

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07103 – «Электроэнергетика»

Сулейменов Нурлан Кайргельдинович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ЗАЩИТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Диссертационная работа посвящена совершенствованию ресурсосберегающих защит преобразовательных установок от коротких замыканий. Она выполнялась в соответствии с приоритетным направлением развития науки «Энергия, передовые материалы и транспорт» и научными направлениями исследовательского комитета В5 «Релейная защита и автоматика» Международной организации CIGRE, объединяющей ученых и специалистов в области электроэнергетических систем всей Европы и стран СНГ.

Актуальность проблемы. Защита преобразовательной установки (ПУ) традиционно выполнялась с помощью простых токовых защит, а на мощных или очень ответственных установках еще и дифференциальных. И те, и другие получают информацию от трансформаторов тока (ТТ), которые содержат стали, меди, например, на 110 кВ почти в 50 раз больше, чем в самих защитах, а высоковольтной изоляции в сотни. Задача ухода от ТТ возникла еще в 70-е годы прошлого столетия и была названа на сессии CIGRE в 2006 г. принципиально не решенной проблемой электроэнергетики. В Торайгыров университете предложено решать ее с помощью герконов, и уже разработаны токовые и дифференциальные защиты для различных электроустановок, включая преобразовательные.

Значительный вклад в построение защит ПУ на герконах внесли Клецель М.Я. и Барукин А.С. Но многие вопросы еще не решены. Так дифференциальные защиты мощных ПУ на герконах оказываются не чувствительными к коротким замыканиям (КЗ) в выпрямителе по причине отсутствия отстройки от бросков тока намагничивания трансформатора ПУ, а при наличии могут не отличать бросок от КЗ при значительной апериодической составляющей. И чувствительность, и надежность защит диодов в выпрямителях ПУ оказывается при малых мощностях ПУ недостаточной. Во многих вариантах выполнения защит ПУ отсутствует функциональная диагностика и во всех – тестовая. Повышение надежности релейной защиты (РЗ) путем мажорирования герконовых защит без ТТ, предложенное Барукиным А.С. в его диссертации, увеличивает надежность отключения КЗ, но только при исправном выключателе ПУ. Здесь для получения максимального эффекта надо искать пути увеличения надежности отключения КЗ в ПУ (в настоящее время для этого используется замена выключателей на разрабатываемые более надежные). Кроме того,

работоспособность защит на герконах, в том числе и с мажорированием, подтверждена только мысленным моделированием. Однако для коммерциализации защит без ТТ этого явно недостаточно. Из изложенного следует, что совершенствование защит ПУ без ТТ, выполненных на герконах, в направлении устранения указанных недостатков является актуальной задачей.

Объектом исследования является релейная защита ПУ.

Предметом исследования – релейная защита ПУ без трансформаторов тока.

Связь темы диссертации с общенаучными (государственными) программами. Работа выполнялась в соответствии с приоритетным направлением развития науки «Энергия, передовые материалы и транспорт» и научными направлениями исследовательского комитета В5 «Релейная защита и автоматика» Международной организации CIGRE, объединяющей ученых и специалистов в области электроэнергетических систем всей Европы и стран СНГ.

Цель работы – Создать модели защит ПУ без ТТ, лишенные указанных выше недостатков.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Построить устройства тестовой и функциональной диагностики для защит ПУ на герконах;

2. Повысить чувствительность и надежность защиты ПУ на герконах путем усложнения схем защиты.

3. Для повышения чувствительности защит ПУ на герконах и ТТ разработать блокировку при броске намагничивания тока силовых трансформаторов ПУ.

4. Разработать устройства, выявляющие повреждения диодов в выпрямителях ПУ, более чувствительные и надежные, чем известные.

5. Усовершенствовать дифзащиту ПУ с мажоритарной схемой - разработать блокировку БТН и тестовую диагностику на герконах, уточнить выбор уставок и подтвердить работоспособность имитационным моделированием.

6. Повысить надежность отсоединения преобразовательной установки от электрической системы при КЗ.

Методы исследований. При решении поставленных задач использовались фундаментальные положения теоретических основ электротехники, релейной защиты и автоматики, теории надежности и теории подобия, основы теории конструирования механизмов и машин, натурный эксперимент.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: правильным применением основ теории надежности, переходных процессов и релейной защиты; грамотно выполненным имитационным моделированием; апробацией в виде публикации статьи в журнале *Electrical Engineering*, доклада на

международной конференции; 4 патентов в Республике Казахстан, 1 патента в Российской Федерации и 1 Евразийского патента (Приложение А).

Научная новизна работы:

1. С помощью герконов с обмотками предложено повышать чувствительность защит ПУ без ТТ путем: а) разработки двух устройств защиты диодов: одно на герконах, другое на катушках индуктивности; б) построения дифференциальной защиты выпрямителя ПУ; в) ввода в дифференциальную защиту созданного при определяющем участии автора диссертации устройства блокировки от броска тока намагничивания силового трансформатора ПУ.

2. При выборе уставок дифференциальных защит ПУ без ТТ более точно определены условия срабатывания и несрабатывания защиты.

3. С помощью, созданной совместно с Барукиным А.С., математической модели исследована защита ПУ на герконах и магниторезисторе.

Новые научные результаты работы:

1. Разработаны две схемы защиты диодов выпрямителей ПУ;

2. а) новая схема на герконах устройств блокировки от БТН силового трансформатора ПУ для защит ПУ; б) схемы дифференциальной защиты выпрямителей ПУ без ТТ.

3. Уточнен выбор уставок дифференциальных защит ПУ без ТТ;

4. Проведенное имитационное моделирование подтвердило работоспособность защиты ПУ с мажорированием и быстроедействие на уровне передовых фирм мира.

Практическая ценность работы.

1. Построенные два устройства защиты диодов позволяют не только выявить их повреждение, но и определить какой поврежден, а также есть ли повреждение в самом устройстве.

2. Разработанная дифференциальная защита выпрямителя ПУ на герконах обладает более высоким быстродействием и чувствительностью при КЗ в выпрямителе, чем общая дифференциальная, и повышает надежность отключения этого КЗ.

3. Более точный выбор уставок позволяет уменьшить вероятность несрабатывания или ложного срабатывания дифференциальной защиты ПУ.

4. Результаты имитационного моделирования подтверждают работоспособность дифзащиты ПУ, выполненной по мажоритарному принципу.

5. Использование герконов с обмотками для выполнения функций и дифференциальной и максимальной защит ПУ упрощает реализацию.

К защите представляются:

1. Способ защиты силового трансформатора от коротких замыканий с блокировкой при БТН на герконах.

2. Отдельное устройство дифзащиты для выпрямителя с применением дублирования и мажорирования, два устройства для защиты выпрямителя ПУ с применением герконов и катушек индуктивности.

3. Устройства защит на герконах с функциональной и тестовой диагностикой.

4. Модель дифференциальной защиты ПУ выполненная на герконах и магниторезисторе с тестовой диагностикой и оригинальной блокировкой от броска тока намагничивания силового трансформатора.

5. Имитационное моделирование подтверждающее работоспособность дифзащиты ПУ на герконах, выполненной по мажоритарному принципу.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на международной конференции «2024 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)» и на расширенном заседании кафедры «Электроэнергетика» НАО Торайгыров университета.

Публикации. Результаты исследований опубликованы в 8 научных трудах, в том числе: 7 публикаций в изданиях, рекомендуемых Комитетом, среди которых 4 патента Республики Казахстан, 1 патент Российской Федерации, 1 Евразийский патент, 1 статья в журнале, входящем в базу данных Scopus с процентилем 62; 1 публикация в материалах международной конференции. В публикациях в соавторстве личный вклад автора составляет не менее 60%.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех разделов и заключения. Работа изложена на 87 страницах компьютерного текста, включает 6 таблиц, 30 рисунков. Список использованных источников включает 71 наименование.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и задачи исследования, отражена научная новизна и практическое значение полученных результатов, указаны пути реализации сформулированных в диссертации задач.

В первой главе рассмотрены традиционные защиты преобразовательных установок, принципы их выполнения. В работе приведены защиты ПУ выполненные как на электромеханических, так и на современных микропроцессорных реле. Сделан обзор известных ресурсосберегающих защит ПУ от коротких замыканий.

Рассмотренные традиционные устройства защиты диодов выпрямителя ПУ имеют ряд недостатков, к которым можно отнести: малое быстродействие, необходимость отстройки от допустимых перегрузок, выход из строя плавкой вставки после срабатывания, малую чувствительность при наличии МТЗ, а при наличии дифзащиты – громоздкие и металлоемкие ТТ. К тому же наличие разъединителя для создания искусственного КЗ снижет надежность срабатывания защиты ПУ. В связи с этим остается актуальным повышение чувствительности и надежности защит выявляющих повреждения диодов в выпрямителе ПУ.

В работе обнаружены некоторые устройства ресурсосберегающих защит которые не защищают трансформатор ПУ и в которых отсутствует тестовая и функциональная диагностика, что является существенным недостатком. Поэтому повышение чувствительности и надежности (за счет

введения тестовой и функциональной диагностики) защиты как трансформатора, так и выпрямителя ПУ остается актуальной задачей.

Бросок тока намагничивания при включении силового трансформатора ПУ достигает значения $5-8I_n$, что требует отстройки защиты от БТН, возникающих при включении трансформатора преобразовательной установки под напряжение и при восстановлении напряжения после отключения внешних коротких замыканий, что значительно снижет чувствительность. В известных защитах ПУ на герконах блокировка при БТН или не осуществляется или осуществляется с помощью фильтра второй гармоники подключенного на выходе обмотки геркона, которая использовалась как источник ЭДС, наведенной магнитным потоком токов в фазе. Однако этот метод недостаточно надежен, в связи с тем, что вторая гармоника может появиться в токе КЗ при наличии в нем апериодической слагающей. Поэтому разработка блокировки при БТН трансформатора ПУ является актуальной.

Во второй главе повышена чувствительность и надежность устройства дифференциальной защиты преобразовательной установки (ПУ) на трех герконах с обмотками, установленных на безопасном расстоянии от токоведущих шин трех фаз со стороны высшего напряжения трансформатора ПУ, и четвертого, установленного вблизи шины постоянного тока. Чувствительность повышена путем ввода фильтров второй гармоники для каждой фазы, что позволило не отстраиваться от бросков тока намагничивания, а надежность - за счет построенной функциональной и тестовой диагностики и дополнительной установки двух герконов рядом с четвертым и соединения обмоток первого (второго и третьего) и четвертого (пятого и шестого) герконов.

На основе предыдущей разработки (описанной выше) создана модель комплексной защиты ПУ с более высокой чувствительностью к КЗ в выпрямителе ПУ путем ввода трех герконов с обмотками со стороны низкого напряжения трансформатора ПУ и трех со стороны постоянного тока, обмотки которых соединены также, как и в выше описанной защите. В получившейся дифференциальной защите выпрямителя ПУ герконы со стороны низкого напряжения трансформатора обладают большей чувствительностью, чем со стороны высокого напряжения (они ближе к токопроводам). К тому же введена дополнительная блокировка броска тока намагничивания силового трансформатора, позволяющая, в отличие от блокировки по второй гармонике, не блокировать защиту ПУ при большой апериодической слагающей в токе КЗ, что повышает надежность защиты ПУ.

Дополнительное ресурсосбережение достигается путем использования герконов с обмотками для одновременного выполнения функций дифференциальных и максимально-токовой защит и ПУ и выпрямителя ПУ. Представленный выбор ее параметров не представляет трудностей для квалифицированного инженера релейщика.

Разработаны два варианта устройств защит диодов преобразовательной установки (их новизна защищена патентами). Защиты обладают высокой

чувствительностью за счет использования катушек индуктивности и высокой надежностью благодаря наличию функциональной диагностики ее неисправностей.

В третьей главе совершенствуется дифференциальная защита преобразовательных установок мощностью 6,3-160 МВА, выполненная на герконах и магниторезисторе по мажоритарному принципу. Как и ранее, она может при внедрении сберечь медь, сталь и изоляционные материалы в небывалых для релейной защиты размерах, т.к. не использует трансформаторы тока. Ее чувствительность повышена за счет более точного определения условий срабатывания и несрабатывания защиты, а также учета возможности понижения нагрузки до $0,1I_{ном}$. Введена тестовая диагностика герконов и оригинальная блокировка от броска тока намагничивания силового трансформатора, выполненная на герконах. Ввод дополнительных выключателей в $1/\lambda_B$ (λ_B - частота отказов выключателя в отключении) повышает надежность отсоединения преобразовательной установки от энергосистемы в случае отказа ее основного выключателя, а в случае его аварийного ремонта обеспечит бесперебойное питание, как и при отказе его во включении при АПВ. Имитационное моделирование усовершенствованного варианта этой защиты показало, что она выявляет повреждения не более, чем за 25 мс, обеспечивая требование быстродействия на уровне передовых фирм мира, оставаясь работоспособной и при неисправностях в любом из блоков ее составляющих. Осуществлена унификация защиты (в плане использования ее для ПУ разной мощности) на основании использования MathCad для определения параметров.

Результаты работы сводятся к следующему:

Устранены выявленные в данной работе недостатки известных по публикациям и патентам ресурсосберегающих защит преобразовательных установок (ПУ) мощностью 6-160 МВА, выполненных на герконах:

1. Недостаточная чувствительность некоторых защит устраняется путем разработки блокировки при броске тока намагничивания на герконах, построением отдельной дифзащиты для выпрямителя ПУ, использованием катушек индуктивности.

2. Сомнительная надежность – простым дублированием и мажорированием, разработкой функциональной и тестовой диагностики и ее совершенствованием, вводом дополнительных выключателей, с обоснованием такого способа, позволяющим в 2 раза увеличить надежность отсоединения ПУ от энергосистемы при КЗ и в случае его аварийного ремонта, обеспечить бесперебойное энергоснабжение ПУ.

3. Не подтвержденная в достаточной мере работоспособность защит ПУ на герконах – имитационным моделированием.

4. Приближенный выбор уставок - путем глубокого анализа условий срабатывания и несрабатывания защит, а также учета понижения нагрузки до $0,1I_{ном}$.

5. Отсутствие предложений по унификации защит - путем использования MathCad.

