**аннотация**

**диссертации Мусаева Жасулана Бакытжановича «Разработка защит электроустановок с токопроводами фаз в общей оболочке», представленной на соискание степени доктора филосовии (PhD) по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика**

**Актуальность**

Задача построения устройств релейной защиты (РЗ), не нуждающихся в трансформаторах тока (ТТ), считается актуальной еще с 60-х годов ХХ века. В настоящее время Международный Совет по большим электрическим системам высокого напряжения CIGRE относит ее к одной из нерешенных проблем в мировой энергетике [5]. Одним из путей ее решения, как показали анализ публикаций и патентная проработка, является построение защит на основе катушек индуктивности. Вклад в развитие этого направления внесли Сирота И.М., Клецель М.Я., Новожилов А.Н., Бороденко В.В. и д.р. Уже разработаны на основе катушек индуктивности (КИ) принципы построения фильтров симметричных состовляющих токов, дифференциальной защиты генератора, токовых защит электроустановок электролизного и руднотермического производства, защиты трехобмоточных трансформаторов. При этом вопрос построения защиты на КИ электроустановок с комплектными токопроводами с фазами в общей оболочке еще не рассматривался. Поэтому разработка защит этих электроустановок (ЭУ) является актуальной.

**Объектом исследования** является релейная защита электроустановок, не нуждающаяся в трансформаторах тока.

**Предмет исследования** –максимальная токовая защита электроустановок с комплектными токопроводами (КТ) напряжением 6/10 кВ.

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

**Цель** – создание токовых защит на катушках индуктивности для электроустановок с токопроводами фаз в общей оболочке.

**Задачи:**

* исследовать величины индукций магнитных полей снаружи оболочек токопроводов;
* определить точки на оболочке токопровода, в которых предпочтительно устанавливать КИ;
* разработать максимальную токовую защиту на их основе;
* создать модели конструкций для закрепления КИ на оболочке токопровода.

**Обоснованность и достоверность результатов проведенных исследований подтверждается:** грамотным применением основ высшей математики, качественно проведенными натурными экспериментами и моделированием, а также публикациями в журналах из перечня, рекомендованного КОКСОН.

**Научная новизна работы**:

1. Для ЭУ с КТ разработана МТЗ без использования трансформаторов тока на основе трех КИ, отличающаяся от известных тем, что они расположены на оболочке токопровода вблизи фаз А, В, С.
2. Разработана приставка к указанной МТЗ, обладающая повышенной чувствительностью к двухфазным КЗ за счет контроля разностей между каждыми двумя электродвижущими силами (ЭДС), наведенными на выводах этих трех КИ.
3. Используя результаты экспериментов и моделирования, доказано, что в большинстве случаев при выборе уставки срабатывания МТЗ, можно не учитывать помеху от токов в соседнем токопроводе, если установить КИ в точку с рассчитанными по приведенной методике координатами и воспользоваться цилиндрическим экраном из электротехнической стали высотой h=5÷25 см и толщиной стенки d=2÷4 мм, охватывающим оболочку КТ.

**Новые научные результаты работы:**

1. Теоретически выведена формула для расчета коэффициента, учитывающего влияние на индукцию, действующую вдоль продольной оси КИ, установленной напротив фазы токопровода защищаемой ЭУ, токов в его соседних фазах.
2. Разработана и экспериментально проверена методика определения координат установки катушки индуктивности, отличающаяся от известных тем, что учитывается геометрическая форма комплектного токопровода, наличие оболочки и расположение шин внутри нее.
3. Созданы и запатентованы модели конструкций для крепления катушек индуктивности на оболочке комплектного токопровода.
4. На основе экспериментов и компьютерного моделирования разработана методика выбора уставок срабатывания МТЗ на КИ и приставки к ней, отличающаяся от известных учетом искажения внешнего МП оболочкой токопровода защищаемой ЭУ.

**Практическая значимость научных результатов:**

1. Даны рекомендации по установке КИ на оболочке токопровода при наличии соседнего токопровода и без него.
2. Коэффициент, учитывающий влияние токов в соседних фазах защищаемой электроустановки (ЭУ), позволяет упростить расчет уставки срабатывания разработанной МТЗ на КИ для ЭУ с одиночным токопроводом.
3. Доказано, что действующую вдоль продольной оси КИ индукцию магнитного поля (МП), созданного токами в шинах токопровода защищаемой ЭУ, можно рассчитать по закону Био-Савара-Лапласа (простейшая форма записи), введя полученные экспериментально и с помощью моделирования коэффициент экранирования его оболочки и поправочный коэффициент, а индукцию от токов в соседнем токопроводе – введя еще и коэффициент, учитывающий искажение поля указанной оболочкой.

**Практическая ценность работы:**

1. Разработанная МТЗ на КИ позволяет строить защиту ЭУ с трехфазными комплектными токопроводами от КЗ, не используя ТТ, с повышенной чувствительностью к двухфазным КЗ.
2. Созданные конструкции дают возможность расположить катушки индуктивности на поверхности оболочки токопровода и регулировать параметр срабатывания защиты.

**К защите представляются:**

* максимальная токовая защита на катушках индуктивности (КИ) для электроустановок с комплектными токопроводами с фазами в общей оболочке;
* результаты исследований МП, действующих на КИ, закрепленных снаружи оболочки токопровода, на основе компьютерного моделирования и натурных экспериментов;
* конструкции для крепления катушек индуктивности на оболчках токопроводов.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались на заседании кафедры «Электроэнергетика» Торайгыров Университета.

**Публикации.** Результаты исследований опубликованы в 5 научных трудах, в том числе: 5 публикаций в изданиях, рекомендуемых Комитетом, среди которых 1 патент Республики Казахстан, 2 патента Российской Федерации, входящих в базу Web of Science, 2 статьи в журналах. В публикациях личный вклад соискателя от 45 до 70%.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения и приложения. Работа изложена на 73 страницах компьютерного текста, включает 44 рисунка. Список использованных источников состоит из 60 наименований.

**В первой главе** «Обзор предложений по созданию релейных защит, не использующих традиционные трансформаторы тока» рассмотрены известные предложения по построению ресурсосберегающих защит на основе магниточувствительных датчиков и их недостатки. Отмечено, что:

1. Проблема построения ресурсосберегающих устройств релейной защиты, не нуждающихся в ТТ, остается нерешенной, так как в настоящее время серийно такие устройства пока не выпускаются.

2. Одним из перспективных магниточувствительных датчиков, который может быть использован в качестве трансформатора тока, является катушка индуктивности, так как она обладает некоторыми существенными преимуществами перед другими элементами.

3. Имеется ряд предложений по построению защит различных электроустановок на основе магниточувствительных элементов. Однако защиты электроустановок с комплектными токопроводами с тремя фазами в общей оболочке не разрабатывались.

**Во второй главе** «Исследование магнитных полей снаружи оболочки общей для трех фаз закрытого комплектного токопровода» представлены результаты натурных экспериментов и компьютерного моделирования в программе Ansys Maxwell, а также рассмотрены конструкции токопроводов и область их применения. Даны рекомендации по выбору точек установки катушек индуктивности (КИ) на оболочке одиночного токопровода. Предложена методика расчета координат точек закрепления КИ при наличии соседнего токопровода, позволяющая уменьшить влияние на КИ токов в его оболочке и шинах в 7,2 раза. Экспериментально и с помощью моделирования определены коэффициенты, позволяющие рассчитывать индукции магнитных полей, действующих на КИ, по простейшей формуле закона Био-Савара-Лапласа. Предложены форма и габаритные размеры экрана для защиты КИ от внешних магнитных полей.

В выводах по главе указывается, что:

1. Для расчета индукции МП от токов в шинах токопровода защищаемой ЭУ в формулу закона Био-Савара-Лапласа нужно ввести поправочный коэффициент kпр=1,4 и коэффициент экранирования оболочки kэ=0,14÷0,22, а от токов в соседней ЭУ – еще и коэффициент k1, учитывающий искажение МП наличием в нем оболочки токопровода защищаемой ЭУ.
2. На одиночно проложенном токопроводе КИ удобно располагать напротив фаз А, В, С, а при наличии соседенего – в точках с координатами, рассчитанными по предложенной методике.

3. Целесообразно использовать экран из электротехнической стали в виде полого цилиндра высотой 5-25 см и толщиной стенки 2-4 мм. При этом он уменьшает индукцию внешнего МП в 1,2-12 раз, а индукцию МП от токов в защищаемом токопроводе на 10-16%.

**В третьей главе** «Токовые защиты на катушках индуктивности для электроустановок с комплектными токопроводами с тремя фазами в общей оболочке» рассмотрены методика выбора параметров срабатывания и модели максимальной токовой защиты (МТЗ) и приставки к ней с повышенной чувствительностью к двухфазным коротким замыканиям. Последнее обеспечивается путем контроля разностей абсолютных значений ЭДС, наведенных на КИ. Представлена модель автономной защиты, получающая питание от дополнительно установленных на оболочке токопровода КИ. Показано в каких случаях можно выбирать уставку срабатывания МТЗ без учета помех, отстраивая ее только от тока самозапуска, как и в традиционной защите.

Представлены конструкции для крепления КИ на оболочке токопровода. Две из них для одиночного токопровода, а три – для случаев, когда рядом есть второй. Последние позволяют изменять положение КИ в пространстве.

Выводы по главе сводятся к следующему: предложенная МТЗ в большинстве случаев обладает такой же чувствительностью, как и традиционная, но в 3-7,5 раз легче; приставка к ней позволяет повысить чувствительность защиты к двухфазным коротким замыканиям; разработанные конструкции просты и позволяют закрепить КИ в любой точке на оболочке токопровода.

**Результаты работы сводятся к следующему:**

1. Созданная экспериментальная установка позволяет исследовать магнитное поле снаружи комплектных токопроводов с фазами в общей оболочке. Исследования показали, что это поле можно использовать для построения защит без получения информации от трансформаторов тока, расположив катушки индуктивности (КИ) непосредственно на оболочке комплектного токопровода (КТ). При этом, если есть соседний КТ, то целесообразно устанавливать КИ в точки с координатами, рассчитанными по приведенной методике, а если его нет, то в точки напротив фаз А, В, С.

2. Для определения индукции МП в точке установки КИ по простейшей формуле, выражающей закон Био-Савара-Лапласа, необходимо ввести в нее: а) поправочный коэффициент kпр=1,4 и коэффициент экранирования оболочки kэ=0,14÷0,22 (зависит от диаметра оболочки), если МП создано токами в шинах КТ защищаемой электроустановки; б) коэффициент k1 (дополнительно к kпр и kэ), учитывающий искажение МП оболочкой КТ защищаемой ЭУ, если МП создано токами в шинах соседнего токопровода.

3. Разработанная максимальная токовая защита (МТЗ) в большинстве случаев обладает такой же чувствительностью, как и традиционная, но в 3-7,5 раз легче (с учетом веса трансформаторов тока). Приставка к МТЗ позволяет обеспечить более высокую чувствительность к двухфазным КЗ путем контроля разностей абсолютных значений ЭДС, наводимых на выводах КИ.

4. Уставку срабатывания МТЗ можно выбирать без учета помех от токов в шинах соседнего КТ при их кратности k4≤5÷20 к номинальному току защищаемой ЭУ, если установить КИ в выявленные точки, и при k4≤6÷66, если воспользоваться еще и экраном. Компьютерное моделирование показало, что целесообразно использовать экран из электротехнической стали в виде полого цилиндра с высотой 5-25 см и толщиной стенки 2-4 мм. При выборе параметров срабатывания приставки к МТЗ учет помех обязателен.

5. Разработаны и запатентованы конструкции для крепления КИ снаружи оболочки токопровода, которые позволяют регулировать величину ЭДС на их выводах, изменяя положение в пространстве.