

Максимальная токовая защита электроустановок с дистанционным выбором уставок

¹*ИСАБЕКОВ Даурен Джамбулович, PhD, постдокторант, Dauren_pvl2012@mail.ru,

¹МАРКОВСКИЙ Вадим Павлович, к.т.н., зав. кафедрой, wadim54@mail.ru,

¹НАО «Торайгыров университет», Казахстан, Павлодар, ул. Ломова, 64,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В данной работе представлено, что одной из актуальных задач современной электроэнергетики является построение токовых защит электроустановок, не использующих трансформаторы тока с ферромагнитными сердечниками. Показано, что для построения таких защит можно использовать магнитоуправляемые элементы – катушки индуктивности, установив их вблизи токоведущих шин электроустановки, так как они в сравнении с другими магнитоуправляемыми элементами обладают важными для релейной защиты преимуществами: не нуждаются в устройствах компенсации влияния температуры, могут одновременно выполнять функции аналого-дискретного преобразователя, измерительного преобразователя и измерительного органа защиты. Рассмотренная максимальная токовая защита (МТЗ) электроустановок обладает положительными характеристиками в сравнении с традиционными токовыми защитами, выполненными с использованием трансформаторов тока и реле тока с ферромагнитными сердечниками. Результатом является создание для защиты электроустановок ресурсосберегающих токовых защит, выполненных на катушках индуктивности. Предложена новая конструкция токовой защиты на катушках индуктивности с дистанционным выбором её уставок для электроустановок, подключенных к ячейке комплектного распределительного устройства (КРУ). Рассмотренная МТЗ с представленной её схемой реализации еще раз подтверждает возможность построения токовых защит для различных электроустановок, подключенных к ячейкам КРУ при установке катушки индуктивности внутри них. Использование представленной защиты повышает надежность релейной защиты как самой ячейки, где она установлена, так и электроустановки, подключенной к ней.

Ключевые слова: катушка индуктивности, магнитное поле, максимальная токовая защита, микродвигатель, электроустановка, ячейка КРУ.

Введение и актуальность исследования

Токовая защита, такая как максимальная токовая в силу своей простоты и высокой надежности нашла свое широкое применение на промышленных предприятиях для защиты электроустановок от коротких замыканий. Традиционно она получает информацию о токе в фазе защищаемой электроустановки, как и большинство других защит [1] от трансформаторов тока (ТТ) с ферромагнитными сердечниками. Эти трансформаторы тока имеют ряд общеизвестных недостатков [2], из-за которых на международных советах по большим электрическим системам высокого напряжения (СИГРЭ) неоднократно отмечалось, например [3], что одной из актуальных задач электроэнергетики является разработка релейной защиты без вышеназванных ТТ. Работы по устранению указанных недостатков, созданию новых преобразователей тока, а также ресурсосберегающих защит, не использующих трансформаторы тока с ферромагнитными сердечниками, начатые в середине прошлого столетия [4, 5, 6, 7,

8, 9], продолжают и по сей день [10, 11, 12]. Для построения максимальной токовой защиты без традиционных трансформаторов тока выбраны катушки индуктивности [13].

Реализация токовых защит на катушках индуктивности

В таких защитах катушка индуктивности выполняет одновременно функции датчика тока и измерительного органа защиты и реагирует на магнитное поле, создаваемое токами в фазах электроустановки.

Для восприятия магнитного поля катушка индуктивности может крепиться вблизи токоведущих шин [10]. В данной работе рассматривается вариант ее крепления на безопасном расстоянии, так как тогда не нужны специальные мероприятия по обеспечению безопасности, значительно меньше вероятность их пробоя, при этом проще и точнее регулировать параметры их срабатывания (осуществляется это изменением расстояния h от катушки индуктивности до токоведущей

шины) внутри ячейки серии КРУ-2-10 [14, 15].

Принцип работы максимальной токовой защиты

Максимальная токовая защита электроустановок, представленная в виде конструкции, содержащая в своем составе катушки индуктивности 1, взятые из реле МКУ-48, без сердечника, подвижную 2 и неподвижную 3 платформы, подставку 4 (рисунок 1), усилитель напряжения 5, измерительную шкалу 6, имеющую разметку в сантиметрах – для контроля прохождения расстояния катушкой индуктивности 1, равного 70 см вдоль неподвижной платформы 3, первые 7, вторые 8 и третьи 9 прорези, автоматический выключатель 10, микродвигатель 11, соединенный с валом с резьбой 12, держатель 13 с внутренней резьбой, с установленными на нём ушками 14, через которые проходят ходовые оси 15. Подвижная и неподвижная платформы, подставка выполнены из текстолита, толщиной каждая по 0,5 см, при этом длина и ширина неподвижной платформы и подставок составляют 90*20 см, а подвижной платформы соответственно 60*15 см. Микродвигатель перемещает посредством держателя подвижную платформу, а вместе с ней и неподвижную платформу. Держатель при этом перемещается до полого цилиндра 16. Начало и концы ходовых осей прикреплены к первой 17 и второй 18 планкам. На первой планке закреплен микродвигатель, на второй – полый цилиндр. На держателе крепится подвижная платформа с установленными на ней катушками индуктивности, в количестве трёх штук, расположенные каждая напротив своей фазы (А, В, С) (рисунок 2а). Выводы катушек подключены к усилителю напряжения также каждой фазы (А, В, С) (рисунок 2б). Для регулирования перемещением катушек индуктивностей посредством микродвигателя вдоль неподвижной платформы (от её левого края к правому) используется микроконтроллер (на чертежах не показан). Число оборотов микродвигателя соответствует проходному расстоянию и заложено в программу микроконтроллера. Изменение уставок максимальной токовой защиты осуществляют посредством перемещения подвижной платформы с катушками индуктивности вдоль прорезей неподвижной платформы, относительно токоведущих шин 19 микродвигателем. Перемещение подвижной платформы контролируется по шкале. Первая и вторая планки прикреплены к подставке, которая закреплена на раме 20 выкатной тележки выключателя, посредством поддерживающих стоек 21, сами поддерживающие стойки крепятся к подставке. Неподвижная платформа крепится к раме. Обмотку 22 реле времени 23 с контактом с выдержкой времени на замыкание 24, обмотку 25 промежуточного реле 26 с контактом на замыкание 27, указательное реле 28, катушку отключения 29 выключателя электроустановки.

На рисунке 1 представлена конструкция мак-

симальной токовой защиты с дистанционным выбором уставок. На рисунке 2 представлены: а) размещение конструкции МТЗ внутри ячейки КРУ; б) структурная схема максимальной токовой защиты.

Максимальная токовая защита работает следующим образом. Катушку индуктивности 1, подключенную к усилителю напряжения 5 располагают прямо напротив токоведущей шины 19 своей фазы, на минимально безопасном от неё по ПУЭ расстоянии, равного 120 мм. Для изменения же уставок МТЗ подвижная платформа 2, а также расположенные на ней катушки перемещаются каждая вдоль своей прорези 7, 8 и 9 (влево или вправо) неподвижной платформы 3.

При этом, к примеру катушка, установленная напротив своей фазы «А» с помощью микродвигателя 11 перемещается вдоль прорези 7 неподвижной платформы 3 до полого цилиндра 16 достигая конечной точки, равной 70 см измерительной шкалы 6. Для катушек двух других фаз «В» и «С» ситуация такая же, каждая перемещается вдоль своих прорезей 8 и 9 неподвижной платформы 3 до полого цилиндра 16 достигая также конечной точки, равной 70 см измерительной шкалы 6.

В режиме номинальной нагрузки по защищаемой электроустановке, подключенной к ячейке КРУ протекает ток, не превосходящий максимальный рабочий и на катушку индуктивности действует магнитное поле, величина индукции которого недостаточна для срабатывания максимальной токовой защиты. Параметры в усилителе напряжения 5 отрегулированы так, чтобы он срабатывал лишь при появлении на его выводах напряжения порядка 3В, а при значении напряжения меньше этих, максимальная токовая защита на отключение электроустановки не срабатывает.

При возникновении короткого замыкания на выводах защищаемой электроустановки, ток в токоведущих шинах 19 возрастает, а соответственно значение магнитного потока становится больше тока срабатывания максимальной токовой защиты (на рисунке 2б показано стрелками). Поэтому катушка индуктивности реагирует на это изменение магнитного поля, в результате чего в ней индуцируется повышенное значение ЭДС, к примеру порядка, 3В, то оно, поступая на усилитель напряжения, посредством его повышается до значения, равного $U = 220$ В, и подается на выводы обмотки 22 реле времени 23. В результате у данного реле 23 срабатывает контакт с выдержкой времени, равного 0,02с, на замыкание 24 и посылает потенциал «+» поступающий с автоматического выключателя 10 на первый вывод обмотки 25 промежуточного реле 26. Реле 26, сработав, подаёт посредством указательного реле 28 потенциал «+» через свой контакт на замыкание 27 на первый вывод катушки отключения 29 выключателя электроустановки. В результате защищаемая электроустановка отключается. Срабатывание максимальной токовой защиты при этом фиксируется

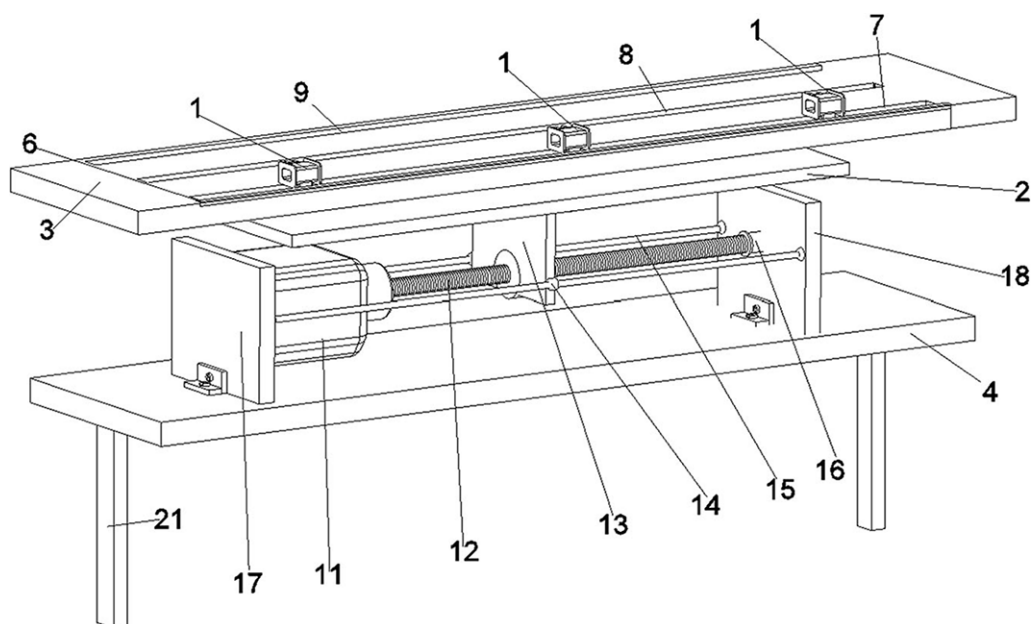


Рисунок 1 – Конструкция максимальной токовой защиты с дистанционным выбором уставок

указательным реле 28. Наличие микродвигателя с программируемым микроконтроллером позволяет осуществить дистанционное перемещение катушки и тем самым выполнить изменения уставок МТЗ, относительно расположения токоведущей шины.

Себестоимость рассматриваемой «Максимальной токовой защиты электроустановок с дистанционным выбором уставок» складывается из затрат на комплектующие, в состав которых входит: катушка индуктивности от реле МКУ-48 – 2000 тенге; микродвигатель – 10000 тенге; панель управления микродвигателем вместе с сенсорным экраном – 15000 тенге; комплектующие для блока крепления катушек индуктивностей: пластина (100 грамм пластика, типа PLA) – 500 тенге; платформы, подставка и т.д., (1000 грамм пластика PLA) – 5000 тенге; усилитель напряжения – 5000 тенге; промежуточное реле (РП-25) – 9000 тенге; реле времени (РВ) – 10000 тенге.

При этом стоимость одного такого блока составит 46500 тенге. Наладка с изготовлением конструкции МТЗ обойдется в 5000 тенге. Итого суммарно себестоимость составит 51500 тенге.

Так как на подстанциях промышленных предприятий, для реализации МТЗ помимо широко распространённых микропроцессорных устройств релейной защиты (производства стран ближнего и дальнего зарубежья), до сих пор с успехом функционируют устройства релейной защиты на электромеханической базе (традиционные), то и технико-экономическое сравнение проведём с учётом этого. К примеру средняя стоимость ТТ с ферромагнитным сердечником типа ТПО-10 с коэффициентом трансформации трансформатора тока, равного $K_T = 300/5$, составляет 100000 тенге (Россия) и соответственно совместно

с ним стоимость электромеханических реле, тока типа РТ-40/10 (Россия) – 15000 тенге, реле времени (Россия) – 10000, промежуточное реле (РП-25) (Россия) – 9000 тенге составит 134000 тенге.

Из сравнения рассматриваемой МТЗ с традиционной (выполненной на электромеханической базе) следует, что первая превосходит вторую, в силу того, что предложенная дешевле в 2,6 раз, и уж тем, более не говоря о МТЗ, выполненной на микропроцессорной базе.

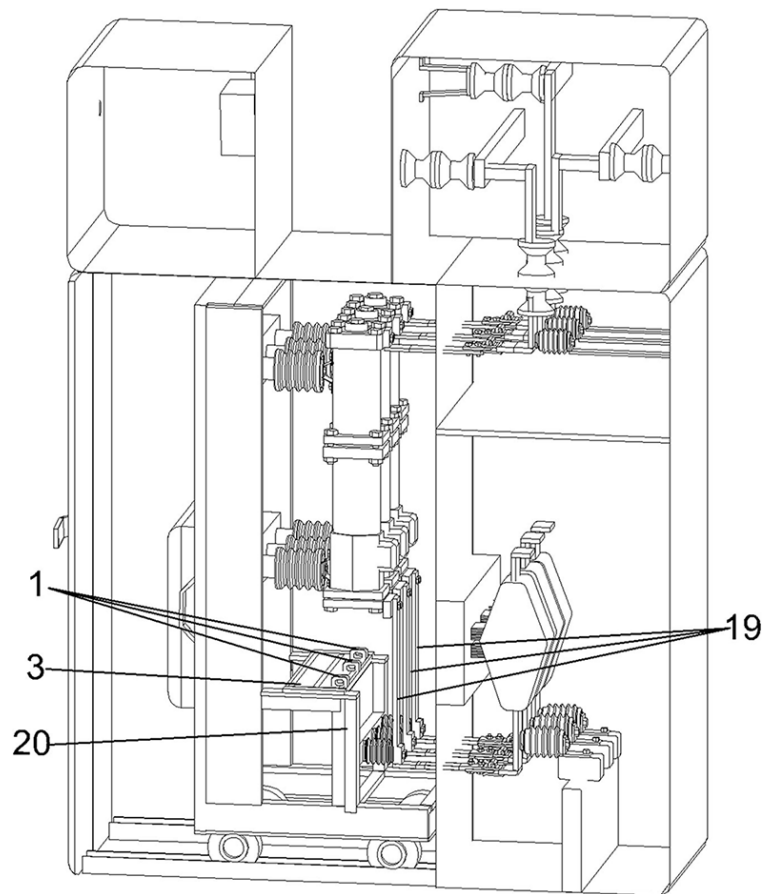
Информация о финансировании

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № АР14972954). Решение ННС (выписки) /2022/ Энергетика и машиностроение от 18 августа 2022 года. Выписка № 4 (рассмотрение заявок по проекту Жас ғалым 2 – 2022-2024 годы), № протокола заседания – 8, заявка № 15 – «Альтернативная ресурсосберегающая релейная защита систем электроснабжения, ее исследование и разработка».

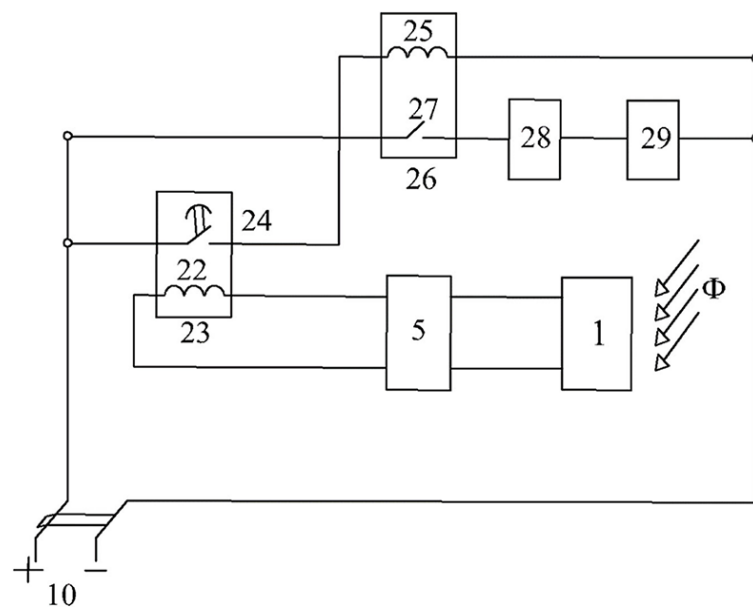
<https://www.ncste.kz/ru/energetika-i-mashinostroenie-2022>

Выводы

Дистанционное регулирование изменения мест расположения катушек индуктивностей, за счет использования микродвигателя, позволяет осуществить изменение уставок максимальной токовой защиты внутри ячейки КРУ, не используя для этих целей металлоёмкие и дорогие по стоимости трансформаторы тока с ферромагнитными сердечниками, что в конечном итоге уменьшает затраты на построение максимальной токовой защиты электроустановок любого типа, подключенных к ячейкам любых серий КРУ и с



а)



б)

Рисунок 2 – Размещение конструкции МТЗ внутри ячейки КРУ а); структурная схема максимальной токовой защиты б)

возможностью установки её внутри них. Сам же факт отсутствия использования токовых реле и трансформаторов тока (выносных и встроенных) с ферромагнитными сердечниками, содержащих дорогостоящие медь, сталь и высоковольтную

изоляцию, имеющих также значительные весогабаритные параметры отвечает актуальному вопросу релейной защиты – ресурсосбережению материалов.

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. Измерительные преобразователи тока в релейной защите. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 240 с.
3. Дьяков А.Ф. Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по матер. 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // Энергетика за рубежом. – 2004. – №4. – С. 7-16.
4. Кожович Л.А., Бишоп М.Т. Современная релейная защита с датчиками тока на базе катушки Роговского // Современные направления развития релейной защиты и автоматики энергосистем: сб. докл. междунар. науч.-технич. конф. – М.: Научно-инженерное информационное агентство, 2009. – С. 39-48.
5. Котенко Г.И. Магниторезисторы. – Л.: Энергия, 1972. – 80 с.
6. 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.
7. Овчаренко Н.И., Дорогунцев В.Г., Басс Э.И., Будкин В.В. Применение гальваномагнитных элементов в релейной защите и автоматике. – М.; Л.: Энергия, 1966. – 120 с.
8. Егизарян Г.А., Стафеев В.И. Магнитодиоды, магнитотранзисторы и их применение. – М.: Радио и связь, 1987. – 88 с.
9. Карабанов С.М., Майзельс Р.М., Шоффа В.Н. Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 408 с.
10. Патент 34420 Республики Казахстан, МПК G01R 33/02. Установка для исследования электромагнитного поля внутри комплектного распределительного устройства / Исабеков Д.Д.; заявл. 18.04.2018; опубл. 26.06.2020, бюл. № 25.
11. Патент № 2704792 Российской Федерации, МПК H02H 3/08. Устройство для токовой защиты электроустановки / Д.Д. Исабеков, М.Я. Клецель, А.П. Кислов, И.И. Шолохова; Опубл. 31.10.19, бюл. №31.
12. 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.
13. Басс Э.И. Катушки реле защиты автоматики. – М.: Энергия, 1974. – 80 с.
14. Приказ министра энергетики Республики Казахстан. Правила устройства электроустановок Республики Казахстан: утв. 20 марта 2015 года, №230 // adilet.zan.kz.
15. Дорошев К.И. Комплектные распределительные устройства 6-35 кВ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 376 с.

Уставкаларды қашық тандауымен электрқондырғыларын максималды ток қорғау

¹*ИСАБЕКОВ Даурен Джамбулович, PhD, постдокторант, Dauren_pvl2012@mail.ru,

¹МАРКОВСКИЙ Вадим Павлович, т.ғ.к., кафедра меңгерушісі, wadim54@mail.ru,

¹«Торайғыров университеті» КеАҚ, Қазақстан, Павлодар, Ломов көшесі, 64,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Жұмыста заманауи электрэнергетикасының өзекті тапсырма бойынша, электр қондырғыларының ток қорғаныстарын ферромагниттік негізі мен ток трансформаторларын пайдаланбайтын құрылысы ұсынылды. Мұндай қорғаныстарды құру үшін электр қондырғысының ток өткізетін шиналары жанында магнитті басқарылатын элементтерді – индукциялық катушкаларды орнату мүмкіндігі көрсетілген, өйткені олар басқа магниттік басқарылатын элементтермен салыстырғанда релелік қорғаныс үшін маңызды артықшылықтарға ие: оларға температураны компенсациялау құрылғылары қажет емес, бір уақытта аналогты-дискретті түрлендіргіштің, өлшеу түрлендіргішінің және қорғаныс өлшеуіш органының функцияларын орындай алады. Электрқондырғыларының қарастырылған максималды ток қорғанысы (МТҚ) дәстүрлі ток қорғанысымен ферромагниттік негізі бар жасалған ток трансформаторлары мен ток релесі салыстырғанда оң сипаттамалары бар. Электрқондырғыларын қорғау үшін индукциялық катушкадан жасалған ресурсты үнемдейтін ток қорғанысын құру нәтиже болып табылады. Комплекттік тарату құрылғысының (КТҚ) ұяшығына қосылған электрқондырғылары үшін, индукциялық катушкаларда негізілген ток қорғанысының уставкаларды қашықтан таңдай отырып жаңа жобасы ұсынылды. Қарастырылған МТҚ, оның ұсынылған жүзеге асыру схемасымен, әр түрлі электрқондырғылары үшін, комплекттік тарату құрылғыларының (КТҚ) ұяшықтарына қосылған болған кезінде, олардың ішіне индукциялық катушканы орнату кезінде ток қорғанысын салу мүмкіндігін тағы бір рет растайды. Ұсынылған қорғанысты пайдалану кезінде ұяшықтың өзін де, оған қосылған электрқондырғысын да релелік қорғаныстың орнатылған жерде сенімділігін арттырады.

Кілт сөздер: индукциялық катушка, магнит өрісі, максималды ток қорғаныс, микроэлектрқозғалтқыш, электр қондырғысы, комплекттік тарату құрылғысының ұяшығы.

Maximum Overcurrent Protection of Electrical Installations with Remote Selection of Settings

¹*ISSABEKOV Dauren, PhD, Postdoctoral Fellow, Dauren_pvl2012@mail.ru,

¹MARKOVSKIY Vadim, Cand. of Tech. Sci., Head of Department, wadim54@mail.ru,

¹NCJSC «Toraighyrov University», Kazakhstan, Pavlodar, Lomov Street, 64,

*corresponding author.

Abstract. *This paper presents that one of the urgent tasks of the modern electric power industry is to build current protections for electrical installations that do not use current transformers with ferromagnetic cores. It is shown that magnetically controlled inductance coils can be used to build such protections, installing them near the current-carrying buses of the electrical installation, as they have important advantages for relay protection in comparison with other magnetically controlled elements: they do not need temperature compensation devices, can simultaneously perform the functions of analog-discrete converter, measuring converter and measuring protection body. The considered overcurrent protection (overcurrent protection) of electrical installations has positive characteristics in comparison with traditional overcurrent protections, made with the use of current transformers and current relays with ferromagnetic cores. The result is the creation of resource-saving current protections made on inductance coils to protect electrical installations. A new design of current protection on inductance coils with remote selection of its settings for electrical installations connected to a the switchgear cell of a complete switchgear (CCS) is proposed. The maximum current protection with the presented implementation scheme, once again confirms the possibility of building current protections for the various electrical installations connected to the switchgear, with the installation of an inductance coil inside the switchgear. The use of the presented protection increases the reliability of relay protection, both of the cell where it is installed, and of the electrical installation connected to it.*

Keywords: *inductance coil, magnetic field, maximum current protection, micromotor, electrical installation, the cell of a complete switchgear.*

REFERENCES

1. Andreev V.A., Relay protection and automation of power supply systems: a textbook for universities, ed. 4th, ref. and add. Moscow: Higher school, 2006.
2. Kazansky V.E., Measuring current transducers in relay protection. Moscow: Energoatomizdat, 1988.
3. Dyakov A.F. «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, no. 4, pp. 7-16, April 2004.
4. Kozhovich L.A., Bishop M.T. «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, pp. 39-48, September 2009.
5. Kotenko G.I., Magneto resistors. Leningrad: Energy, 1972.
6. Kobus A., Tushinsky J., Hall sensors and magneto resistors / Per. from polish, B.I. Tikhonova, K.B. Macidonian; ed. O.K. Khomeriki. Moscow: Energy, 1971.
7. Ovcharenko N.I., Doroguntsev V.G., Bass E.I., Budkin V.V., Application of galvanomagnetic elements in relay protection and automation. Moscow; Leningrad: Energy, 1966.
8. Egjazaryan G.A., Stafeev V.I., Magnetodiodes, magnetotransistors and their applications. Moscow: Radio and communication, 1987.
9. Karabanov S.M., Maisels R.M., Shoffa V.N., Magnetically operated contacts (reed switches) and products based on them. Dolgoprudny: Publishing House «Intellect», 2011.
10. Patent No. 34420 of the Republic of Kazakhstan. Installation for the study of the electromagnetic field inside a complete switchgear / Isabekov D.D.; publ. 26.06.2020.
11. Patent No. 2704792 of the Russian Federation. Device for current protection of electrical installations / D.D. Isabekov, M.Y. Kletsel, A.P. Kislov, I.I. Sholokhova; Publ. 31.10.19.
12. 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.
13. Bass E.I. Automation protection relay coils. – Moscow: Energy, 1974, 80 p.
14. Prikaz ministra jenergetiki Respubliki Kazahstan. Pravila ustrojstva jelektroustanovok Respubliki Kazahstan: utv. 20 marta 2015 goda, no. 230 // adilet.zan.kz.
15. Doroshev K.I. Complete switchgears 6-35 kV. – Moscow: Energoizdat, 1982. – 376 p.