

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора технических наук,  
старшего научного сотрудника Лачугина Владимира Федоровича  
на диссертацию Атнишкина Александра Борисовича  
**«АДАПТИВНЫЕ МОДИФИКАЦИИ АЛГОРИТМА  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА»**,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.14.02 – Электрические станции и  
электроэнергетические системы

### **1. Актуальность выбранной темы диссертационной работы**

Одним из наиболее худших показателей работы среди всех устройств защиты и автоматики энергосистем обладают устройства защиты трансформаторов энергосистем. В частности, для самых массовых из этих устройств – ДЗТ-21 и ДЗТ-23, этот показатель составляет порядка 80 %. Во многом это определяется ограниченной чувствительностью защит трансформаторов к витковым замыканиям в обмотках, на которые приходится до почти половины от всех видов повреждений трансформаторов, в том числе практическая нечувствительность к замыканиям через малое количество витков. Увеличенный нагрев изоляции в месте виткового замыкания при необоснованном продолжении функционирования трансформатора ведет к дальнейшему разрушению изоляции его обмоток. Поэтому крайне важным является разработка алгоритмов и устройств защиты трансформатора, выявляющих повреждения в обмотках на самых ранних этапах их развития с учетом решения проблем обеспечения правильной работы защиты в режимах с насыщением магнитопроводов измерительных трансформаторов тока (ТТ) и реализации требований надежной отстройки защиты от бросков намагничивающего тока.

Таким образом, тема диссертации является весьма актуальной и результаты исследований, направленные на решение поставленных задач, безусловно должны оказать эффективное воздействие на функционирование защиты трансформаторов.

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

**На рассмотрение представлены:**

- диссертация общим объемом 137 страниц печатного текста, которая состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 126 наименований, 57 рисунков, 4 таблиц и 1 приложения;

- автореферат диссертации на 24 страницах с характеристикой работы и кратким изложением основного содержания работы. Содержание автореферата в целом соответствует содержанию диссертации.

Во **введении** приводится обоснование актуальности темы диссертации, степень разработанности выбранной темы; сформулированы цель работы и ее задачи; представлены научная новизна работы и её практическая ценность; сформулированы методы исследования, приведены сведения по апробации результатов исследования и публикациям автора.

**Первая глава** посвящена методу адаптивного распознавания повреждений защищаемого объекта при локализации области отображения альтернативных режимов в пространстве замера защиты. Показано, что инструментом локализации может выступать алгоритмическая модель защищаемого энергообъекта в его неповрежденном состоянии. Введены понятия о полном и неполном наблюдении объекта с точки зрения алгоритмической модели. Сформулирован общий принцип формирования двухкоординатного замера релейной защиты при использовании алгоритмической модели объекта.

Во **второй главе** рассмотрены способы отстройки дифференциальных защит трансформаторов от бросков намагничивающего тока. Разработана алгоритмическая модель трехфазного двухобмоточного трансформатора с соединением обмоток  $Y_0/\Delta$ . Предложено три варианта алгоритма защиты на основе разработанной алгоритмической модели, различающиеся формой учета ветви намагничивания трансформатора. Использование алгоритмической модели в структуре защиты позволило выявлять режимы БНТ по критерию снижения индуктивности ветви намагничивания. Выполнена проверка эффективности предложенных алгоритмов.

**Третья глава** посвящена разработке адаптивных алгоритмов дифференциальной токовой защиты трансформаторов, обладающих повышенной чувствительностью к витковым замыканиям в обмотках. Проведено исследование особенностей токораспределения в режимах витковых замыканий. Выполнен сравнительный анализ существующих алгоритмов защиты трансформаторов при внутренних повреждениях с малым током короткого замыкания (КЗ). Разработаны алгоритмы дифференциальной защиты с адаптивным масштабированием и адаптивным преобразованием токов плеч. Исследована распознающая способность предложенных алгоритмов с помощью имитационного моделирования сети с трансформатором и автотрансформаторов.

В четвертой главе рассмотрена проблема обеспечения правильной работы релейной защиты в переходных режимах с насыщением трансформаторов тока. Выполнен обзор и анализ основных направлений по предотвращению и компенсации отрицательного влияния насыщения магнитопроводов ТТ на функционирование защит. Предложены алгоритмы сегментации, позволяющие определить момент начала искажения тока, и алгоритмы восстановления тока на участках насыщения.

В пятой главе анализируются вопросы практического использования разработанных алгоритмов. Чувствительная к повреждениям в обмотках трансформатора адаптивная дифференциальная защита, дополняющая основную дифференциальную защиту с процентным торможением, а также корректор тока, предназначенный для восстановления кривой тока в режимах насыщения ТТ, реализованы в терминале «ТОР 300 ДЗТ 512». Проведены функциональные испытания работы корректора тока в режимах, смоделированных в комплексах Matlab, RTDS, и на реальных осциллограммах, записанных в различных режимах энергосистемы.

Вышеизложенное позволяет утверждать, что основные научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе, получены с использованием положений теоретических основ электротехники, теоретических основ релейной защиты, методов математического моделирования, а также сравнением полученных в диссертационной работе результатов, опубликованных в рецензируемых изданиях, с результатами других исследователей, приведенными в зарубежных и отечественных литературных источниках из списка литературы диссертации.

### **3. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность полученных результатов также не вызывает сомнения, поскольку подтверждается данными функциональных испытаний устройства, реализованного в терминале защиты с использованием программно-аппаратного комплекса моделирования RTDS.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в открытой печати и обсуждались на международных, всероссийских и республиканских конференциях. По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, среди которых четыре работы в рецензируемых изданиях из перечня ВАК. Получено четыре патента на изобретения.

Автореферат и опубликованные работы в достаточной мере отражают содержание диссертации.

#### **4. Научная новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Среди представленных в диссертационной работе новых положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, в первую очередь необходимо выделить:

- положение и выводы о необходимости локализации альтернативных режимов, учитывающий способы контроля режима работы защищаемого трансформатора;
- разработку алгоритма и устройства дифференциальной защиты трансформатора с адаптивным масштабированием и преобразованием токов в цепях защиты с обеспечением необходимой чувствительности при витковых замыканиях в обмотках трансформатора;
- выводы и рекомендации по использованию быстродействующих способов коррекции вторичного тока трансформаторов тока при насыщении магнитопроводов.

#### **5. Замечания и вопросы по диссертационной работе**

1. Использование алгоритмической модели, представляющей группу однофазных трансформаторов, не соответствует распространенной трехстержневой конструкции силовых трансформаторов. Магнитопровод таких трансформаторов является несимметричным.

2. Не показано, какое влияние на поведение алгоритма коррекции вторичного тока оказывает наличие нескольких затухающих составляющих тока КЗ с различными постоянными времени, а также отклонение промышленной частоты от номинального значения.

3. Не рассмотрен вопрос определения требований к измерительным ТТ для защиты с использованием корректора вторичного тока при насыщении ТТ.

4. В выводах к третьей главе отмечается, что функциональные возможности разработанных адаптивных алгоритмов дифференциальной защиты превосходят известные алгоритмы, при этом, однако, количественных оценок не приводится.

5. Совмещенную формулу (30) в тексте диссертации для расчета дифференциального и тормозного токов следовало бы разделить на две самостоятельные.

6. Вывод ряда расчетных выражений, учитывая особенности применения предложенных методов, следовало бы выполнить более подробно, например, в приложениях диссертации.

7. В тексте диссертации ряд используемых параметров приведен без соответствующих обозначений, что иногда затрудняет анализ представленных результатов.

## 6. Заключение

Диссертационная работа «Адаптивные модификации алгоритма дифференциальной защиты трансформатора» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей важное значение для развития соответствующей отрасли знаний – релейной защиты электроэнергетических систем, что удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Атнишкин Александр Борисович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник,  
заведующий лабораторией  
информационно-измерительных  
и управляющих систем  
в электроэнергетике  
Акционерного общества  
«Энергетический институт  
имени Г.М. Кржижановского»  
(АО «ЭНИН»)

Лачугин  
Владимир Федорович

29.03.2019

Подпись Лачугина ~~Владимира Федоровича~~ заверяю  
Начальник управления персоналом  
АО «ЭНИН»

Ломаченко  
Владислава Валерьевна

Адрес АО «ЭНИН»: 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 19  
Телефон: (499) 374-52-39  
e-mail: [lachugin@eninnet.ru](mailto:lachugin@eninnet.ru)