

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«National Research Tomsk Polytechnic University» (TPU)
30, Lenin ave., Tomsk, 634050, Russia
Tel. +7-3822-606333, +7-3822-701779,
Fax +7-3822-606444, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru
OKPO (National Classification of Enterprises and Organizations):
02069303,
Company Number: 027000890168,
VAT/KPP (Code of Reason for Registration)
7018007264/701701001, BIC 046902001

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет» (ТПУ)
Ленина, пр., д. 30, г. Томск, 634050, Россия
тел.: +7-3822-606333, +7-3822-701779,
факс +7-3822-606444, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru
ОКПО 02069303, ОГРН 1027000890168,
ИНН/КПП 7018007264/701701001, БИК 046902001

№ _____
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке и трансферу технологий
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»
Сухих Леонид Григорьевич
10 декабря 2018 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на диссертацию **Митрофанова Николая Александровича** «Разработка модели и методов построения комбинированной защиты генератора», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.14.02 - «Электрические станции и электроэнергетические системы»**

1. Актуальность темы диссертации

Важнейшим средством повышения надежности работы синхронных генераторов в составе электроэнергетической системы является комплекс защит от возможных повреждений. Одним из опасных и трудно выявляемых видов повреждения генератора является межвитковое замыкание в обмотке статора. В настоящее время на генераторах практически во всех случаях применяются набор защит, в том числе и защита от межвитковых замыканий, по способу выполнения мало отличающихся у разных производителей. Традиционный способ выполнения защиты от межвитковых замыканий не позволяет выявить замыкание малого количества витков, в то время как опасность такого повреждения при снижении числа замкнувшихся витков не снижается. Кроме этого применяемый в настоящее время способ выполнения защиты от межвитковых замыканий по принципу действия не применим на генераторах с обмоткой статора нерасщепленной на параллельные ветви. Задача усовершенствования защиты от межвитковых замыканий с целью повышения ее чувствительности является очень сложной. Выполнение исследований для ее решения в настоящее время является вполне своевременным, в связи с возможностями современных средств обработки информации и методов математического моделирования. Цели и задачи, сформулированные в диссертации, направлены на решение обозначенных выше проблем. Поэтому выбранное в диссертационной работе направление исследований является, безусловно, актуальным.

2. Структура и оценка содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения и списка литературы, включающего в себя 114 библиографических ссылок. Общий объем работы составляет 192 страницы, содержит 91 рисунок, 5 таблиц.

В первой главе выполнен обзор и анализ применяемых в настоящее время защит синхронных генераторов отечественных и зарубежных производителей. В связи с основной задачей работы достаточно полно проанализированы известные предложения по выполнению защиты от межвитковых замыканий. Рассмотрены предлагаемые варианты защиты для генераторов, не имеющих расщепление обмотки статора на параллельные ветви и указаны причины, из-за которых их практическое применение на мощных генераторах затруднительно. Обращено внимание также на недостатки поперечной дифференциальной

защиты, применяемой на генераторах с расщепленной обмоткой статора, в частности на ее недостаточную чувствительность. По результатам анализа сформулирована основная задача исследования, а именно разработка защиты от межвитковых замыканий повышенной чувствительности для генераторов с любой конструкцией обмотки статора. В первой главе также приведен анализ состояния вопроса по моделированию переходных процессов в объектах, в составе которых имеются генераторы. Показано, что требуется развитие математического моделирования генераторов с учетом возможности учета электромагнитной несимметрии по фазам.

Во второй главе приводятся результаты разработки математической модели генератора, в которой предусмотрена возможность учета различия электромагнитных параметров фаз. Результаты разработки модели представлены в виде системы дифференциальных уравнений. Модель разработана для трех вариантов схемы соединения нагрузки и генератора таких, как соединение фаз нагрузки в звезду и объединением нейтрали нагрузки и генератора нулевым проводом, соединение фаз нагрузки треугольником и соединение фаз нагрузки треугольником, подключённой через трансформатор со схемой треугольник - звезда. В модели учтены такие немаловажные факторы, как влияние демпферных контуров и нелинейность, вызванная насыщением магнитных элементов генератора.

Задача разработки модели генератора с возможностью учета различия параметров фаз является довольно сложной. Эта задача решена в работе на хорошем уровне. Результаты по разработке модели могут иметь самостоятельное значение и использоваться не только при разработке защиты от межвитковых замыканий, но и при разработке других видов защиты генератора.

В третьей главе разрабатывается программная реализация разработанной модели генератора для ее дальнейшего использования. В программе предусмотрены необходимые модули для ее практического использования, в том числе модуль расчета коэффициентов системы дифференциальных уравнений по паспортным данным генератора и трансформатора. В модуле вывода результатов расчета, предусмотрена также возможность вывода некоторых внутренних электрических и магнитных параметров, что может при необходимости использоваться для коррекции модели, а также для оценки правильности ее функционирования. Важной частью этой главы является сравнение результатов моделирования с результатами, полученными на модели синхронного генератора, встроенной в программу MATLAB Simulink, которая автором названа эталонной. Показано хорошее совпадение расчётных результатов по разработанной и эталонной модели.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований процессов при межвитковых замыканиях на генераторе малой мощности. Для последующего сравнения результатов эксперимента с расчетами по разработанной математической модели она дополнена уравнениями контуров, образованных короткозамкнутыми витками обмотки статора. При этом в систему уравнений введен параметр, характеризующий долю замкнувшихся витков. На этом этапе также показано хорошее соответствие результатов расчета по математической модели с результатами эксперимента.

В пятой главе приведены возможные варианты обработки информации о текущих режимных параметрах генератора с целью выявления межвиткового замыкания и кроме того позволяющие определить поврежденную фазу и долю замкнувшихся витков. В этой части работы автор совершенно обосновано использует перспективный и применяемый в ряде задач управления метод, основанный на том, что в контуре управления для оценки состояния объекта используется его математическая модель. Выполнена проверка работоспособности предложенного способа выполнения защиты по экспериментальным данным, полученным на генераторе малой мощности.

Анализ содержания диссертационной работы Митрофанова Николая Александровича показал, что текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора или источник заимствования. Диссертационное исследование не содержит результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на

соавторство. В диссертации полно раскрыты положения, выносимые на защиту. Вполне убедительно показано отличие сделанных предложений от имеющихся в других работах. Структура диссертации обладает внутренним единством, текст написан технически грамотным языком и хорошо оформлен. Результаты, полученные в работе, полностью соответствуют целям и задачам, сформулированным в постановочной части работы.

3. Научная новизна и значимость результатов диссертационной работы

Сформулированные в работе положения о научной новизне соответствуют фактически полученным результатам исследований и в несколько сокращенном изложении приведены ниже.

3.1. Впервые предложена методика расчета переходных процессов синхронной машины с несимметрией фазных обмоток статора и разработана соответствующая математическая модель.

3.2. Выполнен анализ переходных процессов при межвитковом коротком замыкании в обмотке статора, дана оценка чувствительности и селективности защит, выполненных на основе известных методов обнаружения межвитковых коротких замыканий.

3.3. Выявлены и проверены новые признаки межвитковых замыканий, позволяющие повысить чувствительность защиты генераторов от этого вида повреждений.

4. Практическая значимость и реализация результатов работы

Практическое значение работы не вызывает сомнения и заключается в следующем:

4.1. Разработанные математические модели, и соответствующие программы могут использоваться организациями и специалистами при разработке устройств релейной защиты генераторов.

4.2. Критерии для выявления межвитковых замыканий, основанные на использовании разработанных математических моделей могут стать основой для их практической реализации в составе комплексной защиты генераторов.

5. Методы исследования

Методы исследования базируются на фундаментальных положениях теории переходных процессов в электрических цепях, методах математического моделирования и использовании данных, полученных на цифровых и физических моделях.

6. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов диссертационной работы подтверждается корректным использованием математических методов при построении моделей, удовлетворительным совпадением результатов физических экспериментов с расчетами по математическим моделям, объективном анализе известных работ.

7. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат достаточно точно и полно отражает основное содержание работы.

8. Соответствие содержания паспорта специальности

Объект исследования, методы исследования и конкретная практическая реализация результатов работы подтверждают соответствие паспорту научной специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

9. Аprobация и публикация результатов диссертационной работы

Результаты работы достаточно полно опубликованы в 18 печатных работах, в том числе 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, 2 статьи в изданиях, входящих в базу данных РИНЦ, 12 работ опубликованы в сборниках международных и всероссийских конференций. Имеется свидетельство о государственной регистрации программы.

10. Замечания по диссертационной работе

10.1. Не ясно, почему разработка математической модели генератора начинается с рассмотрения схемы, в которой нейтраль нагрузки и нейтраль генератора объединены нулевым проводом с малым сопротивлением, то есть фактически воспроизведен режим глухого заземления нейтрали. В такой схеме при витковом замыкании могут иметь место токи нулевой последовательности, что может оказывать влияние на электрические величины, которые предполагается использовать при выполнении защиты. В тоже время такой режим заземления нейтрали для генераторов практически не применяется.

10.2. Как можно понять по содержанию работы, рассматриваются режимы работы генератора, работающего на нагрузку без связи с энергосистемой, что на практике может встречаться только в изолированных системах электроснабжения с генераторами небольшой мощности. Электромагнитные и электромеханические переходные процессы при параллельной работе могут отличаться от процессов при изолированной работе.

10.3. Не ясно, как назначается ось отсчета угла в уравнениях (2.13) и (2.16), описывающих движение ротора по его угловому положению. При работе генератора в составе энергосистемы это может быть вектор напряжения в точке, к которой через определенные сетевые элементы подключен генератор. Желательно было бы указать, как назначена ось отсчета угла при изолированной работе генератора.

11. Общее заключение

Представленная к защите диссертация «Разработка модели и методов построения комбинированной защиты генератора» является законченной научно-квалификационной работой. Актуальность, научная новизна, практическая значимость, содержание и публикации диссертационной работы соответствуют требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденное Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 №842 (ред. от 01.10.2018), а ее автор Митрофанов Николай Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 - «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Отзыв рассмотрен на заседании Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО НИ ТПУ, протокол № 34 от 9 декабря 2021г.

Руководитель отделения электроэнергетики и электротехники
Инженерной школы энергетики

Ивашутенко Александр Сергеевич

Доктор технических наук, профессор, профессор-консультант
отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной
школы энергетики, Федерального государственного автономного
образовательного учреждения в
«Национальный исследовательский То
мский университет»

Вайнштейн Роберт
Александрович

Подпись Ивашутенко А.С. и Вайнштейна

Ученый секретарь Кулинич Е.А.

Полное наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Юридический адрес: 634050, Томская область, г. Томск, проспект Ленина, дом 30

Телефон: +7(3822) 60-63-33, +7 (3822) 60-64-44

Эл. адрес: tpu@tpu.ru

Вайнштейн Роберт Александрович; Почтовый адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; Телефон рабочий: (8-382-2) 606-101; Электронная почта: vra@tpu.ru; Должность: профессор-консультант.

Отзыв коллег 11.12.2021г. *Вайнштейн Р.А.*

С отзывами коллег 11.12.2021г. *Кулинич Е.А.*