

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

№ 1 (2023)

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://10.48081/BNAS6555>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., профессор

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

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

***М. Я. Клецель¹, Б. Е. Машрапов², А. С. Барукин³**

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

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНЫ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ, НЕ ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

Отмечается, что замена трансформаторов тока на какие-то другие, менее металлоемкие и громоздкие, датчики тока является одной из актуальных задач в современной электроэнергетике. Упоминается, что в качестве таких датчиков тока могут быть использованы катушки Роговского, катушки индуктивности, магниторезисторы, датчики Холла, герконы и т.д. Кратко рассмотрены достоинства и недостатки некоторых из этих датчиков. Приведены описание конструкции герконов, их принцип действия и преимущества перед другими датчиками тока. Констатируется, что на основе получения информации о токе в фазе электроустановки от герконов уже разработаны принципы построения и устройства некоторых защит от коротких замыканий. Подробно рассмотрен измерительный орган полного сопротивления и описана его работа в режиме короткого замыкания и нагрузки. Предложено направленное реле сопротивления с простой схемой тестовой диагностики неисправности, которая состоит из кнопки, обмотки управления, надетой на пусковой геркон, двух промежуточных реле и блока регулировки тока в указанной обмотке. Представлена методика выбора параметров срабатывания направленного измерительного органа и описано его функционирование в различных режимах работы электроустановки.

Ключевые слова: дистанционная защита, измерительный орган, геркон, тестовая диагностика, реле сопротивления.

Введение

Дистанционные защиты нашли широкое применение для защиты линий электропередачи. При этом, как и подавляющее большинство устройств релейной защиты, например [1], они получают информацию о токе в фазе электроустановки от трансформаторов тока. Эти преобразователи тока, как

известно, обладают рядом недостатков: металлоемкость, большие габариты и вес, погрешности в переходных режимах, высокое напряжение на выводах вторичной обмотки при обрыве соединительных проводов и т.д. [2]. Из-за указанных недостатков неоднократно высказывались предложения по замене трансформаторов тока какими-то другими датчиками, а сама задача называлась одной из нерешенных в мировой энергетике [3]. В качестве таких датчиков предлагалось использовать катушку индуктивности [4], магнитные трансформаторы тока [5], катушку Роговского [6], датчик Холла [7], герконы [8], магнитотранзисторы [9] и т.д. Каждый из них имеет как достоинства, так и недостатки. Например, катушка индуктивности обладает высокой чувствительностью, напряжение на ее выводах не превышает безопасное. Однако из-за малой величины выходного сигнала для его передачи необходимы усилители, а сама передача осуществляется не по цепям управления, а по измерительным. Датчики Холла могут выдавать сигнал как в аналоговом виде, так и в дискретном, но нуждаются в стабильном питании, чувствительны к изменениям температуры и имеют большой разброс параметров в пределах одной партии. Поэтому судить о том, какой из них (или других) окажется более подходящим для нужд релейной защиты, можно будет только после завершения разработок и опыта эксплуатации.

Нами в качестве датчиков тока выбраны герконы, так как при их использовании передача сигнала осуществляется по цепям управления, они одновременно выполняют еще и функции аналого-цифрового преобразователя и реле, а также обладают другими преимуществами перед остальными магниточувствительными элементами, приведенными выше. Геркон представляет собой корпус (длина 0,5-5 см, диаметр 0,5-5,4 мм), выполненный из стекла, внутри которого расположены две или более контактные пластины. Они соприкасаются, коммутируя электрическую цепь, если индукция магнитного поля достигает индукции срабатывания геркона. На основе использования информации о токе в фазе электроустановки от геркона, уже разработаны принципы построения и схемы некоторых устройств релейной защиты. В данной работе рассмотрены измерительные органы на герконах для дистанционных защит.

Материалы и методы

Устройство [10] содержит геркон 1 с обмотками 2 и 3 и контактом 4, выпрямители 5 и 6, усилитель 7, блок отбора напряжения 8, конденсатор 9, логический блок 10.

Устройство работает следующим образом [10]. При протекании тока по фазе 11 защищаемой линии создается магнитная индукция, которая наводит электродвижущую силу в обмотке 2 геркона 1. Под действием электродвижущей силы в обмотке 2 начинает протекать ток, который

проходит через усилитель 7, конденсатор 9, выпрямитель 5 и подается в обмотку 3. С другой стороны в обмотку 3 поступает ток от блока отбора напряжения через выпрямитель 6. В режимах без короткого замыкания (КЗ) эти два тока равны, и в обмотке 3 протекает ток небаланса, не приводящий к срабатыванию геркона 1. В режиме КЗ ток, получаемый от блока отбора напряжения, уменьшается, так как уменьшается напряжение, создающее этот ток, а ток обмотки 2 увеличивается. Из-за этого увеличивается ток в обмотке 3. Если созданная им электродвижущая сила достаточна для срабатывания геркона 1, то происходит замыкание его контакта 4 и подается сигнал в логический блок 10 на отключение линии.

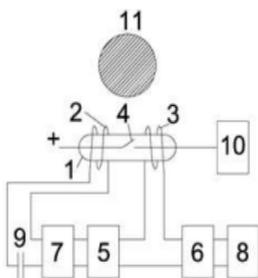


Рисунок 1 – Реле полного сопротивления

К схеме сравнения защиты линий от КЗ с устройством отбора напряжения подводятся два напряжения (сравнение осуществляется в обмотке 3): $U_1 = K_1 U_p$, $U_2 = K_4 I_p$ где K_1 и K_4 – коэффициенты, выбираемые из соображений несрабатывания защиты в режиме самозапуска; U_p – напряжение на выходе блока 8; I_p – ток в обмотке 2.

Условие начала срабатывания защиты имеет вид: $K_4 I_p = K_1 U_p$.

Разделив обе части равенства на $K_1 I_p$, найдем Z_p , при котором защита начнет действовать:

$$Z_p = Z_{cp} = \frac{|U_p|}{|I_p|} = \frac{K_4}{K_1} = |Z| = const \quad (1)$$

Это выражение показывает, что предлагаемое устройство работает как дистанционная защита при сопротивлении $Z_p = Z_{cp}$. Величина Z_{cp} определяется отношением K_4 / K_1 , которое можно рассматривать как

абсолютное значение сопротивления зоны. Следовательно, защита работает при любом Z_p , модуль которого равен $|Z|$, независимо от угла и знака, и имеет характеристику срабатывания в виде окружности с центром в начале координат и радиусом, равным $|Z| = K_4 / K_1$.

Результаты и обсуждение.

В тех случаях, когда необходим направленный измерительный орган, да еще и с повышенной надежностью, может быть использовано реле, представленное ниже. При этом для обеспечения высокой надежности его функционирования реализована простая тестовая диагностика.

Устройство содержит геркон 1 с обмотками 23 и 32 и контактом 16, геркон 2 с обмотками 24 и 33 и контактом 17, геркон 3 с обмотками 26 и 34 и контактом 18, геркон 4 с обмотками 27 и 35 и контактом 19, геркон 5 с обмоткой 25 и контактом 29, геркон 6 с обмоткой 45 и контактом 21, выпрямители 7 и 8, элементы ПАМЯТЬ 9 и 10, схему 15 сравнения фаз с информационными 11-14 и пусковым 22 входами, источник питания 20, измерительный трансформатор 28 напряжения, схемы 30 и 31 формирования, блок логики 36, промежуточное реле 38 с нормально замкнутыми контактами 37 и 42, промежуточное реле 39 с нормально разомкнутым контактом 44, кнопку 40, резистор 41, регулятор 43 тока с разделительным трансформатором на входе.

Устройство работает следующим образом. Осуществляется сравнение фаз двух специально сформированных величин:

$$\dot{A} = k_1 \dot{U} + k_2 \dot{I}, \quad (2)$$

$$\dot{C} = k_3 \dot{U}, \quad (3)$$

где k^1, k^2, k^3 – постоянные коэффициенты преобразования, формирующие заданную характеристику реле (k_2 – вещественное число); U – напряжение в месте установки реле; J – ток в контролируемой фазе электроустановки.

Величина A формируется с помощью герконов 1 и 2. Выходные сигналы (отсутствие напряжения в течение времени разомкнутого состояния контактов 16 и 17) герконов 1 и 2, несущих информацию о фазе положительной и отрицательной полуволн ($+A$ и $-A$) подаются на входы 11 и 12 схемы 15 сравнения фаз. Аналогично формируются сигналы (отсутствие напряжения в течение времени разомкнутого состояния контактов 18 и 19) $+C$ на герконе 3 и $-C$ на герконе 4 и подаются на входы 13 и 14, соответственно.

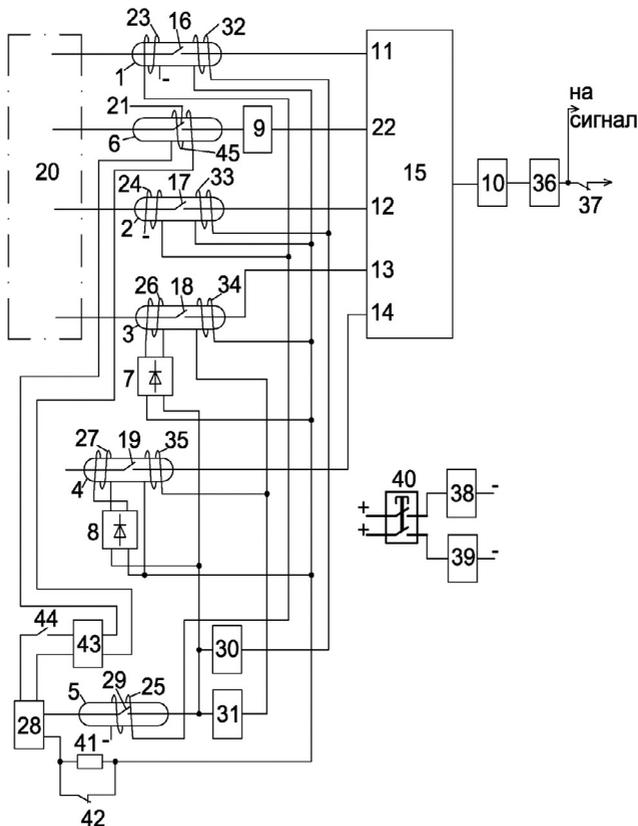


Рисунок 2 – Схема измерительного органа дистанционной защиты с тестовой диагностикой

Сравнение производится в каждую полуволну изменения А Фиксация полуволн (поляризация) осуществляется подачей постоянного тока в обмотки 23, 24, 26 и 27. Постоянный ток подается с помощью герконов 5 и 6 (пуск реле) только при увеличении тока в защищаемой электроустановки до значения $1,3 I_{\text{раб} \cdot \text{max}}$, где $I_{\text{раб} \cdot \text{max}}$ – максимальный рабочий ток. Это сделано для того, чтобы не держать герконы 1-4 все время в сработавшем состоянии. В схемах формирования 30 и 31 осуществляется поворот напряжения, подаваемого от трансформатора 28 напряжения на заданный угол и умножение на определенный коэффициент.

Герконы 1 и 2 установлены в магнитном поле тока одной из фаз электроустановки. В обмотки 32 (34) и 33 (35) от трансформатора 28 через 196

схему формирования 30 (31) подается напряжение $k_1 \dot{U}$ ($k_3 U$), магнитный поток B_1^U (B_2^U) от тока в этих обмотках, складываясь с магнитным потоком B^I от тока фазы электроустановки, образует $\dot{A}(\dot{C})$.

Сравнение сформированных величин \dot{A} и \dot{C} осуществляется в схеме 15 сравнения фаз. При КЗ в защищаемой зоне на выходе схемы 15 появляется сигнал, который запоминается элементом 10 ПАМЯТЬ и передается в логическую часть 36 защиты, которая подает сигнал на отключение выключателя электроустановки.

Суммарная индукция B_Σ магнитного поля (МП), действующая на герконы 1 и 2, выражается формулой:

$$\dot{A} = B_\Sigma = B^I + B_1^U = k'_{K3} B^I_{\text{раб. max}} + k''_{K3} B^U_{\text{раб. min}}, \quad (4)$$

$$k'_{K3} = \frac{I_{K3}}{I_{\text{раб. max}}}, \quad (5)$$

$$k''_{K3} = \frac{U_{K3}}{U_{\text{раб. min}}} = \frac{I_{K3} Z_{K3}}{U_{\text{раб. min}}}, \quad (6)$$

$$I_{K3} = \frac{E_{\text{ЭКВ}}}{Z_{\text{ЭКВ}} + Z_{K3}}, \quad (7)$$

где $B^I_{\text{раб. max}}$, $B^U_{\text{раб. min}}$ – индукция МП вдоль пластин геркона от амплитудных значений тока $I_{\text{раб. max}}$ фазы электроустановки и тока в обмотках 32 и 33 при минимальном рабочем напряжении $U_{\text{раб. min}}$ в месте установки реле, соответственно; I_{K3} , U_{K3} , Z_{K3} , – ток, напряжение и сопротивление КЗ в месте установки защиты, на которые реле должно реагировать; $E_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентная ЭДС генераторов, создающих ток I_{K3} , $Z_{\text{ЭКВ}}$; – сопротивление между ЭДС $E_{\text{ЭКВ}}$ и местом установки защиты.

Размыкание (замкнутых после срабатывания от воздействия постоянного тока в обмотках 23 и 24) контактов 16 и 17 герконов 1 и 2 происходит лишь в одну полуволну B_{Σ} при выполнении условия:

$$B_{\Sigma} > B_{II1} - B_B, \quad (8)$$

где B_{II1} – индукция МП подмагничивания от постоянного тока в обмотках 23 и 24; B_B – индукция МП, при которой контакты 16, 17 и 21 герконов 1, 2 и 6 возвращаются в исходное положение.

Тогда величина индукции МП подмагничивания

$$B_{II1} \leq \frac{B_{\Sigma min} + B_B}{k_{омс}^I}, \quad (9)$$

где $B_{\Sigma min}$ – минимально возможное по модулю значение B_{Σ} ; $k_{омс}^I$; – коэффициент отстройки, $k_{омс}^I = 1, 2 - 1, 3$.

Для нахождения $B_{\Sigma min}$ преобразуем (4) с учетом (7) и коэффициентов преобразования

$$\begin{aligned} B_{\Sigma min} &= \frac{I_{КЗ}}{I_{раб. max}} k_2 \sqrt{2} I_{раб. max} + \frac{I_{КЗ} Z_{КЗ}}{U_{раб. min}} k_1 \sqrt{2} U_{раб. min} = \\ &= \sqrt{2} k_2 I_{КЗ} + \sqrt{2} k_1 I_{КЗ} Z_{КЗ} = \sqrt{2} E_{\text{ЭКВ}} \frac{k_2 + k_1 Z_{\text{ЭКВ}}}{Z_{\text{ЭКВ}} + Z_{КЗ}} \end{aligned} \quad (10)$$

При дифференцировании (10) по $Z_{КЗ}$ получим

$$\frac{dB_{\Sigma}}{dZ_{КЗ}} = \sqrt{2} E_{\text{ЭКВ}} \frac{k_1 Z_{\text{ЭКВ}} - k_2}{(Z_{\text{ЭКВ}} + Z_{КЗ})^2}, \quad (11)$$

Откуда

$$\frac{dB_{\Sigma}}{dZ_{КЗ}} = 0 \text{ при } Z_{КЗ} = \infty. \quad (12)$$

Значит B_{Σ} равно $B_{\Sigma min}$ на одном из концов интервала

$$Z_{K3} = 0 + Z_{YCT}, \quad (13)$$

где Z_{YCT} – сопротивление уставки реле сопротивления.

Возрастание или убывание B_1 зависит от знака выражения $k_1 Z_{\text{ЭКВ}} - k_2$.

. Будем выбирать коэффициенты k_1 и k_2 так, чтобы выполнялось неравенство

$$k_1 Z_{\text{ЭКВ}} - k_2 > 0. \quad (14)$$

Тогда

$$\begin{aligned} B_{\Sigma} = B_{\Sigma min} &= \sqrt{2} E_{\text{ЭКВ}} \frac{k_2 + k_1 Z_{YCT}}{Z_{\text{ЭКВ}} + Z_{YCT}} = \\ &= \sqrt{2} I_{K3, YCT} (k_2 + k_1 Z_{YCT}) \end{aligned} \quad (15)$$

где $I_{K3, YCT}$ – ток при повреждении в конце защищаемой зоны (то есть при сопротивлении Z_{YCT}).

Для обеспечения поляризации герконов 1 и 2 должно выполняться условие

$$B_{П1} > B_{CP}, \quad (16)$$

или

$$B_{П1} = k_{омс}^{II} B_{CP}, \quad (17)$$

где B_{CP} – индукция МП, при которой контакты 16, 17 и 1 герконов 1, 2 и 6 замыкаются; $B_{П1 min}$ – минимальное значение $B_{П1}$; $k_{омс}^{II}$ – коэффициент отстройки, $k_{омс}^{II} = 1, 2 - 1, 3$.

Магнитный поток $B_{П1}$ и ток $I_{П1}$ в обмотке связаны соотношением

$$I_{II1} = \frac{l}{W} B_{II1}, \quad (18)$$

где W , l – число витков и длина катушки обмоток 23 и 24.

Таким образом, чтобы герконы 1 и 2 отпадали в соответствующие полуволны изменения А величина постоянного тока I_{II1} , подаваемого в обмотки 23 и 24, должна рассчитываться по (9), (15), (17) и (18), причем направление потоков от этих обмоток должно быть противоположным.

Для обеспечения несрабатывания герконов 1, 2 и 6 в режиме нагрузки и надежного возврата после отключения КЗ, пуска и самозапуска электродвигателей нагрузки должны выполняться неравенства

$$B_{CP} > B_{раб. max}^I + B_{помех}, \quad (19)$$

$$B_B > B'_{помех}, \quad (20)$$

где $B_{помех}$ – суммарная индукция МП помех (от токов в земле и соседних линий, МП Земли и т.п.); $B'_{помех}$ – постоянная составляющая $B_{помех}$ (определяется экспериментально).

Вводя коэффициенты отстройки k^{III} , учитывающий помехи и равный 1,3, и $k^{IV}_{отс}$, равный 1,1–1,2, получим

$$B_{CP} = k^{III}_{отс} B_{раб. max}^I, \quad (21)$$

$$B_B = k^{IV}_{отс} B'_{помех}. \quad (22)$$

Для того, чтобы герконы 3 и 4 фиксировали отрицательную и положительную полярности С, подводимого от трансформатора 28 через схему формирования 31, необходимо, чтобы

$$I_{II2} = (15 \div 30) I_{cp2}, \quad (23)$$

$$I_3 = (1,3 \div 2) I_{II2} = \frac{k_1 \dot{U}}{Z_3}, \quad (24)$$

где I_{II2} – постоянный ток, подаваемый в обмотки 26 и 27 через выпрямители 7 и 8; I_{sp2} – ток срабатывания герконов 3 и 4; I_3 – ток подаваемый в обмотки 34 и 35; Z_3 – сопротивление обмоток 34 и 35.

В режиме нагрузки защищаемой электроустановки постоянный ток в обмотки 23 и 24 герконов 1 и 2 и постоянное напряжение на обмотки 26 и 27 герконов 3 и 4, как и переменное напряжение на обмотки 32 и 33 герконов 1 и 2 и обмотки 34 и 35 герконов 3 и 4, не подается, так как геркон 6 в действие не приходит, и на входах схемы 15 сравнения фаз сигналов нет.

При КЗ в защищаемой зоне под действием магнитного потока, создаваемого током фазы электроустановки, срабатывает геркон 6, элемент ПАМЯТЬ 9 запоминает сигнал на 11 мс, чтобы на время отпадания контакта 21 геркона 6 между полуволнами переменного тока установки постоянный ток продолжал подаваться в цепи реле. На пусковом входе 22 схемы 15 появляется сигнал, а обмотки 23-25 герконов 1, 2 и 5 обтекаются постоянным током. Геркон 5 срабатывает и подает переменное напряжение через схемы 30 и 31 формирования на обмотки 26 и 27 герконов 3 и 4. При этом на входах 11 и 13, 12 и 14 схемы 15 сравнения фаз появляются величины, соотношение которых приводят к появлению сигналов на ее выходе и выходе элемента 10 ПАМЯТЬ.

При внешних КЗ, пуске и самозапуске электродвигателей, когда ток в электроустановке больше уставки срабатывания геркона 6, контакт 17 замыкается и происходит пуск реле. Но в этом случае сигнал на выходе реле не появляется, так как – или величины магнитных потоков в герконах 1 и 2 недостаточны для отпадания их контактов 16 и 17, то есть на выходах 11 и 12 схемы 15 отсутствует информация о фазе формируемой величины \dot{A} , или, если контакты 16 и 17 все же отпадут, то соотношение фаз сформированных величин \dot{A} и \dot{C} происходит каждую полуволну изменения \dot{A} , то время срабатывания устройства не будет превышать 0,021 с даже при установке на выходе электромеханического реле, например, поляризованного типа.

Диагностика неисправности устройства осуществляется следующим образом. При нажатии кнопки 40 срабатывает реле 38 и размыкает контакты 37 и 42. Размыкаясь контакт 42 вводит сопротивление 41 в схему, понижая напряжение от трансформатора 28, а контакт 37 разрывает цепь отключения выключателя электроустановки. Затем срабатывает реле 39 и замыкает контакт 44, подавая напряжение на обмотку 45 геркона 6 через блок регулировки 43 с разделительным трансформатором на входе. В результате обмотка 45 геркона 6 обтекается током, и он срабатывает, запуская схему

защиты. Далее схема работает как при КЗ. Если все ее элементы исправны, то логическая часть 36 выдает сигнал в цепь сигнализации, сообщая, что схема защиты исправна. На отключение выключателя электроустановки сигнал не подается, так как контакт 37 разомкнут. Отметим, что сложность выполнения и стоимость предложенного реле, как показали ориентировочные расчеты, по сравнению с существующими аналогичными примерно одинакова.

Как и в любых других защитах на основе герконов, в предлагаемой их необходимо располагать в определенных точках вблизи токоведущих фаз электроустановки. Для этого в некоторых случаях могут быть использованы конструкции, представленные в [11].

Выводы

Рассмотренные направленное и не направленное реле сопротивления могут быть использованы при построении дистанционной защиты, не нуждающейся в металлоемких трансформаторах тока. При этом их выполнение не сложнее, чем у аналогичных существующих. Кроме того, направленное реле обладает повышенной надежностью за счет наличия простой тестовой диагностики неисправностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М. : Высшая школа, 2006. – 639 с.

2 **Kletsel, M., Mashrapov, B.** Differential protection of three and four parallel lines of idling current control // *Przegląd Elektrotechniczny*, 2017. – vol. 93, № 10. – P. 109–112.

3 **Дьяков, А.Ф., Ишкин, В.Х., Мамиконянц, Л.Г., Семенов, В.А.** Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по матер. 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // *Энергетика за рубежом*. – М. : ЗАО Научно-техническая фирма «Энергопрогресс», 2004. – Вып. 4–5. – 176 с.

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

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

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 **Karabanov, S. M., Maisels, R. M., Shoffa V. N.** Magnetically controlled contacts (reed switches) and reed switch based products. – Dolgoprudny : Intellect Publishing House, 2011. – 408 p.

9 **Гречухин, В.Н., Нуждин, В. Н., Глушкина, В.В., Новожилов, И. А., Дмитриев, К. С.** Опыт разработки преобразователей тока в напряжение на магнитотранзисторах для устройств релейной защиты и измерения // Энергетик, 1997. – № 6. – С. 14–16.

10 **Клецель, М. Я., Масленников, А. Л.** Устройство для защиты от коротких замыканий линий с блоком отбора напряжения // Пат. 7250 РК МПК H02H 7/12; опубл. 15.02.1999.

11 **Kletsel, M., Barukin, A., Mashrapov, B.** Designs for Mounting Reed Switches in Vicinity of AC and DC Buses // Proc. of 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2020. – P. 285–290.

REFERENCES

1 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya [Relay protection and automation of power supply systems]. – М. : Vysshaya shkola, 2006. – 639 p.

2 **Kletsel, M., Mashrapov, B.** Differential protection of three and four parallel lines of idling current control // Przegląd Elektrotechniczny, 2017. – vol. 93, № 10. – P. 109–112.

3 **Diakov, A. F, Ishkin, V. Kh, Mamikonians, L. G, Semenov V. A.** Elektroenergetika mira v nachale XXI stoletia (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.

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

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

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 **Karabanov, S. M., Maisels, R.M., Shoffa V. N.** Magnetically controlled contacts (reed switches) and reed switch based products. – Dolgoprudny : Intellect Publishing House, 2011. – 408 p.

9 **Grechuhin, V.N., Nuzhdin, V.N., Gluskina, V. V., Novozhilov, I. A., Dmitriev, K. S.** Opyt razrabotki preobrazovatelej toka v napryazhenie na magnitotranzistorah dlya ustrojstv relejnoj zashchity i izmereniya [Experience in developing current-to-voltage converters based on magnetotransistors for relay protection and measurement devices] // Energetik, 1997. – № 6. – P. 14–16.

10 **Kletsel, M.Ya., Maslennikov, A. L.** Ustrojstvo dlya zashchity ot korotkih замыканий линий с блоком отбора напряжения [Line short-circuit protection device with voltage tap] // Pat. 7250 RK IPC H02H 7/12; publ. 02/15/1999.

11 **Kletsel, M., Barukin, A., Mashrapov, B.** Designs for Mounting Reed Switches in Vicinity of AC and DC Buses // Proc. of 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2020. – P. 285–290.

Материал поступил в редакцию 13.03.23.

**М. Я. Клещель¹, Б. Е. Маширапов², А. С. Барукин³*

^{1, 2, 3}Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал баспаға 13.03.23 түсті.

ТОК ТРАНСФОРМАТОРЛАРЫН ПАЙДАЛАНБАЙТЫН ҚАШЫҚТЫҚТЫ ҚОРҒАНЫСЫНА АРНАЛҒАН ӨЛШЕУ ОРГАНДАРЫ

Ток трансформаторларын басқа металды аз қажет ететін және көлемді ток датчиктеріне ауыстыру қазіргі электр энергетикасындағы өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Мұндай ток датчиктері ретінде Роговский катушкаларын, индуктивтілік катушкаларын, магнитті резисторларды, Холл датчиктерін, геркондарды және т.б. пайдалануға болады. Осы датчиктердің кейбіреуінің артықшылықтары мен кемшіліктері қысқаша қарастырылған. Геркондардың конструкциясының сипаттамасы, олардың жұмыс принципі және басқа ток датчиктерінен артықшылығы келтірілген. Электр қондырғысының фазасындағы ток туралы ақпаратты геркондардан алу негізінде қысқа тұйықталудан кейбір қорғаныстарды құру принциптері мен құрылыстары әзірленгені айтылады. Толық кедергінің өлшеу органы егжей-тегжейлі қарастырылып, оның қысқа тұйықталу және жүктеме режиміндегі жұмысы сипатталған. Ақаулықты диагностикалаудың қарапайым схемасы бар бағытталған кедергі релесі ұсынылған, ол батырмадан,

іске қосу герконына орнатылған басқару орамасынан, екі аралық реледен және көрсетілген орамадағы тоқты реттеу блогынан тұрады. Бағытталған өлшеу органының іске қосу параметрлерін таңдау әдістемесі ұсынылған және оның электр қондырғысының әртүрлі жұмыс режимдерінде жұмыс істеуі сипатталған.

Кілтті сөздер: қашиқтықты қорғау, өлшеу органы, геркон, сынақ диагностикасы, қарсылық релесі.

**М. Я. Kletsel¹, В. Е. Mashrapov², А. S. Barukin³*

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

Material received on 13.03.23

MEASURING DEVICES FOR REMOTE PROTECTION NOT USING CURRENT TRANSFORMERS

It is noted that the replacement of current transformers with some other, less metal-intensive and bulky, current sensors is one of the urgent tasks in the modern electric power industry. It is mentioned that Rogowski coils, inductors, magnetoresistors, Hall sensors, reed switches, etc. can be used as such current sensors. The advantages and disadvantages of some of these sensors are briefly considered. A description of the design of reed switches, their principle of operation and advantages over other current sensors are given. It is stated that on the basis of obtaining information about the current in the phase of the electrical installation from the reed switches, the principles of construction and arrangement of some protection against short circuits have already been developed. The impedance measuring body is considered in detail and its operation in the short circuit and load modes is described. A directional resistance relay is proposed with a simple circuit for test diagnostics of a malfunction, which consists of a button, a control winding put on a starting reed switch, two intermediate relays and a current control unit in the indicated winding. A technique for selecting the operation parameters of a directional measuring body is presented and its operation in various operating modes of an electrical installation is described.

Keywords: remote protection, measuring device, reed switch, test diagnostics, resistance relay.

Теруге 13.03.2023 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2023 ж. кол қойылды.

Электронды баспа

3,44 Мб RAM

Шартты баспа табағы 23.59. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4039

Сдано в набор 13.03.2023 г. Подписано в печать 31.03.2023 г.

Электронное издание

3,44 Мб RAM

Усл. печ. л. 23.59. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4039

«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