

## ОТЗЫВ

официального оппонента Кажкина Ильи Евгеньевича

на диссертацию Финашина Романа Андреевича

«Исследование и разработка импульсно-резистивного заземления нейтрали и устройства глубокого ограничения перенапряжений для электрических сетей 6-35кВ»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 — «Техника высоких напряжений»

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

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». Она состоит из введения, пяти глав, заключения, четырёх приложений и списка литературы, включающего в себя 102 библиографические ссылки. Общий объем работы составляет 166 страниц, содержит 99 рисунков и 7 таблиц.

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

Значительная часть электроэнергии распределяется по потребителям посредством электросетей 6-35 кВ. Согласно нормативным документам электросети этого напряжения должны эксплуатироваться с изолированной, резистивной или компенсированной нейтралью. Основным видом повреждений в любых электроустановках являются замыкания одной из фаз на землю. В электросетях с указанными выше режимами нейтрали замыкания могут существовать длительное время, что обусловлено относительно небольшими значениями тока в месте замыкания. Однако часто такие замыкания имеют прерывистый характер и сопровождаются перенапряжениями, максимальные значения которых могут в несколько раз превышать амплитуду фазного напряжения. Такие перенапряжения воздействуют на изоляцию неповрежденных фаз, способствуя развитию однофазных замыканий на землю в более опасные виды повреждений.

Ограничение дуговых перенапряжений применяемыми в настоящее время техническими средствами в лучшем случае позволяет снизить их величину до 2.2 амплитуды фазного напряжения, что превышает уровень наибольшего рабочего напряжения изоляции электрооборудования, используемого в распределительных электросетях. Предлагаемый в диссертационной работе комплекс направлен на более

глубокое ограничение дуговых перенапряжений. С учетом поставленной цели работа представляется весьма актуальной.

### **3. Оценка содержания диссертации, степени ее завершенности и качества оформления**

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, представлены научная новизна и практическая значимость работы, перечислены основные научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** рассмотрены характеристики электросети, влияющие на процессы при однофазных дуговых замыканиях в электросетях средних классов напряжения. Выполнен обзор основных преимуществ и недостатков способов заземления нейтрали, применяемых на этом напряжении. Предложено применить импульсно-резистивный способ заземления нейтрали, основанного на подключении к нейтрали резистора только после гашения заземляющей дуги.

**Во второй главе** представлены результаты разработки устройства импульсно-резистивного заземления нейтрали, системы управления коммутируемого резистора. Предложены три методики расчета производной напряжения на нейтрали, сигнала, по которому управляется подключение резистора к нейтрали. Установлено, что высшие гармоники, присутствующие в напряжении нейтрали при установившихся однофазных замыканиях, не могут привести к ложному включению резистора.

**В третьей главе** описывается физическая модель электросети с однофазным дуговым замыканием. Предложена схема управления симисторами, моделирующими поведение заземляющей дуги согласно теориям Петерсена и Петерса-Слепяна. Изложены методика и результаты экспериментальных исследований, демонстрирующие возможность ограничения дуговых перенапряжений при помощи разработанного устройства импульсно-резистивного заземления нейтрали.

**В четвертой главе** приведены результаты апробации устройства импульсно-резистивного заземления нейтрали при помощи компьютерного моделирования, выполнено обоснование технических решений, направленных на реализацию устройства. Описаны результаты испытаний лабораторного образца разрабатываемого устройства в электроустановке напряжением 10 кВ с током через подключаемый резистор 18 А.

**Пятая глава** посвящена разработке устройства глубокого ограничения перенапряжений, обоснованию требований к используемым в них ОПН и разработке системы управления симисторными ключами. Показано, что совместное использование

устройств глубокого ограничения перенапряжений и импульсно-резистивного заземления нейтрали позволяет снизить дуговые перенапряжения до значений, не превышающих 1.8 амплитуды фазного напряжения электросети. При этом для управления обоими устройствами предложено использовать единую систему формирования управляющих сигналов для симисторных ключей.

В приложениях приведены результаты экспериментальных исследований, конструктивных данных устройства импульсного резистивного заземления нейтрали, а также документы, подтверждающие заинтересованность в результатах диссертационной работы представителей энергетической отрасли.

По результатам исследования сделаны обоснованные выводы, которые соответствуют поставленным задачам. Работа выглядит завершенной и аккуратно оформленной.

#### **4. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 05.14.12**

##### **«Техника высоких напряжений»**

Диссертационная работа в полной мере соответствует области исследований научной специальности 05.14.12 — «Техника высоких напряжений», а именно п. 5 паспорта специальности «Исследование атмосферных и внутренних перенапряжений, разработка методов и устройств для ограничения перенапряжений, изучение проблем электромагнитной совместимости».

#### **5. Соответствие автореферата основным идеям и выводам диссертации**

Основные идеи и выводы по работе, приведенные в автореферате, соответствуют диссертации.

#### **6. Методы исследования**

Решение поставленных в работе задач базируется на методах математического описания установившихся и переходных электромагнитных процессов в электрических цепях, компьютерного моделирования посредством программной среды PSPICE, а также на проведении экспериментальных исследований на физической модели электросети с однофазным дуговым замыканием.

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

Оценка содержания диссертации позволяет сделать заключение о достаточной степени обоснованности и достоверности полученных результатов. Обоснованность научных положений, сформулированных в работе, подтверждается использованием

автором проверенных инструментов исследований, апробацией их результатов на международных и всероссийских конференциях. Достоверность результатов работы обеспечивается корректным применением известных методов аналитического исследования электрических цепей, а также экспериментальными исследованиями, выполненными на физической модели электросети.

## **8. Значимость результатов диссертации для науки и их научная новизна**

Значимость результатов диссертационной работы для науки определяется тем, что впервые продемонстрирована возможность применения импульсно-резистивного заземления нейтрали, управляемого по производной напряжения на нейтрали, разработаны математические и имитационные модели для исследования переходных процессов при работе устройств, реализующих этот режим нейтрали, а также устройств глубокого ограничения перенапряжений.

В качестве новых научных положений в работе можно выделить следующее.

1. Установлено, что производная напряжения нейтрали электросети при ее неэффективном заземлении в случае неустойчивых (перемежающихся) замыканий на землю имеет значение, достаточное для классификации такого вида замыкания и запуска устройств импульсно-резистивного заземления нейтрали.

2. Разработаны математические модели распределительных электрических сетей с импульсно-резистивным заземлением нейтрали, детально учитывающие работу полупроводниковых приборов, включая временной разброс включения симисторов, и позволяющие оптимизировать конструкции устройств импульсно-резистивного заземления нейтрали на стадиях их проектирования и модернизации.

3. Разработана система управления и защиты симисторов устройств импульсно-резистивного заземления нейтрали, исключающая перегрев защитных варисторов.

4. Выявлена область применения управляемых вакуумных разрядников в качестве высоковольтного ключа в устройствах импульсно-резистивного заземления нейтрали, которая ограничивается электросетями с разрядными токами не менее 80 А.

5. Предложено в устройствах глубокого ограничения дуговых перенапряжений применять составной ОПН, нижнее плечо которого шунтируется высоковольтным ключом, а верхнее обеспечивает глубокий уровень ограничения дуговых перенапряжений. При этом вольт-амперная характеристика (ВАХ) нижнего плеча скоординирована с составной ВАХ защитных варисторов.

## **9. Значимость результатов диссертации для практики и конкретные пути их использования**

Практическую значимость работы определяют ее следующие результаты:

1. Для тестирования устройств импульсно-резистивного заземления нейтрали разработана и апробирована высоковольтная испытательная установка, в которой посредством вакуумного выключателя создается переходный колебательный процесс с заданной частотой свободных колебаний, возникающих при перезаряде батарей конденсаторов через специальный высоковольтный дроссель.

2. На низком и высоком напряжениях экспериментально определен уровень чувствительности устройства импульсно-резистивного заземления нейтрали, созданного на основе высоковольтного составного симисторного ключа.

3. Изготовлено и испытано на высоком напряжении устройство импульсно-резистивного заземления нейтрали электрических сетей 6-10 кВ, рассчитанное на ток до 20 А.

4. Разработан, обеспечен методическими материалами и внедрен в учебный процесс лабораторный стенд – электрофизическая установка, моделирующая замыкания на землю в сетях с неэффективно заземленной нейтралью и использующая новый импульсно-резистивный способ.

Результаты работы могут найти применение в электросетях с повышенными требованиями к защите электрооборудования от перенапряжений, например в электроустановках с вращающимися электрическими машинами. Некоторые результаты работы уже внедрены в учебный процесс «Новосибирского государственного технического университета» на кафедре «Техники и электрофизики высоких напряжений».

## **10. Публикование основных результатов диссертационной работы в научных изданиях**

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ. Из них две работы опубликованы в изданиях из перечня российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (перечень ВАК), одна публикация в научных изданиях, индексируемых базами SCOPUS, а также патент РФ на изобретение и патент на полезную модель.

## 11. Соответствие полученных результатов поставленным целям и задачам

Полученные результаты соответствуют поставленной цели работы. Сформулированные для ее достижения задачи были решены.

## 12. Основные замечания и вопросы по диссертационной работе

1. Не ясно, с какой целью автор анализирует недостатки заземления нейтрали через ДГР? Предлагаемое в работе решение не только никак не устраняет ни один из них, но и не решает те задачи, которые возлагаются на заземление нейтрали через ДГР по компенсации емкостной составляющей тока ОЗЗ.

2. На странице 20 автор указывает, что целью низкоомного резистивного заземления нейтрали является ограничение токов ОЗЗ. Возможно подразумевается ограничение времени действия этих токов, поскольку общеизвестно, что низкоомное резистивное заземление нейтрали способствует увеличению их значений.

3. На странице 57 автор утверждает, что используемые для расчета напряжения на резисторе дифференцирующей запускаящей цепи методы №2 и №3 дают погрешность относительно результатов компьютерного моделирования  $+(5...10)\%$ . Однако на рисунке 2.20 показано, что в достаточно большом временном диапазоне значения напряжения, определенные разными методами, отличаются друг от друга более чем в два раза.

4. В работе при моделировании дугового замыкания использованы только гипотезы о ее поведении, изложенные в теориях Петерсена, Петерса и Слепяна. Однако в более поздних исследованиях, например в работах Н.Н. Белякова, Ф.А. Лихачева и др. показано, что в условиях реальных электроустановок повторные зажигания и гашения заземляющей дуги могут иметь неупорядоченный характер, а параметры дуги существенно отличаться от используемых в этих теориях.

5. Одним из выводов четвертой главы является утверждение о возможности увеличения электрической прочности изоляционных конструкций при помощи «новых аэрозольных покрытий с высокой адгезией». Не ясно, для чего автор акцентирует внимание на этом результате, поместив его в выводах главы? Возможность повышения электрической прочности указанным в работе веществом следует из его технической документации. При этом в работе приводится достаточно поверхностное описание испытаний обработанной изоляции и отсутствует методика его нанесения для получения описанного результата.

6. Предложенное в диссертации устройство импульсно-резистивного заземления нейтрали содержит резистор дифференцирующей запускаящей цепи, который

подключен к нейтрали электросети и является некоммутируемым элементом. В работе отсутствуют требования к этому резистору, не указываются его мощность и сопротивление. Как этот резистор повлияет на величину тока в месте замыкания и какова мощность тепловыделений в таком резисторе при устойчивом ОЗЗ?

7. В работе широко используется компьютерное моделирование. Каким образом проводилась ее верификация?

8. В диссертации отсутствуют исследования работы предлагаемых устройств в условиях, имеющих место в распределительных электросетях напряжением 6-35 кВ, например, несимметрии фазных емкостей, феррорезонансных процессах, коммутациях участков сети и нагрузки и т.д.

9. Оценка последствий применения устройства глубокого ограничения перенапряжений ограничивается лишь компьютерным моделированием. При этом большое внимание уделено разработке конструкции устройства, выбору элементной базы. Более того, в работе продемонстрирован макет разработанного устройства. Не ясно, почему не проведены экспериментальные исследования на физической модели устройства глубокого ограничения перенапряжений?

10. На рисунке 5.2, в схеме управления устройством глубокого ограничения перенапряжений, показан релейный элемент. Каково его назначение? Учитывалась задержка его срабатывания при компьютерном моделировании?

11. Отсутствует оценка технико-экономической эффективности применения предлагаемых устройств. Является ли обоснованным переход от более простых некоммутируемых устройств заземления нейтрали электросетей напряжением 6-35 кВ к предлагаемым в работе устройствам импульсно-резистивного заземления нейтрали, работающим автономно или в совокупности с устройством глубокого ограничения перенапряжений?

12. Обозначения, используемые на многих схемах в диссертации, требуют пояснений. Например, рисунок 2.7, 2.9, 2.12 и др. В списке сокращений и условных обозначений отсутствует большинство обозначений элементов и физических величин, используемых в работе.

### **13. Общее заключение о соответствии диссертационной работы требованиям, предъявляемым кандидатским диссертациям**

Несмотря на указанные выше замечания, диссертационная работа в целом обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, отличается высоким

научным уровнем, а выдвигаемые для защиты положения имеют важное научное и практическое значение.

На основании вышеизложенного можно сделать заключение, что диссертация Финашина Романа Андреевича «Исследование и разработка импульсно-резистивного заземления нейтрали и устройства глубокого ограничения перенапряжений для электрических сетей 6-35кВ» по степени научной новизны, объёму выполненных исследований и их практической ценности представляет собой законченную научно-квалификационную работу. В диссертации изложены научно обоснованные технические решения имеющие существенное значение для повышения эффективности функционирования распределительных электросетей напряжением 6-35 кВ.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утверждённых постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Финашин Роман Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидат технических наук по научной специальности 05.14.12 – Техника высоких напряжений.

Официальный оппонент,

кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Электрооборудование судов и электроэнергетика»  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический  
университет»

Кажекин Илья Евгеньевич

«01» июня 2020 г.

Электронная почта: [kazhekin@mail.ru](mailto:kazhekin@mail.ru)

Телефон: 8 (4012) 995377

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1

Подпись Кажкина И.Е.

Ученый секретарь учено

Свиридюк Надежда Васильевна

«01» июня 2020 г.

Озвон коллегам 09.06.2020 / Сосисцев А.А. /  
С отзывом ознакомлен 09.06.2020 Фин Финашин Р.А.