

Альтернативная ресурсосберегающая дифференциальная защита электродвигателей

ИСАБЕКОВ Даурен Джамбулович, PhD, постдокторант, Dauren_pvl2012@mail.ru,
НАО «Торайгыров университет», Казахстан, Павлодар, ул. Ломова, 64.

Аннотация. Автором представлен принцип действия альтернативной ресурсосберегающей дифференциальной защиты для высоковольтных электрических двигателей, выполненных с регулируемым выбором уставок, без использования для этой защиты измерительных трансформаторов тока (ТТ) и реле тока с ферромагнитными сердечниками, обладающих значительными весогабаритными параметрами и высокой стоимостью. Результатом является создание для защиты электрических двигателей ресурсосберегающей защиты, выполненной на катушках индуктивности и герконах. Защиты с их применением могут использоваться как альтернативные по отношению к традиционным защитам электрических двигателей, выполненных на электромеханической, полупроводниковой и микропроцессорной базах и при этом по своим характеристикам ничуть не уступающие им. Научной новизной является то, что данная защита обладает эффектом ресурсосбережения используемых материалов, позволяя тем самым осуществить значительную экономию меди и стали, и представляет из себя новый подход в реализации дифференциальной защиты для электродвигателей. Все конструктивные элементы представленной защиты выполнены из термостойкого, прочного и облегченного пластика, типа «PLA», распечатанные на 3D-принтере. Ресурсосберегаемость данных защит заключается в использовании катушек индуктивности и герконов, являющихся как по своей стоимости, так и по своим весогабаритным параметрам на порядок дешевле и меньше по размеру и весу, чем вышесказанные измерительные ТТ. Использование представленной защиты повышает надежность релейной защиты как самой ячейки, где она установлена, так и электроустановки, в качестве которой выступает электрический двигатель, подключенный к ней. Предложенная дифференциальная защита выполнена в виде конструкции с установкой ее элементов внутри ячейки комплектных (закрытых) распределительных устройств напряжением 6–35 кВ и в самом электродвигателе.

Ключевые слова: дифференциальная защита, катушка индуктивности, индукция магнитного поля, высоковольтный электродвигатель, ячейка КР.

Введение и актуальность исследования

Дифференциальные защиты в силу своей надежности нашли широкое применение на промышленных предприятиях для защиты электроустановок напряжением 6–35 кВ от внутренних коротких замыканий. Они получают информацию о токе в фазе защищаемой электроустановки, как и большинство других защит [1] от измерительных трансформаторов тока (ТТ) с металлическими сердечниками. Эти трансформаторы тока имеют ряд общеизвестных недостатков [2; 3], из-за которых на международных советах по большим электрическим системам высокого напряжения (СИГРЭ) неоднократно отмечалось, например [4], что одной из актуальных задач современной электроэнергетики является разработка устройств и конструкций релейной защиты без вышеназванных ТТ. Работы по устранению указанных недостатков, созданию новых преобразователей тока, а также альтернативных ресурсосберегающих защит, не использующих трансформаторы тока металлическими сердечниками, начатые в середине

прошлого столетия [5; 6; 7; 8], продолжают и по сей день [9; 10; 11; 12]. Для построения дифференциальной продольной защиты высоковольтного электродвигателя без традиционных измерительных трансформаторов тока выбраны магниточувствительные элементы – катушки индуктивности от промежуточного реле РП-25 и геркон [8; 13].

Реализация дифференциальных защит на герконах и катушках индуктивности

В таких защитах геркон и катушка индуктивности выполняют одновременно функции датчика тока и измерительного органа защиты и реагируют на магнитное поле, создаваемое токами в фазах электроустановки [8; 13].

К примеру геркон срабатывает (замыкает разомкнутые до этого свои контакты), если индукция магнитного поля, действующая вдоль его контактов, достигает величины срабатывания, то есть возникает так называемая магнитодвижущая сила срабатывания геркона, определяемая на заводе-изготовителе с помощью обмотки управления

с определенной длиной, намотанной на геркон. Для восприятия магнитного поля катушка индуктивности крепится вблизи токоведущих шин [8]. В данной работе рассматривается дифференциальная защита высоковольтного электродвигателя с вариантом её крепления на безопасном расстоянии, так как тогда не нужны специальные мероприятия по обеспечению безопасности, значительно меньше вероятность их повреждения, при этом проще регулировать параметры уставок её срабатывания (осуществляется это изменением расстояния h от катушки индуктивности до токоведущей шины).

Альтернативная ресурсосберегающая продольная дифференциальная защита электродвигателей

Дифференциальная защита высоковольтных электродвигателей представлена в виде конструкции, в состав которой входят три пластины 1, на наружной стороне которых закреплено по одной катушке индуктивности и по сути представляет первую группу катушек индуктивности (KI_{1-3})2, вторая группа катушек индуктивностей (KI_{4-6})3 крепится к стойке 4, токоведущая шина 5. Сами пластины 1 закреплены на первом конце трёх первых осей 6, стержень с резьбой 7, на первом конце которого установлено червячное колесо 8, имеющее сцепление с червячным валом 9, соединенным одним концом со второй осью 10, второй конец данной оси проходит внутри вала 11, который закреплен на первой планке 12 (рисунок 1а,б,в). Планка 12 имеет внутреннюю резьбу и крепится к фасадному листу 13 выкатной тележки высоковольтного выключателя, установленного в ячейке 14 КРУ, серии КРУ-2 [14]. Вторая планка 15 с установленным на ней винтом 16 располагается внутри первой планки 12, осуществляя возможность вертикального перемещения (вверх от начального положения) пластины 1 (рисунок 1в). Начальное положение платформы 17, имеющей продольные 18 и поперечные 19 прорези является горизонтальным. Платформа 17 устанавливается на раму 20 выкатной тележки высоковольтного выключателя. Для осуществления перемещения, как самих пластин 1 с катушками 2, так и платформы 17 вверх вместе с ними, относительно плоскости токоведущих шин 5 на второй конец второй оси 10 насажен первый 21, а на первый конец вала 11-второй вентиль 22. На первой планке 12 для выставления необходимого расстояния, как для вертикального перемещения платформы 17 с пластиной 1, так и для перемещения пластины 1 с первой группой катушек индуктивности 2 при начальном положении платформы 17, относительно плоскости токоведущих шин 5 используются первая 23 и вторая 24 шкала. Регулирование параметров срабатывания дифференциальной защиты осуществляют перемещением пластины 1 с установленными на ней первой группой катушек индуктивности 2 вдоль прорезей 18 и 19 платфор-

мы 17, относительно плоскости токоведущих шин 5 ячейки 14 КРУ с помощью первого 21 и второго 22 вентиля (рисунок 2а). Геркон 25 размещены внутри обмоток управления 26, включенных встречно (рисунок 2б), а его первые контактные сердечники 27 замыкающего контакта 28 подключены к полюсу «плюс» автоматического выключателя 29, а ко второму контактному сердечнику 30 замыкающего контакта 28 подключен первый вывод обмотки 31 промежуточного реле 32. Второй вывод обмотки 31 подключен к полюсу «минус» автоматического выключателя 29 (рисунок 2б).

Стойка 4 крепится внутри электродвигателя 33 – к выходам фаз статорных обмоток 34 (рисунок 1б). Первая ($У_1-У_3$)35 и вторая ($У_4-У_6$)36 группы усилителей напряжения подключены к выводам обмоток управления 26 герконов 25. К самим усилителям напряжения 35 и 36 подключены выводы первой (KI_{1-3})2 и второй (KI_{4-6})3 группы катушек индуктивностей (рисунок 2б). Токоведущие шины 5 ячейки 14 КРУ, шесть регулируемых резисторов ($R_{1,2,3}$ и $R_{4,5,6}$) 37. К контакту на замыкание 38 промежуточного реле 32, подключенного к полюсу «плюс» автоматического выключателя 29, посредством указательного реле 39, подключена катушка отключения (КО) 40 выключателя электродвигателя 33.

Усилители напряжения 35 и 36, регулируемые резисторы 37 размещены в блоке усилителей 41, промежуточное 32 и указательное реле 39 размещены в релейном блоке 42 (рисунок 2а).

Подготовка к работе продольной дифференциальной защиты высоковольтного электродвигателя. Платформа 17 устанавливается на раму 20 выкатной тележки высоковольтного выключателя, установленного внутри ячейки 14 КРУ (рисунок 2а).

Перед установкой данной конструкции в ячейку 14 КРУ определяют оптимальное место установки пластины 1 с первой 2 группой катушек индуктивности, т.е. это место, где напряжённость магнитного поля будет иметь максимальное значение, отсчитывают требуемое по технике безопасности расстояние, равное 120 мм, минимально допустимому расстоянию по ПУЭ (для электроустановок с напряжением $U = 6-10$ кВ) от токоведущих шин 5 до данной группы катушек индуктивности, а также с учетом удобства размещения катушек индуктивностей (рисунок 2а) [15]. Перемещение к этому оптимальному месту установки пластины 1 с первой группой 2 катушек индуктивности, установленную на поверхности платформы 17, осуществляют с помощью стержня с резьбой 7 и перемещают вдоль первой продольной прорези 18 платформы 17, расположенной на расстоянии 120 мм. от токоведущей шины 5 вращением первого вентиля 21. Один полный оборот первого вентиля 21 равен перемещению пластины 1 на расстояние в 10 мм. При необходимости установки пластины 1 с первой группой 2 катушек индуктивности на вторую продольную прорезь 18, т.е. на расстоянии к примеру 180 мм.

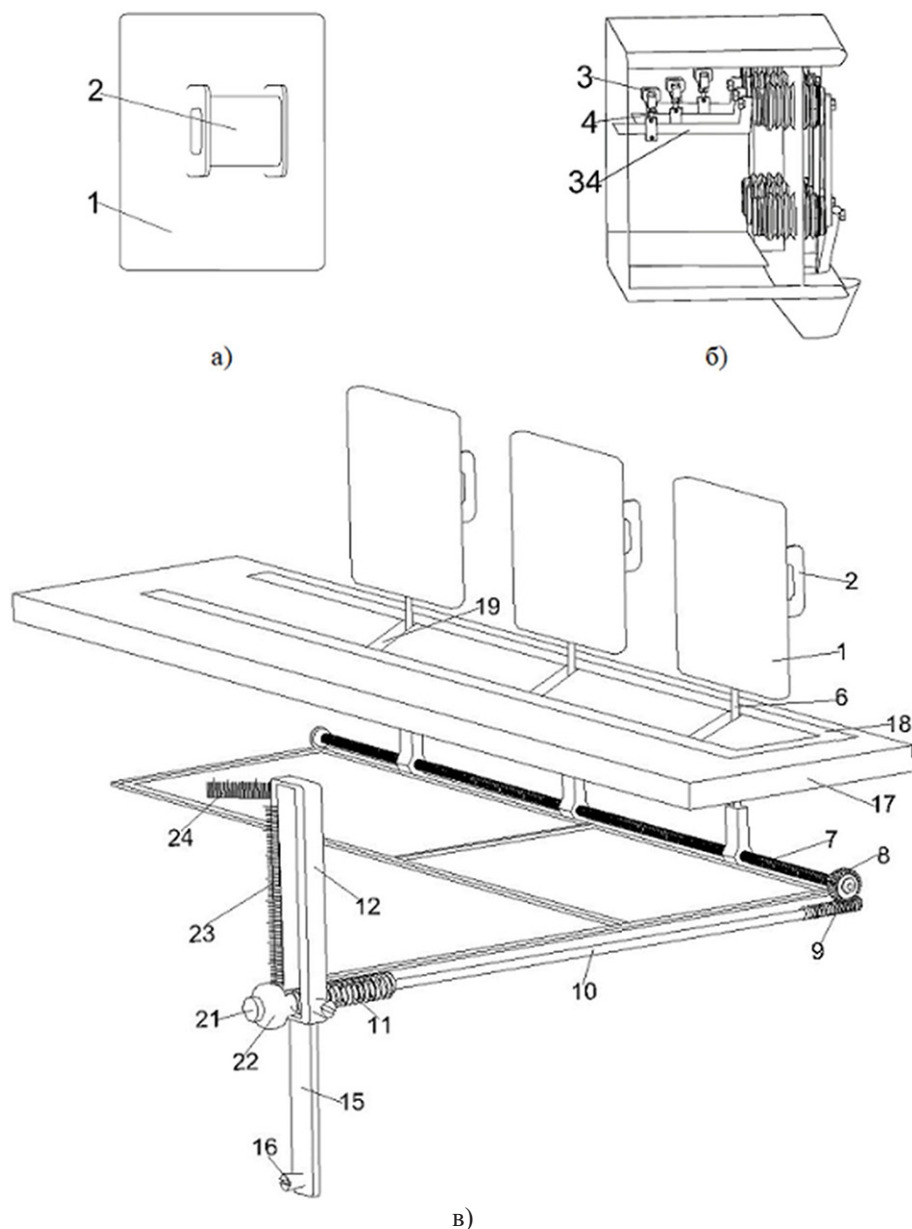


Рисунок 1 – Элементы конструкции альтернативной дифференциальной защиты электродвигателя: а) катушка индуктивности, расположенная на пластине; б) размещение катушек индуктивностей внутри электродвигателя; в) конструкция альтернативной дифференциальной защиты электродвигателя

от токоведущих шин 5, её перемещают с первой продольной прорези 18 с помощью вала 11 – вращением второго вентиля 22. Расстояние, на которое перемещается пластина 1 определяется по первой шкале 23. При этом один полный оборот второго вентиля 22 равен перемещению пластины 1 на расстояние в 10 мм по поперечной прорези 19. Для осуществления вертикального перемещения платформы 17 с расположенными на ней пластинами 1 используют вторую планку 15, с фиксацией установленного на ней винта 16 к фасадному листу 13 выкатной тележки высоковольтного выключателя. Расстояние перемещения при этом определяется по второй шкале 24 (рисунок 1в).

ет следующим образом, с установкой её элементов схемы по последовательности, описанной ниже. В шинном отсеке с соблюдением минимально допустимого расстояния по ПУЭ, равного 120 мм. (для электроустановок с напряжением $U = 6-10$ кВ) от токоведущих шин 5 устанавливают платформу 17, с расположенными на ней пластинами 1, на которых закреплена первая группа катушек индуктивности (KI_1-KI_2) , расположенных перпендикулярно плоскости поперечного сечения токоведущих шин 5 (рисунок 1в;2а). Для установки второй группы катушек индуктивности (KI_4-KI_6) 3 внутри электродвигателя 33 на середине выводов его статорных обмоток 34 закрепляют стойку 4 (рисунок 1б). Перед установкой и закреплением первой группы катушек индуктивностей

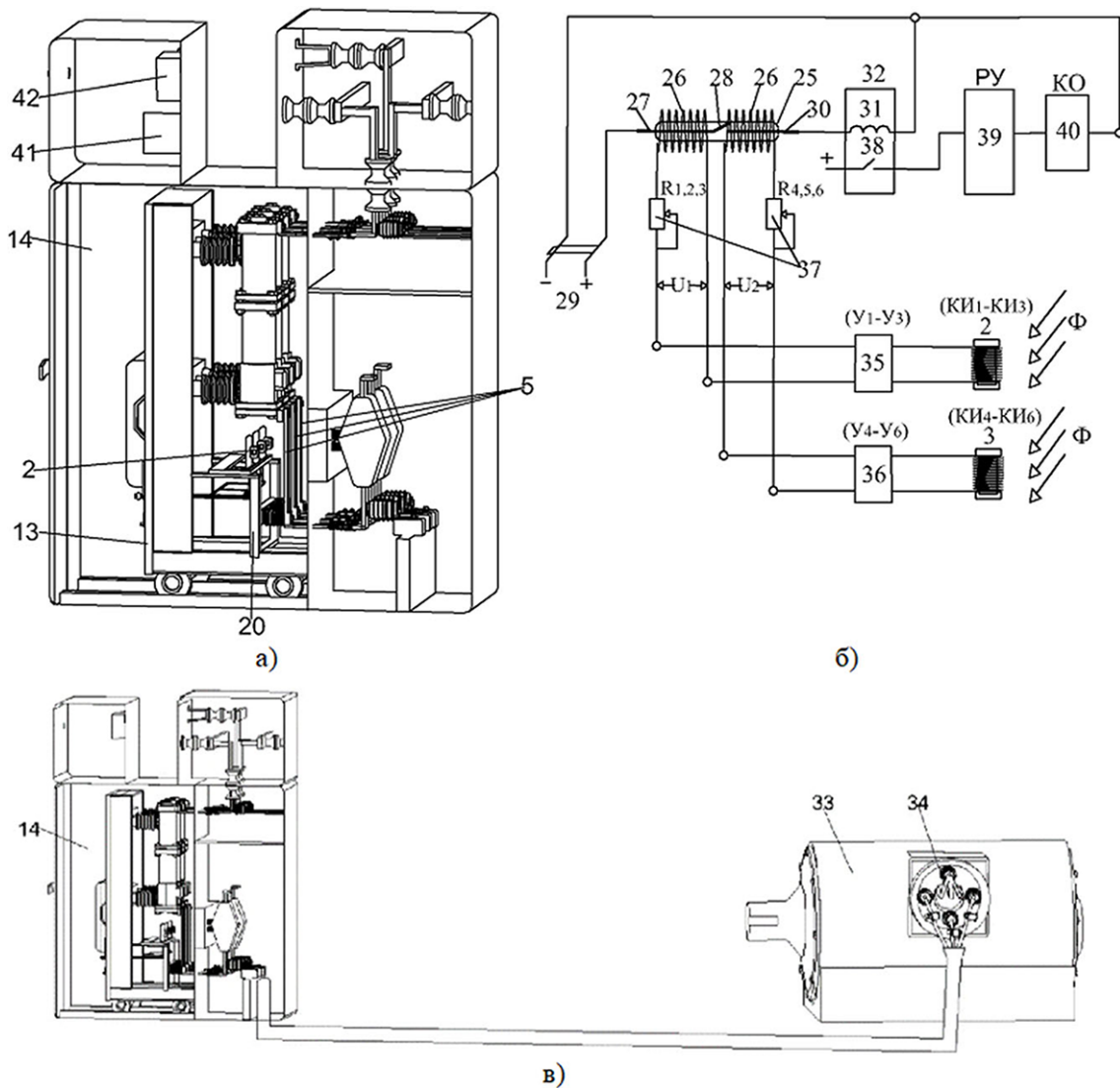


Рисунок 2 – Альтернативная ресурсосберегающая дифференциальная защита электродвигателя: а) размещение катушек индуктивностей в шинном отсеке ячейки; б) структурная схема дифференциальной защиты электродвигателя, выполненной на катушках индуктивности; в) общий вид подключения защищаемого высоковольтного электродвигателя к ячейке КРУ

(КИ₁-КИ₃)₂ в шинном отсеке их устанавливают в точках максимальных значений индукции магнитного поля, индуктируемых каждой токоведущей шиной 5 (рисунок 2а). Далее включают автоматический выключатель 29 и на первые контактный сердечник 27 герконов 25 подается потенциал «плюс» (рисунок 2б).

Принцип действия продольной дифференциальной защиты основан на сравнении значений индукций магнитного поля. При этом защищаемой зоной является участок между первой и второй группами катушек индуктивности (КИ₁-КИ₃)₂ и (КИ₄-КИ₆)₃, имеющих одинаковые параметры (выставляемых с помощью регулируемых резисторов (R_{1,2,3} и R_{4,5,6}) 37. Воздействие магнитных потоков Φ, созданных в токоведущих шинах 5 и статорных обмотках 34 на катушки индуктивности показано стрелками (рисунок 2б). Первая (У₁-У₃)₃₅ и вторая (У₄-У₆)₃₆ группы усилителей

напряжения усиливают значение напряжения, снимаемого с выводов катушек индуктивности до требуемого.

В нормальном режиме работы параметры в схеме дифференциальной защиты отрегулированы с помощью резисторов 37 так, чтобы напряжения U₁ и U₂ совпадали по величине, в результате чего схема не реагирует на внешние короткие замыкания – за пределами токоведущих шин 5 ячейки 14 КРУ и статорных обмоток 34 высоковольтного электродвигателя 33 (рисунок 2в).

При коротком замыкании внутри защищаемого электродвигателя 33 ток в его статорных обмотках 34, а также в токоведущих шинах 5 возрастает, то первая (КИ₁-КИ₃)₂ и вторая группа (КИ₄-КИ₆)₃ катушек индуктивности реагируют на изменение индукции магнитного поля: в них индуктируется повышенное значение напряжения (рисунок 2б). При этом напряжения U₁ и U₂

направлены в разные стороны и не равны друг другу – они будут отличаться, а в связи с этим будут отличаться и токи в обмотках управления 26, создающих магнитный поток, воздействующий на геркон 25. В силу того, что данное значение напряжения, снимаемое с выводов первой (КИ₁₋₃)₂ и второй (КИ₄₋₆)₃ группы катушек индуктивности имеет малое значение, порядка 2В, то оно повышается с помощью первой (У_{1-У₃})₃₅ и второй (У_{4-У₆})₃₆ группы усилителей напряжения до значения напряжения, равного $U = 220$ В. и подается на первый вывод обмотки управления 26 геркона 25. В результате достижения данной разности между напряжениями U_1 и U_2 – величины достаточной для срабатывания геркона 25, он под воздействием магнитного поля, создаваемого обмоткой управления 26 срабатывает, замыкая между собой первый 27 и второй 30 свои контактные сердечники и подаёт сигнал «+», поступающий с автоматического выключателя 29 на первый вывод обмотки 31 промежуточного реле 32 (рисунок 2б). Далее реле 32, сработав, подаёт через подключенный к его контакту на замыкание 38 указательное реле 39 сигнал на катушку отключения (КО) 40 выключателя. В результате чего высоковольтный электродвигатель 33 отключается от электрической сети (рисунок 2в).

Выводы

Наличие первого 21 и второго 22 вентилях, первой 12 и второй 15 планки позволяет осуществить регулируемое перемещение как самих пластин 1, с установленными на них катушками

индуктивности 2, так и платформы 17 вместе с пластинами 1, позволяя установить эти катушки 2 в местах максимальной напряженности магнитного поля внутри ячейки 14 КРУ для осуществления изменения уставок дифференциальной защиты, при начальном и вертикальном положениях платформы 17, относительно плоскости токоведущих шин 5. Отсутствие использования токовых реле и трансформаторов тока как выносных, так и встроенных с металлическими сердечниками, содержащих дорогостоящие медь, сталь и высоковольтную изоляцию, имеющих также значительные весогабаритные параметры, отвечает актуальному вопросу мировой и казахстанской электроэнергетики, в том числе и релейной защите – ресурсосбережению производимых и используемых материалов, позволяя использовать представленную защиту как альтернативную, для реализации продольной дифференциальной защиты высоковольтного электродвигателя.

Информация о финансировании

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP14972954). Решение ННС (выписки) /2022/ Энергетика и машиностроение от 18 августа 2022 года. Выписка № 4 (рассмотрение заявок по проекту Жас галым 2 – 2022-2024 годы), № протокола заседания – 8, заявка № 15 – «Альтернативная ресурсосберегающая релейная защита систем электроснабжения, ее исследование и разработка».
<https://www.ncste.kz/ru/energetika-i-mashinostroenie-2022>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов. – 4-е изд., перер. и доп. – М.: Высшая школа, 2006. – 639 с.
2. Казанский В.Е. Трансформаторы тока в схемах релейной защиты. – М.: Энергия, 1969. – 184 с.
3. Казанский В.Е. Измерительные преобразователи тока в релейной защите. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 240 с.
4. Дьяков А.Ф. Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по матер. 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // Энергетика за рубежом. – 2004. – № 4. – С. 7-16.
5. Кобус А., Тушинский Я. Датчики Холла и магниторезисторы / Пер. с польск. В.И. Тихонова, К.Б. Макидонский; Под ред. О.К. Хомерики. – М.: Энергия, 1971. – 352 с.
6. Егизарян Г.А., Стафеев В.И. Магнитодиоды, магнитотранзисторы и их применение. – М.: Радио и связь, 1987. – 88 с.
7. Кожович Л.А., Бишоп М.Т. Современная релейная защита с датчиками тока на базе катушки Роговского // Современные направления развития релейной защиты и автоматике энергосистем: сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. – М.: Научно-инженерное информационное агентство, 2009. – С. 39-48.
8. Карабанов С.М., Майзель Р.М., Шоффа В.Н. Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе. – Долгопрудный: Издательский Дом Интеллект, 2011. – 408 с.
9. Issabekov D.D., Kletsel M.Ya., Zhantlesova A.B., Mayshev P.N., Mashrapov B.E. New filters for symmetrical current components // Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – No. 101. – Pp. 85-91.
10. Патент № 2670720 Российской Федерации, МПК H02N 3/08. Устройство для крепления герконов в ячейках комплектных распределительных устройств / Д.Д. Исабеков, М.Я. Клецель, О.М. Талипов, И.И. Шолохова; опубл. 29.11.2018, бюл. № 34.
11. Патент № 2678189 Российской Федерации, МПК H02N 3/08. Устройство для токовой защиты электроустановок / Д.Д. Исабеков, М.Я. Клецель, К.И. Никитин, Б.Е. Машрапов; опубл. 24.01.2019, бюл. № 3.
12. Патент 34422 Республики Казахстан, МПК H02N 3/08. Устройство для газовой защиты трансформатора на магнитоуправляемых контактах / Исабеков Д.Д.; заявл. 08.01.2018; опубл. 26.06.2020, бюл. № 25.
13. Басс Э.И. Катушки реле защиты автоматике. – М.: Энергия, 1974. – 80 с.
14. Дорошев К.И. Комплектные распределительные устройства 6-35 кВ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 376 с.
15. Приказ Министра энергетики Республики Казахстан. Правила устройства электроустановок Республики Казахстан: утв. 20 марта 2015 года, № 230 // adilet.zan.kz.

Электрқозғалтқыштардың альтернативтік ресурсты үнемдейтін дифференциалды қорғанысы

ИСАБЕКОВ Даурен Джамбулович, PhD, постдокторант, Dauren_pvl2012@mail.ru, «Торайғыров университеті» КеАҚ, Қазақстан, Павлодар, Ломов көшесі, 64.

Аңдатпа. Автор жоғары вольтты электрқозғалтқыштары үшін реттелетін параметрлерді таңдаумен жасалған альтернативтік ресурс үнемдейтін дифференциалды қорғаныстың жұмыс принципін ұсынады, осы қорғаныс үшін иелену салмақ пен өлшем параметрлері мен жоғары құнімен ферромагниттік өзектері бар өлшеуіш ток трансформатор мен (ТТ) ток релені пайдаланбай. Нәтижемен электрқозғалтқыштарын қорғау үшін индуктивтік катушка мен герконда орындалған ресурстарды үнемдейтін қорғанысты жасау болады. Оларды пайдаланылуы мен қорғаныстар, электрқозғалтқыштарының үшін альтернативтік қорғау дәстүрлі қорғаныстарына балама ретінде электромеханикалық, жартылай өткізгіштік және микропроцессорлық базасында жасалған болып сияқты қолданады және сонымен бірге сипаттамалары бойынша олардан ешбір кем болмайды. Бұл қорғаныстың ғылыми жаңалық материалдардың ресурсын үнемдеуге қолданылатын әсер етеп болады, сол арқылы мыс пен болатты айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді және электр қозғалтқыштарын дифференциалды қорғауды жүзеге асыруға жаңа көзқарас болып табылады. Ұсынылған қорғаныстың барлық құрылымдық элементтері 3D принтерде басып шығарылған, ыстыққа төзімді, берік және жеңіл «PLA» типті пластиктен жасалған. Бұл қорғаныстардың ресурстарын үнемдеу индуктивтік катушкалар мен геркондарды қолдануда жатыр, олар құны бойынша, салмақтық және өлшемдік параметрлері бойынша да жоғарыда көрсетілген өлшеуіш ТТ-ларға қарағанда, өлшемдері мен салмағы бойынша арзанырақ және кішірек болады. Ұсынылған қорғанысты пайдалану кезінде релелік қорғаныстың ұяшықтың ішінде орнатылған кезінде, ұяшықтың өзін де, оған қосылған электрқондырғысын да, ол орына электрқозғалтқышы болып табылатын және сол ұяшықа қосылған, сенімділігін арттырады. Ұсынылған дифференциалды қорғаныс оның құрылым элементтерін кернеуі 6-35 кВ комплекті (жабық) тарату құрылғыларының ұяшығының ішінде және электрқозғалтқышының өзінде орнатумен түрінде орындалған.

Кілт сөздер: дифференциалдық қорғау, индуктивтік катушка, магнит өрісінің индукциясы, жоғарғы кернеу электрқозғалтқыш, комплектік тарату құрылғысының ұяшығы.

Alternative Resource-saving Differential Electric Motor Protection

ISSABEKOV Dauren, PhD, Postdoctoral Fellow, Dauren_pvl2012@mail.ru, NCJSC «Toraihyrov University», Kazakhstan, Pavlodar, Lomov Street, 64.

Abstract. The author presents the principle of operation of alternative resource-saving differential protection for high-voltage electric motors, made with adjustable selection of settings, without the use of measuring current transformers (CT) and current relays with ferromagnetic cores, which have significant weight and dimensional parameters and high cost. The result is the creation of resource-saving protection for the protection of electric motors, made on inductive coils and reed switches. Protections with their application can be used as an alternative to the traditional protections of electric motors made on electromechanical, semiconductor and microprocessor bases and at the same time by their characteristics are not inferior to them. The scientific novelty is that this protection has the effect of resource saving of used materials, thus allowing to realize significant savings of copper and steel, and represents a new approach in realization of differential protection for electric motors. All structural elements of the presented protection are made of heat-resistant, durable and lightweight plastic, type «PLA», printed on a 3D printer. The resource-saving of these protections is in the use of inductance coils and reed switches, which are, both in terms of their cost and weight and dimensional parameters, an order of magnitude cheaper and smaller in size and weight than the above-mentioned measuring CTs. The use of the presented protection increases the reliability of relay protection, both the cell itself, where it is installed, and the electrical installation, which is an electric motor connected to it. The proposed differential protection is made in the form of a structure with the installation of its elements inside the cell of complete (closed) switchgear voltage 6-35kV and in the electric motor.

Keywords: differential protection, inductance coil, magnetic field induction, high-voltage electric motor, the cell of a complete switchgear.

REFERENCES

1. Andreev V.A. Relay protection and automation of power supply systems: a textbook for universities. – Moscow: Higher school, 2006, 639 p.
2. Kazansky V.E. Current transformers in relay protection circuits. – Moscow: Energiya, 1969, 184 p.
3. Kazansky V.E. Measuring current transducers in relay protection. – Moscow: Energoatomizdat, 1988, 240 p.
4. Dyakov A.F. (2004). Power industry of the world at the beginning of the XXI century (based on the material of the 39th session of CIGRE, Paris). Energy abroad, 4: 7-16.
5. Kobus A., Tushinsky J. Hall sensors and magnetoresistors / Per. from Polish in and. Tikhonova, K.B. Macidonian; Ed. O.K. Khomeriki. – Moscow: Energy, 1971, 352 p.
6. Egiazaryan G.A., Stafeyev V.I. Magnetodiodes, magnetotransistors and their applications. – Moscow: Radio and communication, 1987, 88 p.
7. Kozhovich L.A., Bishop M.T. (2009). Modern relay protection with current sensors based on the Rogowski coil // Modern trends in the development of relay protection and automation of power systems: collection of articles. report int. scientific and technical conf. – Moscow: Scientific and Engineering Information Agency, 39-48.
8. Karabanov S.M., Maisels R.M., Shoffa V.N. Magnetically operated contacts (reed switches) and products based on them. – Dolgoprudny: Publishing House Intellect, 2011, 408 p.
9. Issabekov D.D., Kletsel M.Ya., Zhantlesova A.B., Mayshev P.N., Mashrapov B.E. New filters for symmetrical current components // Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – No. 101. – Pp. 85-91.
10. Isabekov D.D., Kletsel M. Ya., Kislov A.P., Sholokhova I.I. Device for current protection of electrical installations. Patent of the Russian Federation, 2704792, 31 October 2019.
11. Isabekov D.D., Kletsel M. Ya., Nikitin K.I., Mashrapov B.E. Device for current protection of electrical installations Patent of the Russian Federation, 2678189, 24 January 2019.
12. Isabekov D.D., Device for transformer gas protection on magnetically controlled contacts. Patent of the Republic of Kazakhstan; 34422, 26 October 2020.
13. Bass E.I. Automation protection relay coils. – Moscow: Energy, 1974, 80 p.
14. Doroshev K.I. (1982). Complete switchgears 6-35 kV. – Moscow: Energoizdat. – 376 p.
15. Prikaz Ministra jenergetiki Respubliki Kazahstan. Pravila ustrojstva jelektroustanovok Respubliki Kazahstan: utv. 20 marta 2015 goda, no. 230 // adilet.zan.kz.