

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Долгополова А.Г. на диссертацию

Соловьёва Игоря Валерьевича

**«Совершенствование управления компенсацией емкостных токов замыкания на землю в распределительных электрических сетях»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

### **1. Актуальность темы диссертации**

Рост городов, числа и мощностей промышленных предприятий неизбежно приводит к соответствующему увеличению суммарной протяженности распределительных сетей напряжением 6-35 кВ с изолированной нейтралью и как следствие к росту емкостей фаз сети на землю для кабельных и воздушных линий электропередач. При однофазном замыкании ток в месте ОЗЗ определяется в основном емкостью фаз сети на землю и режимом заземления нейтрали распределительной сети.

Несомненным достоинством заземления нейтрали распределительной сети через плавно регулируемый дугогасящий реактор является возможность снижения до безопасной величины тока в месте ОЗЗ и продолжения электроснабжения потребителей на поврежденном присоединении.

В условиях постоянно изменяющейся конфигурации распределительной сети для снижения тока в месте ОЗЗ до безопасной величины возникает необходимость непрерывного контроля за величиной расстройки дугогасящего реактора и осуществления его подстройки в соответствии с изменившейся емкостью сети. Поэтому тема диссертационной работы: совершенствование управления компенсацией емкостных токов замыкания на землю в распределительных электрических сетях, вне всякого сомнения, является важной и актуальной.

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

Диссертация Соловьёва И.В. общим объемом в 120 страниц содержит 91 страницу текста, 57 рисунков, 3 таблицы, список литературы из 94 наименований на 10 страницах, и состоит из введения, четырех разделов, заключения и 4 приложений. Основные результаты работы и рекомендации достаточно полно отражены в опубликованных работах автора. Содержание автореферата соответствует тексту диссертации.

**Во введении** обосновывается актуальность темы исследования диссертационной работы – «Совершенствование управления компенсацией емкостных токов замыкания на землю в распределительных электрических сетях», формулируются цели работы, ее основные положения, определяются содержание и математические методы, использованные в работе.

**В первой главе** рассмотрена задача компенсации емкостного тока при ОЗЗ. Указано, что в условиях изменяющейся конфигурации распределительной сети задача может быть эффективно решена лишь с использованием устройств автоматической настройки ДГР. Проведен сравнительный анализ способов управления компенсацией емкостных токов замыкания на землю в распределительных электрических сетях. Дается заключение, что стабильная работа известных способов не гарантируется и возможна только в случае создания искусственной несимметрии сети либо зондирования контура нулевой последовательности (КНП) токами непромышленной частоты. Предложена концепция совершенствования автоматического управления компенсацией емкостных токов замыкания на землю. Определены основные требования к устройству автоматического управления компенсацией емкостного тока. Обосновано заключение об актуальности компенсации емкостных токов замыкания на землю и необходимости поддержания контура сети в резонансном режиме заземления нейтрали.

**Во второй главе** показано аналитическое решение задачи измерения параметров КНП сети на основе измерения частоты свободных колебаний. Разработана математическая модель электрической сети применительно к новому методу управления компенсацией емкостных токов при ОЗЗ. Разработан способ измерения частоты свободных колебаний и коэффициента затухания свободных колебаний. Проанализированы граничные условия способа измерения параметров КНП. Приведена оценка методической погрешности

измерения частоты свободных колебаний. Выполнена оценка методической погрешности измерения коэффициента затухания свободных колебаний. Проведено исследование способа измерения параметров КНП сети на модели контура.

**В третьей главе** приведены результаты разработки алгоритмов и программ автоматического управления компенсацией емкостного тока. Приведен алгоритм измерения емкостного тока. Проведены исследования способа автоматического управления компенсацией емкостного тока на макете сети. В результате исследования установлена возможность применения предлагаемого алгоритма автоматической настройки на практике. Выявлено, что при большой скорости изменения индуктивности возникает эффект перерегулирования. Скорость изменения индуктивности, при которой возникает эффект перерегулирования, связана со скоростью измерения параметров контура. Дана оценка статической и динамической устойчивости алгоритма автоматической настройки. Анализ позволил выявить следующее:

- устойчивость системы определяется соотношением трех параметров: частоты измерений расстройки, ширины зоны нечувствительности трехпозиционного реле и скорости изменения индуктивности ДГР;

- в системе присутствует статическая ошибка, обусловленная зоной нечувствительности нелинейного блока «трехпозиционное реле»;

- время регулирования в основном определяется скоростью изменения индуктивности, т.е. динамическими свойствами самого ДГР, и прямо пропорционально изменению емкости сети.

**В четвертой главе** рассматривается практическое применение предложенных в работе алгоритмов измерения параметров сети и автоматической настройки ДГР. Приводится описание аппаратных и программных особенностей разработанного устройства автоматики. Приведены графики переходных процессов и выделенных из них сигналов свободных составляющих, регулировочные характеристики по расстройке и напряжению для плунжерного ДГР. Даны результаты опытной и промышленной эксплуатации. В ходе опытной эксплуатации была подтверждена корректность разработанных алгоритмов и правомерность принятых допущений. Выполнен анализ работы устройства и точности настройки компенсации в действующей распределительной сети на ПС 110/6/6 кВ «Сидоровка» Набережночелнинских

электрических сетей. Результаты натурных испытаний устройства показали высокую точность автоматической настройки ДГР.

Вышеизложенное позволяет утверждать, что научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, в достаточной мере обоснованы в рассмотренных четырех главах.

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

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, базируется на использовании известных методов теории электрических цепей, теоретических основ электротехники, теории автоматического управления, теории релейной защиты в тесном взаимодействии с теорией и практикой релейной защиты и автоматики энергосистем. При этом в диссертации подробно проанализированы известные достижения и теоретические положения, полученные при проведении исследований в этой же области другими учеными, ссылки на которые приведены в списке использованной литературы. Обоснованность и достоверность результатов, выдвинутых соискателем, основывается на согласованности данных научных выводов с результатами моделирования и экспериментальных исследований в условиях действующих подстанций. Достоверность результатов, полученных в диссертации, не противоречит данным эксплуатации микропроцессорных устройств автоматики дугогасящего реактора «Бреслер-0107.060», в разработке алгоритмов которого принимал участие автор диссертации.

### **4. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научная новизна заключается:

- в разработке способа оценки параметров сети с компенсацией емкостного тока, позволяющего проводить расчет текущего значения расстройки и добротности КНП сети на основе оценки частоты и коэффициента затухания сигнала свободной составляющей, выделенной из переходного процесса, протекающего в КНП в результате импульсного воздействия на контур;

- в разработке способа автоматической настройки ДГР, отличающегося от известных тем, что он реализуется по отклонению текущего значения расстройки компенсации от ее целевого значения, что позволяет повысить точность настройки плавнорегулируемых ДГР в сетях с большими потерями и учитывать режим параллельной работы секций;

- в разработке алгоритмов оценки параметров сети и управления режимами компенсации емкостной составляющей тока ОЗЗ, учитывающих существенные ограничения реализуемости новых способов настройки ДГР, возникающие в действующих электрических сетях.

Предложенные в работе способы с оценкой частоты и коэффициента затухания сигнала свободной составляющей переходного процесса позволяют повысить точность настройки дугогасящих реакторов на основе разработанных автором алгоритмов оценки параметров сети.

Разработанные способы достаточно глубоко исследованы на математической и физической моделях в отношении метрологических свойств. Решен ряд практических задач по согласованию работы устройств при параллельной работе секций.

## **5. Замечания по диссертации**

1. В работе не рассмотрен вопрос оценки необходимой и достаточной мощности, вкачиваемой в контур энергии для создания в нем переходного процесса.

2. Действительно во многом универсальной идее управления всеми автоматически настраиваемыми ДГР по частоте свободных колебаний в контуре НПС, по-видимому, следует сделать некоторые исключения. В частности, для РУОМ с подмагничиванием, которые до момента ОЗЗ имеют фиксированную индуктивность с глубокой расстройкой от предполагаемого текущего тока замыкания на землю.

3. Декларируемое преимущество в быстроедействии настройки любого ДГР также вызывает вопросы, поскольку помимо времени на поиск максимума

свободной частоты колебаний еще более существенно время на перемещение привода плунжерного ДГР в крайнее либо существенное иное положение.

4. Не показано, какое влияние оказывает предложенный автором способ измерения параметров на фазные напряжения сети и работу устройств релейной защиты.

5. В диссертационной работе, с практической точки зрения, было бы интересно видеть численную оценку добротности сети, при которой предлагаемый способ является работоспособным.

## **6. Заключение**

Диссертация И.В. Соловьёва на тему «Совершенствование управления компенсацией емкостных токов замыкания на землю в распределительных электрических сетях» является научно-квалифицированной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложена и реализована важная задача – автоматическая компенсация емкостного тока ОЗЗ, выполняемая с высокой точностью. Диссертация содержит достоверные результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью. Автор представленной работы убедительно обосновал принципиальные решения и подтвердил их результатами опытной эксплуатации промышленных образцов реализованного устройства. Замечания, сделанные по диссертации, не уменьшают её научную и практическую ценность.

Основное содержание диссертации в полной мере, убедительно и логично изложено в печатных работах автора, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, а диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК.

Работа является завершённым научным трудом, имеет теоретическую и практическую ценность, соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 (с изменениями постановления Правительства РФ от 21.04.2016 г. №335 «О внесении изменений в Положение о присуждении учёных степеней»), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а ее автор, Игорь Валерьевич Соловьёв,

заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент  
доктор технических наук, старший  
научный сотрудник, профессор  
кафедры релейной защиты и автоматизации  
Федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский  
университет «МЭИ»

Андрей Геннадьевич Долгополов

«28» июня 2018 г.

Адрес: 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14.  
Телефон: +7 495 362-70-01 (ректор), +7 495 362-75-60 (справочная)  
Адрес электронной почты: [universe@mpei.ac.ru](mailto:universe@mpei.ac.ru). Сайт: <http://www.mpei.ru>.

Подпись А.Г. Долгополова заверяю:  
Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 212.157.03 при НИУ «МЭИ»

Дичина Ольга Вячеславовна