

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.173.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНОБРНАУКИ РФ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28 декабря 2021 г. протокол №4

О присуждении Митрофанову Николаю Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация на тему «Разработка модели и методов построения комбинированной защиты генератора» по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» принята к защите 22 октября 2021 г. (протокол № 12) диссертационным советом Д 212.173.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ, 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, приказ о создании диссертационного совета №156/нк от 01.04.2013 г.

Соискатель Митрофанов Николай Александрович «27» апреля 1992 года рождения. В 2016 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет» по специальности 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника с присуждением квалификации «Магистр». В 2020 году он завершил обучение в очной аспирантуре в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ. Срок обучения в аспирантуре с 01.09.2016 года по 31.08.2020 г.

Соискатель работает ассистентом на кафедре Электрических станций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

Диссертация выполнена на кафедре Электрических станций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Глазырин Глеб Владимирович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра Электрических станций, доцент.

Официальные оппоненты:

Полищук Владимир Иосифович, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Энергетический факультет, декан;

Сарры Сергей Владимирович, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», кафедра «Электрические станции и электроэнергетические системы», доцент;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ) г. Томск **в своем положительном отзыве**, подписанном Ивашутенко Александр Сергеевичем, кандидатом технических наук, доцентом, руководителем отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики, Вайнштейном Робертом Александровичем, доктором технических наук, профессором, профессором-консультантом Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики ТПУ, и утвержденном Сухих Леонидом Григорьевичем, доктором физико-математических наук, проректором по науке и трансферу технологий ТПУ, указала, что диссертация Н.А. Митрофанова выполнена на высоком научном уровне, является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 18 работ, из в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ, опубликовано 4 работы. Получено одно свидетельство на программу для ЭВМ и один патент РФ на изобретение. Недостоверные сведения об опубликованных работах

отсутствуют. Авторский вклад в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 60%. Общий объём публикаций – 6.7 п.л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Научные статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

1. Разработка модели синхронного генератора для анализа витковых замыканий в обмотке статора / Глазырин Г. В., Митрофанов Н. А. // Электроэнергия: передача и распределение, ISSN 2218 3116. – 2018. – № 6(51). – С. 94–99.

2. Моделирование переходных процессов генератора с несимметрией фазных контуров статора, работающего на нагрузку со схемой соединения «треугольник» / Глазырин Г. В., Митрофанов Н. А. // Новое в российской электроэнергетике, ISSN 2312-055X. – 2018. – № 11. – С. 70–80.

3. Моделирование переходных процессов генератора с несимметрией фазных обмоток статора и насыщением магнитной системы / Глазырин Г. В., Митрофанов Н. А. // Вестник Иркутского государственного технического университета, ISSN 1814-3520. – 2018. – № 11. – С. 97–111.

4. Моделирование переходных процессов в системе генератор-трансформатор-нагрузка с несимметрией фазных контуров статора / Глазырин Г. В., Митрофанов Н. А. // Промышленная Энергетика, – 2019. – № 1. – С. 17-24.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

1. № 2020616493 / Митрофанов Н.А., Глазырин Г.В. // Моделирование переходных процессов в синхронном генераторе с несимметрией фазных обмоток статора, 18.06.20.

Патент РФ на изобретение

1. № 2749914, МПК Н 02 К 11/10, Н 02 Н 7/08. Способ комбинированной защиты машин переменного тока от витковых замыканий в обмотке статора / Глазырин Г.В., Митрофанов Н.А.; заявитель и патентообладатель Новосибирский государственный технический университет, 21.06.2021.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов, все отзывы положительные:

1. **ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»**, кандидат технических наук, доцент, директор института энергетики Федчишин В.В., кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электрических станций Федосов Д.С.. *Вопросы:* 1) Для чего разработана модель генератора в MATLAB Simulink на основе готового

блока Synchronous Machine?; 2) По каким параметрам токов и напряжений определялась погрешность вычислений?; 3) В автореферате не представлен алгоритм комбинированной защиты. Каковы результаты работы алгоритма при его применении для анализа осциллограмм?; 4) Позволит ли разработанная модель в перспективе отказаться от продольной дифференциальной защиты от междуфазных КЗ? Проводилась ли оценка быстродействия предложенного алгоритма защиты?

2. **ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет»**, доктор технических наук, профессор кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы», Дынькин Б.Е. *Замечания:* 1) Ничего не сказано о сравнении с режимом, из-за которого и появилась на свет диссертация – не совсем понятно, какая именно часть обмотки закорачивалась для проведения экспериментов; 2) В автореферате сказано, что диссертация состоит из четырех глав. Однако далее, в тексте автореферата приводится содержание пятой главы.

3. **АО «СО ЕЭС» ОДУ Юга**, кандидат технических наук, ведущий эксперт отдела противоаварийной автоматики Службы релейной защиты и автоматики, Васильев В.В. *Замечание.* 1) В автореферате отсутствует описание разработанного алгоритма. *Вопросы:* 1) В чем заключается свойство «адаптивности» разработанного алгоритма выявления межвитковых замыканий?; 2) Чем предложенная методика расчета электромагнитных и электромеханических переходных процессов в синхронном генераторе отличается от существующих в настоящее время?

4. **ООО НПП «ЭКРА»**, кандидат технических наук, заместитель руководителя центра моделирования и расчётов, Доронин А. В. *Замечание.* 1) Не показана оценка возможности выполнения разработанного алгоритма на существующей в настоящее время аппаратной базе. *Вопрос.* 2) Как предполагается получать информацию об угловом положении ротора? *Замечание.* 3) Не понятно, как учитывалась возможность частичных пробоев в изоляции при построении защиты.

5. **ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»**, доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования и автоматики, Филюшов Ю.П. *Замечание.* 1) Каким образом получены результаты моделирования при описании переменных в различных системах координат. *Вопрос.* 2) Каким образом учитывается коэффициент трансформации трансформатора? *Замечание.* 3) Нет пояснений о принятых допущениях и каким образом они влияют на точность вычислений. Недостаточно понятна методика учета нелинейности характеристики намагничивания.

6. **ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный университет»**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетики», Ершов Ю.А. *Вопросы:* 1) Какая частота дискретизации при моделировании переходных процессов?; 2) Как алгоритм работы защиты учитывает несимметрию вследствие насыщения магнитных цепей?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем что, область научных интересов доктора технических наук, доцента **Полищука Владимира Иосифовича** связана с задачами совершенствования алгоритмов защиты и разработки методов идентификации повреждений в электрических машинах, что включает в себя разработку систем мониторинга технического состояния генератора, он имеет большое количество публикаций по близкой к диссертационной работе тематике, представленной к защите; сфера научных интересов и тематика исследований кандидата технических наук **Сарры Сергея Владимировича** связана в значительной степени с повышением надежности функционирования устройств релейной защиты, и определением информационных признаков аварийного режима в электроустановках, он также имеет значительное количество публикаций, близких по тематике представленной к защите диссертационной работы.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (НИ ТПУ) – один из крупнейших ВУЗов России, готовящих ученых и выпускающих специалистов в области электроэнергетики и электротехники, Отделение электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики активно занимается вопросами моделирования устройств релейной защиты, совершенствования алгоритмов работы, исследованием влияния различных факторов на функционирование защит, что подтверждается трудами ведущих ученых и специалистов отделения.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель и новая методика расчета электромагнитных и электромеханических переходных процессов синхронной машины, позволяющая выявлять несимметрию фазных обмоток статора;

предложено оригинальное научно обоснованное решение для определения межвитковых замыканий, позволяющее реализовать чувствительную защиту генераторов с нерасщепленной обмоткой статора;

доказана перспективность использования нового алгоритма выявления межвитковых замыканий в практике для защиты генератора от данного вида повреждения;

введены новые понятия - не введены;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность применения новых признаков межвитковых замыканий, позволяющих реализовать чувствительную защиту генераторов с нерасщепленной обмоткой статора;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы существующие программные комплексы расчета переходных процессов в синхронном генераторе для сравнения с результатами моделирования на основе разработанного метода;

изложены аргументы, отражающие целесообразность применения численного метода моделирования переходных процессов в фазных координатах для анализа работы генератора при возникновении несимметрии в его обмотках;

раскрыта неспособность имеющихся средств защиты генератора к выявлению межвитковых замыканий в обмотке статора при малой доле замкнувшихся витков;

изучены переходные процессы при межвитковом замыкании в обмотке статора, на основе которых проведена оценка чувствительности и селективности существующих методов обнаружения межвитковых замыканий;

проведена модернизация существующей математической модели синхронного генератора, позволяющая учитывать межвитковые замыкания.

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

разработана и внедрена в ООО НПП «ЭСТРА» методика расчета переходных процессов при межвитковом замыкании в обмотке статора для построения комбинированной защиты генератора;

определены перспективы практического использования результатов диссертации для интеграции алгоритма комбинированной защиты в устройства релейной защиты генератора;

создана математическая модель переходных процессов синхронного генератора, работающего в блоке с повышающим трансформатором на активно-индуктивную нагрузку, позволяющая учитывать насыщение магнитных систем;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию диагностических мероприятий, направленных на выявление межвитковых замыканий в обмотке статора генератора;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ показана воспроизводимость результатов по: моделированию работы генератора на основе измеренных параметров в нормальном установившемся режиме под нагрузкой, в режиме холостого хода, в режиме трехфазного короткого замыкания, в режиме с межвитковым замыканием в фазной обмотке статора;

теория согласуется с опубликованными данными, как в зарубежных, так и в ведущих российских изданиях;

идея базируется на анализе случаев выхода из строя генератора из-за межвитковых замыканий в обмотке статора и перехода межвитковых коротких замыканий в однофазные замыкания на корпус и междуфазные короткие замыкания;

использованы данные, представленные в работах таких ученых, как: Obaid R.R., Habelter T.G., Stack J.R., Silva J.L.H., Cardoso A.J.M., Onel I.Y., Dalci K.B., Senol I, Мугалимов Р.Г., Одинцов К.Э. Калугин Ю.А., Мугалимова А.Р, которые не противоречат полученным результатам;

установлены совпадения полученных результатов с известными данными: по осциллограммам токов при межвитковых замыканиях в обмотке статора генератора, по моделированию переходных процессов в синхронном генераторе при нормальном установившемся режиме и при трехфазном коротком замыкании;

использованы современные методы и устройства сбора исходной информации, полученной в результате физического эксперимента, с использованием современного измерительного оборудования и обработки с помощью специализированного программного обеспечения;

Личный вклад соискателя состоит в исполнении соискателем всех этапов работы; а именно, в постановке задач, анализе и обобщении полученных результатов, самостоятельной разработке экспериментальных установок и самостоятельном проведении экспериментальных исследований, разработке усовершенствованной математической модели. При подготовке основных публикаций по выполненной работе вклад соискателя в статьях, выполненных в соавторстве, составляет не менее 60%.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: 1) Не представлены конструктивные особенности укладки обмотки в пазы статора для генераторов различной мощности, не сказано, как в этом случае могут меняться параметры расчета. 2) В предложенных

модели и алгоритме защиты не учтено отклонение паспортных значений индуктивностей генератора от фактических эксплуатационных. 3) В системе дифференциальных уравнений учтена группа однофазных трансформаторов. При моделировании переходных процессов в системе генератор-трансформатор нагрузка рассматривается трехфазный трансформатор.

Соискатель Митрофанов Н.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, ответил на замечания и привел собственную аргументацию 1) Учет распределения обмотки по расточке статора значительно усложнил бы систему дифференциальных уравнений модели работы генератора, но влияние этого фактора не является существенным для расчета. 2) Отклонение паспортных данных машины учтено в реализуемом алгоритме срабатывания защиты в виде общей погрешности при определении числа неповрежденных витков и составляет около 2%. 3) Целью моделирования, являлось сравнение предложенной модели с эталонной. Для сравнения выбраны симметричные режимы, в которых тип трансформатора практически не влияет на вид переходного процесса. Таким образом, в рассматриваемых режимах результаты расчетов для этих схем идентичны.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития релейной защиты электроэнергетических систем, и соответствует пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 28 декабря 2021 г. диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития энергетики страны присудить Митрофанову Н.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 8 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введенных на разовую защиту нет, проголосовали: за 15, против 1, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета

А. Г. Фишов

Ученый секретарь диссертационного

А. А. Осинцев

28 декабря 2021 г.

