

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ
РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И.Раззакова**

Диссертационный совет Д 05.10.405

На правах рукописи
УДК.:001.891.54:621.3.014.31(043.3)

ИМАНАКУНОВА ЖЕНИШКУЛЬ САРТБАЕВНА

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЖАЮЩЕЙСЯ ДУГИ И СПОСОБ
ЕЁ ПОГАШЕНИЯ В СЕТЯХ 6 – 35 кВ**

Специальность 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические
системы

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек 2010

Работа выполнена на кафедре "Электроэнергетика" Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова

**Научный
руководитель:**

Сатаркулов Калмурза
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Кадыров Ишенбек Шакирович
доктор технических наук

Суеркулов Манас Асанбекович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: ОАО «Северэлектро»

Защита состоится «14» «января» 2011 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 05.10.405 при Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова, по адресу: 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, диссертационный совет Д 05.10.405 Кыргызского государственного технического университета.

Автореферат разослан " _____ " _____ 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 05.10.405
к.т.н, доц.

Э.Б. Исаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Сравнительно недавно, в последней четверти XX века, во всех областях нелинейной динамики были обнаружены новые явления, главное из которых – динамический (детерминированный) хаос.

Исследования хаотических колебаний в электроэнергетике важны, например, при исследовании процессов, связанных с перемежающейся дугой. Перемежающаяся дуга возникает при однофазном замыкании на землю в сетях с изолированной нейтралью и сопровождается колебательными перезарядками емкостей сети и **перенапряжением**, которые являются причиной большинства повреждений (пробой изоляции электрооборудования и кабелей, возможен переход ОЗЗ(однофазное замыкание на землю) в междуфазное замыкание).

Осознав, что в нелинейных системах возможны хаотические режимы, мы сталкиваемся с вопросами о его предсказуемости. Поэтому, по нашему мнению, поведение перемежающейся дуги, относящейся к классу хаотических колебаний, невозможно точно предсказать.

Как известно, существует несколько теорий (Петерсона, Петерса и Слепяна, Белякова), описывающих процесс возникновения перемежающегося дугового замыкания на землю в рассматриваемой нами сети, на основании которых рассчитываются максимальные величины перенапряжений.

По мнению многих специалистов, в большинстве случаев в реальных сетях дуга не следует этим гипотезам. Однако, характер процесса в отдельные отрезки времени может с той или иной степенью приближения соответствовать, какойнибудь из указанных выше теорий.

Общим недостатком этих теорий (гипотез) является то, что в них заранее предполагается (прогнозируется) поведение перемежающейся дуги, т.е. точно указываются моменты погашения и зажигания дуги, тогда как перемежающаяся дуга ведет себе хаотично.

Как видно из выше изложенного, в настоящее время нет единой теории, которая бы дала возможность рассчитать величину перенапряжений, возникающих в сетях с изолированной нейтралью при перемежающихся ОЗЗ. Это объясняется тем, что не до конца раскрыт закон поведения, т.е. динамика перемежающейся дуги.

Следовательно, решение проблемы моделирования поведения перемежающейся дуги с привлечением более совершенных методов исследования **весьма актуально.**

Актуальной является и разработка более совершенных: экспериментальных установок для исследования поведения перемежающейся дуги на физических и компьютерных моделях; устройств для регистрации момента возникновения однофазных замыканий на землю и измерения их характеристик.

Связь темы диссертации с основными научно-исследовательскими работами, проводимыми научным учреждением. Актуальность проблемы

подтверждается также тем, что она включена в план основных научно-исследовательских работ, проводимых в НИИ энергетики и связи при Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова, по проблеме: «Разработка электродинамической модели электроэнергетической системы», и научному проекту: «Разработка силового резистора с регулируемым сопротивлением и вольтамперной характеристикой для сетей с изолированной нейтралью для оптимизации режима ее работы».

Цель работы заключалась:

- в применении компьютерного моделирования и методов нелинейной динамики (теория хаотических колебаний) для исследования сложных процессов в сетях с изолированной нейтралью, учитывая нелинейности элементов сети;
- в разработке способа погашения перемежающейся дуги для ограничения перенапряжений при дуговых замыканиях в рассматриваемой сети;
- в разработке физической модели экспериментальной установки для более эффективного исследования процессов в рассматриваемой сети.

Задачи исследования включали:

- разработку физических моделей экспериментальной установки для более эффективного исследования процессов в рассматриваемой сети при дуговых замыканиях в них;
- разработку способа погашения перемежающейся дуги с целью ограничения перенапряжений в рассматриваемой сети;
- разработку способов регистрации процессов в электрических сетях;
- компьютерный анализ хаотических колебаний в нелинейной электрической цепи и использование его результатов для исследования поведения перемежающейся дуги в сети с изолированной нейтралью;
- усовершенствование защиты от ОЗЗ с использованием новых элементов, таких как ВСП (варьируемый силовой резистор), УКР (устройство регистрации режима) и ОПН–ВСП (комбинированное устройство для ограничения перенапряжения с возможностью работы в режиме силового резистора с варьируемым сопротивлением).

Методы исследования. Исследования проводились с использованием: методов расчета линейных и нелинейных электрических цепей; понятий нелинейной динамики; метода физического моделирования; метода математического моделирования с помощью ЭВМ.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждается совпадением результатов эксперимента и исследований на базе схематического моделирования.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Уточнена гипотеза о природе перемежающейся дуги в сетях с изолированной нейтралью, основанная на понятиях **нелинейной динамики**.

2. Разработаны физические модели экспериментальной установки для более эффективного исследования процессов в рассматриваемой сети при дуговых замыканиях в них.

3. Разработан способ регистрации процессов в электрических сетях на основе новой конструкции токопроводящих жил проводов и кабелей (Патент № 1187, KG).

4. Предложена новая модель промежутка с перемежающейся дугой, которая используется в схемах замещения сети с изолированной нейтралью при анализе процессов в них. На основе модели промежутка с перемежающейся дугой разработана компьютерная модель сети с изолированной нейтралью. Моделирование процессов на основе этой модели показало хорошее совпадение с результатами эксперимента в действующих сетях.

5. Разработаны новые элементы, такие как ВСП, УКР и ОПН–ВСП, использование которых позволило усовершенствовать защиту от ОЗЗ.

Практическая значимость полученных результатов. Предложенные в работе сведения по основным понятиям и методам нелинейной динамики (теория хаотических колебаний) применительно к электротехнике и электроэнергетике помогут исследователям по новому взглянуть на поведение перемежающейся электрической дуги, а физическая модель экспериментальной установки, приведенная в работе, – проверить новые гипотезы и теории, связанные с поведением перемежающейся дуги. Использование новой конструкции силового резистора с регулируемыми характеристиками дает возможность оптимизировать режим сети с изолированной нейтралью.

Приведенные в работе конструкции некоторых элементов сети позволят исследователям получать информацию о некоторых процессах в сети при дуговых замыканиях в них, использование ВСП, УКР и ОПН–ВСП дает возможность усовершенствовать защиту сети от ОЗЗ.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Уточненная гипотеза о природе перемежающейся электрической дуги (ПД) в сетях с изолированной нейтралью, основанная на понятии о самоорганизации (нелинейная динамика).

2. Физические модели экспериментальной установки сети с изолированной нейтралью при дуговых замыканиях в них.

3. Конструкция токопроводящих жил проводов и кабелей.

4. Модель дугового промежутка в схемах замещения сети с изолированной нейтралью.

5. Компьютерная модель электрической сети с изолированной нейтралью при дуговых замыканиях на землю и результаты моделирования.

6. Конструкция ВСП, УКР и ОПН–ВСП и усовершенствованная защита от ОЗЗ с их применением.

Реализация результатов. Основные результаты диссертационной работы внедрены в производство и учебный процесс. Акты о внедрении

результатов диссертационной работы приведены в Приложении 1 диссертации.

Личный вклад соискателя. Все научно-технические результаты диссертационной работы в основном получены лично автором под руководством научного руководителя.

А также, М.С. Асанов являлся консультантом при разработке алгоритма расчета параметра варьируемого силового резистора.

Остальные соавторы принимали определенное участие в разработке методов диагностирования элементов электрической сети и расчете параметра активного элемента силового резистора.

Апробация результатов диссертации. Результаты работы были представлены на следующих научных международных конференциях и азиатской школе семинаре:

- «Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения», Бишкек, 2001;
- «Проблемы математического моделирования и информационных технологий», Бишкек, 2001;
- «Проблемы управления и информатики», Бишкек, 2007;
- «Современные проблемы математики, информатики и управления», Алматы, 2008;
- «Проблемы оптимизации сложных систем» (V Международная школа-семинар), Новосибирск, 2009;
- «Проблемы управления и информационных технологий», НАН КР ИА Бишкек, 2010, (2 доклада).

Также результаты работы докладывались на расширенном заседании кафедры «Электроэнергетика» КГТУ, и в Кыргызском научно-техническом центре «Энергия» г. Бишкек.

Публикации. Основные научные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в 11 печатных работах, имеется 1 патент (от Кыргызпатент).

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из: введения, трех глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Содержание работы изложено на 187 страницах компьютерного текста, имеется 4 таблицы, 92 рисунка, копия 1 патента КР на изобретение, 2 копии актов о внедрении, результаты моделирования и текст программы, список литературы содержит 70 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, очерчен круг задач, решаемых в диссертации.

В первой главе охарактеризованы основные методы исследования процессов, сопровождаемых перемежающейся дугой (ПД) в нелинейных

системах (сети с изолированной нейтралью).

Определено, что совершенствование режимов нейтрали в сетях с изолированной нейтралью является одной из важнейших и ответственных задач, направленных на повышение технического уровня их эксплуатации. Поэтому для совершенствования режимов нейтрали в рассматриваемых сетях необходимы дополнительные исследования для их оптимизации, а это требует разработки как теоретических, так и экспериментальных методов исследования процессов, сопровождаемых ПД, а также вопросов быстрого погашения возникшей дуги.

Отмечено, что современные научные исследования в области электроэнергетики имеют некоторые особенности, которые зачастую делают невозможным их практическое проведение без использования специальных технологических средств, автоматизирующих физико-технический эксперимент, а также соответствующих программных обеспечений.

Определена цель эксперимента: изучение природы и выяснение условий возникновения ПД с помощью так называемых подобных физических моделей. Показано, что исследование этой общеизвестной проблемы именно в такой постановке связано с тем, что в последнее время в областях нелинейной динамики были обнаружены новые явления, главное из которых - хаотические колебания.

Обращено внимание на то, что особенностью электрических сетей с нелинейными элементами является возможность возникновения хаотических колебаний токов и напряжений, которые приводят к нежелательным явлениям, например ПД при дуговых замыканиях в сетях с изолированной нейтралью приводит к значительным перенапряжениям в сети. Следовательно, прежде чем перейти к исследованию условий возникновения ПД и её компьютерного моделирования, необходимо ознакомиться с новыми явлениями в нелинейной динамике. А именно, с хаотическими колебаниями в детерминированных системах, у которых возникновение стохастического процесса предопределено самим характером уравнений этой системы, то есть, **в нелинейных уравнениях динамической системы могут содержаться условия для образования и порядка, и хаоса.**

Вторая глава посвящена разработке физических и компьютерных моделей для исследования ПД. Необходимость в исследовании ПД путем её моделирования возникает в связи с решениями таких задач как изучение электрических процессов при дуговых замыканиях, в частности, с целью выявления возможных перенапряжений в сети, а также для испытания защиты при перемежающихся дуговых замыканиях.

Для решения первой задачи необходимо принять некоторую модель дугового замыкания в соответствующих схемах замещения электрической сети, а при решении второй необходима разработка физической модели с целью моделирования дуговых замыканий фазы на землю, позволяющей получить токи, которые соответствовали бы токам, возникающим при дуговых замыканиях в реальных сетях 6-35 кВ.

Имеется несколько теорий, описывающих процесс возникновения перемежающегося дугового замыкания на землю в высоковольтных сетях с изолированной нейтралью: классическая теория Петерсена, теория Петерса и Слепяна и теория Н.Н. Белякова.

Обычно характер процесса ПД непостоянен: разные его формы сменяют одна другую с различной случайной последовательностью.

В данной работе уточняется гипотеза, объясняющая характер поведения дуги в сетях с изолированной нейтралью при замыкании одной из фаз на землю, и модель дугового замыкания в схемах замещения электрической сети.

При анализе электрических сетей, электрические дуги представляются динамическими вольтамперными характеристиками (ДВАХ), которые имеют место при переменном токе. Сложные процессы ионизации в разрядном пространстве приводят к нелинейной зависимости между током и напряжением. Симметричность характеристик зависит от электродов. Если электроды одинаковы (рис.1, а), то ДВАХ симметрична, если они различны – то несимметрична (рис.1, б). При низкой частоте величина тока устанавливаются практически безинерционно, при более высокой частоте проводимость ионизированного междуэлектродного пространства, вследствие теплового процесса, начинает следовать за изменением напряжения с опозданием. Поэтому характеристика получается в виде петли гистерезиса (рис.1, в).

Обращается внимание на то, что в последних научных публикациях, при анализе переходных процессов в сетях с изолированной нейтралью с целью выявления возможных перенапряжений в них, дуговой промежуток в схемах замещения представляется приближенно в виде идеального ключа, который замыкается при достижении напряжением значения, равного пробивному, а размыкается при прохождении тока через нуль. Динамическая вольтамперная характеристика принимается симметричной (рис.1, а или рис.1, в). Однако, во многих случаях при некотором расстоянии между проводом фазы и землей (или заземленным токопроводящим предметом, на который произошло замыкание) заземляющая дуга горит неустойчиво, хаотически погасая и вновь зажигаясь, в основном, между неодинаковыми электродами.

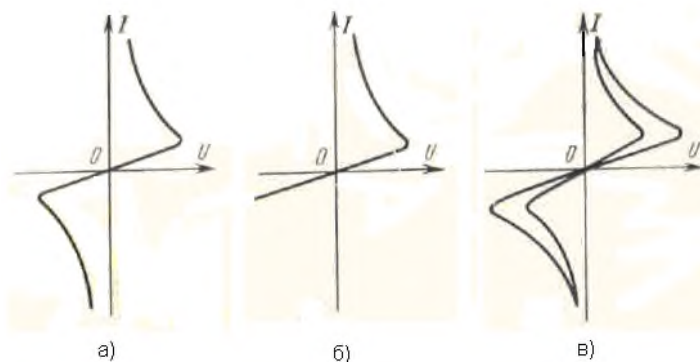


Рис. 1. Динамические вольтамперные характеристики дуги

Эти электроды корректнее представлять в виде системы «игла-плоскость» (фаза-земля), следовательно, при моделировании ПД следует воспользоваться ДВАХ, соответствующей характеристике несимметричных электродов (рис. 1, б).

Модель дугового замыкания в схемах замещения электрической сети. Электрический разряд воздушного промежутка между поврежденной фазой и землей можно представить как пробой газов в сильно неравномерном поле, так как разряд протекает между неодинаковыми (несимметричными) электродами. В силу ряда особенностей развитие стримера при отрицательном острие происходит с большими трудностями, поэтому разрядное напряжение при отрицательной полярности острия в 2 – 2.5 раза больше, чем при положительной полярности.

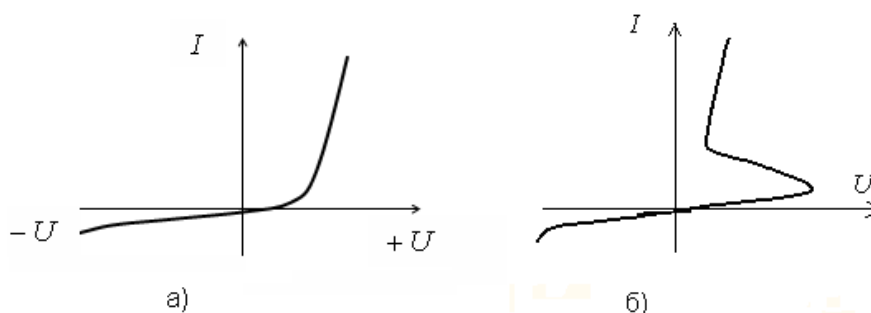


Рис. 2. Вольтамперная характеристика диода (а) и тиристора (б)

На переменном напряжении пробой происходит всегда на положительной полярности. Вследствие этого дуговой промежуток можно заменить диодом, имеющим нелинейную вольтамперную характеристику (рис.2, а). Однако, сравнение предлагаемой ВАХ с реальной динамической вольтамперной характеристикой ПД для неодинаковых электродов (рис.1, б) натолкнуло нас на идею, что наиболее приемлемым является представление дугового промежутка в схемах замещения тиристором, так как его характеристика наиболее подобна ВАХ перемежающейся дуги (рис.2,б).

Физическая модель установки для исследования перемежающейся дуги в сетях с изолированной нейтралью. На основе анализа низковольтной физической модели устройства, моделирующего дуговые замыкания, установлено, что оно значительно упрощает испытание защиты при перемежающихся дуговых замыканиях. Однако, рассмотренная физическая модель имеет следующие недостатки:

- смоделированный ток дуги в виде высокочастотных затухающих колебаний возникает регулярно каждый полупериод промышленной частоты, тогда как ПД ведет себя хаотично;

- вообще не ставится вопрос о соответствии вольтамперных характеристик смоделированной и действительной дуг.

Для полного и всестороннего понимания происходящих процессов при перемежающихся дуговых замыканиях на землю представляет определенный

практический и научный интерес исследование хаотических колебаний на моделях реальных сетей.

В работе представлена экспериментальная установка (рис.3) для: изучения условий возникновения хаотических колебаний в изучаемой системе; определения критических значений параметров; установления критериев хаоса.

Объектом исследования является физическая модель электрической сети напряжением 10 кВ. В числе других важных деталей установки – система обработки и хранения данных (компьютер для управления экспериментом и анализа данных). Регулируемыми параметрами модели (рис.3) являются переменные конденсаторы C_a , C_b и C_c , представляющие в модели емкости соответствующих фаз сети относительно земли, переменный резистор R_N , который подключается к нейтрали при необходимости исследования влияния значения этого резистора на продолжительность существования перемежающейся дуги. Степень нелинейности промежутка «игла-плоскость» регулируется изменением симметрии системы электродов, их форм и расстояния между ними.

Действие установки следующее. В исходном состоянии контакты выключателя Вк разомкнуты. В соответствии с управляющей программой от ЭВМ подается сигнал на запуск специального синхронизирующего устройства, который в определенный момент времени подает синхронизирующий импульс, в результате чего срабатывает ГИН (генератор импульсных напряжений) и пробивается промежуток между электродами «игла-плоскость». При этом происходит разрядка ГИТ (генератор импульсного тока) на промежуток «игла-плоскость». Пробой «игла-плоскость» создает замыкание соответствующей фазы на землю, возникает ПД при выполнении соответствующего условия. Условия для возникновения ПД создаются регулированием параметров системы.

Многokrатный искровой промежуток прекращает импульсный ток при прохождении через нуль и препятствует протеканию тока промышленной частоты от источника через элементы схем ГИН и ГИТ. Если целью исследований является проверка дугогасящей способности резистора R_N , то после возникновения ПД от управляющей ЭВМ подается сигнал на установление нужного значения параметра резистора и его включение.

Сигналы, содержащие в себе информацию о законе изменения величины напряжений в фазах b и c , при переходных процессах, возникающих от однофазного замыкания в фазе A , а также закон изменения тока перемежающейся дуги, подаются для измерения и анализа в ЭВМ через блок согласования и DAQ – устройство.

Предложенная экспериментальная установка максимально приближает условия эксперимента к реальным и позволяет более эффективно исследовать условия возникновения и гашения перемежающейся дуги и переходные процессы в распределительных сетях. Для случая, когда необходимо проводить исследование, с целью определения степени

перенапряжений на неповрежденных фазах, при дуговых замыканиях на землю поврежденной фазы с помощью физических моделей, выполненных на низком напряжении, менее опасных, чем реальная сеть на напряжение 6 – 35 кВ, предлагается следующая физическая модель (рис.4).

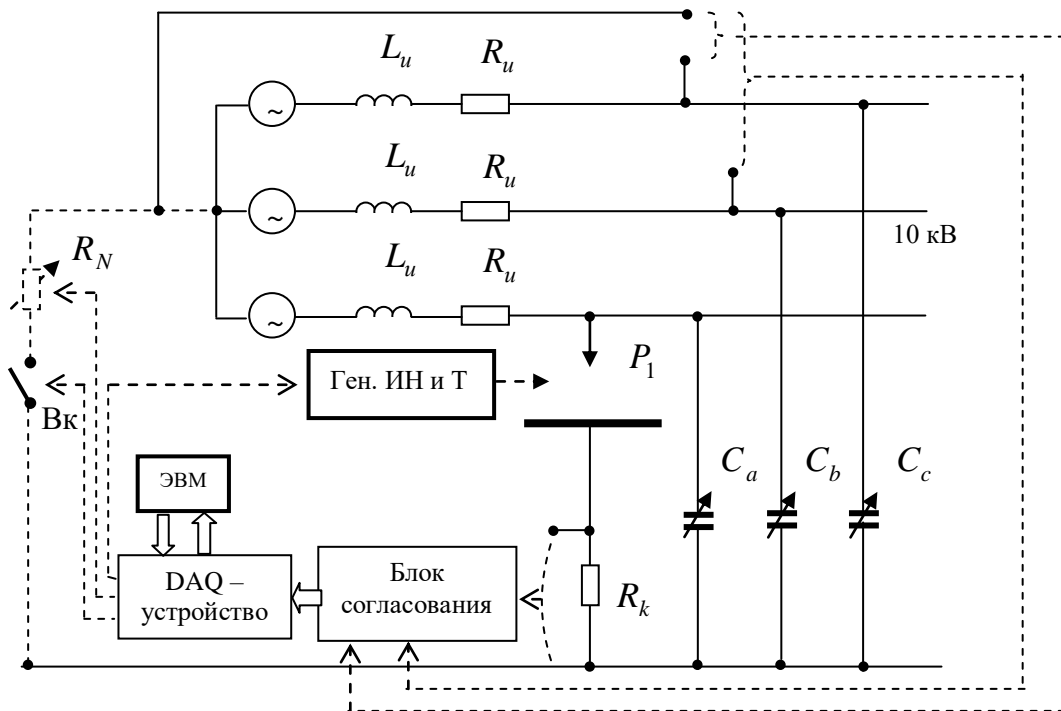


Рис.3. Схема исследования перемежающейся дуги и переходных процессов при однофазном замыкании на землю на модели электрической сети 10 кВ

Как мы отмечали выше, дуговой промежуток в схемах замещения в физических моделях представляется в виде идеального ключа, который замыкается при достижении напряжением значения, равного пробивному, а размыкается при прохождении тока через нуль. Такое представление дугового промежутка вызывает периодическую принудительную коммутацию электрической сети, тогда как электрическая дуга в промежутке и соответствующая электрическая сеть представляют собой единый «организм», и его поведение должно подчиняться внутреннему закону поведения нелинейной системы, которой свойственно хаотическое поведение. Поэтому, переходной процесс в нем протекает по иному пути, не характерному рассматриваемой нелинейной системе, к тому же величина пробивного напряжения дугового промежутка подвержена случайному разбросу и влиянию эффекта полярности.

Представление дугового промежутка в схемах замещения в виде диода учитывает нелинейность электрической дуги и эффект полярности, однако более предпочтительным является, представление дугового промежутка представлен в виде управляемого нелинейного элемента, например, тиристора, так как его ВАХ наиболее соответствует вольтамперной характеристике дуги, когда она возникает между неодинаковыми

электродами. Такое представление позволяет учитывать все особенности поведения перемежающейся дуги и более точно исследовать переходный процесс в сети с изолированной нейтралью, приводящий к перенапряжениям в системе.

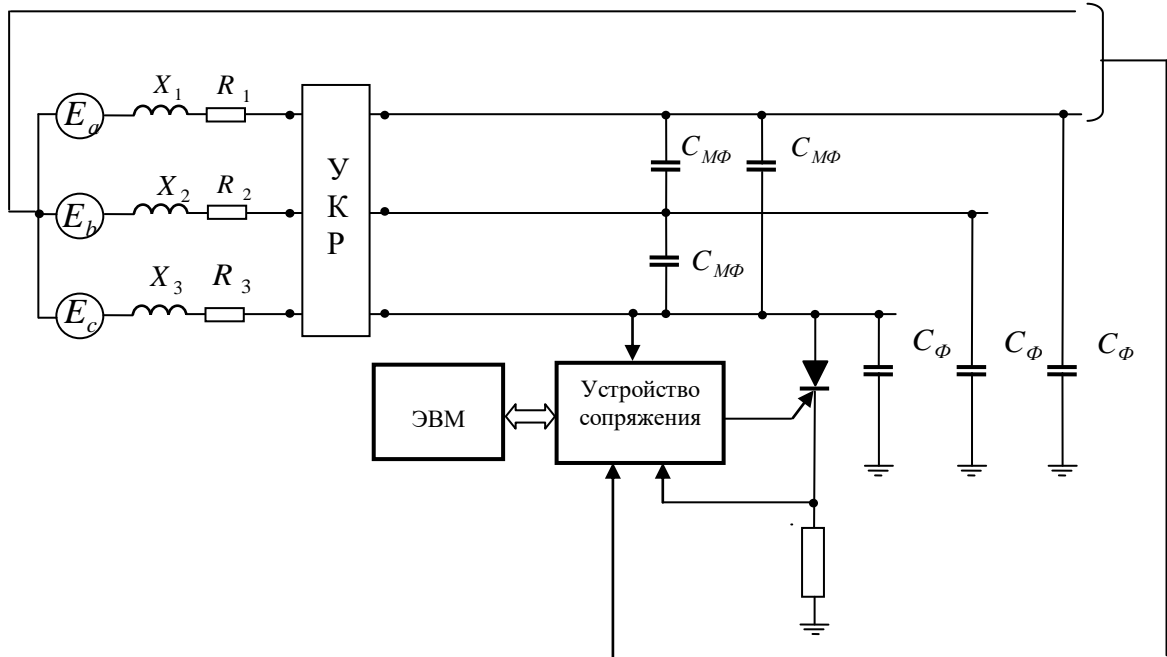


Рис.4. Физическая модель на низком напряжении для исследования перемежающейся дуги и переходных процессов при однофазном замыкании на землю

Для исследования сложных процессов, к которым относятся и процессы, связанные с дуговыми замыканиями в сетях с изолированной нейтралью, целесообразно проведение исследования с использованием различных методов моделирования (физических и математических).

Рассмотрим математическую модель сети с локальной неоднородностью. Предполагаем, что локальная неоднородность возникла из-за ПД в рассматриваемой сети.

Дуговой промежуток в схеме замещения представлен нелинейным элементом, имеющим такую же ВАХ, что и перемежающаяся дуга. Так как дуга возникла между неодинаковыми (несимметричными) электродами, то динамическая вольтамперная характеристика дуги имеет вид, показанный на рис. 1, б, при этом математическую модель дуги получим путем аппроксимации этой зависимости. Подходящие методы аппроксимации для построения математических моделей нелинейных элементов рассмотрены в первой главе диссертации.

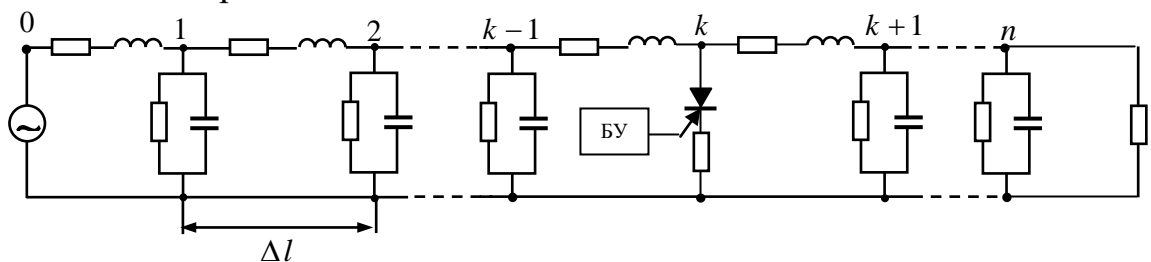


Рис. 5. Цепная схема локально-неоднородной линии

Учитывая выше сказанное, схему замещения локально-неоднородной линии для построения математической (компьютерной) модели можно изобразить так, как показано на рис.5. Математическая модель разработана с использованием метода переменных состояния для приведенной схемы замещения.

Результаты моделирования приведены на рис.6.

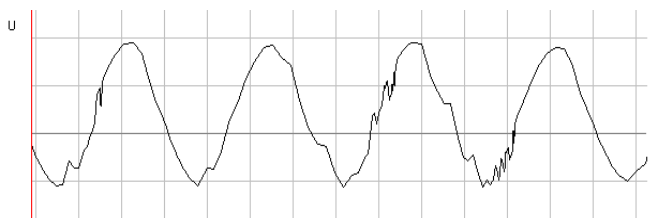


Рис.6. Результаты моделирования (зависимость линейного напряжения между фазой А и поврежденной фазой В при дуговых замыканиях на землю)

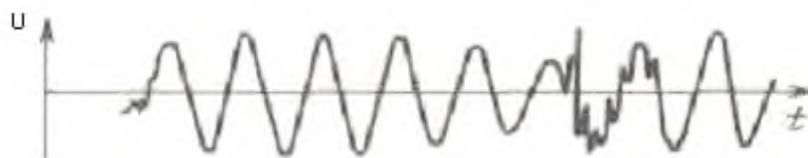


Рис. 7. Осциллограмма дуговых перенапряжений в сети 6 кВ

Для сравнения (на рис.7), приведена осциллограмма дуговых перенапряжений при однофазном замыкании на заземлю в сети 6 кВ. Здесь, видно хорошее качественное совпадения сравниваемых осциллограмм.

В **третьей главе** определено, что характер процессов, протекающих в сети при ОЗЗ, в большой степени зависит от режима заземления нейтрали. Установлено, что эксплуатируемые в сетях КР, также как и в сетях СНГ, защиты с традиционным способом заземления нейтрали, далеки от совершенства, поэтому требуется разработка: более совершенных защит и устройств, позволяющих регулировать режимы нейтрали для его оптимизации; устройств контроля состояния режима сети и более эффективного погашения перемежающейся дуги. Отмечено появление новых возможностей при заземлении нейтрали через резистор, так как опыт эксплуатации распределительных сетей в СНГ показал, что сохранение традиционных способов заземления существенного «прорыва» в этой области не дает.

С целью обоснования необходимости перевода сетей в режим с резистивным заземлением нейтрали, проведен сравнительный анализ различных способов заземления нейтрали.

Установлено, что заземление нейтрали через резистор имеет неоспоримые достоинства, подтвержденные мировой практикой и опытом, накопленным в России, а недостатки резистивного заземления нейтрали,

такие как увеличение тока замыкания на землю (максимум на 40%); появление на подстанции греющего оборудования (резистора мощностью 30–400 кВт), не являются значительными. Определено, что силовые резисторы находят все более широкое применение в электротехнике и электроэнергетике. Они выполняют ответственную функцию защиты, управления и регулирования, но существующие конструкции силовых резисторов имеют недостаток: они в силу своих конструктивных особенностей имеют нерегулируемую величину сопротивления и вольтамперную характеристику.

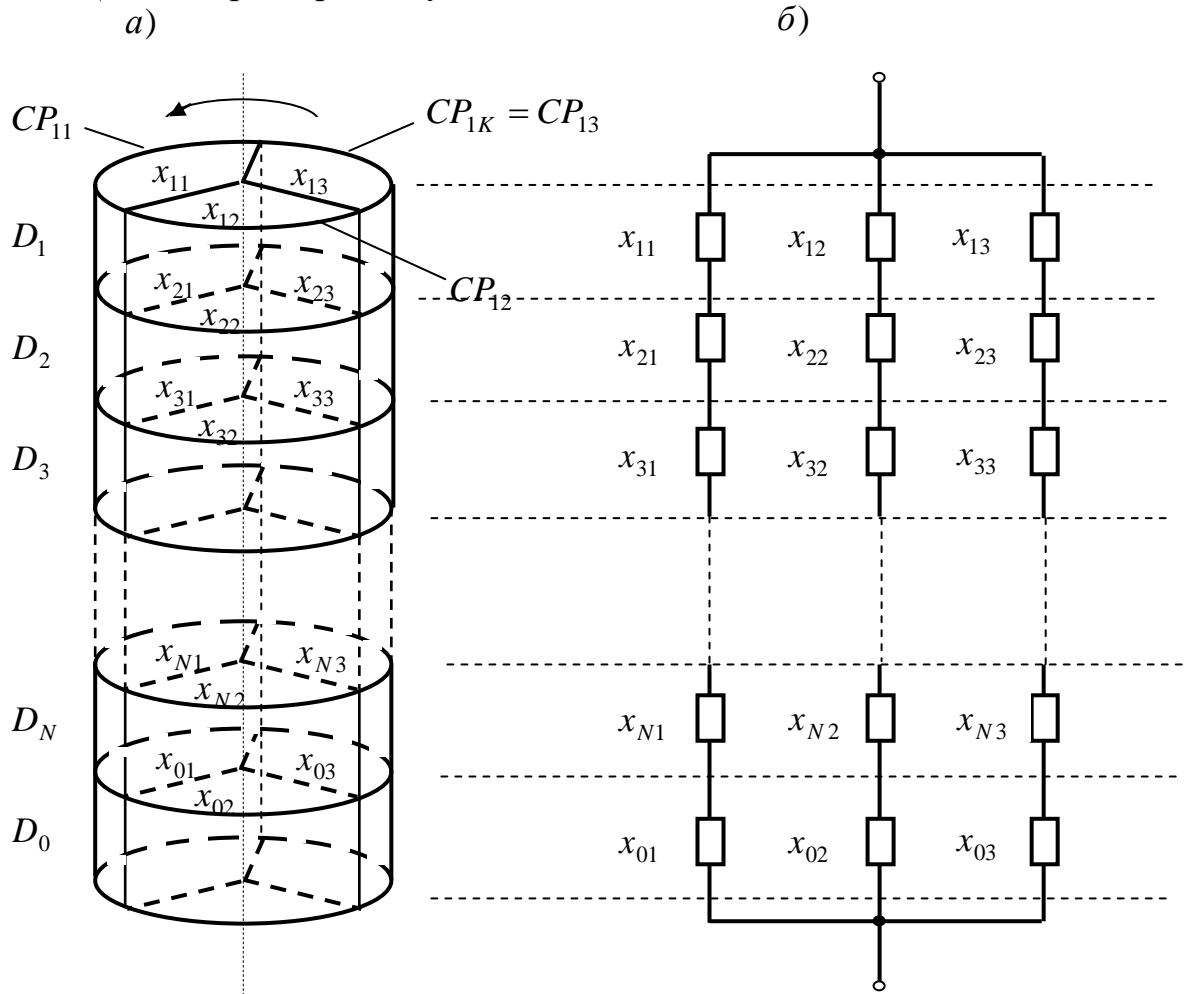


Рис. 9. Конструкция устройства ВР (а) Схема замещения (б)

Предложен алгоритм управления параметрами силового резистора (рис.8) с регулируемыми (варьируемыми) значениями сопротивления и вольтамперной характеристикой, а также усовершенствованная конструкция такого силового резистора (рис.10). Эти силовые резисторы не имеют указанных выше недостатков. Диск D_i каждого i -го слоя, (рис.8 а) разбит на K равных, изолированных друг от друга секторов (колонн), заполненных композиционными электропроводящими материалами с разными ВАХ и сопротивлениями R_{ij} , $i = 0, 1, 2, \dots, N$, $j = 1, 2, \dots, K$. Диски, совершая позиционное вращательное движение, образуют из K своих секторов K параллельных колонн, каждая из которых состоит из $N + 1$ последовательно

соединенных сопротивлений. Таким образом, позиционируя диски каждого i -го слоя, регулируется ВАХ и величина эквивалентного сопротивления устройства ВР, схема замещения которого показана на рис.8 (б), где x_{ij} - состояние ячейки CP_{ij} устройства CP , физическая величина которого - сопротивление. Величина x_{ij} зависит от номера положения $n_i \in \{1, 2, \dots, K\}$ диска D_i i -го слоя, характеризующего текущее состояние данного диска.

Усовершенствован метод расчет величины сопротивления и состава активного элемента силового резистора, на основе которого получена более общая формула $\lambda_{см} / \lambda_2 = \theta_2 \cdot f(\theta_2)$ для расчета электрической проводимости $\lambda_{см}$ композиционного материала (КМ). КМ представляет собой механическую смесь проводящих и непроводящих частиц, при известных значениях проводимости λ_2 проводящего материала и его относительная объемная концентрация θ_2 . Тип функции $f(\theta_2)$ взаимосвязан с характером распределения проводящих частиц в смеси. При равномерном распределении частиц в объеме смеси функция имеет следующий вид $f(\theta_2) = \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot \theta_2\right)$, и получаем известную формулу

$$\lambda_{см} / \lambda_2 = \theta_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot \theta_2\right).$$

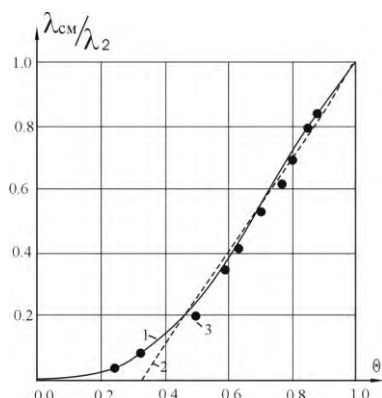


Рис. 9. Зависимость относительной электропроводности спеченного порошка меди от объемного содержания проводящей фазы

На рис.9 показана зависимость относительной электропроводности спеченного порошка меди от объемного содержания проводящей фазы при различных способах подсчета: 1- по полученной формуле, 2- по формуле Оделевского, 3- экспериментальные точки. Видно хорошее совпадение результатов расчета по предложенной формуле с экспериментом.

Проанализированы способы гашения перемежающейся дуги в сетях с изолированной нейтралью, которые до сих пор остаются актуальными.

Сутью этих способов являются закорачивание на землю поврежденной фазы и заземление шины аварийной фазы на подстанции. В результате этого повышается надежность электроснабжения при

кратковременных самоустраняющихся однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) за счет снижения числа аварийных отключений питающих линий и гашения дуги за счет отвода тока однофазного замыкания линии на землю от места ОЗЗ. Поэтому имеются все основания для применения метода кратковременного заземления шин аварийных фаз взамен ДК, используемых в электрических сетях уже около столетия. Причем надо отметить, что кратковременное замыкание одной из шин подстанции (к которой подключена аварийная фаза) на время гашения дуги КЗ в сетях с изолированной нейтралью не может вызвать каких-либо нарушений функционирования остальных линий, подключенных к тем же шинам подстанции.

Показано, что предложенная в работе усовершенствованная конструкция варьлируемого силового резистора (ВСР), (рис.10), конструкция комбинированного устройства «ограничитель перенапряжения – варьлируемый силовой резистор» (ОПН–ВСР), (рис.12), а также устройство для контроля режима электрической сети 6 – 35 кВ, (рис.11) улучшают эффективность обнаружения поврежденной фазы и гашения перемежающейся дуги.

Приводятся конструкции и принципы действия этих устройств (ВСР, УКР, ОПН-ВСР).

Варьлируемый силовой резистор. На рис.10 ВСР, для наглядности с целью показания его внутренней конструкции, изображен как устройство, состоящее из трех частей (1, 2, 3), разнесенных в пространстве. В самом деле ВСР – цельное устройство. Корпус ВСР выполнен из прочного в электрическом и механическом отношениях изоляционного материала, содержимое которого и его параметры определяются функциональными назначениями этих элементов: части ВСР с номером 4 выполняются из проводниковых, а с номерами 6 – из изоляционных материалов. Секторы 5 (а1÷а4) заполнены композиционными материалами с заданными электрическими параметрами (электрическое сопротивление, вольтамперная характеристика).

Варьлирование параметров ВСР осуществляется путем открытия или закрытия тиристоров, с помощью которых можно изменять число параллельно подключенных резисторов (рис.10, б). Тиристоры управляются от микропроцессорного устройства (МПУ) через блок управления (БУ). МПУ получает информацию о необходимости управления тиристорами от устройства контроля режимами (УКР) сети.

При соединении нейтрали силового трансформатора с землёй через ВСР появляется возможность регулирования режима нейтрали сети. При закрытом состоянии всех тиристоров получаем систему с изолированной нейтралью.

При открытии всех тиристоров – резистивное заземление с наименьшим сопротивлением ВСР, при открытии только одного тиристора – высокоомное резистивное заземление.

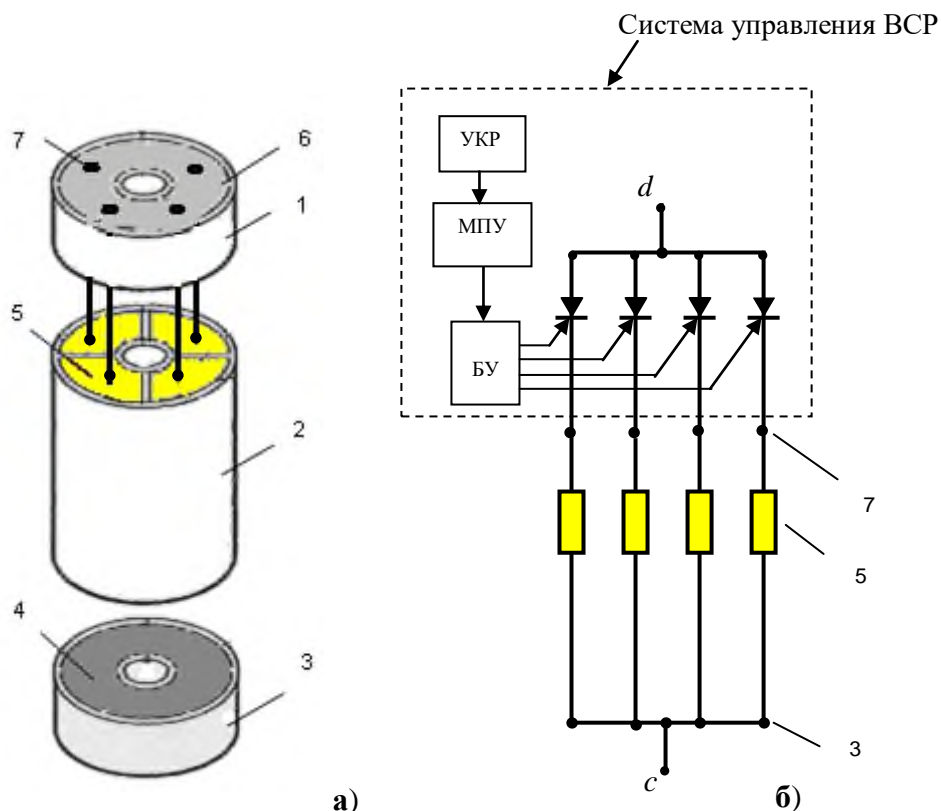


Рис. 10. Варьируемый силовой резистор

Устройство контроля режима электрической сети (УКР). Устройство (рис.11) состоит из магнитопровода 1 цилиндрической формы, в торцах которого по окружности под углами 120° просверлены отверстия, через которые проходят фазы A, B, C , изолированные от магнитопровода проходными изоляторами 5.

В расточке магнитопровода напротив каждой фазы расположены прямоугольные рамки 2, 3, 4 с двумя обмотками в каждой из них. Концы обмоток обозначены так (a_1, a_2) и (a_3, a_4) , соответственно концам двух обмоток, расположенных на рамке 2 и т.д.

Одна из таких рам с номером 3 показана на рис. 11. Рамки 1, 2, 3 ориентированы по отношению к соответствующим фазам таким образом, чтобы магнитный поток от токов этих фаз был бы максимальным, при этом характер распределения индукции вращающегося магнитного поля в зоне расположения обмоток зависит от соотношения токов в фазах A, B, C .

Отдельные обмотки в каждой рамке соединены между собой таким образом, что одни обмотки в результате соединения образуют открытый треугольник, а концы других свободны.

В результате взаимодействия вращающегося магнитного поля с этими обмотками на концах разомкнутого треугольника и на свободных концах других обмоток появляются напряжения, которые несут информацию о режиме электрической сети.

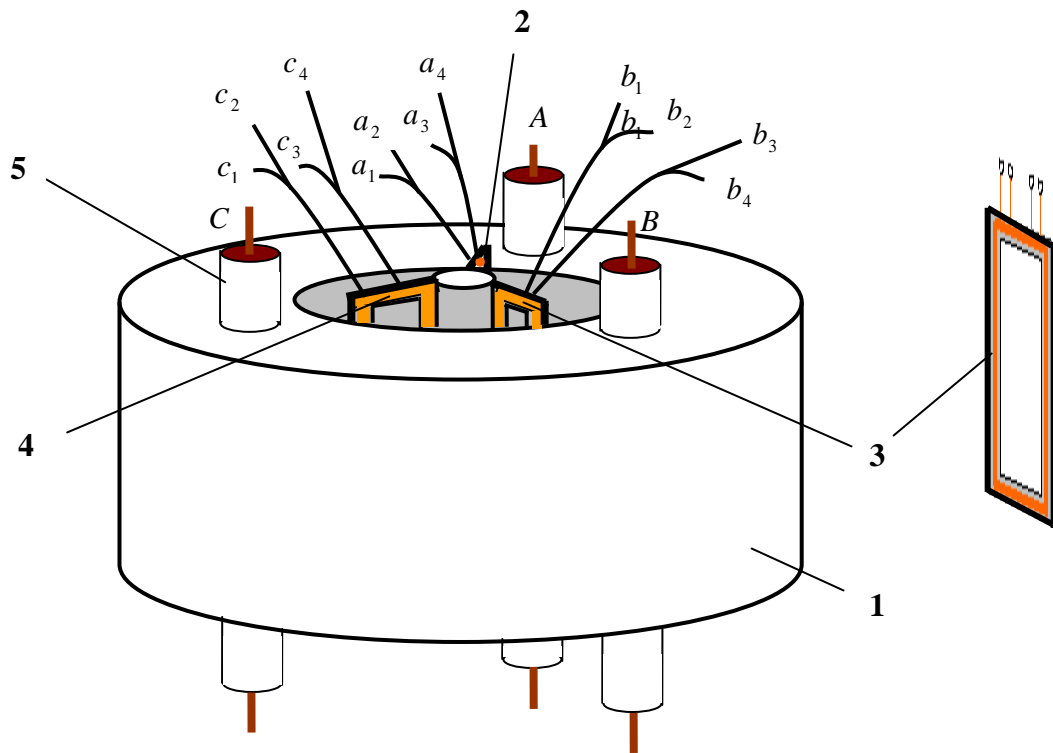


Рис. 11. Устройство контроля режима электрической сети

Комбинированное устройство по ограничению перенапряжений в переходных режимах ОЗЗ или варьирования сопротивлением силового резистора (ОПН–ВСП). Конструкция и принцип действия ОПН–ВСП такие же, как у ВСП, за исключением элемента 8 (рис.12) Сектор 8 заполнен композиционным полупроводниковым материалом, обладающим свойством ОПН.

В исходном состоянии все тиристоры закрыты, поэтому ОПН–ВСП находится в режиме ОПН. Для изменения режима работы установки, например, для перевода её в режим ВСП, необходимо подать управляющий сигнал на любой из трех тиристоров, в результате ОПН шунтируется резистором и установка переходит в режим работы ВСП. Величина сопротивления ВСП, как было уже сказано, варьируется количеством открытых тиристоров. Отмечено, что использование комбинированного устройства ОПН – ВСП и УКР (рис.13) позволило упростить защиту городских сетей напряжением 10 кВ.

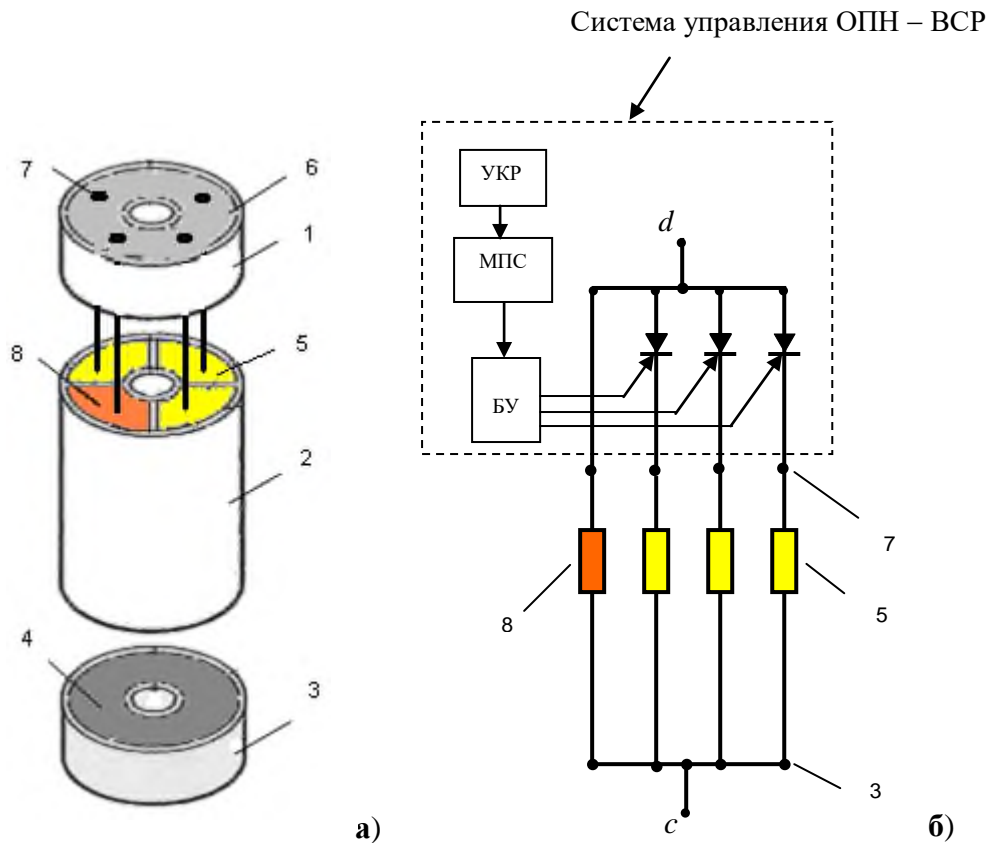


Рис. 12. Комбинированное устройство ОПН–ВСР

Изложен принцип работы защиты. Он заключается в следующем.

После замыкания одной из фаз на землю, микропроцессорная система определяет поврежденную фазу, используя сигнал, поступивший от УКР.

После этого МПУ подает команду для срабатывания устройства ОПН–ВСР, в результате это устройство переходит в режим ВСР и кратковременно замыкает поврежденную фазу на землю, а через определенное время переходит в режим работы ОПН. В результате такого действия происходит погашение ПД.

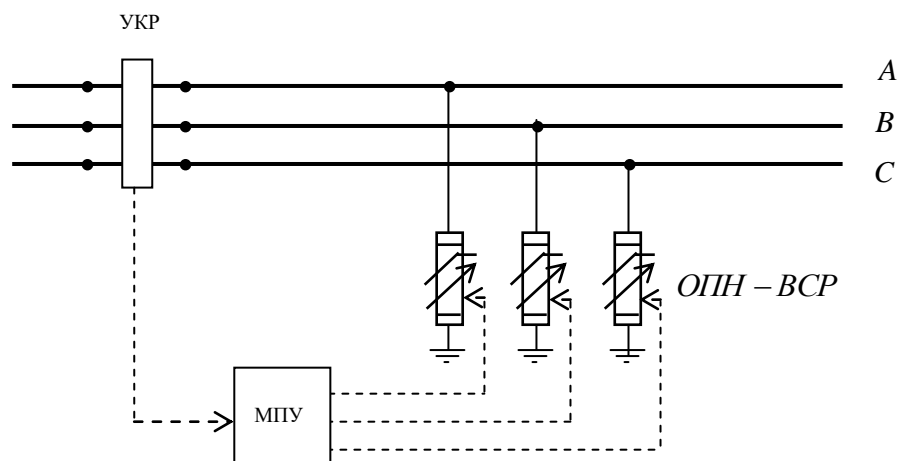


Рис. 13. Упрощенная схема резистивного заземления в сетях 6–10 кВ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе получены следующие результаты:

- 1) обоснована общность таких явлений, как хаотические колебания в детерминированных системах и перемежающаяся дуга, в сетях с изолированной нейтралью при однофазном замыкании на землю;
- 2) уточнена модель дугового промежутка в схемах замещения соответствующей электрической сети;
- 3) определены недостатки существующей низковольтной физической модели и предложены близкие к реальности физические модели исследуемой сети для испытания защиты при перемежающихся дуговых замыканиях;
- 4) получен патент на изобретение многофункционального провода для воздушных линий (ВЛ) электропередачи, позволяющего параллельно с передачей электрической энергии проводить непрерывный мониторинг токовой нагрузки ВЛ и получать другую информацию, например, информацию о законе изменения мгновенных значений тока в линии, а также использовать для обнаружения момента появления перемежающейся электрической дуги;
- 5) предложена гипотеза о природе перемежающейся электрической дуги;
- 6) составлена математическая (компьютерная) модель исследуемой сети, позволяющая проводить исследования процессов при дуговых замыканиях в линии;
- 7) показано качественное совпадение результата экспериментального исследования процессов в реальной линии 6 кВ при однофазном замыкании на землю и результата компьютерного моделирования;
- 8) разработан алгоритм расчета параметров усовершенствованного силового резистора;
- 9) предложен более точный метод расчета величины сопротивления и состава активного элемента силового резистора;
- 10) предложенные в работе:
 - усовершенствованная конструкция варьируемого силового резистора (ВСР);
 - устройство для контроля режима электрической сети 6 -35 кВ (УКР);
 - комбинированное устройство ОПН–ВСР;позволяют более простыми способами решать такие задачи, как гашение перемежающейся дуги, отключение аварийной линии.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в журналах и сборниках

1. Апышев Д.А., Ауда Авад А.О., Иманакунова Ж.С. Состояние вопроса математического моделирования синхронных генераторов для исследования переходных процессов в электроэнергетических системах // Материалы международной конференции «Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения», (23–25 мая 2001 г.) Часть II. Транспорт, Энергетика, Техника / КТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 2001. – С.98–108.
2. Арфан Аль Хакам, Трукмен уулу Тилек, Ибраева Д.Р., Иманакунова Ж.С., Четвертак Д.А. Автоматизированная система научных исследований в электроэнергетике // Материалы международной конференции «Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения», Бишкек, май 2001. – С. 108–113.
3. Апышев Д.А., Ауда Авад А.О., Бакасова А.Б., Иманакунова Ж.С. Математические модели нелинейных элементов электроэнергетических систем // «Проблемы математического моделирования и информационных технологий». П-78 Доклады Международной Конференции (11–12 октября 2001 г.). Бишкек, 2001. – С. 191–195.
4. Абдымомунова А.К., Бакасова А.Б., Иманакунова Ж.С. Математическая модель электрических сетей с нелинейными элементами // Известия КГТУ, 2006. – №10. –С. 221–226.
5. Апышев Д.А., Дурсалиев М.Д., Иманакунова Ж.С. Учет свойств и условий функционирования электроэнергетической системы при математическом моделировании // НАН КР ИА Проблемы автоматизации и управления. – 2007. – С. 204–209.
6. Иманакунова Ж.С. Методы исследования хаотических колебаний в электрических сетях 6–35 кВ // Известия КГТУ, 2007. – №12. –С. 104–108.
7. Асанова С.М., Иманакунова Ж.С., Сатаркулов К.А. Исследование процессов в электрических сетях 6–35 кВ с помощью физических и математических моделей // НАН КР ИА Проблемы автоматизации и управления. – 2008. – С. 168–174.
8. Асанова С.М., Иманакунова Ж.С., Тажибаев К. Диагностика резистивных цепей с использованием нового способа измерения электрического тока // Вестник КазНТУ, 2008. – №4 (67). – С. 137–141.
9. Иманакунова Ж.С. Алгоритм расчета сопротивления силового резистора с управляемой характеристикой // Труды V Международной азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем». Новосибирск: Ин-т вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 2009. – С. 48–53.

10. Иманакунова Ж.С. Перемежающаяся дуга как проявление нелинейной динамики электрических сетей // НАН КР ИА Проблемы автоматки и управления №2. Материалы международной конференции «Проблемы управления и информационных технологий» – 2010. – С. 128–131.
11. Тажибаев К., Иманакунова Ж.С. Суеркулов М.А., Абдымомунова А.К. Оценка нижней границы концентрации проводящих частиц в силовых резисторах и при диагностировании состояния изоляции высоковольтной аппаратуры. // НАН КР ИА Проблемы автоматки и управления №1. Материалы международной конференции «Проблемы управления и информационных технологий». – 2010. – С. 218–222.

Полученный патент

12. Сатаркулов К.А., Асанова С.М., Арфан А.Х., Иманакунова Ж.С. и др. Токопроводящая жила проводов и кабелей // Государственное агентство по интеллектуальной собственности при правительстве Кыргызской Республики (Кыргызпатент). Патент №1187 от 28 августа 2009 года.

РЕЗЮМЕ

Иманакунова Женишкуль Сартбаевна **Моделирование перемежающейся дуги и способ её погашения в сетях 6 – 35 кв**

Диссертационная работа представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 «Электростанции и электроэнергетические системы»

Ключевые слова: нелинейная динамика, хаотические колебания, перемежающаяся дуга, физическая модель, математическая модель, модель дугового промежутка, режим нейтрали, резистивное заземление, динамическая вольтамперная характеристика дуги, дуговое замыкание, гашение перемежающейся дуги.

Цель работы: применение компьютерного моделирования и методов нелинейной динамики (теория хаотических колебаний) для исследования сложных процессов в сетях с изолированной нейтралью, учитывая нелинейности элементов сети; разработка способа погашения перемежающейся дуги для ограничения перенапряжений при дуговых замыканиях в рассматриваемой сети; разработка физической модели экспериментальной установки для более эффективного исследования процессов в рассматриваемой сети.

Полученные результаты: уточнена гипотеза о природе перемежающейся дуги в сетях с изолированной нейтралью, основанная на понятиях **нелинейной динамики**; разработаны физические модели экспериментальной установки для более эффективного исследования процессов в рассматриваемой сети при дуговых замыканиях в них; разработан способ регистрации процессов в электрических сетях на основе новой конструкции токопроводящих жил проводов и кабелей (патент №1187); предложена новая модель промежутка с перемежающейся дугой, которая используется в схемах замещения сети с изолированной нейтралью

при анализе процессов в них, на основе модели промежутка с перемежающейся дугой разработана компьютерная модель сети с изолированной нейтралью. Моделирование процессов на основе этой модели показало хорошее совпадение с результатами эксперимента в действующих сетях; разработаны новые элементы, такие как варьруемый силовой резистор (ВСР), устройство для контроля режима сети и комбинированное устройство ОПН–ВСР, использование которых позволило усовершенствовать защиту от однофазного замыкания на землю.

РЕЗЮМЕ

Иманакунова Женишкул Сартбаевна

6-35 кВ тарамдарындагы жанып-ёчп туруучу чубалжыган электр отун моделдөө жана аны ёчпрынн ыкмасы

Диссертациялык иш 05.14.02 «Электрчордондор жана электрэнергетикалык системдер» адистиги боюнча техникалык илимдердин талапкери деген окумуштуу даражага жетишпёгё сунушталат.

Чечпч сёздөр: тз эмес ёзгёрпштёг динамика, баш-аламан термелпёлёр, жанып-ёчп туруучу от, физикалык модель, математикалык модель, чубалган оттун модели, нейтралдын иштөө ирети, каршылык аркылуу жердештирп, жанып-ёчп туруучу отту ёчпрп.

Иштин максаты: тарамдардагы элементтердин тз эмес ёзгёрпсн эске алуу менен нейтралы обочолонгон тарамдардагы татаал процесстерди изилдөө пчн компьютердик моделдөөнн жана тз эмес ёзгёрпштёг динамиканын (баш-аламан термелпнн жараяны) амалдарын колдонуу; бёлпштпрпч тарамдардагы чубалган от тпрндёг туташуу учурундагы ашыкча чпалууну тёмндётп пчн жанып-ёчп турган чубалжыган отту ёчпрынн ыкмасын иштеп чыгуу; тарамдардагы процесстерди натыйжалуураак изилдөө пчн эксперименттик орнотмонун физикалык моделин иштеп чыгуу.

Иштин жыйынтыгы: тз эмес ёзгёрпштёг динамиканын тпнпк-тёрнё негизделген нейтралы обочолонгон тарамдардагы жанып-ёчп туруучу чубалжыган оттун болушу жённдёг гипотеза такталды; тарамдардагы чубалган от тпрндёг туташуунун процесстерин натыйжалуураак изилдөө пчн эксперименттик орнотмолорунун физикалык моделдери иштелип чыгарылды; ёткёргчтёрдн жана кабелдердин агын ёткёрпч ёзётёрпн жапы тпзпштёрп пайдалануунун негизинде электр тарамдарындагы процесстерди каттоонун ыкмасы (патент 1187) иштелип чыгарылды.

Жанып-ёчп туруучу чубалган оттун жапы физикалык жана компьютердик моделдери сунушталган, буларды нейтралы обочолонгон электр тарамдарынын алмаштыруучу схемасын тпздё колдонсо болот; сунушталган моделдөөлёр иштеп турган тарамдарда жпргпзпгён эксперименттик натыйжаларын ырастады; кубаттуу ёзгёрпмё резистор (ВСР), биргелештирилген ОПН_ВСР сыяктуу жапы элементтер иштелип

чыгарылды, буларды колдонуу жерге туташуудан коргогучту өркөндөтүүгө мүмкүнчүлүк берди.

RESUME

Jenishkul Sartbaevna Imanakunova

Modeling of a variable arc and method of its absorption at 6-35 kw net.

Dissertation paper is given for researching of academic degree of a candidate of technical Sciences by specialty 05.14.02 “Electric stations and electroenergetical systems”

Key words: nonlinear dynamics, oscillations a variable arc, physical model, mathematical model, model of arc gap, neutral circle resistive earthing, dynamic avometer arc characteristic, arc switching, variable arc killing.

Purpose of work: application of computer modeling and nonlinear dynamics methods, for hard processes researchment according in nets with isolated neutral according net elements nonlinearity; variable arc killing methods development for over voltage limiting under arc locking for physical model development of experimental installation for more effective processes researchment at considering nets.

Given results: hypothesis about variable arc nature in isolated neutral nets, which is based on nonlinear dynamics is made; physical models of experimental installation for more effective process researchment at considering nets under arc locking in its are developed; registration process method in electrical nets based on new construction of circuit diagrams of cables and conductors (patent № 1187) is made too; also a new model of space with variable arc, which is used in net substitution schemes with isolated neutral analysing these processes is given; on base of space model with variable arc the computer net model with isolated neutral is developed processes modeling basing on this model gives good results of experiment in working nets; new elements as variable power resistor (BCP), device for net's work control and combined device (ОПН-BCP) are developed. Its usage lets reproduce defence from single-phase switching on the ground.