

На правах рукописи



ЖАНТЛЕСОВА АСЕМГУЛЬ БЕЙСЕМБАЕВНА

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ТОКА КОРОТКОГО
ЗАМЫКАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ
КОНТАКТОВ**

Специальность 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические
системы»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Томск – 2013

Работа выполнена в **Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»** и **Республиканском государственном предприятии на праве хозяйственного ведения «Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова» (Республика Казахстан)**

Научный руководитель: **Клецель Марк Яковлевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Мусин Агзам Хамитович**
доктор технических наук, профессор,
ГОУ ВПО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»,
профессор кафедры «Электрификация
производства и быта»

Харлов Николай Николаевич
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет, ведущий
инженер регионального учебно-научно-
технологического центра ресурсосбережения

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования **«Омский
государственный технический университет»**

Защита состоится «15» мая 2013г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.10 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55.

Автореферат разослан «5» апреля 2013 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
Д 212.269.10, д.т.н., с.н.с.



Кабышев А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В релейной защите (РЗ) идентификация установившегося тока короткого замыкания осуществляется с использованием трансформаторов тока (ТА), обладающих следующими недостатками: металлоемкостью (масса ТА, например, в сетях 35кВ достигает 55кг), большими погрешностями в переходных режимах и появлением высокого напряжения во вторичных цепях при их разрыве. В связи с этим уже несколько десятилетий назад были начаты работы в направлении использования магниточувствительных элементов при построении РЗ без ТА (на катушках индуктивности, элементах Холла, магнитодиодах, магнитотранзисторах, катушках Роговского и магнитоуправляемых контактах). Как отмечалось на последних Международных конференциях по большим энергетическим системам (CIGRE), из-за отмеченных выше недостатков и незавершенности этих работ они актуальны и в настоящее время.

Проблема построения РЗ без ТА стала еще более актуальной в связи с широким внедрением микропроцессорных защит. Дело в том, что надежность их срабатывания и несрабатывания в ряде случаев оказалась недостаточной, а чтобы добиться максимального эффекта в ее повышении необходимо, как известно*, использовать мажорирование. При этом все три дублирующие друг друга защиты и преобразователи тока должны иметь разные принципы действия. Для построения одной из возможных резервных систем РЗ, предназначенных для одновременного дублирования традиционных защит и ТА, в данной работе выбраны магнитоуправляемые контакты - герконы, поскольку они уже нашли широкое распространение в технике, имеют перспективы использования и некоторые важные для РЗ преимущества перед другими магниточувствительными элементами, например выполняют функции аналого-дискретного преобразователя или преобразователя тока и измерительного органа защиты одновременно. Значительный вклад в разработку защит на магнитоуправляемых контактах (МК) внесли В.В. Гуревич, М.А. Жуламанов, М.Я. Клецель, П.Н. Майшев, В.В. Мусин, М.Т. Токомбаев и др. Дальнейшее построение защит на МК сдерживается из-за недостаточной разработки способов идентификации тока короткого замыкания. В диссертации сделана попытка восполнить этот пробел.

Объектом исследования являются идентификаторы тока.

Предметом исследования является идентификация установившегося тока короткого замыкания (КЗ) с помощью магнитоуправляемых контактов без использования трансформаторов тока.

Связь темы диссертации с общенаучными (государственными) программами. Работа выполнялась в соответствии с научными направлениями исследовательского комитета В5 «Релейная защита и автоматика» CIGRE.

Работа воплощает следующие **идеи**: разработка идентификаторов установившегося тока КЗ с помощью МК, закрепленных вблизи шин электроустановки, путем измерения времени t_{CP} срабатывания одного МК или времени t_2 или t_3 между срабатываниями или возвратами двух МК, или времени t_1 замкнутого состояния нескольких МК после срабатывания и путем построения фильтров токов обратной и нулевой последовательностей на МК.

Цель работы заключается в разработке способов идентификации установившегося тока КЗ с помощью магнитоуправляемых контактов для построения

* Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей. М.: Энергоатомиздат, 1984

релейной защиты, не использующей трансформаторы тока.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

- Разработка способов идентификации установившегося тока КЗ с помощью герконов, установленных вблизи шин электроустановки (ЭУ), путем расчета его амплитуды на основе измерения временных параметров МК, характеризующих его срабатывание и отпускание;

- Экспериментальное определение зависимостей кратности $K=f(t)=I_{mK}/I_{CPK}$ тока от t_{CP} , t_2 , t_3 , t_1 при $K=1..80$, где I_{mK} и I_{CPK} - амплитуды токов в катушке соленоида и тока срабатывания МК. Построение синусоиды тока в фазах ЭУ на основе использования полученных зависимостей $K=f(t)$ и соответствующего времени, измеренного при КЗ теми же МК, закрепленными вблизи токопроводов электроустановки.

- Идентификация путем создания фильтров токов симметричных составляющих на МК и катушке индуктивности для электроустановок с горизонтальным и треугольным расположением фаз;

- Разработка устройств для крепления МК и катушек индуктивности и регулирования параметров идентификаторов, выполненных на них.

Методы исследований. При решении поставленных задач использовались фундаментальные положения теоретических основ электротехники, схемотехники, релейной защиты и натурный эксперимент. Проводилось математическое и физическое моделирование. Вычисления выполнены в среде Mathcad 13.0.

Научная новизна:

- Предложены способы идентификации установившегося тока КЗ, при которых измеряется время t_{CP} от момента трогания до замыкания контактов МК или время t_2 (t_3) между замыканиями (размыканиями) контактов двух МК (патент №24922 Республики Казахстан), или времени t_1 замкнутого состояния контактов нескольких МК (патент №2377579 Российской Федерации), установленных на безопасном расстоянии от токопроводов фаз электроустановки, и с помощью микропроцессора, подключенного к ним, по этому времени определяется амплитуда I_m тока КЗ, а по I_m - его мгновенные значения.

- Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что:

а) для расчета амплитуды I_m по времени t_{CP} и t_2 (t_3) можно пользоваться элементарными представлениями о синусоиде, если кратность $K \leq 15$ (для t_{CP}) и $K \leq 40$ (для t_2 и t_3) при отношении токов срабатывания (возврата) двух МК, превосходящем 1,4; при больших K нужно использовать зависимости $K=f(t)$, найденные в лабораторных условиях; по подобным зависимостям следует определить I_m (при K от 1 до 80) и по времени t_1 .

б) во всех случаях время должно измеряться с точностью не меньшей, чем 1 мкс.

- Предложено представлять I_2 и I_0 в виде аналитических выражений, отличающихся от известных.

- Разработаны идентификаторы тока на МК и катушках индуктивности (патенты № 2374736 и №2383095 Российской Федерации, № 18935 Республики Казахстан), не использующие ТА и выполняющие функции фильтров токов I_2 обратной и I_0 нулевой последовательностей, и методы расчета параметров фильтров и координат установки

МК с управляющей обмоткой и без нее при различных расположениях токопроводов фаз электроустановки.

Практическая ценность работы:

- Предложенные способы идентификации установившегося тока КЗ с помощью МК позволяют при кратностях $K=I_{mK}/I_{CPK} \leq 80$ воспроизвести его при построении программных защит за 10...15мс с погрешностями меньшими 10%, не используя ТА, экономя медь и сталь, если измерять время с точностью не меньшей, чем 1мкс. Это открывает новые возможности в построении РЗ.

- Разработанные методики получения зависимостей $K=f(t)$ позволяют реализовать эти способы на основе простых экспериментов, учитывая погрешности определения амплитуд упомянутых токов в высоковольтных установках.

- Предложенные аналитические выражения для токов I_2 обратной и I_0 нулевой последовательностей являются основой методики построения простых идентификаторов тока (патенты №2374736 и №2383095 Российской Федерации) в виде ФТОП и ФТНП, которые будут использованы для создания устройств, дублирующих одновременно и традиционную РЗ и трансформаторы тока.

- Предложенный метод расчета координат установки МК позволил определить, что для выявления токов I_2 и I_0 при горизонтальном расположении фаз МК с управляющей обмоткой и катушку индуктивности необходимо устанавливать симметрично по отношению к фазе В, а при расположении фаз по вершинам треугольника – внутри него. В последнем случае для выявления I_0 можно использовать МК без обмотки, но устанавливать его надо на окружности, описанной вокруг этого треугольника.

- Предложенные устройства (Патенты №19636, №19882 Республики Казахстан) позволяют закреплять МК в заданной точке вблизи шин электроустановки, дают возможность осуществлять его перемещение в вертикальной и горизонтальной плоскостях относительно проводника с током и изменять угол между горизонтальной плоскостью и продольной осью МК, регулируя таким образом параметры идентификаторов.

К защите представляются:

- способы идентификации установившегося тока КЗ по времени срабатывания одного МК или времени между срабатываниями или возвратом двух МК, установленных под шиной электроустановки;

- методики реализации этого способа и учета погрешностей при расчете амплитуды упомянутого тока;

- методика построения и определения параметров простых идентификаторов тока в виде ФТОП и ФТНП на МК с обмоткой управления и катушкой индуктивности;

- методы расчета координат установки МК при любом расположении фаз;

- конструкции для регулирования параметров и крепления МК в заданной точке.

Реализация результатов работы. Результаты работы используются в ФГБОУ ВПО Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет в учебном процессе на кафедре «Электрические сети и электротехника»; в Павлодарском государственном университете им. С. Торайгырова в учебном процессе на кафедре «Автоматизация и управление» и в ПОФ АО НЦ «КурылысКолсантинг» (г. Павлодар, Казахстан) и ООО «ТК «Система» (г. Томск, Россия). Годовой экономический эффект от внедрения составляет около 30000 рублей. Срок окупаемости - менее 3 лет.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на: XII международной конференции "Электромеханика, электротехнологии, электрические материалы и компоненты" (Украина, г.Алушта, 2008г.), международной научной конференции молодых учёных, студентов и школьников «VIII Сатпаевские чтения» (Казахстан, г.Павлодар, 2008г.), международной научно-технической конференции «IV чтения Ш. Шокина» (Казахстан, г.Павлодар, 2010г.), международной молодёжной конференции «Энергетическое обследование как первый этап реализации концепции энергосбережения» (Россия, г. Томск, 2012г.), заседаниях научных семинаров кафедр: «Электроэнергетические системы» Томского Политехнического университета (Россия, г. Томск, 2012г.), «Автоматизация и управление» Павлодарского государственного университета им. С.Торайгырова (Казахстан, г. Павлодар, 2013г.), «Электроснабжение промышленных предприятий» Омского Государственного Технического университета (Россия, г. Омск, 2013г.)

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе четыре статьи из перечня ВАК, три патента Российской Федерации, четыре патента Республики Казахстан и пять статей в научных изданиях. В публикациях в соавторстве личный вклад соискателя составляет около 50%.

Личный вклад. Основные научные результаты и положения, изложенные в диссертации, постановка задач и методология их решения разработаны и получены автором самостоятельно.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, изложенных на 120 страниц машинописного текста. Содержит 49 рисунков, три таблицы, список использованных источников из 110 наименований и девять приложений на 23 страницах, относящихся к практической реализации и внедрению результатов работы.

Автор выражает благодарность за помощь в проведении опытов к.т.н. П.Н. Майшеву.

Основное содержание работы

Во введении обоснованы актуальность идентификации установившегося тока короткого замыкания с помощью МК, а также цель работы. Представлена научная новизна и практическая ценность, отражены методы исследований и положения, выносимые на защиту. Указаны публикации, личный вклад, структура и объём работы.

В первой главе представлен анализ литературы и результаты патентной проработки, которые показали, что в настоящее время только начаты разработки в направлении создания способов идентификации кривой тока КЗ на МК (нам удалось найти лишь два патента) и идентификаторов в виде ФТОП и ФТНП на МК (два патента), которые могут обеспечивать получение информации о токе в электроустановке без трансформаторов тока (ТА). Анализ показал: в связи с переходом на микропроцессорную базу для повышения надежности систем РЗ возникла необходимость использовать дублирование (в том числе и ТА) по принципу мажорирования, а для этого нет достаточного количества идентификаторов тока, приспособленных к условиям работы РЗ и удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к ней. Известные магниточувствительные элементы имеют недостатки: датчики тока на элементах Холла, на магнитодиодах, магнитотранзисторах, магниторезисторах реагируют на изменение температуры; радиоэлектронные ТА, оптико-электронные ТА, магнитные трансформаторы, индукционные преобразователи

и датчики Холла нуждаются в усилителях сигнала; преобразователи тока с емкостной связью – в генераторах тока высокой частоты; катушки Роговского – в дополнительных интегрирующих устройствах. Указанных недостатков лишены МК. К тому же они, кроме достоинств, указанных в актуальности темы, не нуждаются в усилителях для передачи сигнала, обладают высоким быстродействием и малой стоимостью. МК представляют особый интерес для построения резервной системы РЗ, способной одновременно дублировать и защиты и ТА, не используя последние, т.к. магнитоуправляемый контакт может выполнять функции и ТА и реагирующего элемента защиты одновременно, являясь в этом плане весьма привлекательным идентификатором. Уже известны такие варианты выполнения защит. Однако многие защиты еще не разработаны или недостаточно совершенны, например с идентификаторами в виде ФТОП и ФТНП (в главе проанализированы их достоинства и недостатки). Подавляющее большинство известных идентификаторов на МК, выполненных на одном МК, способны воспроизводить только одну мгновенную величину тока в фазе электроустановки, который создает магнитное поле с напряженностью достаточной для его срабатывания. Однако многие современные защиты выполняются на основе анализа изменений тока за определенное время, например, за половину периода промышленной частоты, и отсутствие идентификаторов, способных полностью воспроизвести синусоиду, сдерживает построение дублирующей системы РЗ на МК.

Из изложенного следует, что построение идентификаторов, как воспроизводящих одно мгновенное значение тока КЗ, так и ряд его значений, описывающих кривую тока КЗ, актуально.

Во **второй** главе изложены предлагаемые способы идентификации установившегося тока КЗ, основанные на измерении а) времени t_{CP} от момента трогания контактов переключающего МК до их замыкания; б) времени t_2 (t_3) между замыканиями (размыканиями) контактов двух МК, закрепленных на безопасном расстоянии от токопроводов защищаемой электроустановки (ЭУ), и микропроцессора, к которому они подключены; в) на измерении времени t_1 между моментами замыкания и размыкания сработавших n магнитоуправляемых контактов, причем число n выбирается в зависимости от кратности $K = I_{m\Phi} / I_{CP1}$, где $I_{m\Phi}$ - амплитуда тока, протекающего в токопроводе фазы ЭУ, а I_{CP1} - ток в нем, в момент замыкания контактов МК.

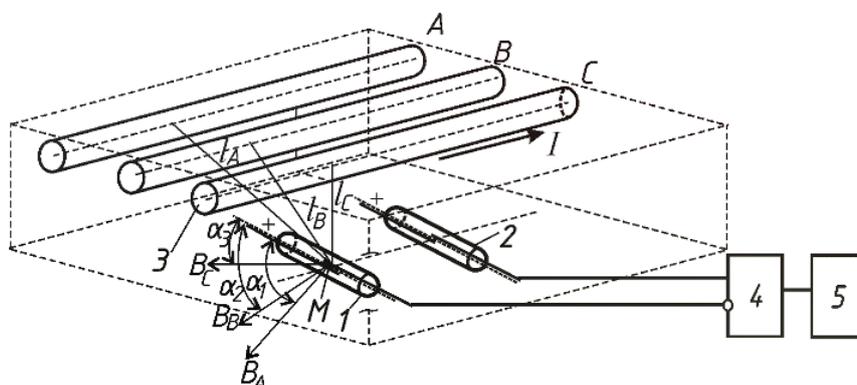


Рисунок 1 - Схема, реализующая способ измерения тока по времени между срабатываниями двух МК

Измерение времени осуществляется следующим образом (рис.1). Магнитоуправляемые контакты 1 и 2 установлены в плоскости поперечного сечения токопроводов 3 горизонтально расположенных фаз А, В, С электроустановки на безопасных от них расстояниях l_A, l_B, l_C и подключены к логическому элементу И-4 с инверсным входом. Время t_2 измеряется таймером 5 микропроцессора, который запускается при срабатывании МК-1 и останавливается при срабатывании МК-2. Схемы определения t_3 , как и t_{CP} , t_1 аналогичны, но для t_{CP} только в случае, если используется переключающий геркон.

Для идентификации установившегося тока КЗ, протекающего в токопроводе, надо рассчитать его амплитуду $I_{m\phi}$, а по ней мгновенные значения тока. Теоретически I_{mT} можно рассчитать исходя из элементарных представлений о синусоидальном токе, в соответствии с которыми (рис. 2,а): $I_{CP1} = I_{mT} \sin \omega \cdot t_{01}$, $I_{CP2} = I_{mT} \sin \omega(t_{01} + t_2)$, где t_{01} - время от момента перехода синусоиды через «0» до момента срабатывания; I_{CP2} - ток в токопроводах ЭУ, при котором замыкаются контакты замыкающего МК-2. Рассматривая эти равенства как уравнения относительно амплитуды I_{mT} и t_{01} , легко найти амплитуду I_{mT} (без учета каких либо погрешностей). Если известны токи возврата двух герконов (I_{B1} и I_{B2}) и t_3 между размыканиями их контактов, то при расчете I_m ток I_{CP1} заменяется на I_{B1} , а I_{CP2} - на I_{B2} и t_2 на t_3 . Амплитуду I_m можно определить и по времени t_{CP} срабатывания геркона (это время от момента трогания контактов до их замыкания $t_{CP} = t_{01} - t_{10}$), если суметь измерить ток I_{TP} (ток, при котором контакты начинают движение) и t_{CP} (момент трогания просто фиксируется лишь у переключающего геркона). Также I_m можно определить по t_1 (рис.2,а).

Погрешности ε при определении $I_{m\phi}$. В релейной защите считается допустимым, если трансформаторы тока, функции которых будет выполнять МК, должны иметь погрешности, не превосходящие 10%. Поэтому будем считать, что и при определении $I_{m\phi}$ с помощью МК необходимо удовлетворить это требование. При определении $I_{m\phi}$ по предлагаемым способам погрешности обусловлены погрешностями ε_{CP} , ε_Y и ε_{IB} , возникающими из-за неточности измерения токов срабатывания (возврата), установки МК в расчетную точку вблизи токопроводов фаз ЭУ и измеренного времени, соответственно, а также погрешностью ε_{BSL} , связанной с использованием закона Био-Савара-Лапласа при расчете индукции B_{IP} магнитных потоков, воздействующих вдоль продольной оси МК. Заметим, что погрешности ε_{IB} зависят от кратности К. В связи с этим возникает необходимость определять зависимости К от t_2 (t_3) и t_{CP} при $K=1 \dots 80$. (Ограничимся $K=80$, поскольку кратность тока КЗ по отношению к номинальному току I_H электроустановок не превосходит 40, причем подавляющее большинство защит отстраиваются от I_H ($I_{CP1} = k_{omc} I_H$, где $k_{omc} \geq 1,2$), но известны защиты, например, дифференциальные, которые имеют ток срабатывания равный $0,5 I_H$).

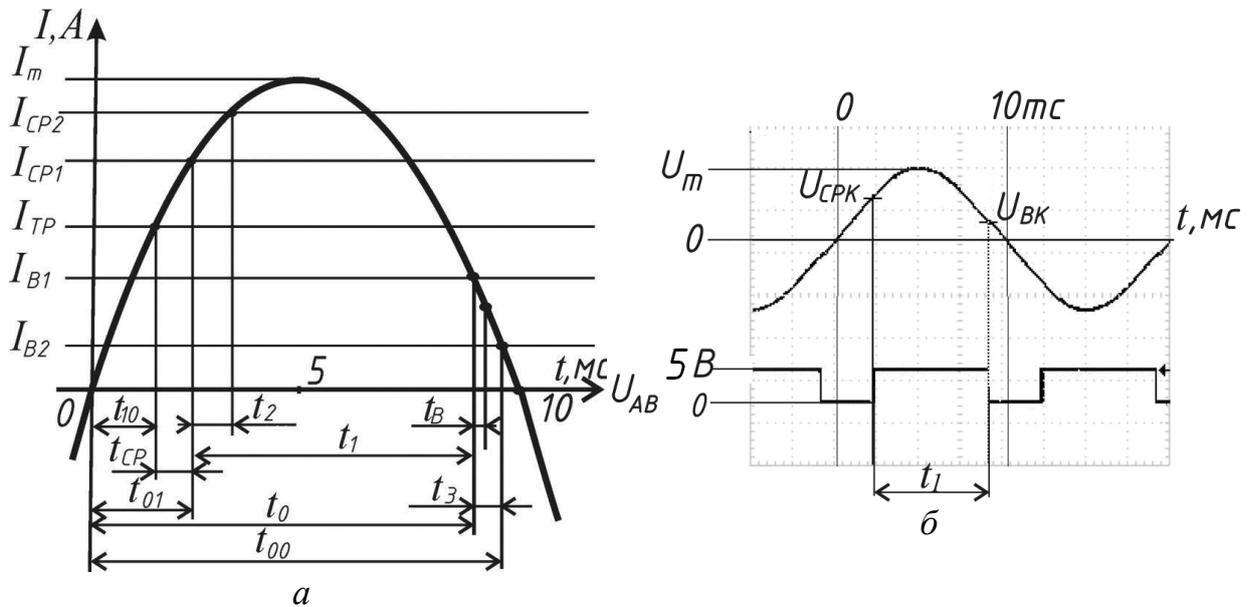


Рисунок 2. а - изменение формы контролируемого тока во времени; б - напряжение, снимаемое с концов катушки соленоида

Экспериментами установлено, что $\varepsilon_{CP} \approx 0,5\%$, $\varepsilon_v \leq 3\%$ и во многих случаях можно пренебречь $\varepsilon_{БСЛ}$, если расположить МК на расстоянии от токопроводов, не меньшем требуемого по технике безопасности. Поэтому погрешности ε_{IB} при определении I_m из-за неточностей измерения времени не должны превышать 6% . Аналитически рассчитывались относительные погрешности $I_{m,\Delta t}$ при абсолютных погрешностях измерения времени $\Delta t = 1\text{мкс}$ и $\Delta t = 10\text{мкс}$ по формуле $\varepsilon_T = (I_{mT} - I_{m,\Delta t}) \cdot 100\% / I_{mT} = (K_C / K_1 - 1) \cdot 100\%$, где $I_{m,\Delta t}$ - рассчитывалось также, как и I_{mT} , но при времени на Δt больше, K_C - задаваемая кратность тока $K_C = I_{mT} / I_{CP1}$, а $K_1 = I_{m,\Delta t} / I_{CP1}$. Расчеты показали: для того, чтобы иметь $\varepsilon_T = 5\%$ при $K = 80$ нужно измерять время с точностью в 1мкс . При кратности $K \leq 32$ те же результаты получаются и при 10мкс , но для t_2 , если $I_{CP2} / I_{CP1} \geq 1,8$, а для t_3 при $I_{B1} / I_{B2} \geq 2,5$.

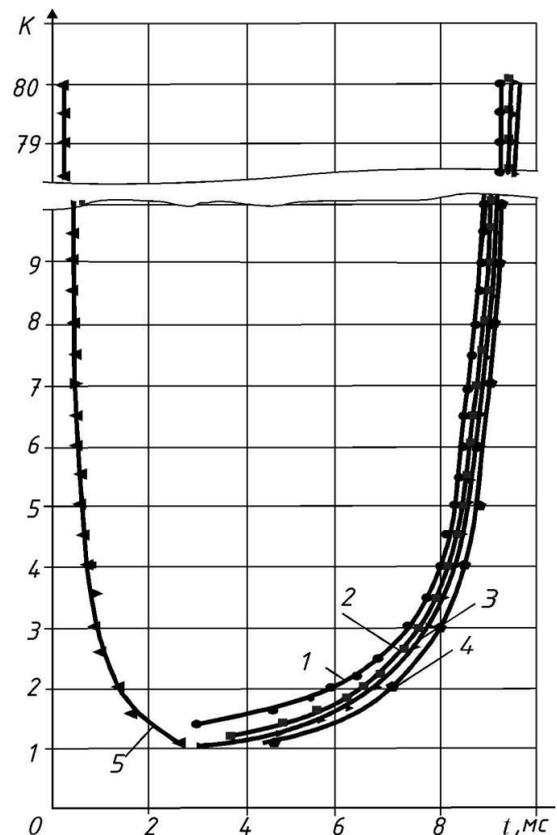


Рисунок 3 - Аппроксимирующие кривые, выражающие зависимости $K = f(t_1)$ - 1,2,3,4 для герконов КЭМ-1, КЭМ-2, КЭМ-3, МКА-14103, соответственно; $K = f(t_{CP})$ - 5 для геркона КЭМ-3.

Если эти соотношения меньше 1,8, но больше 1,2, то $\varepsilon_T = 5\%$ при $\varepsilon_4 = 1\text{мкс}$. Учитывая изложенное и то, что современные таймеры легко обеспечивают измерение времени с точностью в 1мкс, можно считать её вполне приемлемой при идентификации токов рассмотренными способами. Однако фактические погрешности $\varepsilon_\Phi = (I_m - I_{m\Phi}) \cdot 100\% / I_{m\Phi} > \varepsilon_T$, где $I_{m\Phi}$ - амплитуда реального тока, протекающего в токопроводе. Определение ε_Φ в условиях эксплуатации, когда МК установлен вблизи ЭУ затруднительно. В диссертации теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что, если пренебречь погрешностями ε_{CP} и ε_Y при использовании одних и тех же приборов для измерения соответствующих времени и токов в токопроводах ЭУ и в соленоиде, то для оценки ε_Φ можно пользоваться формулой: $\varepsilon_K = (I_{mK} - I_{mK\Phi}) \cdot 100\% / I_{mK\Phi}$, где I_{mK} - расчетная величина амплитуды тока в соленоиде (без учета каких либо погрешностей); $I_{mK\Phi}$ - амплитуда тока, измеренного в ней при срабатывании МК. При $K=1 \dots 80$ и измерении t_1 и t_{CP} с погрешностью 1мкс (с помощью осциллографа) сняты зависимости $K = I_{mK\Phi} / I_{CP1K}$ от t_1 и t_{CP} (рис. 3 кривые 1-4 для герконов КЭМ-1, КЭМ-2, КЭМ-3, МКА-14103 и 5 - K от t_{CP} для КЭМ-3), где I_{CP1K} - мгновенное значение тока срабатывания. Рассчитаны погрешности ε_K определения амплитуды $I_{mK\Phi}$ тока, измеренного в соленоиде, и построены зависимости ε_K от K (рис.4): 1, 2, 3 для КЭМ-1, КЭМ-2, КЭМ-3, соответственно, при определении тока по времени t_1 ; 4 - для КЭМ-3 по t_{CP} ; 5 и 6 - для двух герконов по t_2 и t_3 ; зависимость 7 это $\varepsilon_T = f(K)$ при измерении времени t_1 с точностью в 1мкс (рассчитана теоретически, без ε_Y). Погрешности ε_T при измерении времени t_2 и t_3 при $K=80$ не превосходят 4%, если отношения $I_{CP2} / I_{CP1} \geq 1,4$ и $I_{B1} / I_{B2} \geq 1,4$. Соответствующие зависимости на рис.4 не показаны, так как они проходят вблизи прямой 7.

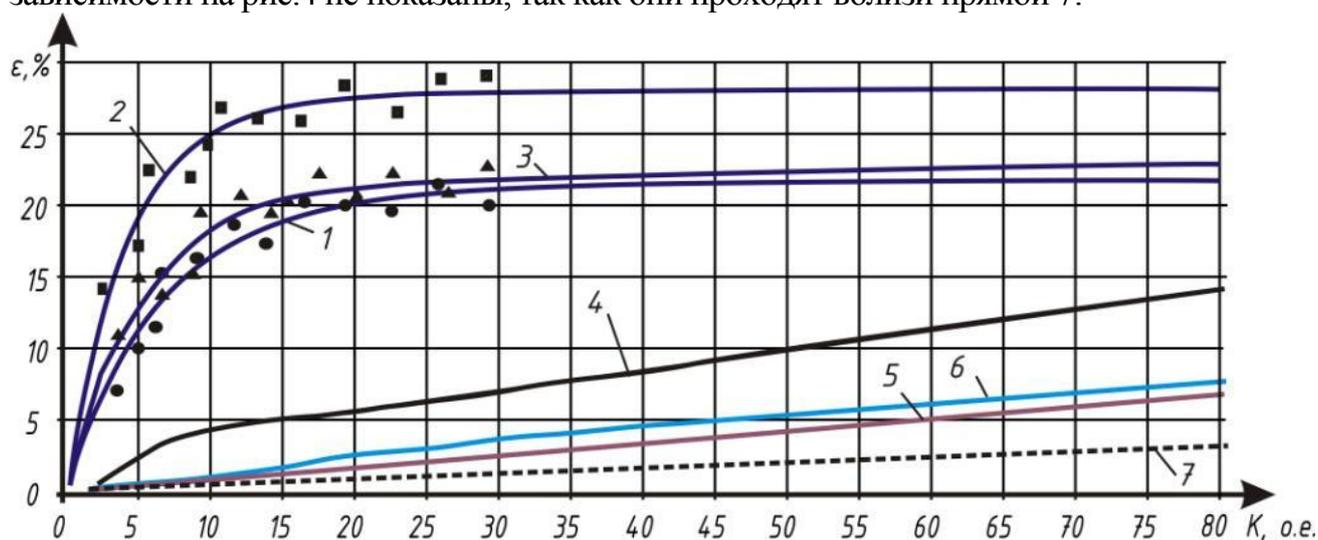


Рисунок 4. - Зависимости $\varepsilon = f(K)$: 1, 2, 3 – при определении тока по времени t_1 для герконов КЭМ-1, КЭМ-2, КЭМ-3, соответственно; 4 – по t_{CP} для КЭМ-3; 5 – по t_2 ; 6 – по t_3 ; 7 – расчетная погрешность определения I_m по t_1 , если t_1 измеряется с точностью в 1мкс.

Значения погрешностей найденных экспериментально, когда ток пропускался по

пинам вблизи, которых были установлены испытуемые МК, отличались от ε_K на 2...4%, что хорошо согласуется с погрешностями ε_Y установки вблизи токопровода, так как они и являются основной причиной этого отличия (значения ε_Φ при снятии зависимости от K по времени t_1 показаны на рис.4 значками ●,■,▲). Чтобы не загромождать рис.4, для остальных кривых ε_Φ не показаны. Эксперименты, как и расчеты, трижды повторялись при установке МК в точки с разными координатами. Результаты по оценке погрешностей практически совпадали.

Чтобы использовать результаты, полученные в лабораторных условиях, нужно знать, как рассчитать ток, который протекает в токопроводах ЭУ, если измеряется соответствующее время у МК, расположенного на безопасном расстоянии от них. При этом точка М (рис.1), через которую проходит продольная ось МК, должна совпадать с его центром тяжести, а продольная ось располагаться так, чтобы вдоль неё действовал магнитный поток создаваемый только фазой А. Для этого надо исключить влияние других фаз, в данном случае В и С, что обеспечивается равенством $\cos\alpha_2/l_B = \cos\alpha_3/l_C$, где (рис.1) α_1, α_2 и α_3 – углы между осью МК и векторами индукций $\underline{B}_A, \underline{B}_B$ и \underline{B}_C магнитных потоков, созданных токами I_A, I_B и I_C в токопроводах фаз А, В и С; l_A, l_B и l_C – расстояния от центров окружностей поперечного сечения токопроводов до точки М. Тогда индукция магнитного потока вдоль контактов геркона, $B_{\Pi P, A} = \mu_0 \cdot I_A (\cos\alpha_1/l_A - \cos\alpha_2/l_B) / 2\pi$, где μ_0 – магнитная проницаемость воздуха. Положение МК определяется из следующих соображений: 1) l_A, l_B и l_C с учетом длины баллона МК должны быть больше расстояний, допустимых по технике безопасности; 2) удобства крепления; 3) необходимо, чтобы $B_{\Pi P, A} \geq B_{CP}$, так как чувствительность МК ограничена, определяемой его намагничивающей силой срабатывания. Здесь $B_{CP} = \mu_0 I_{CPK} W_K / l_K$, где I_{CPK} – ток в соленоиде, при котором срабатывает, например МК-1, помещенный в нее так, чтобы их продольные оси совпадали; W_K и l_K – число витков и длина соленоида, причем $l_K \gg r_K$, r_K – ее радиус. Приравнявая $B_{\Pi P, A}$ (в момент срабатывания, когда ток $I_A = I_{CP}$) к B_{CP} , получим, коэффициент пересчета токов в катушке соленоида на токи в фазах токопровода ЭУ при срабатывании МК:

$$K_{\Pi} = I_{CP} / I_{CPK} = \frac{2\pi \cdot W_K}{l_K (\cos\alpha_1/l_A - \cos\alpha_2/l_B)} \quad (1)$$

Из изложенного следует: 1) $\varepsilon_\Phi = \varepsilon_K + \varepsilon_Y + \varepsilon_{K\Pi}$, где $\varepsilon_{K\Pi}$ – погрешности расчета коэффициента « K_{Π} »; 2) зависимостями $K = f(t_1)$ и $K = f(t_{CP})$, $\varepsilon_K = f(K)$, полученными в лабораторных условиях, можно пользоваться для расчета тока $I_{m\Phi}$ в электроустановке; 3) расчет этого тока должен происходить в следующей последовательности: в лабораторных условиях с помощью стандартного соленоида находятся токи срабатывания и возврата МК – I_{CPK} и I_{BK} , снимаются и аппроксимируются зависимости кратности тока $K = I_{mK} / I_{CPK}$ (I_{mK} – амплитуда тока, протекающего в катушке соленоида) от времени t_{CP} или t_2, t_3 при $K = 1 \dots 80$; они вводятся в микропроцессор, где по соответствующему времени, измеряемому при КЗ, используя эти зависимости, рассчитывается амплитуда I_m тока КЗ, а по I_m – его мгновенные значения. Также можно определять I_m по времени t_1 замкнутого состояния МК после срабатывания.

Показано, что: при $K \leq 40$ и отношениях токов срабатывания (возврата) двух МК превышающих 1,4, для расчета I_m по $t_2(t_3)$ можно пользоваться элементарными понятиями о синусоиде, не снимая зависимость $K=f(t)$, как и при расчете I_m по t_{CP} при $K \leq 15$; время, необходимое для идентификации установившегося тока КЗ при кратности $K \leq 80$ с погрешностью меньше 10%, не превосходит 10...15мс, если измерять время t_{CP} , $t_2(t_3)$, t_1 с точностью в 1мкс и в лаборатории и вблизи токопроводов электроустановки.

Из изложенного следует, что предложенные способы идентификации установившегося тока КЗ с помощью МК могут использоваться при построении программных защит и дают возможность учесть погрешности определения амплитуды упомянутого тока на основе экспериментальных данных.

Третья глава посвящена разработке идентификаторов тока на основе построения фильтров тока обратной и нулевой последовательностей (ФТОП и ФТНП) на катушках индуктивностей (КИ) и МК без использования трансформаторов тока.

Предлагаемый ФТОП содержит (рис.5) МК-1 (выходной элемент фильтра) с обмоткой 2 управления, КИ-6, усилитель 3, фазоповоротную схему (ФПС) 4, регулировочный резистор 5. МК-1 и КИ-6 расположены в магнитном поле токов I_A , I_B и I_C в токопроводах фаз А, В и С электроустановки (ЭУ) так, чтобы их продольные оси находились в плоскости перпендикулярной осям токопроводов.

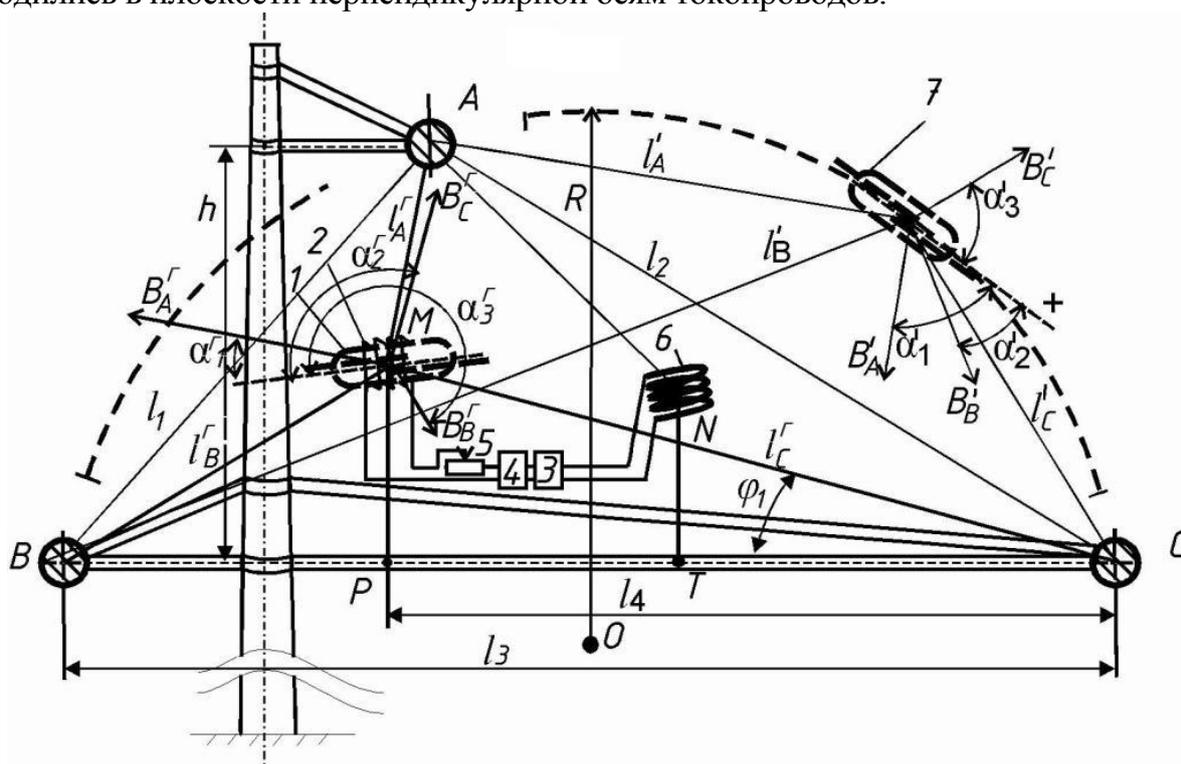


Рисунок 5 – Иллюстрация к выбору координат МК-1 и МК-7 для выполнения функций ФТОП и ФТНП, соответственно

Пусть B_{IP}^{Γ} индукция магнитного поля, созданного токами I_A , I_B и I_C при любом расположении токопроводов фаз, в зазоре между контактами МК (рис.5), действующая вдоль его продольной оси (далее, везде будем писать просто «индукция», имея в виду всё перечисленное). Тогда в соответствии с законом Био-Савара-Лапласа

$$\underline{B}_{ПП}^{\Gamma} = \frac{\mu_0}{2\pi} (a_{\Gamma} \underline{I}_A + b_{\Gamma} \underline{I}_B + c_{\Gamma} \underline{I}_C), \quad (2)$$

где $a_{\Gamma} = \cos a_1^{\Gamma} / l_A^{\Gamma}$, $b_{\Gamma} = \cos a_2^{\Gamma} / l_B^{\Gamma}$, $c_{\Gamma} = \cos a_3^{\Gamma} / l_C^{\Gamma}$.

Таким же выражением, только с соответствующими углами и расстояниями, описывается и индукция $\underline{B}_{ПП}^{КИ}$, действующая вдоль продольной оси КИ-6 (далее отмеченными индексами КИ).

МК-1 может путем переключения контактов (срабатывания) выдать сигнал о появлении тока I_2 обратной последовательности, если суммарная индукция

$$\underline{B}_{ПП}^{\Sigma} = \underline{B}_{ПП}^{\Gamma} + \underline{B}_{ПП}^{ОБМ} = K_1 \underline{I}_2, \quad (3)$$

где K_1 - коэффициент пропорциональности, $\underline{B}_{ПП}^{ОБМ}$ - индукция поля, созданного током $I_{ВЫХ}$ в обмотке 2 (рис.5), которая вычисляется по известной формуле:

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

где $V = \sqrt{(l_{ОБМ2})^2 + (D_{СР.2})^2}$, W_2 - количество витков обмотки 2, $l_{ОБМ2}$ и $D_{СР.2}$ - длина каркаса обмотки и её средний диаметр.

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

$$\underline{I}_{ВЫХ} = \underline{E} K_y e^{j\beta_{ФПС}} / z \cdot e^{j\varphi}, \quad \underline{E} = (2\pi f W_6 S) \underline{B}_{ПП}^{КИ} e^{-j90^{\circ}}, \quad (5)$$

где W_6 и \underline{E} - количество витков КИ 6 и ЭДС, наведенная в ней, f - частота промышленного тока, K_y - коэффициент усиления усилителя 3, $\beta_{ФПС}$ - угол поворота,

обеспечиваемый ФПС 4; $z = \sqrt{X_{ОБМ2}^2 + R_{\Sigma}^2}$, $\varphi = \arctg \frac{X_{ОБМ2}}{R_{\Sigma}}$, $R_{\Sigma} = r_{ОБМ2} + r_5$;

$X_{ОБМ2}$, $r_{ОБМ2}$ и r_5 - индуктивное, активное сопротивления обмотки 2 и активное сопротивление регулировочного резистора 5.

Из (4) и (5) имеем

$$\underline{B}_{ПП}^{ОБМ} = \underline{K}_2 \underline{B}_{ПП}^{КИ}, \quad \underline{K}_2 = \mu_0 \pi f S \cdot W_2 \cdot W_6 K_y e^{-j90^{\circ}} e^{j\beta_{ФПС}} / V \cdot z \cdot e^{j\varphi} \quad (6)$$

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

$$\underline{B}_{ПП,1}^{ОБМ} = -\underline{B}_{ПП,1}^{\Gamma}, \quad (7)$$

где $\underline{B}_{ПП,1}^{ОБМ}$ и $\underline{B}_{ПП,1}^{\Gamma}$ - индукции магнитных полей, созданных токами $\underline{I}_{A,1}$, $\underline{I}_{B,1}$, $\underline{I}_{C,1}$ в обмотке 2 (получаемыми через КИ) и в фазах А, В, С. Тогда, аналогично тому, как это сделано для полных токов, используя (4), (5) и принцип суперпозиции (при разложении на симметричные составляющие коэффициент K_2 не меняется), легко показать, что

$$\underline{B}_{\text{ПР},1}^{\text{ОБМ}} = K_2 \underline{B}_{\text{ПР},1}^{\text{КИ}}, \quad (8)$$

где $\underline{B}_{\text{ПР},1}^{\text{КИ}}$ - индукция магнитного поля, созданного токами $\underline{I}_{A,1}$, $\underline{I}_{B,1}$, $\underline{I}_{C,1}$, вдоль продольной оси КИ, описывается формулой (2) при подстановке в неё этих токов и индексов КИ.

$$\text{Имея ввиду, что } \underline{I}_{B,1} = \underline{I}_{A,1} e^{-j120^\circ}, \underline{I}_{C,1} = \underline{I}_{A,1} e^{j120^\circ}, \text{ из (7) и (8), получаем:}$$

$$e^{j(\beta_{\text{ФПС}} - 90^\circ - \varphi)} \cdot (a_{\text{КИ}} + b_{\text{КИ}} e^{-j120^\circ} + c_{\text{КИ}} e^{j120^\circ}) = -(a_{\Gamma} + b_{\Gamma} e^{-j120^\circ} + c_{\Gamma} e^{j120^\circ}). \quad (9)$$

Рассматривая это равенство как уравнение относительно угла $\beta_{\text{ФПС}}$, рассчитываем его, а затем и коэффициент $K_{\text{У}}$ усилителя 3 из (6). Предварительно находятся координаты установки МК-1 и КИ-6 и коэффициенты a , b и c . Покажем как определить координаты точки М. Учитывая, что $a_{\Gamma} + b_{\Gamma} + c_{\Gamma} = 0$, и, используя связи между параметрами треугольников АВМ, МВС, АСМ (по теореме косинусов), составляется система из четырех уравнений, в которых имеется шесть неизвестных l_A^{Γ} , l_B^{Γ} , l_C^{Γ} и α_1^{Γ} , α_2^{Γ} , α_3^{Γ} . Задаваясь, например, углом $\alpha_1^{\Gamma} = 0^\circ$, решаем систему в MathCad 13, находим координаты установки МК-1, которые удовлетворяют уравнениям и требованиям техники безопасности. Так для ЭУ напряжением 35кВ при расстояниях между фазами $l_1 = 5\text{м}$, $l_2 = 3,2\text{м}$, $l_3 = 5,3\text{м}$ получено: $l_A^{\Gamma} = 3,3\text{м}$, $l_B^{\Gamma} = 1,9\text{м}$, $l_C^{\Gamma} = 3,6$, $\alpha_2^{\Gamma} = -149^\circ, 17'$, $\alpha_3^{\Gamma} = 5^\circ, 6'$. Подобно находятся координаты установки КИ. В условиях эксплуатации можно легко установить МК так, чтобы его центр тяжести находился в точке М, если предварительно найти (рис.5) угол φ_1 через соотношения сторон в треугольнике МВС, а затем длины РМ и l_4 из прямоугольного Δ -ка МРС.

На тех же самых МК и КИ может быть выполнен *фильтр тока обратной последовательности (ФТОП)* для *горизонтального расположения фаз ЭУ* при представлении $\underline{B}_{\text{ПР}}^{\Gamma}$ и $\underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ОБМ}}$ из (3) в следующем виде:

$$\underline{B}_{\text{ПР}}^{\Gamma} = \mu_0 a_{\Gamma} (\underline{I}_A - m_1 \underline{I}_B - m_2 \underline{I}_C) / 2\pi; \quad \underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ОБМ}} = \mu_0 a_{\Gamma} (-m_2 \underline{I}_A - m_1 \underline{I}_B + \underline{I}_C) / 2\pi, \quad (10)$$

где m_1 , m_2 - коэффициенты, определяемые из соображений максимальной чувствительности при условии, что должно выполняться равенство $m_1 + m_2 = 1$.

Такое представление обеспечивает $\underline{B}_{\text{ПР}}^{\Sigma} = 0$ (для проверки достаточно подставить в (10) вместо полных токов токи $\underline{I}_{A,0}$, $\underline{I}_{B,0}$, $\underline{I}_{C,0}$). Оно обеспечивает и исключение влияния токов прямой последовательности на МК-1, если:

$$-m_1 a_{\Gamma} = b_{\Gamma} \text{ и } -m_2 a_{\Gamma} = c_{\Gamma}, \quad -m_1 c_{\text{КИ}} = b_{\text{КИ}} \text{ и } -m_2 c_{\text{КИ}} = a_{\text{КИ}}. \quad (11)$$

Тогда $\underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ОБМ}} = K_2 \underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{КИ}} = \mu_0 c_{\text{КИ}} (-m_2 \underline{I}_A - m_1 \underline{I}_B + \underline{I}_C) / 2\pi$, где K_2 определяется по (6). Покажем с помощью векторной диаграммы (рис.6,а), что при использовании (10) и (11) прямая последовательность исключается. Примем, например, $m_1 = 0,4$ и $m_2 = 0,6$. Тогда для обеспечения $\underline{B}_{\text{ПР},1}^{\Sigma} = 0$ нужно, чтобы вектор $\underline{I}'_1 = \underline{I}_{A,1} - (0,4 \underline{I}_{B,1} + 0,6 \underline{I}_{C,1})$ был равен и противоположен вектору $\underline{I}''_1 = \underline{I}_{C,1} - (0,6 \underline{I}_{A,1} + 0,4 \underline{I}_{B,1})$. Из векторной диаграммы видно, что это возможно, если повернуть \underline{I}'_1 на угол β с помощью ФПС 4. В

данном случае $\beta=47^0$. Таким образом, индукция вдоль оси МК-1 $\underline{B}_{\text{ПР},2} = \underline{B}_{\text{ПР},2}^{\Gamma} + \underline{B}_{\text{ПР},2}^{\text{ОБМ}} = \underline{B}_{\text{ПР},2}^{\Gamma} + \underline{B}_{\text{ПР},2}^{\text{КИ}} = K_M \mu_0 \alpha_{\Gamma} \underline{I}_{A,2} / 2\pi$, где K_M коэффициент, зависит от величины m_1 и определяется по векторной диаграмме рис.6,в (в данном случае $K_M=2,2$, а при $m_1=0,5$ $K_M=1,5$), и сигнал на выходе предлагаемого идентификатора появится только при повреждениях ЭУ, сопровождающихся токами обратной последовательности.

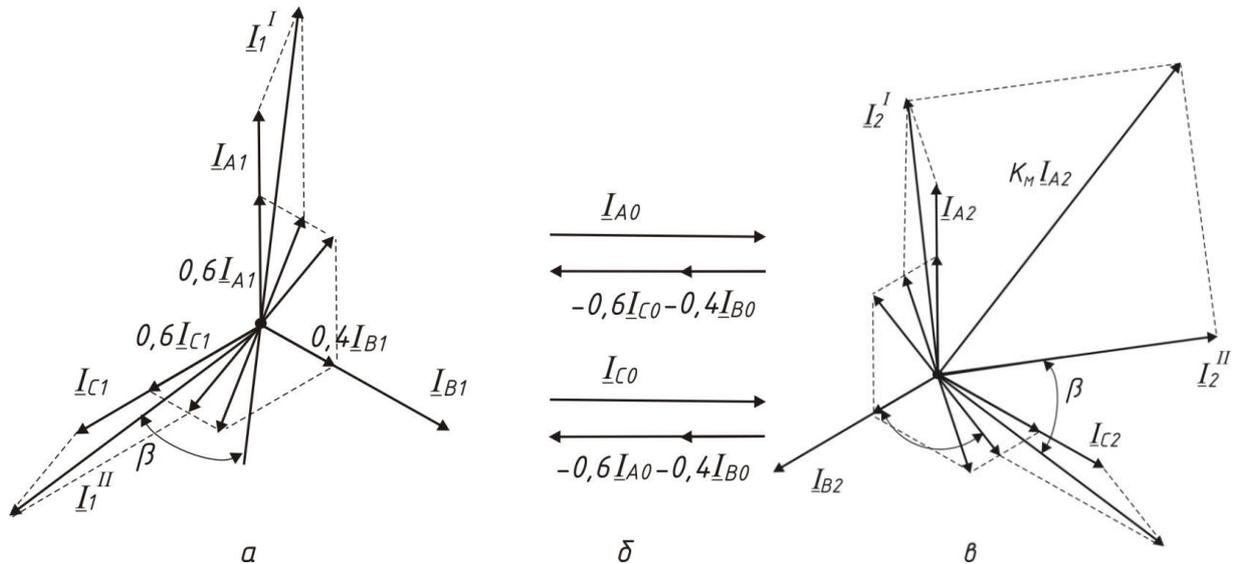


Рисунок 6 – Векторные диаграммы токов: а – прямой последовательности; б – нулевой последовательности; в – обратной последовательности

Фильтр тока нулевой последовательности (ФТНП) при горизонтальном расположении фаз ЭУ выполняется также на МК-1 и КИ-6. Данный фильтр можно выполнить, если в (3) обеспечить, чтобы

$$\underline{B}_{\text{ПР}}^{\Gamma} = \frac{\mu_0}{2\pi} \alpha_{\Gamma} (\underline{I}_A + m_1 \underline{I}_B), \quad \underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ОБМ}} = \frac{\mu_0}{2\pi} \alpha_{\Gamma} (\underline{I}_C + m_2 \underline{I}_B) \quad (12)$$

при $m_1 + m_2 = 1$. Тогда $\underline{B}_{\text{ПР},0}^{\Sigma} = \underline{B}_{\text{ПР},0}^{\Gamma} = 3\mu_0 \alpha_{\Gamma} \underline{I}_0 / 2\pi = 3K_3 \underline{I}_0$. Для того, чтобы получить (12) достаточно иметь: $m_1 a_{\Gamma} = b_{\Gamma}$, $c_{\Gamma} = 0$, $m_1 c_{\Gamma} = b_{\Gamma}$, $a_{\Gamma} = 0$ и найти координаты для МК-1 и КИ 6 также, как для ФТОП при треугольном расположении фаз.

Как показывает анализ, при изменении m_1 и m_2 от 0,1 до 0,9 действительная часть коэффициента K_2 меняется значительно. Удобные для их крепления координаты получаются при $m_1 = 0,5$. Коэффициент K_y и угол $\beta_{\text{ФПС}} = 90^0 + \varphi$ определяются также, как и в предыдущих случаях.

Фильтр тока нулевой последовательности (ФТНП) для расположения фаз по вершинам треугольника. Здесь ФТНП можно построить на одном МК-7 (рис.5). Из выражения (2) следует, что $\underline{B}_{\text{ПР}}^{\Gamma} = 3K_4 \underline{I}_{(0)}$, если $K_4 = \alpha_{\Gamma} = b_{\Gamma} = c_{\Gamma}$.

Учитывая последнее равенство и используя, как и ранее, связи между параметрами треугольников АВМ, МВС, АСМ (по теореме косинусов), составляется система из пяти уравнений, решая которую с помощью MathCad 13, находим

координаты $l'_A, l'_B, l'_C, \alpha'_1, \alpha'_2, \alpha'_3$ установки МК-7 (рис.5). В результате получаем множество точек, которые находятся на описанной вокруг треугольника ABC окружности. Причем геркон устанавливается так, что его продольная ось совпадает с касательной к этой окружности.

Рассмотренные устройства выполняют функции ФТОП и ФТНП на МК и катушках индуктивности (три запатентованы). Они достаточно просты, особенно на одном МК при треугольном расположении фаз. При внедрении позволяют экономить медь и сталь, но защиты, построенные на их основе уступают по чувствительности традиционным с фильтрами на ТА.

В четвертой главе описываются устройства для крепления и регулирования параметров идентификаторов вблизи токопроводов ЭУ. Для использования идентификаторов необходимо установить МК как можно более точно, не применяя для этого дорогостоящих устройств. Его нужно крепить на безопасном расстоянии от ЭУ с помощью устройств, выполнение которых зависит от расположения фаз ЭУ, её напряжения, типа распределительного устройства, исполнения токоведущих частей. При этом все они должны выполняться из немагнитных материалов, и на них не должна влиять окружающая среда. Они должны обеспечивать возможность изменять координаты МК в широких пределах. Как правило, для этого необходимо перемещать МК в горизонтальной и вертикальной плоскостях и изменять угол между горизонтальной или вертикальной плоскостями и его продольной осью. Патентная проработка показала, что имеется 15 таких устройств для ЭУ 6...110кВ закрытых и открытых распределительных устройств. В главе представлены те пять, которые построены при моем участии (три защищены патентами). Рассмотрим одно из них, предназначенное для открытого распределительного устройства ЭУ напряжением 6...35кВ (рис. 7).

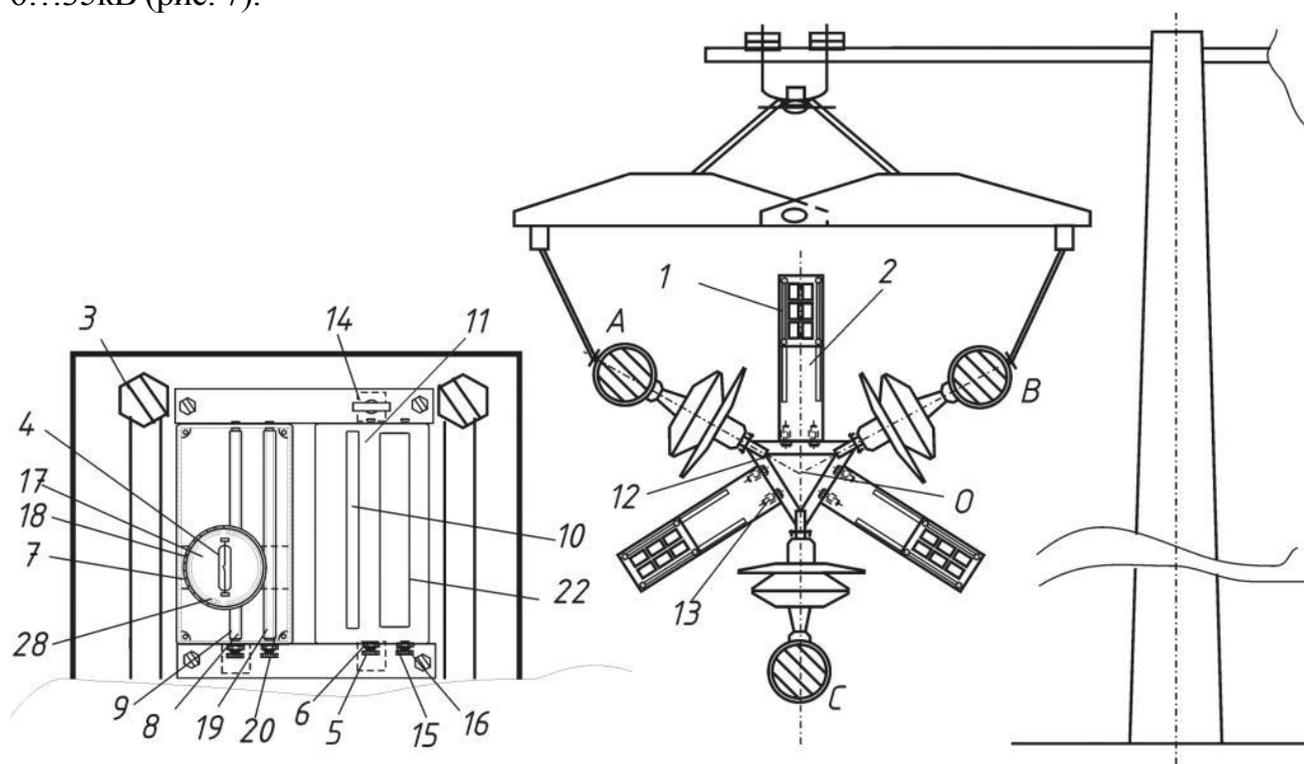


Рисунок 7 – Устройство для крепления МК и регулирования параметров идентификаторов на трехфазных симметричных токопроводах напряжением 6...35 кВ

Расположение пластины 1 с МК изменяется вдоль штанги 2 со шкалой при помощи болтов 5 с гайками-барашками 3. Перемещение МК 4 на пластине влево или вправо относительно токопроводов осуществляется с помощью ручки 5 с контргайкой 6, воздействующей на платформу 7, по стержню 8 с резьбой 9, и отображается на шкале 10 верхней части кожуха 11. Штанга 2 прикреплена к вершинам правильного треугольника 12 крепежными болтами 13. Измерение расстояния от МК 4 до токопровода в вертикальной плоскости достигается перемещением положения кожуха 11 и фиксируется зажимами 14. Угол между горизонтальной плоскостью и продольной осью геркона 4 изменяется ручкой 15 с контргайкой 16, которая воздействует на пластину 17 с резьбой 18 и стержень 19 с резьбой 20. Изменение угла отображается градуировкой 21, в окошке 22 кожуха 11 на платформе 7. Положение МК на остальных пластинах регулируются аналогично.

Предлагаемые устройства спроектированы так, что перемещение МК осуществляется в вертикальной плоскости относительно провода с током, угол между ней и продольной осью МК можно изменять, не снимая кожух. Это облегчает эксплуатацию устройства и защищает контактные соединения и провода от неблагоприятного воздействия внешней окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе решена задача идентификации установившегося тока короткого замыкания (КЗ) с помощью магнитоуправляемых контактов (МК), что создает предпосылки для построения резервной системы релейной защиты, способной одновременно дублировать традиционную и трансформаторы тока, не используя последние. Её внедрение может внести вклад в развитие стран СНГ.

Результаты работы сводятся к следующему:

1. Разработаны способы идентификации установившегося тока КЗ, основанные на измерении а) времени t_{CP} от момента трогания контактов переключающего МК до их замыкания; б) времени t_2 (t_3) между замыканиями (размыканиями) контактов двух МК, закрепленных на безопасном расстоянии от токопроводов электроустановки (ЭУ), и микропроцессора, к которому они подключены.

2. Разработана методика, позволяющая реализовывать указанные способы: В лабораторных условиях с помощью соленоида находятся токи срабатывания и возврата МК, снимаются и аппроксимируются зависимости кратности тока $K = I_{mK} / I_{CPK}$ (I_{mK} – амплитуда тока в катушке этого соленоида, I_{CPK} – значения тока в ней в момент срабатывания МК) от времени t_{CP} или t_2, t_3 при $K = 1 \dots 80$. Они вводятся в микропроцессор, где по соответствующему времени, измеренному при КЗ с помощью этого же МК, установленного вблизи токопроводов после лабораторных испытаний, используя полученные зависимости, рассчитывается амплитуда I_m тока КЗ в токопроводе ЭУ, а по I_m – его мгновенные значения. Также можно определять I_m по времени t_1 замкнутого состояния МК после срабатывания.

3. Показано, что, при $K \leq 40$ и отношениях токов срабатывания (возврата) двух МК превышающих 1,4, для расчета I_m по $t_2(t_3)$ можно пользоваться элементарными понятиями о синусоиде, не снимая зависимость $K=f(t)$, как и при расчете I_m по t_{CP} при $K \leq 15$.

4. Установлено, что при кратности $K \leq 80$ предложенные способы позволяют

воспроизвести установившийся ток КЗ за 10...15мс с погрешностью, $\varepsilon \leq 10\%$, если измерять время с точностью в 1мкс и в лаборатории и вблизи токопроводов ЭУ.

5. Дана методика построения и определения параметров простых идентификаторов тока в виде ФТОП и ФТНП на МК с обмоткой управления и катушки индуктивности, основанная на использовании разработанных аналитических выражений для токов I_2 обратной и I_0 нулевой последовательностей.

6. Показано, что для выявления токов I_2 и I_0 при горизонтальном расположении фаз МК и катушку индуктивности необходимо устанавливать симметрично по отношению к фазе В, а при расположении фаз по вершинам треугольника – внутри него. Причем в последнем случае для выявления I_0 можно использовать МК без обмотки, но устанавливать его надо на окружности, описанной вокруг этого треугольника.

7. Разработанные устройства для крепления МК и катушек индуктивности в заданных точках дают возможность регулировать параметры идентификаторов, построенных с их помощью, путем перемещения в вертикальной и горизонтальной плоскостях относительно токопровода электроустановки и изменения угла между горизонтальной или вертикальной плоскостями и продольной осью МК.

8. Рекомендуются применять разработанный способ идентификации установившегося тока КЗ по времени t_2 (t_3) между срабатываниями (возвратами) двух МК в электроустановках напряжением 3...110кВ.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Статьи в периодических изданиях рекомендованных ВАК

1 **Жантлесова, А.Б.** Фильтры симметричных составляющих для электроустановки с токопроводами фаз по вершинам треугольника. / А.Б. Жантлесова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. – № 3–4. – С. 76–81.

2 **Жантлесова, А.Б.** Фильтр тока нулевой последовательности на герконах без трансформаторов тока. / А.Б. Жантлесова [и др.] // Известие высших учебных заведений Проблемы энергетики. – 2009. – №7–8. – С 46–53.

3 **Жантлесова, А.Б.** Геркон – как фильтр тока нулевой последовательности / А.Б. Жантлесова [и др.] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – №1. – С 300-303.

4 **Жантлесова, А.Б.** Фильтр тока обратной последовательности на герконах для электроустановок с горизонтально расположенными токопроводами / А.Б. Жантлесова [и др.] // Омский научный вестник . – 2012. – №1. – С 202-204.

Патенты на изобретения

5 **Пат. 2374736 Российская Федерация, МПК⁷ H02H 3/08.** Фильтр тока нулевой последовательности на герконах для электроустановок с горизонтально расположенными токопроводами / А.Б. Жантлесова [В.Н. Горюнов, М.Я. Клецель, П.Н. Майшев, М.Т. Токомбаев]; заявитель и патентообладатель «Омский государственный технический университет»; - № 2008137897/09; заявл. 22.09.2008; опубл. 27.11.2009, Бюл. № 33. – 8 с.

6 **Пат. 2377579 Российская Федерация, МПК⁷ G01R 19/30.** Способ измерения тока / А.Б. Жантлесова [К.И. Никитин, М.Я. Клецель, М.Т. Токомбаев]; заявитель и патентообладатель «Омский государственный технический университет»; - № 2008100795/28; заявл. 09.01.2008; публ. 27.12.2009, Бюл. № 36. – 8 с.

7 **Пат. 2383095 Российская Федерация, МПК⁷ H02H 3/08.** Фильтр тока

обратной последовательности на герконах для электроустановок с горизонтально расположенными токопроводами / А.Б. Жантлесова [В.Н. Горюнов, М.Я. Клецель, П.Н. Майшев, М.Т. Токомбаев]; заявитель и патентообладатель «Омский государственный технический университет»; - № 2008137903/09; заявл. 22.09.2008; опубл. 27.02.2010, Бюл. № 6. – 9 с.

8 Пат. 18935 Республика Казахстан, МПК⁷ H02H 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 Пат. 19882 Республика Казахстан, МПК⁷ H02H 3/08. Измерительный орган для релейной защиты трехфазных симметричных токопроводов напряжением 35-110 кВ/ А.Б. Жантлесова, М.Я. Клецель, П.Н. Майшев; заявитель и патентообладатель «Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»; - № 2006/1350.1; заявл. 01.12.2006; опубл. 15.08.2008, Бюл. № 8.–6 с.

10 Пат 19636 Республика Казахстан, МПК⁷ H 02 H 3/08. Измерительный орган для релейной защиты трехфазных симметричных токопроводов напряжением 6-35 кВ / М.Я. Клецель, А.Б. Жантлесова, Б.Б. Жантлесова; заявитель и патентообладатель «Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»; - № 2006/0882.1; заявл. 31.07.2006; опубл. 16.06.2008. Бюл. №6. – 6с.

11 Пат. 24922 Республика Казахстан, МПК⁷ G01R 19/30. Способ измерения тока с помощью двух герконов / А.Б. Жантлесова, М.Я. Клецель, В.Н. Горюнов, У.К. Жалмагамбетова; заявитель и патентообладатель «Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»; - № 2010/1466.1; заявл. 27.11.2010; опубл. 15.11.2011, Бюл. № 11. – 3 с.

Материалы международных, всероссийских и региональных конференций

12 Жантлесова, А.Б. Конструкции для настройки защит на герконах токопроводов напряжением 6–35 кВ / А.Б. Жантлесова, М.Т. Токомбаев, М.Я. Клецель // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2008. – № 2 (выпуск 24). – С. 100–104.

13 Жантлесова, А.Б. Измерительный орган релейной защиты на герконах для токопроводов напряжением 6÷35 кВ / А.Б. Жантлесова // Матер. междунар. научн. конф. молодых учёных, студентов и школьников «VIII Сатпаевские чтения». –2008. – Том 20. – С. 138–141.

14 Жантлесова, А.Б. Фильтры токов нулевой последовательности на герконах / А.Б. Жантлесова, М.Я. Клецель, П.Н. Майшев, М.Т. Токомбаев // Труды XII междунар. конф. «Электромеханика, электротехнологии, электрические материалы и компоненты» МКЭЭЭ-2008 – 2008. – С. 308.

15 Жантлесова, А.Б. Способ идентификации тока короткого замыкания с помощью герконов / А.Б. Жантлесова, У.К. Жалмагамбетова, М.Я. Клецель // Матер. междунар. научн.-технич. конф. «IV чтения Ш. Шокина». –2010. – С. 228–231.

16 Жантлесова, А.Б. Способ определения установившегося тока короткого замыкания с помощью замыкающих герконов / М.Я. Клецель, П.Н. Майшев, А.Б. Жантлесова, А.В. Нефтисов // Энергетическое обследование как первый этап реализации концепции энергосбережения: материалы Международной молодёжной конференции/ НИ ТПУ. – Томск: Изд-во ООО «СПБ Графикс», 2012. – 280-283 с.

Автореферат отпечатан с разрешения диссертационного совета Д 212.269.10 при
ФБГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет» (Протокол №95 от 26 марта 2013г.)