

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.14
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 29.12.2020 г. №19

О присуждении **Смирнову Артему Ивановичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Система адаптивной токовой защиты в электротехнических комплексах с распределенными электростанциями малой мощности» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 23.10.2020г., протокол заседания №12, диссертационным советом ГУ 212.224.14 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России; 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2; приказ № 1232 адм от 23.09.2019.

Соискатель **Смирнов Артем Иванович**, 1989 года рождения, в 2015 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» по специальности 140604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов. В 2020 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника. Диплом об окончании аспирантуры получен 15.06.2020г.

Диссертация выполнена на кафедре общей электротехники в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент **Шклярский Ярослав Элиевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра общей электротехники, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Степанов Сергей Федорович – доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», кафедра электроэнергетики и электротехники, профессор кафедры;

Захаров Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева», институт энергетики, кафедра электроснабжения горных и промышленных предприятий, заведующий кафедрой
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет»**, г. Севастополь, в своем положительном отзыве, подписанном **Завьяловым Валерием Михайловичем**, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой электроэнергетических систем атомных станций и **Сергиенко Татьяной Игоревной**, секретарем заседания и утвержденном **Евстигнеевым Максимом Павловичем**, доктором физико-математических наук, профессором, проректором по научной и инновационной деятельности, указала, что несмотря на обозначенные замечания, диссертационная работа в целом характеризуется весьма положительно: представленные в ней научные положения, выводы и рекомендации обоснованы, разработанные алгоритмы могут быть взяты за основу при разработке современных систем управления релейной защитой электросетей с распределенной генерацией электроэнергии.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ по теме диссертационного исследования, в том числе 2 опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 3 опубликованы в изданиях, индексируемых международной базой цитирования Scopus; получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объем 1,62 печатных листа, в том числе 1,13 печатных листа соискателя.

Научные работы по теме диссертации:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Смирнов, А.И. Структура токовой защиты распределительной сети на основе алгоритма поиска кратчайшего пути / А.И. Смирнов, Я.Э. Шклярский. – Текст: непосредственный // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – № 5. – С. 445-450.

Личный вклад автора диссертационного исследования заключался в разработке алгоритма, позволяющего обеспечить заданную селективность релейной защиты в условиях изменяющейся структуры распределительной сети. Алгоритм основан на теории графов и находит кратчайший путь от источника до нагрузки, определяя последовательность срабатывания токовых защит распределительной сети.

2. Смирнов, А.И. Влияние распределенной генерации на чувствительность токовой защиты / А.И. Смирнов. – Текст: непосредственный // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – № 6. – С. 283-288.

Личный вклад автора диссертационного исследования заключался в разработке имитационной модели участка сети с распределенной генерацией для исследования ее влияния на распределение токов в электросети. Было выявлено, что изменение относительной мощности распределенной генерации в диапазоне до 10 МВт значительно влияет на чувствительность токовой защиты дальнего и ближнего действия.

Публикации в изданиях, входящих в базу цитирования Scopus:

3. Ivanchenko, D. Identification of interturn faults in power transformers by means of generalized symmetrical components analysis / D. Ivanchenko, **A. Smirnov**. – DOI: 10.1051/e3sconf/201914004007. – Текст: электронный // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences. – 2019. – Vol. 140. – P.1-5. *(Иванченко, Д.И. Идентификация межвитковых коротких замыканий в силовых трансформаторах с помощью обобщенного анализа симметричных составляющих. / Д.И. Иванченко, А.И. Смирнов // Сборник докладов международной научной конференции по энергетике, экологии и строительству (ЕЕСЕ – 2019) – EDP Науки. – 2019. – Т.140 – С. 1-5).*

Личный вклад автора диссертационного исследования заключался в разработке имитационной модели для анализа переходных процессов в силовых трансформаторах. Проведен анализ межвитковых коротких замыканий с помощью симметричных составляющих, рассчитанных для первой гармоники тока. Рассмотрены методы повышения чувствительности релейной защиты на основе симметричных компонентов для идентификации коротких замыканий в трансформаторах.

4. Smirnov, A.I. Diagnostics of inter-turn short-circuit in the stator winding of the induction motor / A.I. Smirnov, I.N. Voytyuk. – DOI: 10.1088/1757-899X/643/1/012023. – Текст: электронный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing. – 2019. – Vol. 643. – №. 1. – P. 1-7. *(Смирнов, А.И. Диагностика межвитковых коротких замыканий в обмотке статора асинхронного электродвигателя / А.И. Смирнов,*

И.Н. Войтюк // ИОР Сборник конференции: Материаловедение и инженерные науки. – ИОР издательство. – 2019. – Т. 643. – №. 1. – С. 1-7).

Личный вклад автора диссертационного исследования заключался в исследовании межвитковых коротких замыканий в асинхронном электродвигателе. Рассмотрен векторный подход Парка для обнаружения короткого замыкания в асинхронных машинах.

5. Ivanchenko, D.I. Simulation of interwire short circuits in transformer windings by means of Simulink MATLAB / D.I. Ivanchenko, **A.I. Smirnov**. – DOI: 10.1109/EIConRus.2019.8657097. – Текст: электронный // IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – 2019. – P. 977-980. (*Иванченко, Д.И. Моделирование межвитковых коротких замыкания в обмотках трансформатора с помощью программы MATLAB / Д.И. Иванченко, А.И. Смирнов // IEEE Сборник докладов Российской конференции молодых исследователей в области электротехники и электроники (EIConRus). – 2019. – P. 977-980).*

Личный вклад автора диссертационного исследования заключался в разработке компьютерной модели трансформатора с короткозамкнутой обмоткой в программной среде Matlab Simulink, которая позволяет рассчитывать ток повреждения трансформатора и анализировать переходные процессы, влияющие на релейную защиту.

Прочие публикации:

6. Смирнов, А.И. Мониторинг оценки показателей качества электрической энергии / А.И. Смирнов, Я.Э. Шклярский. - Текст: непосредственный // Современная наука и практика. – 2016. – № 8(13). – С.13-16.

Личный вклад автора диссертационного исследования заключался в анализе показателей качества электроэнергии распределительных сетей для определения влияния собственной генерации на электросеть в аварийных режимах.

Патенты:

7. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ 2020614885. Российская Федерация. Программа для расчета токов короткого замыкания в сетях с распределенными источниками энергии / **А.И. Смирнов, И.Н. Войтюк, Д.И. Иванченко;** правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – № 2020613822; заявл. 03.04.20; зарегистр. 29.04.2020; опубл. 29.04.2020 – 1 с.

Личный вклад соискателя: написание программного кода на языке Visual Basic, предназначенного для расчета токов короткого замыкания в сетях с несколькими источниками.

В диссертации Смирнова А.И. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Апробация работы. Основные положения обсуждались на заседаниях кафедры общей электротехники Горного университета, докладывались и получили положительную оценку на конференциях: 68-я международная горно-металлургическая конференция, г. Фрайберг, Германия, 2017; Международная конференция «Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке», г. Новосибирск, 2017; Всероссийская научная конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», г. Кемерово, 2017; Международная научная конференции по электроэнергетике (ISEPC), Санкт-Петербург, 2019; Международная научная конференция по энергетике, экологии и строительству, г. Санкт-Петербург, 2019; Российская конференция молодых исследователей в области электротехники и электроники, г. Санкт-Петербург, 2019; VII Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения: IPDME-2020», г. Санкт-Петербург, 2020.

В диссертации А.И. Смирнова отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: член-корреспондента РАН, научного руководителя Института проблем машиноведения Российской академии наук, д.ф.-м.н., профессора Дмитрия Анатольевича Индейцева; ведущего научного сотрудника Института проблем машиноведения Российской академии наук, д.т.н., профессора Игоря Борисовича Фуртата; профессора кафедры электротехники и электрооборудования судов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», д.т.н., профессора Бориса Федоровича Дмитриева; профессора кафедры систем автоматического управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)», д.т.н., доцента Владимира Евгеньевича Кузнецова; заведующего лабораторией плазменных систем федерального

государственного бюджетного учреждения науки «Институт электрофизики и электроэнергетики» Российской академии наук, д.т.н., профессора Алексея Анатольевича Сафронова.

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, высокая степень проработки вопроса и профессиональный подход к решению поставленных задач, однако имеется ряд замечаний:

1. На странице 12 у вас сказано: «Для проведенного моделирования зафиксировано изменение коэффициента чувствительности на 73% при изменении мощности РГ от 1 МВт до 3 МВт...» С чем связано такое изменение? Как известно, при подключении второго источника вводится коэффициент токораспределения при расчете, и подобная цифра несколько завышает реальное изменение (д.ф.-м.н. **Д.А. Индейцев**).

2. В автореферате недостаточно раскрыты результаты исследования ложных срабатываний релейной защиты в сетях с собственными генерирующими установками (д.ф.-м.н. **Д.А. Индейцев**).

3. В конце раздела «Актуальность темы исследования» отмечается, что «наиболее перспективным направлением развития энергосистемы России представляется переход к централизованной и распределенной энергетике». Однако непонятно, как поставленные цели и задачи исследования соотносятся с переходом к централизованной энергетике (д.т.н. **И.Б. Фуртат**).

4. Терминологически непонятно, почему на рисунке 6 приведен алгоритм адаптивной настройки, а, например, на рисунке 4 алгоритм не адаптивный. Что понимается под адаптацией? (д.т.н. **И.Б. Фуртат**).

5. На рисунках 7, 8 непонятно какими блоками представлены устройства генерации, нагрузки и способы из подключения (д.т.н. **И.Б. Фуртат**).

6. В автореферате не показано, как алгоритм определения иерархии срабатывания защиты рассчитывает карту селективности при изменении структуры распределительной сети (д.т.н. **И.Б. Фуртат**).

7. Требуется пояснения термин «распределенная генерация» (д.т.н. **Б.Ф. Дмитриев**).

8. Поясните, что вы понимаете под качеством электрической энергии? (д.т.н. **Б.Ф. Дмитриев**).

9. На стр. 16 написано «Для демонстрации различных режимов работы системы токовой защиты был разработан и применен определенный сценарий моделирования, ... ». Однако сценарий не представлен в автореферате и не понятно, что происходит на графиках (д.т.н. **В.Е. Кузнецов**).

10. На рисунке 4 нет пояснения к переменным: N, C, D, P (д.т.н. **В.Е. Кузнецов**).

11. В работе присутствуют стилистические ошибки и опечатки (д.т.н. А.А. Сафронов).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан алгоритм для расчета токов короткого замыкания в электросетях с распределенными источниками электроэнергии в условиях вариативности структуры электросети;

предложены рекомендации по месту присоединения к сети распределенной генерации для минимизации ложных срабатываний токовых защит;

доказана возможность повышения эффективности работы системы защит по показателям чувствительности и селективности за счет применения разработанных алгоритмов функционирования и настройки срабатывания адаптивной токовой защиты для сетей среднего напряжения;

разработан новый алгоритм определения последовательности срабатывания реле и назначения ступеней селективности, который учитывает добавление новых устройств и автоматически рассчитывает временную задержку срабатывания токовых защит.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано положение, что учет зависимостей тока центральной энергосистемы от изменения мощности распределенной генерации служит основой к дополнению существующих принципов обеспечения заданной чувствительности действия защиты при межфазных коротких замыканиях в сетях с наличием распределенной генерации электроэнергии;

использован, применительно к проблематике диссертации с получением обладающих новинкой результатов, комплекс существующих методов математического и имитационного моделирования;

изложена идея обеспечения заданных чувствительности и надежности функционирования токовой защиты сетей среднего напряжения с распределенной генерацией за счет применения разработанных алгоритмов адаптивной настройки срабатывания защит;

раскрыты закономерности влияния выходной мощности распределенной генерации электроэнергии на чувствительность токовой защиты ближнего и дальнего действия;

проведено компьютерное моделирование режимов работы электросети с распределенной генерацией энергии, позволяющее оценить адекватность функционирования разработанных алгоритмов адаптивной настройки срабатывания токовых защит.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработан алгоритм определения тока короткого замыкания в сетях с несколькими источниками электроэнергии на основе эквивалентных преобразований;

разработаны компьютерные модели токовой защиты и распределительной электросети с изолированной нейтралью в программной среде Matlab/Simulink для исследования аварийных режимов работы электротехнического комплекса на основе энергосистемы с распределенной генерацией электроэнергии;

представлены рекомендации к использованию полученных теоретических и экспериментальных данных в учебных дисциплинах при подготовке студентов по направлению 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника».

Оценка достоверности результатов выявила:

результаты экспериментальных исследований получены с использованием апробированных методов математического и имитационного моделирования и лицензированной программной среды Matlab-Simulink для моделирования режимов работы распределительной сети, представлена воспроизводимость результатов;

теория построена на известных закономерностях и проверяемых данных и фактах и согласуется с опубликованными ранее экспериментальными данными других исследователей по теме диссертации;

идея базируется на результатах анализа и обобщения зарубежного и отечественного опыта по разработке и применению алгоритмов управления системами релейных защит электротехнического комплекса и способах обеспечения требуемого уровня по показателям чувствительности и селективности;

установлена сходимость результатов имитационного моделирования режимов работы электросети с численными расчетами в пределах допустимой погрешности.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования; анализе работы токовой защиты в условиях распределенной генерации электроэнергии; проведении

математического и имитационного моделирования аварийных режимов работы электроэнергетических систем среднего напряжения с источниками распределенной генерации различного типа в условиях изменяющейся структуры сети; обобщении и обработке экспериментальных данных; формулировке основных научных положений и выводов, а также в подготовке текстов научных публикаций и апробации основных положений работы.

На заседании 29 декабря 2020 года диссертационный совет принял решение присудить **Смирнову Артему Ивановичу** ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-практической задачи по обеспечению чувствительности и селективности токовой защиты электротехнического комплекса в сетях с распределенной генерацией энергии малой мощности.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета



Ученый секретарь
диссертационного совета

Шпенст Вадим Анатольевич

Коптева Александра Владимировна

29.12.2020