**аннотация**

**диссертации Машраповой Ризагуль Мегданиятовны «Разработка способов защиты параллельных линий и их реализация на герконах», представленной на соискание степени доктора филосовии (PhD) по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика**

**Актуальность**

В последние десятилетия ресурсосбережению уделяется значительно больше внимания, чем раньше, особенно в Казахстане и России. В релейной защите в плане ресурсосбережения имеются большие возможности, если заменить трансформаторы тока, от которых получают информацию о токе, какими-то миниатюрными (в сравнении с трансформаторами тока) датчиками. Наибольшее количество работ в этом направлении посвящено созданию защит на герконах, которые закрепляются на безопасном расстоянии от токоведущих шин электроустановки. Это направление развивается в связи с тем, что герконы обладают рядом известных преимуществ перед другими магниточувствительными элементами. Подавляющее большинство разработок сделано в Торайгыров Университете под руководством и при непосредственном участии д.т.н. Клецеля М.Я. Уже разработан ряд защит, и они в основном удовлетворяют предъявляемым требованиям. Что касается защиты параллельных линий, то, как показала тщательная патентная проработка и анализ публикаций в известных журналах, для приемной стороны линий, подключенных к шинам через отдельные выключатели, защиты без трансформаторов не разрабатывались, а для питающей есть лишь одно предложение. Однако эта защита сложна в реализации, может срабатывать ложно под воздействием кратковременных помех и имеет некоторые другие недостатки. Исходя из изложенного, следует, что разработка защит параллельных линий на герконах является актуальной.

**Объектом исследования** является релейная защита линий электропередачи.

**Предмет исследования** –релейная защита параллельных линий электропередачи напряжением 6-35 кВ.

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

**Целью работы** является создание защит на герконах без трансформаторов тока для питающей и приемной сторон параллельных линий напряжением 6-35 кВ с односторонним питанием.

**Для достижения цели** **были поставлены и решены следующие задачи**:

* анализ защит параллельных линий;
* разработка способов защиты параллельных линий с питающей и приемной сторон;
* разработка устройств защиты на герконах, реализующих указанные способы.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:** обоснованностью исходных посылок, вытекающих из основ используемых теорий и законов; грамотно выполненными исследованиями; экспериментальной проверкой разработанного принципа действия; получением двух патентов в Республике Казахстан и трех в Российской Федерации.

**Научная новизна работы**:

1. Разработаны способ и устройство защиты параллельных линий от коротких замыканий с питающей стороны, основанные на контроле очередности достижения мгновенными токами в одноименных фазах заданного значения.

2. Созданы способ и устройство защиты параллельных линий от коротких замыканий с приемной стороны, основанные на контроле наличия мгновенного значения тока в линии большего или равного заданной величине через определенное время после того, как он достиг этой величины в предыдущую положительную (отрицательную) полуволну переменного тока промышленной частоты.

3. Создан способ защиты параллельных линий с приемной стороны, при котором рассматриваются соседние положительные (отрицательные) полуволны переменного тока промышленной частоты и контролируется время между моментами достижения мгновенным значением тока в фазе линии заданной величины при его нарастании.

4. Разработаны методики расчета параметров срабатывания защит параллельных линий от коротких замыканий на герконах и оценки их чувствительности, отличающиеся от известных учетом влияния друг на друга герконов с обмотками управления, установленных рядом.

5. Разработан способ обеспечения срабатывания геркона в одну из полуволн переменного тока, при котором в другую создают дополнительный магнитный поток, воздействующий на второй геркон, размыкающий контакты и блокирующий выходной сигнал первого геркона.

**Новые научные результаты работы:**

1. Разработаны два способа построения защит для приемной стороны и один для питающей (двух параллельных линий с односторонним питанием). Для питающей стороны предложено контролировать очередность достижения мгновенными значениями токов в одноименных фазах заданной величины в обе полуволны переменного тока. Для приемной: в первом способе – контролировать наличие тока большего или равного заданной величине через определенное время после того, как он достиг этой величины в предыдущую положительную (отрицательную) полуволну переменного тока при его нарастании; во втором – контролировать время между моментами достижения мгновенным значением переменного тока в фазе линии заданной величины при его нарастании в соседние положительные (отрицательные) полуволны. Способы запатентованы.

2. Разработаны устройства защиты на герконах с питающей и приемной сторон параллельных линий с односторонним питанием. Предложены схемы на полупроводниковых элементах и алгоритмы функционирования.

3. Получены новые формулы для определения величины зоны каскадного действия и области использования защит на герконах, соответственно, с приемной и питающей сторон.

4. Усовершенствован способ обеспечения полярности срабатывания герконов – путем блокировки выходного сигнала геркона в одну из полуволн переменного тока.

5. Разработаны новые схемы защит трех и четырех параллельных линий, отличающиеся тем, что контролируется разновременность срабатывания каждых двух герконов, установленных вблизи одноименных фаз линий.

**Практическая значимость научных результатов:**

1. Предложенные способы дадут возможность строить ресурсосберегающие защиты на герконах для приемной стороны параллельных линий, не отстраивающихся от токов в неповрежденных фазах и максимального тока нагрузки, а для питающей стороны – обеспечивающих правильное поведение защиты во всех режимах работы линий. Созданные алгоритмы позволят выполнять защиты на электромеханической, полупроводниковой и микропроцессорной элементных базах.

2. Разработанные формулы позволяют: рассчитать зону каскадного действия защиты с приемной стороны; определить возможность использования защиты с питающей стороны на тех или иных линиях, не рассчитывая уставки ее срабатывания.

3. Способ обеспечения полярности срабатывания герконов позволяет повысить чувствительность функционирования защиты с приемной стороны.

**Практическая ценность работы:**

1. Разработанные устройства защиты параллельных линий позволят сэкономить высококачественные медь, сталь и изоляционные материалы и уменьшить габариты за счет получения информации о токе от герконов без использования трансформаторов тока.

2. Разработанные методики расчета параметров срабатывания защит параллельных линий на герконах позволяют рассчитать токи в шинах, при которых они срабатывают, и учесть влияние друг на друга герконов с обмотками управления, расположенных вблизи одной фазы, что обеспечивает селективность защиты.

3. Предлагаемые защиты с приемной стороны позволят расширить область использования поперечных защит параллельных линий за счет того, что они обладают более высокой чувствительностью, чем традиционная.

**К защите представляются:**

– способ и устройства защиты двух, трех и четырех параллельных линий на герконах с питающей стороны;

– способы и устройство защиты двух, трех и четырех параллельных линий на герконах с приемной стороны;

– способ обеспечения полярности срабатывания геркона.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались на Международной научно-практической конференции «ХІ Торайгыровские чтения» (Республика Казахстан, г. Павлодар, 2019 год), 60-й Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки» (Российская Федерация, г. Москва, 2020 год) и на заседании кафедры «Электроэнергетика» Торайгыров Университета.

**Публикации.** Результаты исследований опубликованы в 8 научных трудах, в том числе: 5 публикаций в изданиях, рекомендуемых ККСОН, среди которых 2 патента Республики Казахстан, 3 патента Российской Федерации; одна публикация в международном научном издании, входящем базу данных Scopus, с процентилем 38; две публикации в материалах международных конференций. В публикациях в соавторстве личный вклад соискателя составляет: в статье в базе данных Scopus – не менее 25%; в публикациях на конференциях и в патентах – не менее 65%.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, четырех приложений. Работа изложена на 95 страницах компьютерного текста, включает 44 рисунка и две таблицы. Список использованных источников включает 75 наименований.

**В первой главе** «Анализ защит параллельных линий от коротких замыканий с трансформаторами тока и напряжения и без них» рассмотрены известные поперечные защиты параллельных линий и их недостатки. Отмечено, что:

1. Традиционная поперечная дифференциальная токовая направленная защита параллельных линий проста в реализации, не реагирует на качания, но обладает рядом недостатков, среди которых получение информации от трансформаторов тока и напряжения. Имеется ряд защит, позволяющих устранить все ее недостатки, кроме трансформаторов тока.

2. В качестве датчиков тока для построения защиты могут быть использованы герконы, так как они обладают некоторыми важными для релейной защиты преимуществами.

3. Известная поперечная дифференциальная защита на их основе может быть использована только с питающей стороны, срабатывает ложно при кратковременных помехах, а также в зависимости от варианта выполнения может выдавать сигнал на отключение неповрежденной линии при двойных замыканиях на землю или не срабатывать при каскадном отключении поврежденной линии, причем принцип действия не позволяет устранить большинство из этих недостатков.

4. Защиты параллельных линий, не нуждающиеся в трансформаторах тока и напряжения, для приемной стороны не разрабатывались.

**Во второй главе** «Разработка способа защиты параллельных линий от коротких замыканий (с питающей стороны) и его реализация на герконах» предложен способ защиты, основанный на контроле очередности достижения током в одноименных фазах линий заданного значения. В соответствии со способом сформулированы словесное описание условия срабатывания защиты и в символах алгебры логики. Подробно рассмотрена его реализация на герконах. При этом контролируется очередность срабатывания герконов и время между их срабатываниями. Представлены результаты экспериментов, доказывающие работоспособность предлагаемого принципа действия. Приведены схемы защит для двух, трех и четырех параллельных линий при выполнении их на полупроводниковой и электромеханической элементных базах и структурные схемы алгоритмов их функционирования для реализации с помощью микропроцессора. Подробно рассмотрено поведение защит в различных режимах.

Представлена методика расчета параметров срабатывания защиты и оценки ее чувствительности, учитывающая: конфигурацию расположения проводов линий на опоре (при определении индукций магнитных полей, действующих на геркон); погрешности расчетов при использовании закона Био-Савара-Лапласа; влияние на геркон магнитных полей, созданных токами в фазах обеих линий. Представлены формулы с помощью которых можно определить возможность использования защиты.

В выводах указывается, что: а) разработанный способ защиты параллельных линий с питающей стороны, в отличие от известных, позволяет строить их, не используя ТТ и цепи напряжения, на различных магниточувствительных элементах для линий напряжением 6-35 кВ; б) разработанные на основе герконов защиты не срабатывают при кратковременных помехах и ведут себя правильно в различных режимах работы линий, а для их построения герконы должны иметь время срабатывания и разницу в индукциях срабатывания не более 2 мс и 6%, соответственно.

**В третьей главе** «Разработка способов защит параллельных линий от коротких замыканий (с приемной стороны) и их реализация на герконах» рассмотрены два способа защиты. Первый заключается в контроле наличия тока большего или равного заданной величине через определенное время после того, как он достиг этой величины в предыдущую положительную (отрицательную) полуволну переменного тока при его нарастании. Второй – в контроле времени между моментами достижения мгновенным значением переменного тока в фазе линии заданной величины при его нарастании в соседние положительные (отрицательные) полуволны. Для первого способа условие срабатывания защиты сформулировано в виде словесного описания и в символах алгебры логики. Представлены схемы защит на герконах и алгоритмы их функционирования для двух и трех параллельных линий, реализующие этот способ. При этом контролируется наличие сигнала от геркона через определенное время после его предыдущего срабатывания в положительную (отрицательную) полуволну переменного тока. Подробно рассмотрено поведение защит в различных режимах работы линий и показано.

Представлен способ обеспечения полярности срабатывания геркона, который, в отличие от известного, заключается не только в компенсации одной из полуволн индукции магнитного поля, действующего на геркон, но и в блокировке его выходного сигнала в эту же полуволну.

Рассмотрена методика определения параметров срабатывания защит с приемной стороны, учитывающая влияние друг на друга герконов с обмотками управления, расположенных вблизи одной и той же фазы. Представлена формула для определения величины зоны каскадного действия защиты.

В выводах отмечается, что предложенные устройства защиты на герконах для приемной стороны двух и трех параллельных линий обладают более высокой чувствительностью, чем выпускаемые промышленностью, так как не отстраиваются от максимального тока нагрузки, и не используют цепи напряжения.

**Результаты работы сводятся к следующему:**

1. Разработаны два способа защиты для приемной стороны параллельных линий с односторонним питанием, и один для питающей. Первый заключается в контроле наличия тока в линии большего или равного заданной величине через определенное время после того, как он достиг указанной величины в предыдущую положительную (отрицательную) полуволну, второй – в контроле времени между моментами достижения током в фазе линии заданной величины при его нарастании в соседние положительные (отрицательные) полуволны, а третий – в контроле очередности достижения токами в их одноименных фазах заданного значения. Они дадут возможность строить защиты без ТТ, а для приемной стороны впервые в мире.

2. Предложены устройства защиты для двух, трех и четырех параллельных линий, реализующие на герконах без ТТ первый и третий способы. Все они, в отличие от традиционных, ведут себя правильно во всех режимах работы линий и не используют цепи напряжения, а защиты с приемной стороны обладают еще и более высокой чувствительностью. В отличие от аналогичной на герконах, защиты с питающей стороны не срабатывают при кратковременных помехах и просты в реализации.

3. При построении защит с питающей стороны герконы должны иметь время срабатывания 0,3-2 мс и разницу в индукциях срабатывания не более 6%. Эти защиты могут быть использованы, если кратность минимального тока КЗ на шинах приемной подстанции к номинальному току нагрузки больше или равна 5,2, а кратность суммарного максимального тока КЗ на границе зоны каскадного действия удовлетворяет полученному нами неравенству. Защиты с приемной стороны могут быть применены на линиях 35 кВ, если амплитуда минимального тока нагрузки превышает 60 А, а на линиях 10 кВ – если превышает 30 А. Величина их зон каскадного действия определяется по разработанной формуле.

4. Разработанные методики расчетов параметров предложенных устройств защиты дают возможность определять токи в шинах ЭУ, при которых срабатывают герконы, и учесть: взаимное влияние друг на друга герконов с обмотками управления, установленных вблизи одной фазы; конфигурацию расположения проводов линий на опоре; погрешности расчетов при использовании закона Био-Савара-Лапласа; влияние на геркон магнитных полей, созданных токами в фазах обеих линий.

5. Разработанный способ обеспечения срабатывания геркона в одну из полуволн переменного тока позволяет повысить чувствительность защит с приемной стороны за счет создания в другую полуволну дополнительного магнитного потока.