

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Субханвердиева Камиля Субханвердиевича

на тему «Разработка и совершенствование алгоритмов селективной и неселективной систем защиты тяговых сетей переменного тока», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

На отзыв представлены: диссертация, состоящая из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 132 наименований и двух приложений и содержит 173 страницы машинописного текста, включая 50 рисунков, 15 таблиц и автореферата.

Актуальность избранной темы. Надежность электроснабжения тяги поездов существенно зависит от эффективности работы релейной защиты при коротких замыканиях в тяговой сети. Поиск новых решений, обеспечивающих большую точность расчета и рационализацию технических решений по организации защиты от токов короткого замыкания, является несомненно актуальной задачей.

Объектом исследования является нормативная документация, регламентирующая условия эффективной работы релейной защиты.

Методы исследования. В работе использованы методы теории электрических цепей, методы решения систем линейных алгебраических уравнений и методы численного анализа с использованием пакета программы MathCAD.

Научная новизна результатов, полученных в диссертационном исследовании:

- установлено, что существует методическая погрешность в расчётах токов короткого замыкания в тяговой сети по нормативным документам за счёт того, что в схеме замещения системы внешнего электроснабжения

используются сопротивления, полученные по заданной мощности короткого замыкания на вводах в тяговой подстанции;

- предложена схема замещения межподстанционной зоны тяговой сети для расчета токов короткого замыкания, отличающаяся тем, что в ней учитывается связь двух смежных тяговых подстанций по ВЛ-110(220) кВ и, тем самым, повышается точность расчетов;

- предложена частично-неселективная система релейной защиты от токов короткого замыкания в тяговой сети переменного тока, при которой исключается опасность пережога контактных проводов и до минимума уменьшаются зоны неселективной работы защит;

- разработан новый алгоритм автоматизации электроснабжения тяговой сети, который позволяет уменьшить время отсутствия напряжения в аварийно отключенной тяговой сети;

Теоретическая и практическая ценность результатов исследования:

- обоснована возможность проводить расчеты токов короткого замыкания (КЗ) в тяговой сети переменного тока при любой схеме внешнего электроснабжения по однофазной схеме замещения системы, что позволяет упростить и повысить точность расчета, используя известные методы расчета сложных электрических цепей;

- разработана программа для ЭВМ расчета параметров короткого замыкания в тяговых сетях переменного тока 25 кВ на основе совмещения методов расчета систем внешнего и тягового электроснабжения, которая позволяет получить относительно точные значения токов, напряжений и сопротивлений при коротком замыкании в любой точке межподстанционной зоны. На программу получено Свидетельство о государственной регистрации ФИПС;

- получено аналитическое решение задачи исследования работы дистанционных защит при коротком замыкании вблизи тяговой подстанции или поста секционирования в случае увеличения зоны действия их первой

ступени без выдержки времени в пределах, охватывающих всю защищаемую зону;

- показано, частично-неселективная система защиты и система защиты с поперечными связями от токов короткого замыкания обеспечивают большую надёжность тягового электроснабжения в сравнении с существующими системами защит, что делает целесообразным их применение в качестве типовых защит;

- разработано устройство неселективной защиты на участках с постом секционирования на разъединителях, позволяющее при коротком замыкании на станции или ДПР исключить ложные отключения межподстанционной зоны, что повышает надёжность электроснабжения;

-разработаны и запатентованы устройства, снижающие время восстановления напряжения в контактной сети, за счет выполнения быстродействующего автоматического повторного включения присоединений питающих линий ПС контактной сети на выключателях и позволяющие исключить перерывы в движении поездов при ложных срабатываниях защит и проходящих коротких замыканиях .

Степень достоверности результатов и апробация. Достоверность полученных результатов исследования теоретически обоснована и экспериментально проверена.

Отдельные положения работы докладывались и обсуждались на двух Международных научно-практических конференциях, на IX Международном симпозиуме Элтранс-2017, на заседании секции «Электрификация и электроснабжение» Научно-технического совета ОАО «РЖД», Москва, 15 марта 2018 г.

Внедрение. Предложения по повышению надежности электроснабжения межподстанционной зоны при неселективной защите выключателей тяговых подстанций используются на участке контактной сети Арзамасской дистанции электроснабжения Горьковской железной дороги.

Алгоритм и программа расчета основных параметров КЗ для ЭВМ «Программа расчета параметров короткого замыкания в тяговых сетях переменного тока 25 кВ РАПКЗ» используется в проектной практике отдела тяговых подстанций и телемеханики института Трансэлектропроект – филиала АО «Росжелдорпроект» и в учебном процессе при подготовке студентов кафедры «Электроэнергетика транспорта» РУТ (МИИТ).

Анализ содержания диссертации

Во введении обосновывается актуальность исследования, сформулирована цель и поставлены задачи исследования.

Первая глава посвящена анализу и оценке погрешности методов расчёта двухфазного КЗ в тяговой сети переменного тока.

В разделе, посвящённом анализу методов расчёта токов короткого замыкания, автором справедливо поднят вопрос о формуле сопротивления тяговой подстанции с трансформаторами Y/Δ , несмотря на то, что эта формула существует в нормативных документах по релейной защите (СТЭ), научных статьях и учебниках. Автором убедительно показано, что формула сопротивления подстанции, приведённая в нормативных документах по релейной защите (СТЭ), верна. Для доказательства этого было использовано известное положение о том, что при определённых условиях (отсутствие токов намагничивания и нулевой последовательности) в каждой фазе должно существовать равенство первичной и вторичной МДС. Это позволило автору рассматривать независимо работу каждой фазы. При этом необходимо иметь в виду, что схемам замещения («звезда-звезда» или «звезда-треугольник»), соответствуют свои формулы сопротивлений трансформаторов и внешней системы электроснабжения. Отмечено также, что при расчётах реальных потерь энергии или остаточного ресурса трансформатора, необходимо применять формулу с реальным сопротивлением вторичной обмотки «треугольник».

В диссертации обоснована с использованием теории эквивалентного генератора возможность замещения симметричной трёхфазной сети

внешнего электроснабжения однофазной системой при расчётах двухфазных КЗ, что успешно применяется десятилетиями при расчётах по методике нормативных документов.

В работе поднят важный и спорный вопрос о необходимости учёта схемы и параметров системы внешнего электроснабжения при расчёте токов короткого замыкания в тяговой сети переменного тока. Показано, что в схеме внешнего электроснабжения имеются участки ЛЭП со взаимным влиянием смежных подстанций. Отмечается, что не учёт этих факторов влияет на реальное распределение токов короткого замыкания в тяговой сети и, по мнению автора, приводит к методической погрешности расчёта токов короткого замыкания. Автором предлагается схема замещения внешней системы электроснабжения, которая учитывает эту особенность. При этом следует обратить внимание на то, что электроснабжение двух ЛЭП в этой схеме происходит от одного независимого источника питания.

В диссертации для сравнения приведены примеры расчётов токов короткого замыкания в тяговых сетях реальных схем электроснабжения Горьковской железной дороги и Восточного региона страны по предлагаемой и стандартной методикам. Найдены погрешности токов КЗ, которые возникают, если не учитывать реальные схемы внешнего электроснабжения. Погрешности составляют 5,44-30,22%. Представляют интерес результаты сравнительной оценки рассчитанных токов КЗ с результатами экспериментального КЗ на том же участке: реальный ток КЗ в 1,78 раза меньше тока, рассчитанного по нормативной методике, и в 1.36 раз меньше тока, рассчитанного с учётом реальной схемы внешнего электроснабжения.

Автор делает вывод о том, что при наличии данных по СВЭ только в виде мощности КЗ на шинах 110(220) кВ, расчёт токов КЗ на стадии проектирования можно выполнять по нормативным документам. После включения тяговой подстанции в работу следует пересчитать токи КЗ и откорректировать расчёты релейной защиты. С этим предложением автора

можно согласиться, однако получить необходимые параметры элементов внешней сети в ряде случаев бывает проблематично.

В заключение первой главы приведены выводы и рекомендации.

Вторая глава посвящена схеме замещения межподстанционной зоны тяговой сети для расчёта токов короткого замыкания.

Автором обоснован подход к формированию новой схемы замещения, в котором существующая в нормативных документах схема замещения тяговой сети дополнена схемой системы внешнего электроснабжения из трёхлучевой звезды с эквивалентными сопротивлениями линий ВЛ-110(220) кВ. Сопротивление одного луча этой звезды представляет взаимное сопротивление узлов смежных тяговых подстанций, которое учитывает взаимную связь между подстанциями по сети внешнего электроснабжения. В рассматриваемой схеме обе подстанции питаются от одного источника. Это исключает неопределённость в определении их напряжения холостого хода.

Заслуживают внимания рекомендации автора по определению сопротивлений схемы замещения в условиях эксплуатации. В частности рекомендуется на участках, где мощность КЗ на шинах 110/220 кВ тяговых подстанций не превышает 1000 МВА, проводить опытные КЗ для определения минимальных токов в тяговой сети.

Выведены формулы для различных случаев короткого замыкания при узловой схеме питания с учётом сопротивлений внешней системы электроснабжения, которые необходимы для анализа поведения релейной защиты.

Разработана программа для ЭВМ расчёта параметров короткого замыкания в тяговых сетях переменного тока, на которую получено Свидетельство о государственной регистрации в ФИПС.

Третья глава посвящена селективной и неселективной системам защиты тяговой сети переменного тока.

Рассмотрен принцип действия, достоинства и недостатки селективных защит. Отмечается, что вблизи тяговой подстанции и поста секционирования

имеются области длиной $0,15L$, в которых при работе селективных защит отключение КЗ происходит с выдержкой времени, что создаёт условия для пережога контактной сети.

Ранее предложенная неселективная защита (НСЗ) не устраняет опасность пережога при КЗ вблизи поста секционирования. Предлагаемая автором «частично-неселективная» (ЧНСЗ) обеспечивает отключение КЗ в любой точке межподстанционной зоны без выдержки времени и одновременно сокращает зоны и число неселективных отключений по сравнению с НСЗ. Отмечается, что неселективные отключения при ЧНСЗ будут исправляться АПВ.

В диссертации отмечается, что ЧНСЗ может стать причиной неселективного действия ряда защит системы при КЗ вблизи подстанции или поста секционирования. При этом время протекания токов КЗ минимально и вероятность пережогов будет меньше чем в других системах защиты. Автор на конкретных примерах показывает, что ЧНСЗ обеспечивает минимальное количество неселективных отключений.

Система защиты ЧНСЗ реализована на участке Муром-Вековка Горьковской железной дороги.

В диссертации уделено значительное внимание анализу существующей защиты с поперечными связями (СЗПС). Отмечено, что СЗПС является альтернативой ЧНСЗ, так как позволяет также увеличить длины зоны действия первой ступени защит без выдержки времени на всей защищаемой зоне от подстанции до поста секционирования. Разница между этими защитами состоит в том, что СЗПС срабатывает каскадно с некоторой задержкой на время работы поперечных логических связей, обеспечивающих селективную работу выключателей подстанции и поста секционирования. Это приводит к увеличению времени срабатывания защиты. В диссертации отмечено, что неселективную работу защит системы СЗПС целесообразно оставить для повышения надёжности электроснабжения.

В диссертации на численных примерах показано, что применение СЗПС или ЧНСЗ значительно понижает вероятности пережога контактного провода при выключателях с временем отключения не более 0,04 с. Рассчитан экономический эффект от применения ЧНСЗ.

Четвёртая глава посвящена повышению надёжности системы тягового электроснабжения путём оптимизацией работы средств автоматики.

В этой главе подробно рассматриваются функции работы автоматики при определении устойчивого или проходящего КЗ по остаточному, наведенному напряжению и определению места повреждения. Анализируются условия, при которых после проходящего КЗ возможно в кратчайшее время восстановить напряжение так, чтобы «удержать» схемы ЭПС в тяговом режиме. Актуальность и важность этой задачи очевидна.

Успешное решение этой задачи в значительной степени зависит от определения характера КЗ, которое может быть или устойчивое, или проходящее. В диссертации рассмотрению этого вопроса уделено особое внимание, поскольку при работе ЧНСЗ и неселективном отключении выключателя работающей линии необходимо до минимума снизить время отсутствия напряжения в контактной сети.

В связи с этим справедливо поставлен вопрос об изменении алгоритма автоматизации постов секционирования на участках переменного тока. Для реализации этой цели с участием автора разработан способ ЧНСЗ и новый алгоритм автоматизации электроснабжения тяговой сети с функцией определения проходящего (устойчивого) КЗ на посту секционирования, на которые получены патенты на изобретение.

Новый алгоритм позволяет снизить перерыв питания контактной сети в аварийных ситуациях с 5 – 7с до 0,5 – 2с. Этого времени достаточно, чтобы «удержать» схему электровазозов с диодными преобразователями даже при тяжеловесном движении и с подъёмами свыше 6 ‰. К сожалению, этого времени недостаточно для электровазозов с выпрямительно-инверторным преобразованием энергии.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности

Содержание диссертации соответствует заявленной научной специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

В диссертации выполнен анализ электрических процессов в комплексе устройств релейной защиты системы тягового электроснабжения переменного тока, дано научное обоснование и предложены методы и устройства, повышающие эффективность их работы с позиций передачи электрической энергии, электрической информации и средств управления объектами. Предложена новая методика составления схемы замещения внешней системы электроснабжения и выполнено её компьютерное моделирование, предложен алгоритм работы неселективной системы релейной защиты от токов короткого замыкания и разработан новый способ автоматизации поста секционирования контактной сети, что соответствует пунктам 1,2,3,4 формулы научной специальности.

Замечания по диссертационной работе

1. Не приводится статистика пережогов контактных проводов при существующих системах релейной защиты.

2. Представляется, что для более полной оценки эффективности работы ЧНСЗ необходимо рассмотреть характер работы защит системы при вынужденной схеме питания контактной сети (в случае вывода из работы поста секционирования).

3 Согласно известному правилу вероятность успешной работы АПВ повышается с ростом времени. Поэтому требуется пояснение, будет ли успешной работа БАПВ при отключении питающей линии контактной сети от защиты при ошибочном заезде ЭПС на заземленный участок контактной сети, т.е. не следует ли увеличивать время БАПВ- 0,5 сек

4. С увеличением длины отключаемого участка растут токи включения при срабатывании АПВ (включая токи намагничивания трансформаторов электровазов), существенно превышающие уставки срабатывания релейной

защиты, что характерно для неселективных и частично неселективных защит. Неясно, какие решения в этом случае следует принять для предотвращения отключения выключателей после АПВ в связи с большими токами включения и отсутствия токов КЗ..

5. Не рассмотрено влияние на параметры схемы замещения транзита мощности при схеме внешнего электроснабжения, получающей питание от двух независимых источниках электроснабжения.

6. Имеются опечатки стр. 22,134, 143 и стилистические погрешности стр.25, 63.

Отмеченные недостатки не снижают научную и практическую ценность диссертационной работы.

Заключение по диссертации о соответствии её требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» по пунктам 9,10 и 14.

Диссертация Субханвердиева Камиля Субханвердиевича на тему «Разработка и совершенствование алгоритмов селективной и неселективной систем защиты тяговых сетей переменного тока» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для совершенствования релейной защиты от токов короткого замыкания и алгоритмов средств автоматики в тяговой сети переменного тока, обеспечивающих требуемую надежность электроснабжения контактной сети и снижение времени задержек поездов, имеющих существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней».

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, содержит рекомендации по использованию научных выводов, имеет практическое применение, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку, что соответствует требованиям п.10 «Положения о порядке присуждения учёных степеней».

В рассматриваемой диссертации имеются ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, что соответствует требованиям п.14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней».

В целом, представленная работа по актуальности, новизне и значимости полученных результатов отвечает требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор, Субханвердиев Камиль Субханвердиевич, достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, 05.22.07–
«Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация»,
профессор кафедры «Автоматизированные
системы электроснабжения»

Быкадоров
Александр Леонович

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Ростовский
государственный университет путей
сообщения»
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону,
Пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д.2.
тел. 89085122455

Подпись Быкадорова А.Л.

УДОСТОВЕРЯЮ

Начальник управления делами
ФГБОУ ВО РГУПС

« 01 » 11



Т.М. Канина

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Субханвердиева Камиля Субханвердиевича

на тему «Разработка и совершенствование алгоритмов селективной и неселективной систем защиты тяговых сетей переменного тока»
по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Актуальность избранной темы.

Представленное в диссертации исследование направлено на поиск решений в области совершенствования алгоритмов релейной защиты и средств автоматики тяговых сетей переменного тока, что является одной из приоритетных задач в обеспечении надежного электроснабжения тяги поездов.

В диссертации разработаны технические решения по совершенствованию организации защиты от токов короткого замыкания и алгоритмов средств автоматики в тяговой сети переменного тока, включая методы расчета системы тягового электроснабжения.

Таким образом, тема диссертации посвящена важнейшей проблеме развития железнодорожного транспорта и является, несомненно, актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Обоснованность научных положений, сформулированных в диссертации К.С. Субханвердиева, ее выводов и рекомендаций обеспечивается непротиворечивостью исходных теоретических положений, корректным использованием известных научных методов обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций и их количественным анализом.

Достоверность и новизна, полученных результатов.

Полученные результаты диссертации теоретически обоснованны, а их достоверность подтверждается экспериментальными исследованиями.

Основные результаты диссертации опубликованы в 10 работах, в том числе в 6 статьях рецензируемых изданий, входящих в Перечень ВАК при Минобрнауки России. Получены 1 патент на изобретение, 2 патента на полезную модель, а также 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты исследования обсуждались на международных конференциях и симпозиумах, а также на заседании секции «Электрификация и электроснабжение» Научно-технического совета ОАО «РЖД».

Научная новизна, полученных в диссертационной работе научно обоснованных результатов, определяется следующими положениями:

1) Установлено, что методическая погрешность в расчетах токов короткого замыкания в тяговой сети по нормативным документам обусловлена игнорированием взаимного сопротивления, которое не учитывается при представлении системы внешнего электроснабжения в схеме замещения сопротивлениями, полученными по заданной мощности короткого замыкания.

2) Предложена схема замещения межподстанционной зоны тяговой сети для расчета токов короткого замыкания, позволяющая снизить погрешность в вычислении путем добавления в схему взаимного сопротивления двух смежных ТП по сети системы внешнего электроснабжения.

3) Предложена частично-неселективная система релейной защиты от токов короткого замыкания в тяговой сети переменного тока, позволяющая исключить опасность пережога контактных проводов и до минимума уменьшить зоны неселективной работы защит системы за счет увеличения зоны действия первой ступени дистанционных защит системы с нулевой выдержкой времени до 1,15 расстояния подстанция – пост.

4) Разработан новый алгоритм автоматизации электроснабжения тяговой сети, позволяющий уменьшить время отсутствия напряжения в аварийно отключенной тяговой сети путем введения быстродействующего автоматического повторного включения питающей линии контактной сети поста секционирования на выключателях с контролем наличия короткого замыкания в отключенной контактной сети и выполнения автоматического повторного включения питающих

линий контактной сети на тяговой подстанции зависимым от успешной работы автоматики поста.

5) Предложен комплекс устройств защиты и автоматики на участках с постом секционирования на разъединителях, повышающий надежность электроснабжения тяговой сети переменного тока в аварийных ситуациях путем исключения отключений разъединителей поста секционирования при ложных и проходящих коротких замыканиях.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов.

Теоретическая и практическая значимость, полученных в диссертационной работе результатов, заключается в следующем:

1) Обоснована возможность проводить расчеты токов короткого замыкания в тяговой сети переменного тока по однофазной схеме замещения, что позволяет упростить и повысить точность расчета, используя известные методы расчета сложных электрических цепей.

2) Разработана программа для ЭВМ расчета параметров короткого замыкания в тяговых сетях переменного тока 25 кВ, позволяющая получить относительно точные значения токов, напряжений и сопротивлений при коротком замыкании в любой точке межподстанционной зоны.

3) Исследование работы частично-неселективной системы защиты и системы защиты с поперечными связями от токов короткого замыкания в сравнении с существующими системами показало их преимущество и целесообразность применения в качестве типовых.

4) Получено аналитическое решение задачи исследования работы дистанционных защит частично-неселективной системы, когда зона действия первых ступеней защит системы без выдержки времени увеличивается в пределах, охватывающих всю защищаемую зону.

5) Разработаны и запатентованы способ и устройство, снижающие время восстановления напряжения в контактной сети, что позволяет исключить перерывы

в движении поездов при ложных срабатываниях защит и проходящих коротких замыканиях.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, каждая из которых содержит итоговые выводы, заключения, библиографического списка из 132 наименований и двух приложений, в которых содержатся копии документов, подтверждающих внедрение результатов исследования и регистрацию полученных патентов и авторских свидетельств, и содержит 173 страницы машинописного текста, включая 50 рисунков, 15 таблиц.

Во введении диссертации дана общая характеристика работы, обоснована актуальность ее темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость ее научных результатов и научные положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации посвящена анализу методов расчета токов короткого замыкания.

В работе автором выполнена оценка области применения формулы, используемой в расчетах аварийных режимов системы тягового электроснабжения переменного тока и поясняются правила и методы вывода ее для расчета токов короткого замыкания. Показано, что при любой схеме замещения (Y/Δ или Y/Y) формулы для определения двухфазных токов короткого замыкания в тяговой сети будут одинаковыми, несмотря на различие фазных сопротивлений.

Автором выполнено обоснование однофазной схемы замещения для расчета токов двухфазных коротких замыканий в тяговой сети переменного тока при трехфазной схеме питания. Для этого в диссертации рассмотрена упрощенная система 25 кВ с двухсторонним питанием межподстанционной зоны и питанием трехфазной ВЛ-110 кВ от двух районных подстанций. При этом следует отметить, что справедливость замены трехфазной цепи в рассматриваемой задаче на однофазную автором также доказывается с помощью теории эквивалентного генератора.

В работе установлено, что при представлении СВЭ в расчете токов КЗ питающих линии контактной сети эквивалентным сопротивлением, полученным по заданной мощности КЗ на вводах в подстанцию игнорируется электрическая связь между двумя смежными подстанциями, к которым подключена тяговая сеть, то есть не учитывается взаимное сопротивление их по линиям 110(220) кВ. В результате изменяется токораспределение в тяговой сети, подключенной к этим подстанциям, и определяется существенная методическая погрешность в расчетах токов КЗ.

На конкретном примере реальной схемы СВЭ показано влияние упрощенного представления энергосистемы на схему замещения, а, следовательно, и на вид матрицы сопротивлений. Исходя из этого, автором предложено для снижения погрешности расчета токов КЗ СВЭ определять сопротивлениями эквивалентной схемы сети.

В диссертации определена величина рассматриваемой погрешности во всем диапазоне мощностей КЗ на шинах питающего напряжения ТП и при различных схемах питания тяговой сети. Установлено, что погрешность расчета токов КЗ не превосходит 10%, при мощности короткого замыкания на шинах 110(220) кВ подстанций $750 \div 900 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ и выше.

Заслуживает особого внимания проведение экспериментальной проверки с КЗ в тяговой сети действующего участка для подтверждения справедливости полученной погрешности расчета токов КЗ автором проведена. Отмечается, что ток КЗ в тяговой сети в результате эксперимента получился намного меньше проектного значения и близок к расчетному току при рассмотрении полной схемы СВЭ.

В конце главы автором рассмотрены пути снижения методической погрешности расчета токов КЗ и приведены выводы.

Вторая глава диссертации посвящена особенностям схемы замещения межподстанционной зоны тяговой сети для расчета токов КЗ.

В работе автором сформирована результирующая схема замещения межподстанционной зоны тяговой сети, учитывающая электрическая связь двух смежных тяговых подстанций по сети СВЭ 110(220) кВ, что позволяет снизить методическую погрешность в вычислении. Для этого в результирующую схему

замещения межподстанционной зоны из нормативных документов добавлена схема замещения СВЭ из трехлучевой звезды с эквивалентными сопротивлениями линий ВЛ-110(220) кВ сети энергосистемы. При этом для случая, когда для выполнения расчета недостаточно информации по СВЭ, прилегающей к подстанциям, разработан способ, позволяющий получить недостающие сопротивления эквивалентной схемы сети энергосистемы в результирующей схеме замещения.

Применительно к расчетным схемам, иллюстрирующим различные случаи КЗ в тяговой сети и выполненным с введением в них параметров эквивалентной схемы сети энергосистемы произведен вывод основных формул для расчета параметров короткого замыкания, которые вошли в программу для ЭВМ, на которую в свою очередь получено свидетельство о государственной регистрации.

Третья глава посвящена организации релейной защиты тяговой сети переменного тока.

Автором убедительно показано, что используемые системы защиты от токов короткого замыкания не отвечают условиям работы СТЭ.

Предложено выбором уставок защит добиться отключения короткого замыкания в пределах всей защищаемой зоны без выдержки времени, что обеспечит минимальную повреждаемость контактной сети. Таким образом, автором предложена частично-неселективная система защиты (ЧНСЗ), отличающаяся увеличенной зоной действия первой ступени дистанционных защит, составляющей 1,15 расстояния подстанция – пост.

Учитывая специфику работы защит исследуемой системы, в диссертации рассмотрены особенности расчета уставок защит.

Автором получено аналитическое решение задачи определения характера неселективных отключений выключателей при работе защит рассматриваемой системы. Отмечается, что истинная зона неселективного действия защит рассматриваемой системы вследствие взаимодействия токов КЗ в контактной сети параллельных путей получается менее половины длины настраиваемой зоны неселективности.

В качестве альтернативы ЧНСЗ автором рассмотрена работа системы защиты с поперечными связями (СЗПС). Выполнен анализ специфических режимов работы

защит данной системы. Отмечается, что зона каскадного действия защит системы составляет менее половины длины исследуемого участка настраиваемой зоны защиты. Кроме того, автором исследован вопрос целесообразности сохранения зоны неселективной работы защит СЗПС в результате вывода из работы логической связи при отключении второго пути за постом секционирования. Актуальность и важность этой задачи очевидна.

Заслуживают внимания предложения по повышению надежности электроснабжения тяги поездов при применении неселективной защиты на участках с постом секционирования на разъединителях.

Представляют интерес результаты рассмотрения вероятных условий пережога контактных проводов при различных способах организации защиты тяговой сети переменного тока. Отмечается, что применение, как ЧНСЗ (НСЗ), так и СЗПС практически полностью предотвращает вероятность пережога контактных проводов на участках с выключателями с временем действия не более 0,04 с.

В конце главы выполнена оценка экономической эффективности от переоборудования ССЗ в ЧНСЗ.

Четвертая глава посвящена алгоритмам автоматики электроснабжения тяговой сети переменного тока.

Автором рассмотрены способы снижения времени восстановления напряжения для предотвращения остановки движения ЭПС на участке при проходящем коротком замыкании. Отмечается, что это можно сделать с помощью введения на посту секционирования функции определения проходящего (устойчивого) КЗ в отключенной контактной сети. Кроме того, исследован вопрос возможного времени подачи напряжения в тяговую сеть для «удержания» схемы тягового режима ЭПС.

В результате автором разработаны и запатентованы способ и устройство включения аварийно отключенной питающей линии при отсутствии КЗ с минимальной выдержкой времени АПВ.

В диссертации рассматривается важный вопрос предотвращения включения выключателя поврежденной питающей линии тяговой подстанции на устойчивое КЗ, что может привести к пережогу контактного провода. Автором предлагается

после включения выключателя поста секционирования по последовательному каналу связи, предназначенному для телемеханики, передать команду на включение выключателя тяговой подстанции. В результате разработан способ позволяющий исключить возможность подачи напряжения на устойчивое КЗ путем выполнения АПВ питающих линий тяговых подстанций зависимым от успешной работы автоматики поста с использованием телемеханики.

Заслуживают внимания предложения по повышению эксплуатационной надежности электроснабжения на участках с ПС на разъединителях, широко используемых на Северном ходу Горьковской железной дороги. Отмечается, что в большинстве случаев при проходящих КЗ нет необходимости отключать разъединители ПС. Для этого автором разработан комплекс устройств автоматизации ПС на разъединителях, позволяющий сохранить ПС во включенном положении при ложных и проходящих КЗ, тем самым, снизив время отключенного состояния ПС в аварийных ситуациях.

Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования.

1) Значительное уточнение результатов расчета тока короткого замыкания может быть достигнуто путем применения имитационного моделирования различных видов повреждений в тяговой сети. Однако этот вопрос в проведенном исследовании не рассматривается.

2) При относительно малом коэффициенте чувствительности 1,15 для ЧНСЗ возможные снижения тока короткого замыкания в результате, например, влияния начальной нагрузки или падения в дуге короткого замыкания, могут привести к уменьшению отключаемой зоны, вплоть до нежелательного отключения повреждения второй ступенью с выдержкой времени.

3) В исследовании не нашел отражение вопрос вероятного пережога контактного провода после отключения выключателя с противоположной стороны поврежденного фидера в результате каскадной работы защит СЗПС, когда на провод будет действовать значительно меньшее число ампер-секунд тока по сравнению с двухсторонним питанием.

4) В диссертации не рассмотрен вопрос применения более современных четырехугольных характеристик дистанционной защиты, используемых во всех современных микропроцессорных устройствах РЗА.

5) Не исследована возможность применения защит абсолютной селективности, а также интеллектуальной релейной защиты на основе статистических или графо-аналитических методов для сокращения времени отключения КЗ в тяговой сети переменного тока.

6) Работа разработанного устройства автоматизации электроснабжения с функцией определения проходящего КЗ на посту секционирования не предусматривает блокировку действия АПВ при близких коротких замыканиях в случае, когда вводимая функция не сработала при устойчивом повреждении, например при отсутствии ЭПС на контролируемом участке или при ЭПС на участке без машинных фазоразделителей. Работа АПВ в рассматриваемом случае может привести к пережогу контактного провода.

Отмеченные недостатки не снижают качество исследований и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.

Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание и содержит краткое описание глав диссертационной работы, содержащее основные положения и результаты диссертационного исследования.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011, имеют регламентированную структуру и правильно оформленный список литературы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положение о присуждении ученых степеней» по пунктам 10, 11 и 14.

Диссертация Субханвердиева Камиля Субханвердиевича на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи обеспечения надежного и бесперебойного электроснабжения железных дорог переменного тока, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний, а именно разработка технических решений по совершенствованию релейной защиты и средств автоматики тяговых сетей переменного тока, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент,
Вуколов Владимир Юрьевич,
кандидат технических наук, доцент
05.14.02 – «Электростанции и
электроэнергетические системы»,
Адрес: 603950, г. Нижний Новгород,
ул. Минина, д. 24.
Телефон: (831) 432-91-85.
Электронная почта: es@nntu.ru.
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Нижегородский
государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»,
доцент кафедры «Электроэнергетика,
электроснабжение и силовая электроника»

17 ноября 2018 г.



В.Ю. Вуколов

