

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Воронова П. И.  
на диссертацию Фроловой Екатерины Игоревны  
**«Совершенствование методик выбора уставок и проверки устойчивости  
функционирования дистанционных органов»,**  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по  
специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические  
системы»

### **1. Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Состоит из введения, четырёх глав, заключения, трёх приложений и списка литературы, включающего в себя 96 библиографических ссылок. Общий объем работы составляет 174 страницы, содержит 53 рисунка и 5 таблиц.

### **2. Актуальность темы исследования**

Развитие электроэнергетических систем, применение современного первичного оборудования и многофункциональных микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики привело к необходимости пересмотра традиционных подходов проектирования, реализации и эксплуатации объектов энергетики. На сегодняшний день актуальна разработка новых методик и стандартов по параметрированию, конфигурированию и проверке устройств релейной защиты и автоматики.

Также в связи с развитием электроэнергетических систем повышаются уровни токов коротких замыканий, которые могут приводить к большим погрешностям трансформаторов тока, существенному искажению вторичной информации и, как следствие, возможному нарушению устойчивости функционирования устройств релейной защиты, что доказывают аварии, произошедшие в Единой энергетической системе России в 2014 г. и 2018 г.

Таким образом, разработка средств, направленных на повышение устойчивости функционирования устройств релейной защиты и автоматики, является актуальной задачей.

### **3. Оценка содержания диссертации**

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна и практическая

значимость работы, перечислены основные научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** рассмотрены характеристики измерительного дистанционного органа (ДО), являющегося основным элементом дистанционной защиты линий электропередачи, а также используемого в ряде других устройств защиты и автоматики, в которых необходим контроль замера сопротивления в нормальном и аварийном режимах. Предложено применить ДО в автоматике ограничения повышения частоты (АОПЧ) для повышения быстродействия отключения генерации.

**Во второй главе** представлены результаты разработки программного комплекса «объект защиты - измерительные трансформаторы - измерительные органы» для дистанционной защиты. Приведён анализ трансформаторов тока, к которым подключены токовые цепи дистанционной защиты линии, в соответствии с существующими методиками и с помощью разработанной модели.

**В третьей главе** описывается традиционная методика расчёта параметров срабатывания дистанционной защиты линий электропередач. Рассматривается выбор параметров срабатывания дистанционных защит линейных и станционных объектов с учетом требований, предъявляемых к современному первичному оборудованию по ограничению длительности протекания через них токов повреждения, нетиповых участков сети и возможностей, которыми обладают современные цифровые защиты.

**В четвертой главе** предложены способы проверки правильности функционирования ДО в асинхронном режиме (АР). Описываются способы моделирования АР и алгоритмы их реализации для тестирования устройств релейной защиты и автоматики.

**В заключении** сформулированы основные выводы по диссертационной работе.

#### **4. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 05.14.02 - «Электрические станции и электроэнергетические системы»**

Диссертационная работа в полной мере соответствует области исследований научной специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», а именно п.6 – «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике» и п.9 – «Разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике».

## **5. Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

## **6. Методы исследования**

Решение поставленных в работе задач базируется на положениях фундаментальных и прикладных наук, таких как математический анализ, теория электромагнитных переходных процессов в электрических цепях, методы математического моделирования, экспериментальные исследования на цифровых и физических моделях.

## **7. Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов**

Оценка содержания диссертации показывает, что представленные в ней научные положения, выводы и рекомендации обоснованы.

Результаты исследований работы не противоречат результатам, полученным в других научных работах при использовании иных подходов, что подтверждает их достоверность.

## **8. Уровень новизны научных положений, выводов и рекомендаций**

В качестве новых научных положений в работе можно выделить следующее.

1. Разработана математическая модель комплекса «объект защиты - измерительные трансформаторы - измерительные органы» для дистанционной защиты, учитывающая особенности функционирования трансформаторов тока в переходных режимах при соединении их вторичных обмоток по схеме «звезда».

2. Предложен способ использования в ступени дистанционной защиты, установленной на трансформаторе блока, одновременно нескольких независимых ДО с характеристиками срабатывания заданной конфигурации.

3. Предложено дополнить автоматики ограничения повышения частоты (при наличии в нем ступеней по скорости изменения частоты) дистанционным блокирующим органом.

## **9. Практическая ценность результатов исследований**

Практическую ценность работы определяют:

1. Предложенные методики расчёта параметров срабатывания дистанционной защиты от междуфазных КЗ на кабельно-воздушных линиях и блоках линия-трансформатор.

2. Предложенный подход по применению на существующих микропроцессорных терминалах РЗ способа реализации в ступени дистанционной защиты, установленной на трансформаторе блока, одновременно нескольких независимых измерительных органов.

3. Разработанные алгоритмы, обеспечивающие возможность формирования входных сигналов устройств релейной защиты и автоматики в виде токов и напряжений, подаваемых непосредственно на входы испытуемого объекта, для проверки поведения ДО в асинхронных режимах работы контролируемого участка сети.

#### **10. Подтверждение опубликования основных результатов диссертационной работы в научной печати**

По теме диссертации опубликовано 16 печатных работах, в том числе 9 работ в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации (из них 3 научные статьи, переведённые на английский язык, опубликованы в журнале, входящем в наукометрическую базу Scopus), 1 работа индексируется в наукометрической базе Scopus, 5 работ в прочих изданиях. Получены 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

#### **11. Соответствие полученных результатов поставленным целям и задачам**

Полученные результаты соответствуют поставленной цели работы. Поставленные задачи были решены.

#### **12. Основные замечания и вопросы по диссертационной работе**

1. В диссертации (стр. 33) указано, что «... в большинстве случаев ... затрагиваются вопросы поведения дифференциальных защит, ... так как последние наиболее чувствительны к искажению вторичного сигнала ТТ. Но вопросы поведения измерительных органов в переходных процессах актуальны и для ступенчатых защит...», к которым относятся и рассматриваемые в диссертации дистанционные защиты. Известны ли случаи неселективной или ложной работы дистанционной защиты по причине насыщения трансформаторов тока? Возможно ли решение проблемы путём применения

программной функции восстановления кривой вторичного тока трансформаторов тока?

2. В п. 2.2 приводится описание математической модели первичной сети, используемой в дальнейших исследованиях. На стр. 42 диссертации приведена фраза: «После определения векторных значений токов и напряжений установившегося процесса в заданных местах формируются массивы их мгновенных значений на рассматриваемом интервале времени». Каким образом производится преобразование комплексных величин в мгновенные?

3. В диссертации особое внимание уделяется моделированию измерительных трансформаторов тока. Приводится математическое описание процессов (стр. 44 диссертации). Проводилась ли верификация модели трансформатора тока, например, с аналогичными решениями в специализированных ПО, таких как Power Factory и другие?

4. В п. 2.7 диссертации приводится пример проверки трансформатора тока на допустимую погрешность. Указаны параметры расчётной модели и исследуемого трансформатора тока (ТТ). На стр. 64 указано, что «результаты проведённых испытаний на разработанных математических моделях показали, что сочетание остаточных индукций в моделируемых ТТ -0,6, 1,4, -08 Тл приводит к наиболее сильному искажению вторичных токов ТТ». Как были получены такие результаты?

5. В главе 3 приведены особенности применения дистанционных органов в устройствах релейной защиты с учётом современного развития электрических сетей, в частности, предложены варианты использования для кабельно-воздушных линий электропередачи. Рассматривались ли вопросы применения дистанционных органов для сетей с распределённой генерацией?

6. В диссертации имеется несколько грамматических неточностей и неудачных выражений. К примеру, на стр. 88-89 повторяется одно и то же предложение два раза подряд, а в заключении диссертации приведена фраза «достаточно полная математическая модель».

### **13. Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении учёных степеней»**

Диссертационная работа Е. И. Фроловой удовлетворяет все требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, установленными действующей редакцией «Положением о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.

#### 14. Заключение

Диссертационная работа Е. И. Фроловой является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему.

Автореферат и публикации автора в должной степени отражают полученные и представленные в работе результаты.

Приведённые замечания и вопросы к диссертационной работе Е. И. Фроловой «Совершенствование методик выбора уставок и проверки устойчивости функционирования дистанционных органов» не опровергают ни научных, ни практических результатов работы и не меняют общего положительного впечатления о ней.

Представленная диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», а её автор, Фролова Екатерина Игоревна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент  
кандидат технических наук,  
эксперт отдела релейной защиты и автоматики  
филиала Акционерного общества «РТСофт» -  
«РТСофт-Чебоксары»

Воронов Павел Ильич

30 марта 2020 года

Сведения:

**Полное наименование организации:** филиал Акционерного общества «РТСофт» - «РТСофт-Чебоксары», г. Чебоксары

**Юридический адрес:** Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. И. Яковлева, д. 5, оф. 405

**Телефон:** +7-937-389-93-89

**Эл. адрес:** p.i.voronov@gmail.com

**Должность:** эксперт

**Ф.И.О.:** Воронов Павел Ильич

Подпись П. И. Воронова удостоверяю

Директор филиала «РТСофт-Чебоксары»  
АО «РТСофт»

Горшенин

2020 года

*Отзыв получен 14.04.2020г  
Дир. / Сиднев А.А.  
с отзывом ознакомлена Фрол / Фролова Е.И.  
14.04.2020г*