, \quad (9)$$

где $\underline{B}_{\text{ПР},1}^{\text{ИП}}$ – индукция магнитного поля, созданного токами $\underline{I}_{A,1}$, $\underline{I}_{B,1}$, $\underline{I}_{C,1}$ прямой последовательности вдоль продольной оси ИП, описывается (1) при подстановке в неё этих токов и индексов ИП.

Имея ввиду, что $\underline{I}_{B,1} = \underline{I}_{A,1} e^{-j120^\circ}$; $\underline{I}_{C,1} = \underline{I}_{A,1} e^{j120^\circ}$, из (8) и (9), получаем:

ϕ_1 через соотношения сторон в треугольнике МВС, а затем длины РМ и 4 из прямоугольного Δ -ка МРС.

Расчет параметров ФТОП при треугольном расположении фаз электроустановки. Предлагается алгоритм, который может использоваться для электроустановок любого класса напряжения. Например, проведем расчет параметров ФТОП для электроустановки 35 кВ с номинальным фазным током 1000 А.

После того, как определили координаты МК 1 и ИП 6, находим по (2) $a_\Gamma = -0,07$, $b_\Gamma = 0,25$, $c_\Gamma = -0,18$ и $a_{\text{ИП}} = -0,18$, $b_{\text{ИП}} = -0,07$, $c_{\text{ИП}} = 0,25$.

С учетом того, что токи прямой последовательности $\underline{I}_A = 1000 \cdot e^{j0}$;

$\underline{I}_B = 1000 \cdot e^{-j120^\circ}$, а $\underline{I}_C = 1000 \cdot e^{j120^\circ}$, рассчитаем напряженность в точке, совпадающей с центрами тяжести МК и ИП по формуле

$$\underline{H}_{\text{ПР}}^\Gamma = (a_\Gamma \cdot \underline{I}_A + b_\Gamma \cdot \underline{I}_B + c_\Gamma \cdot \underline{I}_C).$$

Получается

$$H_{\text{ПР}}^{\Gamma} = 383,3 e^{j134,3^{\circ}} \text{ А/м,}$$

$$H_{\text{ПР}}^{\text{КИ}} = 383,3 e^{-j105,7^{\circ}} \text{ А/м.}$$

Задаются параметрами ИП и обмотки 2. Пусть это обмотки от стандартных реле, например, от реле РТМ. Параметры РТМ: количество витков $w_2 = 92$; радиус

$$E_{\text{ИП}} = (2\pi f w_3 S_3 B_{\text{ПР}}^{\text{ИП}}) e^{-j90^{\circ}} = (2\pi f w_3 S_3 \mu_0 H_{\text{ПР}}^{\text{ИП}}) e^{-j90^{\circ}} = 7 \cdot 10^{-3} e^{j44,3^{\circ}} \text{ мВ.}$$

Так как $B_{\text{ПР}}^{\text{ОБМ}} = -B_{\text{ПР}}^{\Gamma}$, найдем ток $I_{\text{ВЫХ}}$, который нужно подать в обмотку 2 МК-1, чтобы на его оси в центре создалось магнитное поле с напряженностью $-H_{\text{ПР}}^{\Gamma}$:

$$I_{\text{ВЫХ}} = \frac{-H_{\text{ПР}}^{\Gamma} \sqrt{l_{\text{ОБМ}2}^2 + D_{\text{СР}2}^2}}{W_2} = 0,17 \cdot e^{j74^{\circ}2'} \text{ А.}$$

Сразу примем коэффициент усиление равным $K_y = 100$. Определим r_5 и $\beta_{\text{ФПС}}$, подставляя значение $I_{\text{ВЫХ}}$ и $E_{\text{ИП}}$ в (5):

$$r_5 = \sqrt{(7 \cdot 10^{-3} K_y / 0,17)^2 - x_{\text{ОБМ}}^2} - r_{\text{ОБМ}} = 4;$$

$$\beta_{\text{ФПС}} = 74^{\circ}2' - 44^{\circ}3' + \text{tg}(x'_{\text{ОБМ}}(r_{\text{ОБМ}} + r_5)) = 35^{\circ}.$$

Индукция небаланса $B_{\text{ПР}}^{\text{НЕБ}}$ ФТОП. В нормальном режиме работы электроустановки токи обратной последовательности отсутствуют [12], и на МК-1 действует МП с индукцией $B_{\text{НБ}}$ (напряженностью $H_{\text{НБ}}$ небаланса), которая обусловлена неточностью установки МК-1 и ИП-6 для треугольного расположения фаз в рассчитанные координаты и допустимой несимметрией системы I_A, I_B, I_C . Чтобы МК-1 не срабатывал в нормальном режиме, его напряженность $H_{\text{СР}}^{\Gamma}$ срабатывания должна быть больше напряженности $H_{\text{НБ}}$ небаланса, то есть $H_{\text{СР}}^{\Gamma} = K_{\text{ОТС}} \cdot H_{\text{НБ}}$, где $K_{\text{ОТС}}$ – коэффициент отстройки $K_{\text{ОТС}} = 1,15$ [8], так как нельзя абсолютно точно установить МК-1 и ИП-6 в расчетную точку (при $\Delta l = \pm 5$ мм, $\Delta \alpha = \pm 5^{\circ}$). Это является одной из причин того, что в нормальных режимах работы электроустановки $B_{\text{ПР}} = B_{\text{ПР}}^{\text{НЕБ}} \neq 0$, где $B_{\text{ПР}}^{\text{НЕБ}}$ – индукция небаланса. Другой причиной является несимметрия токов фаз. $B_{\text{ПР}}^{\text{НЕБ}} = 0,045 I_{\text{КЗ}} e^{-j60^{\circ}} \cdot \frac{\mu_0}{2\pi}$ Тл для электроустановки 35 кВ при треугольном расположении фаз.

Как известно, традиционные защиты обратной последовательности отстраиваются от тока $I_{\text{НБ}}$ небаланса при $I_{\text{КЗ}}$.

$r_{\text{ОБМ}} = 0,05$ Ом; провод ПЭВ-2/1,56; диаметр внутренний $D_{\text{ВНУТ}} = 7,5 \cdot 10^{-3}$ м; диаметр внешний $D_{\text{ВНЕШ}} = 26 \cdot 10^{-3}$ м; длина обмотки $l_{\text{ОБМ}} = 36 \cdot 10^{-3}$ м. Вычисляем площадь поперечного сечения $S_2 = 531 \cdot 10^{-6}$ м² и сопротивление $x_{\text{ОБМ}} = 0,42$ Ом, $Z_{\text{КИ}} = Z_{\text{ОБМ}} = 0,42 \cdot e^{j83,1}$ Ом.

Рассчитывается электродвижущая сила на выводах ИП

чаях их ток $I_{\text{СЗ}}$ срабатывания $I_{\text{СЗ}} = 0,15 \cdot I_{\text{КЗ}}$. По принципу действия защиты, которые могут быть построены на рассмотренном фильтре, не отличаются от традиционных. Поэтому

их параметр срабатывания – индукция $B_{\text{СР}}^{\Gamma}$ также отстраивается от индукции $B_{\text{ПР}}^{\text{НЕБ}}$ небаланса $B_{\text{СР}}^{\Gamma} = K_{\text{ОТС}} \cdot B_{\text{ПР}}^{\text{НЕБ}}$. Учитывая, что погрешности допущений не превышают 6% [8]. Чтобы оценить чувствительность защиты на ФТОП с герконами, необходимо найти ток $I_{\text{СЗ}}^{\Gamma}$ в шинах защищаемой электроустановки, при котором она срабатывает. Если в (1) $B_{\text{ПР}\Sigma} = B_{\text{СР}}^{\Gamma}$, то можно считать, что $3I_{(2)}$

и есть $I_{\text{СЗ}}^{\Gamma}$, где $I_{\text{СЗ}}^{\Gamma} = \frac{2\pi \cdot B_{\text{СР}}^{\Gamma}}{\mu_0 \cdot k_{\text{ПР}}}$. Тогда защиты

на ФТОП с герконами по чувствительности уступают существующим.

Заключение

Предложенные аналитические выражения для токов обратной последовательности являются основой методики построения ФТОП, которые будут использованы для создания устройств, дублирующих одновременно и традиционную релейную защиту, и трансформаторы тока.

Метод расчета координат установки МК с управляющей обмоткой и индукционных преобразователей позволил определить, что для выявления токов обратной последовательностей при расположении фаз по вершинам треугольника их необходимо устанавливать внутри него.

Работа выполнена в рамках исполнения Госзадания «Наука» ГК № 7.2826.2011.

Список литературы

1. Багинский Л.В., Быкова Л.Б., Михайлов А.К. Особенности переходных процессов в трансформаторах тока при коротких замыканиях на землю // Электричество. – 1998. – № 7. – С. 9–20.
2. Опыт разработки преобразователей тока в напряжении на магнитотранзисторах для устройств релейной защиты и измерения / В.Н. Гречухин, В.Н. Нуждин, В.В. Глушкина, И.А. Новожилов, К.С. Дмитриев // Энергетик. – 1997. – № 6. – С. 14–16.

3. Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе: монография / С.М. Карабанов, Р.М. Майзельс, В.Н. Шоффа, под ред. д.т.н., профессора В.Н. Шоффы – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 408 с.

4. Фильтр симметричных составляющих для электроустановок с токопроводами фаз по вершинам треугольника / М.Я. Клецель, П.Н. Майшев, П.Н. Токомбаев, А.Б. Жантлесова // Известие высших учебных заведений Проблемы энергетики. – Казань: КГЭУ, 2008. – № 3–4. – С. 76–82.

5. Клецель М.Я., Мусин В.В. Выбор тока срабатывания максимальной токовой защиты без трансформаторов тока на герконах // Промышленная энергетика. – 1990. – № 4. – С. 32–36.

6. Клецель М.Я., Мусин В.В. О построении на герконах защит без трансформаторов тока // Электротехника. – 1987. – № 4. – С. 11–13.

7. Кожович Л.А., Бишоп М.Т. (Cooper Power Systems, США). Современная релейная защита с датчиками тока на базе катушки Роговского. Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем // сборник докладов Межд. научно-техн. конференции. – М.: Научно-инженерное информ. агентство, 2009. – С. 49–59.

8. Пат. 18935 Республика Казахстан, МПК7 H02N 3/08. Фильтр тока обратной последовательности для электроустановки с токопроводами, расположенными по вершинам треугольника / А.Б. Жантлесова, М.Я. Клецель; заявитель и патентообладатель «Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова». – № 2006/0109.1; заявл. 06.02.2006; опубл. 15.11.2007, Бюл. № 11. – 7 с.

9. Правила устройства электроустановок. – СПб.: ДЕАН, 2000.

10. Сирота И.М., Шурин В.М. Фильтры симметричных составляющих в цепях с дистанционными датчиками // Электричество. – 1971. – № 11. – С. 26–31.

11. Трансформаторы тока / В.В. Афанасьев [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1989. – 416 с.

12. Dupraz J.P., Jung T., Roussel Ph., Aeschbach H. The integration of electronic CTs and VTs in power switchgear: challenges and choices // CIGRE. – 2000.

References

1. Baginsky L.V., Vukova L.B., Mikhailov A.K. Features of transitional processes in current transformers at short circuits on earth. *Electricity*. 1998. no. 7. pp. 9–20.

2. Grechukhin V.N., Nuzhdin V.N., Gluskina V.V., Novozhilov I.A., Dmitriev K.S. Experience in the development of current-to-voltage converters on magneto transistor for devices of relay protection and measurements. *Energetik*, 1997. no. 6. pp. 14–16.

3. Karabanov S.M., Maizels R.M., Shoffa V.N. Hermetic contacts (reed) and products on their basis: the Monography. *Dolgoprudny: Publishing House «Intellect»*. 2011. 408 p.

4. Kletzel M.Y., Maishev P.N., Tokombaev P.N., Zhantlesova A.B. Filter sequence components for electrical installations with current distributor phases of the vertices of the triangle. *News of higher education institutions the PROBLEMS of ENERGY*. Kazan. Kazan state power engineering University. 2008. no. 3–4. pp. 76–82.

5. Kletzel M.Y., Musin V.V. Selection of current operation of the overcurrent protection system without transformers in the reed. *Industrial energy*. 1990. no. 4. pp. 32–36.

6. Kletzel M.Y., Musin V.V. About building on reed protection without current transformers. *Electrical engineering*. 1987. no 4. pp. 11–13.

7. Kozhovich L.A., Bishop M.T. Modern relay protection with current sensors on the basis of Rogowski coils. Modern trends of development of systems of relay protection and automatics of power systems. *Cooper Power Systems, USA. Proceedings of the Int. scientific and technical the conference*. Moscow. Scientific and engineering inform. Agency. 2009. pp. 49–59.

8. Patent no. 18935, 15.11.2007. / Zhantlesova A.B., Kletzel M.Y., of the Republic of Kazakhstan Patent no. 2006/0109.1. Statement 06.02.2006. 7 p.

9. Rules of arrangement of electrical installations. *Sank-Petersburg. DEAN*, 2000.

10. Sirota I.M., Shurin V.M. Filters symmetrical component in circuits with remote sensors. *Electricity*. 1971. no. 11. pp. 26–31.

11. Current transformers. *Century Century Afanasiev [and others]*. Issue 2. Leningrad. Energy. 1989. 416 p.

12. Dupraz J.P., Jung T., Roussel Ph., Aeschbach H. The integration of electronic CTs and VTs in power switchgear: challenges and choices. *CIGRE*. 2000.

Рецензенты:

Кабышев А.В., д.т.н., профессор кафедры ЭПП ЭНИН, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;

Исаев Ю.Н., д.ф.-м.н., профессор кафедры ЭСиЭ ЭНИН, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Работа поступила в редакцию 10.09.2013.