

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» Сарры Сергея Владимировича на диссертационную работу 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

На отзыв предоставлены: диссертационная работа, состоящая из введения, пяти глав с выводами, заключения, библиографического списка из 114 наименований трех приложений и автореферат.

### **1 Актуальность избранной темы исследования**

Учитывая важность генератора как наиболее значимого и сложного объекта в энергосистеме, к его защите всегда предъявляются повышенные требования. Переход на применение современной микропроцессорной базы позволяет реализовывать в устройствах релейной защиты и автоматики новые алгоритмы, позволяющие повысить чувствительность, селективность, быстродействие и надежность функционирования. Поэтому актуальность избранной темы исследования не вызывает сомнения.

Разработкой высокочувствительной комбинированной защиты генераторов занимаются многие отечественные и зарубежные фирмы. Автор в своей работе сделал упор на исследования трудновывяемых в настоящее время дефектов синхронных генераторов с нерасщепленной обмоткой статора – несимметрии фазных обмоток статора, вызванной наличием витковых замыканий в одной из них. Отсутствие чувствительной защиты от межвитковых замыканий в обмотке статора, позволяющей диагностировать повреждение на ранней стадии, может приводить к тяжелым последствиям. Предложенная автором математическая модель синхронной машины и анализ

переходных процессов в генераторе, полученных при моделировании межвитковых замыканий в обмотке статора, позволили выявить признаки, позволяющие с высокой точностью и быстродействием определить наличие повреждений.

## **2. Общая оценка работы**

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации приводятся сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов, имеются документы о внедрении. Предлагаемые автором решения достаточно обоснованы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

## **3. Анализ структуры, содержания и оформления диссертационной работы**

Диссертация Митрофанова Н. А. содержит 205 страниц, в том числе 189 страниц основного текста, который включает введение, пять глав с выводами, заключение и список использованных источников, содержащий 114 наименований, а также 3 приложения. Диссертация не содержит недобросовестных заимствований.

Во введении обоснована актуальность темы, выполнен анализ общего состояния проработанности проблемы. Сформулированы цели и задачи исследования.

В первой главе выполнен обзор защит синхронных генераторов по видам повреждения и анализ решения задач релейной защиты от межвитковых замыканий и методов диагностики повреждения в обмотках синхронных машин. Поставлена задача и выбрано направление исследований.

Во второй главе представлены особенности расчета переходных процессов в синхронной машине с несимметрией фазных обмоток статора. Предложена системы дифференциальных уравнений равновесия ЭДС и падения напряжения для генератора, работающего на активно-индуктивную

нагрузку, и системы генератор-трансформатор-нагрузка с учетом насыщения магнитной системы синхронной машины.

В третьей главе рассмотрена программная реализация модели синхронного генератора. Создан комплекс программных средств модели генератора в виде набора m-файлов в программном пакете MATLAB и на базе встроенной библиотеки элементов электроэнергетической системы SimPowerSystems в MATLAB Simulink. На основе предложенной модели выполнен анализ влияния демпферных контуров и насыщения магнитной системы генератора и трансформатора на переходные процессы в синхронной машине и системе генератор-трансформатор.

В четвертой главе представлены результаты испытаний синхронного генератора в различных режимах и выполнен анализ его работы при витковых замыканиях в обмотке статора. Предложена система дифференциальных уравнений при межвитковом замыкании в обмотке статора с учетом дополнительного короткозамкнутого контура.

В пятой главе разработан алгоритм выявления витковых замыканий в обмотке статора и на его основе предложен способ комбинированной защиты генератора. Функционирование алгоритма подтверждено на модели генератора и с помощью осциллограмм аварийного режима, вызванного межвитковыми замыканиями в реальном синхронном генераторе.

Материал диссертации представлен логично и последовательно, начиная от анализа технических решений, разработки и заканчивая экспериментальными исследованиями.

Стиль изложения содержания диссертации корректен с научной и технической точки зрения и сохраняет доступность при высоком научно-техническом уровне. Главы диссертации имеют самостоятельное значение без нарушения ее единства в целом.

Автореферат, изложенный на 23 страницах, достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

#### **4. Оценка новизны, степени обоснованности и достоверности основных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Наиболее значимые научные результаты, обладающие новизной, состоят в следующем. Предложена методика расчета электромагнитных и электромеханических переходных процессов синхронной машины с несимметрией фазных обмоток статора и разработана соответствующая математическая модель. Выполнен анализ переходных процессов при межвитковом коротком замыкании в обмотке статора, проведена оценка чувствительности и селективности существующих методов обнаружения межвитковых коротких замыканий. Определены и проверены новые признаки межвитковых замыканий, позволяющие реализовать чувствительную защиту генераторов с нерасщепленной обмоткой статора от этого вида повреждений.

Предложенные технические решения защищены патентом на изобретение и свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Достоверность и обоснованность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается математическим анализом предложенных моделей в программном вычислительном комплексе MATLAB, а также успешным обсуждением полученных результатов на профильных международных и всероссийских научно-технических конференциях, публикациях в рецензируемых изданиях, получением охранных документов на интеллектуальную собственность и наличием актов внедрений.

#### **5. Практическая значимость полученных научных результатов**

В диссертации приведены технические решения, имеющие практическую значимость. Разработана программа для моделирования переходных процессов синхронного генератора, работающего в блоке с повышающим трансформатором на активно-индуктивную нагрузку, учитывающая насыщение магнитных систем, позволяющая получать расчетные зависимости токов в обмотках и короткозамкнутом контуре при

межвитковых замыканиях. Предложены признаки для выявления межвитковых замыканий в обмотке статора и на их основе разработан адаптивный алгоритм функционирования комбинированной защиты генератора, позволяющий селективно определять характер и степень повреждения обмотки статора.

Практическая значимость подтверждается внедрением результатов диссертационной работы в ООО НПП «ЭСТРА» и учебный процесс факультета Энергетики Новосибирского государственного технического университета.

## **6. Оценка публикаций автора**

Результаты диссертационных исследований автором опубликованы в 18 научных работах, в том числе основные научные результаты - в 4 статьях в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень Минобрнауки России РФ; свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ; патенте РФ на изобретение.

## **7. Недостатки и замечания**

7.1 В п.7 основных выводов и результатов работы сказано, что сформулированы новые критерии определения витковых замыканий, однако в диссертации в явном виде эти критерии не выделены.

7.2 Результаты расчетов в диссертации в основном приведены в виде графиков функций в зависимости от времени. В релейной защите, в основном, для анализа режимов используют векторные диаграммы фазных величин, симметричных составляющих, годографов. Выбранное автором изложение результатов исследований затрудняет восприятие материала.

7.3 Система дифференциальных уравнений в п.2.6 учтена группа однофазных трансформаторов. При моделировании переходных процессов в системе генератор-трансформатор нагрузка рассматривается трехфазный трансформатор. Каков критерий подобия для рассматриваемой схемы?

7.4 В главе 2 получена система уравнений, обладающая возможностью моделирования переходных процессов в системе с несимметричными

режимами, вызванными витковым замыканием в одной из фазных обмоток. В выражениях 2.30 – 2.32 учитывается насыщение магнитной системы генератора, одной из причин которого являются витковые замыкания. Из текста диссертации неясно, каким образом учитываются витковые замыкания?

7.5 В диссертации не отражены обобщающие характеристики, позволяющие оценить чувствительность предложенных решений от количества замкнутых витков статора.

7.6 Автор в качестве эталонной модели использует модель, реализованную в том же программном пакете MATLAB Simulink, в котором он реализует предложенную модель. Насколько корректно сравнить одну программную модель с другой программной моделью, а не с реальным физическим объектом?

7.7 В таблицах 3.10 и 3.11 представлено сравнение значений ЭДС на фазных выводах обмотки статора с учетом насыщения магнитной системы генератора и без насыщения при разных токах возбуждения. Следует ли из результатов, полученных автором, что значение ЭДС не зависит от степени насыщения?

7.8 В названии диссертации присутствует термин «методы построения комбинированной защиты генератора», однако в тексте работы говорится об алгоритме обнаружения витковых замыканий и способе комбинированной защиты от витковых замыканий статора (рисунок 5.15).

7.9 Предложенный автором алгоритм содержит достаточно сложные вычисления. Из диссертации неясно выполнялась ли автором оценка быстродействия предлагаемой защиты и достаточно ли технических возможностей современных микропроцессоров, используемых в терминалах защиты для реализации предложенного метода?

7.10 На приведенных в тексте диссертации рисунках (например, 4.17-4.20, и других) сложно определить фазы токов и напряжений. В тексте диссертации присутствуют опечатки на страницах 3, 124, 125

## 8. Заключение

Представленная диссертационная работа Митрофанова Николая Александровича является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научно обоснованные технические решения и разработки построения комбинированной защиты синхронного генератора от витковых замыканий в обмотке статора, имеющее существенное значение для развития электроэнергетической отрасли знаний. Диссертационная работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку.

Содержание диссертации полностью соответствует поставленным задачам и отражает последовательность их решения. В работе сделаны чёткие и аргументированные выводы, сформулированы рекомендации по использованию научных выводов. Представленные замечания не влияют на основные научные и теоретические результаты диссертации.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации и разработанным теоретическим положениям, научной новизне полученных результатов и сформулированных рекомендаций с учётом сведений об апробации и публикациях.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы, а именно пунктам:

6. Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике.

9. Разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике.

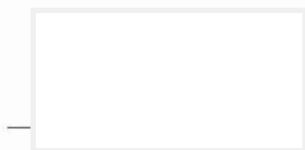
Диссертация в полной мере соответствует критериям п.п. 9-11, 13 и 14, установленным к кандидатским диссертациям Положением о присуждении

ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842.

Автор диссертации Митрофанов Николай Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент

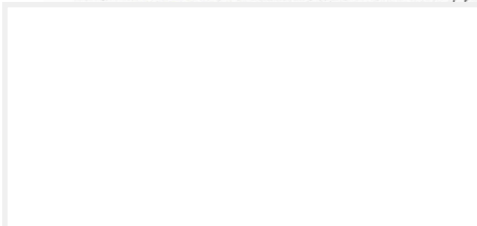
Кандидат технических наук (научная специальность 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»), доцент кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»



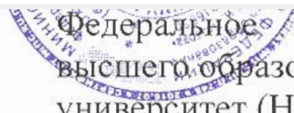
Сарры Сергей Владимирович

*✓ \* 06.12.21*

Подпись Сарры Сергея Владимировича удостоверяю.  
Ученый секретарь ученого совета  
Южно-Российского государственного политехнического  
университета (НПИ) имени М.И. Платова



Нина Николаевна Холодкова



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»  
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132  
E-mail: [estesrza@mail.ru](mailto:estesrza@mail.ru), Телефон: +7 (8635) 255 211

*Отзыв получен 10.12.2021г. От г. Сарры Н.А. /  
С отзывом ознакомлен 10.12.2021г. от г. Холодковой Н.Н.*