

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

На правах рукописи
УДК 621.31+667.033.33

ИСАКЕЕВА ЭЛМИРА БАЗАРКУЛОВНА

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА БАЗЕ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

Специальность 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек-2006

Работа выполнена на кафедре "ТОЭ и ОЭ" и НИИ ФТП Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова.

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор КГТУ
Сатаркулов Калмырза Асанович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Обозов Алайбек Джумабекович

кандидат технических наук, доцент
Дикамбаев Шамиль Бектурганович

Ведущая организация: **ОАО Национальные электрические сети Кыргызстана (НЭСК).**

Защита состоится «21» апреля 2006 г. в «16» ч. «00» мин.
на заседании диссертационного совета Д 05.05.286 при Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова, 720044,
г. Бишкек, пр. Мира, 66.

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

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направить по адресу: 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, Кыргызский государственный технический университет, диссертационный совет Д 05.05.286.

Автореферат разослан 20 марта 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 05.05.286
кандидат технических наук, доцент

И. Г. Тен

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Высокие темпы развития энергетики в мире выдвинули ряд проблем в области электрической части энергетических систем. К таким проблемам, в частности, относятся:

- обеспечение повышенной надежности главных схем электрических соединений электростанций и электроэнергетических систем;
- координация, оптимизация и прогнозирование уровней токов короткого замыкания и перенапряжений на электростанциях и в электроэнергетических системах;
- разработка теории, раскрывающей с единой позиции физическую природу, условия возникновения субгармонических и хаотических колебаний и управления переходными процессами в электроэнергетических системах;
- разработка новых элементов электроэнергетических систем на основе композиционных материалов, выполняющих функцию перераспределения электрической энергии между элементами схем, т.е. функцию защиты, управления и регулирования.

При однофазных замыканиях на землю в распределительных сетях 6 – 35 кВ в зоне контакта проводника с землей часто возникает электрическая дуга. Аварийный процесс сопровождается рядом следующих нерегулярно друг за другом зажиганий и погасаний электрической дуги (перемежающаяся дуга) и как следствие, возникновением перенапряжений в распределительных сетях. Несмотря на множества работ (гипотеза Петерсена, Петерса-Слепяна, Белякова, Джуварлы и др.), до сих пор отсутствует единая теория возникновения перенапряжений в этих сетях.

Для демпфирования колебаний, возникающих при переходных процессах в электроэнергетической системе и в ее системах управления, в настоящее время используются силовые резисторы.

Кроме того, силовые резисторы нашли также широкое применение в схемах резонансных токоограничивающих устройств, в схемах управления электроприводов, содержащих двигатели переменного и постоянного токов, в устройствах электрического торможения газотурбинных агрегатов мощностью до 32 МВт, входящих в состав пускорегулирующих устройств. Однако, используемые для указанных целей проволочные резисторы недостаточно надежны и долговечны и в большинстве случаев имеют высокую индуктивность, что ухудшает параметры быстродействия систем управления, а силовые резисторы на основе композиционных материалов (КМ) в силу своих конструктивных особенностей имеют нерегулируемую вольтамперную характеристику и величину сопротивления. Поэтому в настоящее время за рубежом интенсивно ведутся работы по созданию новых КМ (углекерамики, электропроводных бетона и пластмасс) и объемных мощных резисторов на их основе, свободных от вышеперечисленных недостатков.

Ускорение научно-технического прогресса неразрывно связано с эффективным применением традиционных материалов и разработкой новых. От характеристик этих материалов в значительной мере зависит современный технический уровень электрических машин, аппаратов, кабельных и конденсаторных изделий, радиоэлектронных устройств и систем. Эффективность радиоэлектронных систем и систем передачи информации, параметры радиоэлектронной аппаратуры в значительной степени зависят от элементной базы, то есть от параметров применяемых в них интегральных схем, полупроводниковых приборов и **пассивных радиокомпонентов**. Именно композиционные материалы радиотехнического назначения и радиокомпоненты стали ключевым звеном, определяющим успех многих инженерных решений при создании сложнейшей радиоэлектронной аппаратуры. Поэтому существует настоятельная необходимость в совершенствовании радиотехнических элементов и элементов управления с **целью расширения их функциональных возможностей и разработки методов расчета их характеристик**. Существующие методы расчета, например, расчет характеристик силовых резисторов на основе КМ, основываются, главным образом, на упрощенных модельных представлениях о форме частиц и их распределений в объеме материала. При попытке учета реальной формы частиц существующие методы встречаются со значительными математическими трудностями. Поэтому создание новых элементов, а также методов расчета технических характеристик КМ, на основе которых они изготовлены, свободных от выше отмеченных недостатков, а также дальнейшее развитие известных методов является актуальной задачей.

Необходимо отметить, что вопросы лучшего использования и эффективного внедрения материалов, планомерной разработки сырьевых и материальных запасов имеют решающее значение для развития промышленности любого государства, в особенности Кыргызской Республики (КР), в недрах которой имеются большие запасы различных полезных ископаемых, на базе которых можно успешно получать КМ с высокими технико-экономическими показателями. Однако, в настоящее время в КР слабо развиты отрасли по добыче и переработке этих ископаемых. Поэтому на первое место по степени важности для электротехнической отрасли КР можно поставить решение следующих задач:

- нахождения путей и способов использования так называемых вторичных сырьевых ресурсов, т.е. разработка технологий их переработки с целью изготовления новых КМ электротехнического назначения;
- раскрытие функциональных возможностей КМ и поиск новых конструктивных решений по изготовлению электротехнических изделий и элементной базы систем управления из них.

Поэтому данная диссертационная работа, посвященная решению выше рассмотренных задач, является актуальной.

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 физико-технических проблем

при Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова и финансируется по линии ГАНИС КР по следующим проблемам:

- «Разработка технологии изготовления новых композиционных материалов, методов расчета и исследования их электрофизических параметров»;
- «Разработка новой конструкции силового резистора электроэнергетики и электронагревательных элементов на основе композиционных материалов»;
- «Разработка информационной системы для автоматизации проектирования состава новых композиционных диэлектрических материалов с заданными электрофизическими и тепловыми свойствами».

Цель работы – улучшение технико-экономических показателей и расширение функциональных возможностей электротехнических и радиотехнических элементов, используемых в системах управления и электроэнергетики, путем повышения их технического уровня на базе комплексного расчетно-теоретического анализа и разработки новых композиционных материалов и технологии их изготовления с использованием местного нетрадиционного сырья.

Задачи исследований:

1. Проведение исследований для разработки теории, раскрывающей с единой позиции физическую природу и условия возникновения перемежающейся дуги.

2. Разработка новых конструкций электро- и радиотехнических элементов и силовых резисторов из КМ с расширенными функциональными возможностями для систем управления и электроэнергетики.

3. Разработка технологии изготовления КМ электротехнического назначения на основе базальта и элементов из них для схем управления.

4. Комплексный анализ известных композиционных материалов и методов расчета их электрических характеристик и обоснование областей применения известных полуэмпирических расчетных формул для оценки параметров КМ.

5. Создание математического аппарата и информационной системы для разработки новых композиционных электроизоляционных материалов (КЭМ) и электротехнических изделий из них, используемых в системах управления и электроэнергетике.

6. Исследование влияния фрактальности структуры КМ на диэлектрическую проницаемость КЭМ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена теория о природе перемежающейся электрической дуги в сетях с изолированной нейтралью, основанная на понятии о **самоорганизации**.
2. Разработана технология получения новых КМ электротехнического назначения на основе базальта.
3. Разработана новая конструкции силового резистора с управляемой вольтамперной характеристикой и величиной сопротивления.
4. Разработан новый тип трехэлектродного конденсатора с широкими функциональными возможностями.

5. Разработаны конструкции электрического провода на основе нитей из базальта и трубчатого резистивного устройства.
6. Аналитически доказана граница применимости известной полуэмпирической формулы Лихтенеккера для определения относительной диэлектрической проницаемости диэлектрического композиционного материала.
7. Получена формула для расчета электрических характеристик КМ, представляющих собой механическую смесь диэлектриков.
8. Выявлен эффект влияния фрактальности структуры смеси на ее электрические характеристики.
9. Разработана информационная система для автоматизации проектирования состава новых композиционных диэлектрических материалов с заданными электрофизическими свойствами.

Практическая значимость полученных результатов.

Использование новой конструкции силового резистора с регулируемыми характеристиками дает возможность оптимизировать режим сети с изолированной нейтралью.

Трехэлектродный конденсатор с широкими функциональными возможностями значительно расширяет область их применения в системах управления и в вычислительной технике.

При отлаженной технологии производства КМ электротехнического назначения на основе базальта из них можно изготавливать силовые резисторы, высокоомные электрические провода без использования дорогостоящего и дефицитного для Республики нихрома.

Полученные результаты исследования и разработанные методы расчета дают возможность определения обобщенной проводимости КМ, представляющих собой механическую смесь различных диэлектриков с учетом влияния частоты приложенного напряжения.

Результаты работы можно использовать при разработке новых материалов, представляющих собой смеси различных веществ.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

На защиту выносятся:

1. Гипотеза о природе перемежающейся электрической дуги в сетях изолированной нейтрали, основанная на понятии о самоорганизации.
2. Конструкции новых электро- и радиотехнических элементов с широкими функциональными возможностями.
3. Новый подход к расчету электрических характеристик КМ, представляющих собой смесь псевдофрактальной структуры.
4. Обоснование границы применимости полуэмпирической формулы Лихтенеккера для определения диэлектрической проницаемости смеси.
5. Технология изготовления новых КМ электротехнического назначения на основе базальта.

Реализация результатов. Результаты диссертационной работы:

- конструкция нового силового резистора;
- конструкции нового электрического провода;

-метод расчета электрических характеристик элементов на основе композиционных материалов внедрены в Кыргызском научно-техническом центре по энергетике «ЭНЕРГИЯ» и в ОсОО «Вулкан».

Акты о внедрении результатов диссертационной работы приведены в приложении № 1 диссертации.

Личный вклад соискателя. Все результаты диссертационной работы получены лично автором под руководством научного руководителя.

Апробация результатов диссертации. Результаты диссертации докладывались и обсуждались:

на международных конференциях:

- «Технологии и перспективы современного инженерного образования, науки и производства» (Бишкек, 7-8 октября 1999 г.);

- «Проблемы математического моделирования и информационных технологий» (Бишкек, 11-12 октября 2001 г.);

- «Энергосбережение- проблемы, современные технологии и управление» (Бишкек, 18-19 декабря 2003 г.);

- «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях» (Алматы, 23-24 сентября 2004 г.);

- «Развитие информационно-коммуникационных технологий в информационном обществе: состояние и перспективы» (КРСУ г. Бишкек, 2004 г.).

на Республиканских научно-технических конференциях:

- «Современное состояние и проблемы развития электроэнергетики Кыргызской Республики» (Бишкек, 18-19 декабря 1999 г.);

- «Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения» (Бишкек, 23-25 мая 2001 г.);

на научных семинарах НИИ физико-технических проблем при КГТУ; на научно-техническом совете энергетического факультета КГТУ.

Публикации. Основные научные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в 9 печатных изданиях и 2 патентах на изобретения.

Объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и содержит 165 страниц компьютерного текста, 88 рисунков, 7 таблиц, 5 приложения, библиографию из 72 наименований, перечень условных обозначений, символов и терминов.

СОДЕРЖАНИЕ

Во введении формулируется цель, обоснована актуальность темы, даются общая характеристика работы, ее научная новизна и практическая ценность.

В первой главе сделаны обзор и анализ режимов нейтрали в сетях 6 – 35 кВ. По мнению многих специалистов, полностью изолированная нейтраль в сетях средних напряжений себя изжила.

Выполненные в Российской Федерации и за рубежом исследования в сетях 6-35 кВ показывают, что при включении в нейтраль высокоомного резистора по мере увеличения создаваемого активного тока до величин, соизмеримых с емкостным током замыкания, возможные перенапряжения на неповрежденных фазах существенно снижаются и предотвращаются феррорезонансные явления в сети. Для расчета величины перенапряжения на неповрежденных фазах используется несколько теорий (Петерса и Слепяна, Петерсена и Белякова, Джуварлы), описывающих процесс возникновения перемежающегося дугового замыкания на землю в высоковольтных сетях с изолированной нейтралью. Наличие множества теорий по одной и той же проблеме свидетельствует об отсутствии подхода, раскрывающего с единой позиции физическую природу и условия возникновения перемежающейся дуги. Это объясняется тем, что не раскрыта природа возникновения перемежающихся однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). В этой главе предлагается теория природы перемежающейся электрической дуги в рассматриваемой сети, основанная на понятии **самоорганизация**.

Во второй главе рассмотрены и выявлены недостатки существующих конструкций силовых резисторов, что дало возможность разработать новые оптимальные их конструкции и рекомендации по их применению.

Рассмотрены общие принципы получения электротехнического базальта для силовых резисторов.

В исходном состоянии базальт токонепроводящий (диэлектрический) материал. Для придания этому материалу токопроводящих или иных электротехнических свойств предлагаются следующие технические решения:

1. Создание композиционного материала путем добавления в расплавленный базальт специальной фазы (токопроводящей или магнитной) с последующим перемешиванием композиции и изготовлением необходимого электротехнического изделия путем литья в соответствующие формы.

Процессы, происходящие в термической печи при плавлении смешанных материалов, подобны процессам в рудно-термических печах, нагрев перерабатываемых материалов производится за счет теплоты, выделяющейся при протекании тока между электродами по шихте, электрической дуге;

2. Создание композиционного материала путем предварительного смешивания в определенных концентрациях измельченных фаз из базальта и токопроводящего или магнитного материала с последующим связыванием их расплавленным стеклом или цементом;

3. Создание композиционного материала путем напыления или покрытия на поверхность готового изделия из базальта токопроводящего слоя.

Разработана информационная система, позволяющая при проектировании состава композиционных диэлектрических материалов объективно выбрать компоненты и методы расчета их электрофизических параметров.

Предложены новые конструкции элементов (силовой резистор - рис. 1, трубчатый резистор - рис. 3, проводник - рис. 4, и конденсаторы - рис. 5) на основе КМ и существующие методы расчета их электрических характеристик.

Предложенная конструкция силового резистора (рис.1) взамен существующим позволяет получить устройство с управляемым значением электрического сопротивления и вольтамперной характеристикой.

Возможность управления связана с многовариантностью расположения активных частей a_{ij} резистивных дисков (1, 2, 3). Изменение вариантов расположения активных частей a_{ij} , торцы которых для надежного электрического контакта металлизированы алюминием, реализуется путем вращения дисков вокруг их оси OO_1 . Каждая из активных частей a_{ij} резистора имеет различное электрическое сопротивление и характеристику.

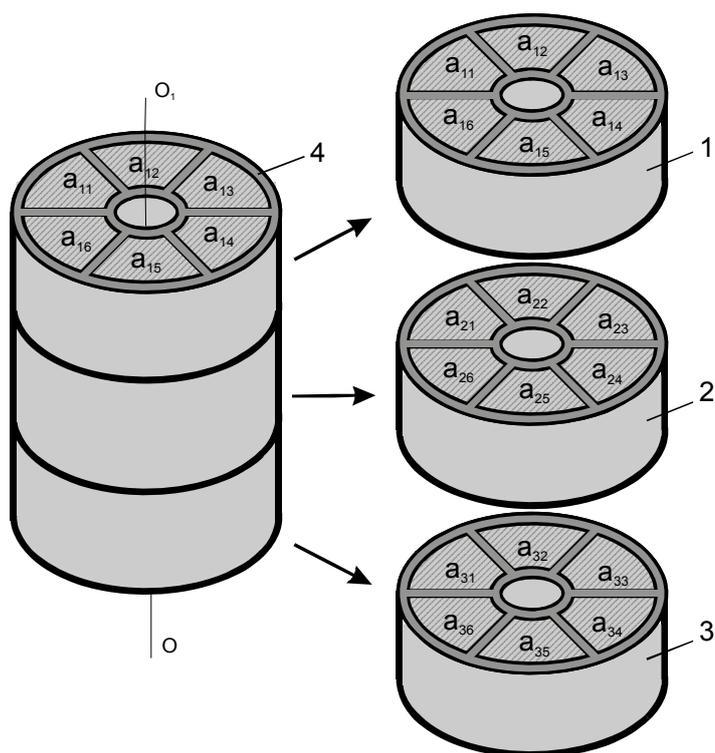


Рис. 1. Резистивные элементы силовых резисторов в базальтовых оболочках: 1, 2, 3 - резистивные диски; 4 – базальтовая оболочка; a_{ij} - активные части резистивных элементов из КМ

Вращение дисков на необходимый угол осуществляется шаговыми двигателями, которые управляются микроконтроллером (рис.2)

Схема управления резистором состоит из следующих основных частей:

1. Схема согласования;
2. Центральный процессор (микроконтроллер);
3. Контроллер шагового двигателя;
4. Шаговый двигатель.

Схема согласования предназначена для определения величины тока в нейтрале. Пропорциональная величина тока подается на компаратор микрокон-

троллера, который также служит для управления шаговым двигателем (двигателями).

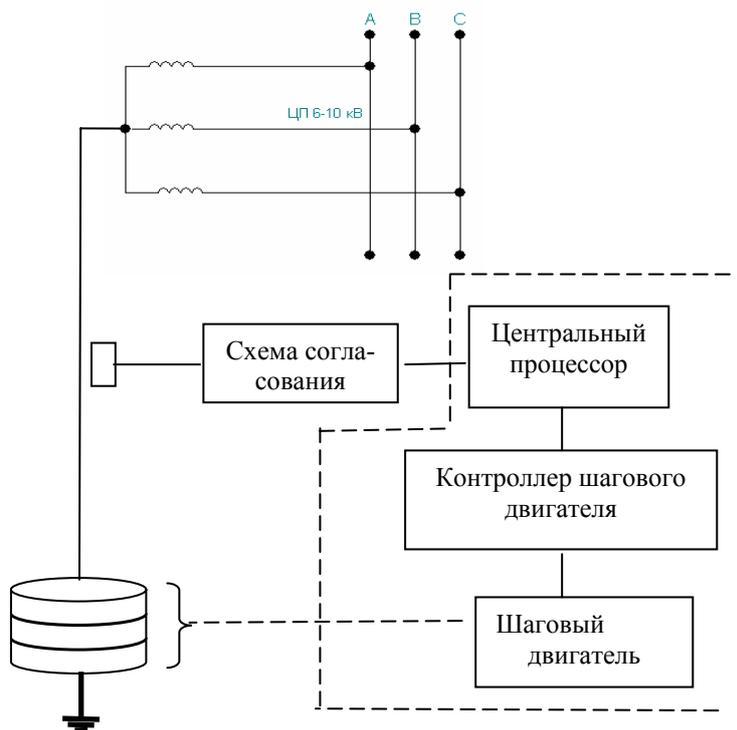


Рис. 2 Схема управления силовым управляемым резистором

В предложенной конструкции трубчатого резистивного устройства, (рис. 3) в отличие от существующих, отсутствует дорогостоящий нихром, что позволяет создать более дешевый и относительно простой в технологии изготовления трубчатый резистор. Этот резистор может быть использован как балластная нагрузка в силовых схемах управления.

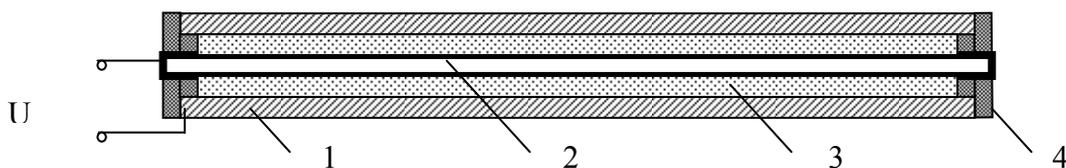


Рис. 3. Трубчатый резистор: 1, 2 - трубчатые электроды; 3 - электропроводящий КМ; 4 - керамический изолятор

Электрический провод (рис. 4) содержит сердечник из нитей и токопроводящего элемента. Сердечник выполнен из базальтовых нитей, а токопроводящий элемент из КМ, состоящий, в частности, из смеси сажи или порошкообразного графита, меди, алюминия и неорганических связующих материалов. В зависимости от вида и объемной концентрации электропроводящей фазы КМ, можно получить электрические провода с различной удельной проводимостью. Благодаря свойствам базальтового сердечника, полученные электрические

провода одновременно являются гибкими, термостойкими, механически прочными на изгиб и скручивание.

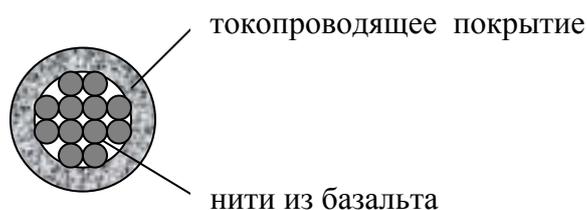


Рис. 4. Электрический провод на основе базальтовых нитей и токопроводящего покрытия из КМ

Новая конструкция трехэлектродного конденсатора (рис. 5), диэлектрик которого выполнен из КМ с предфрактальной или псевдофрактальной структурой, позволяет получить различные физические эффекты, некоторые из которых описаны в главе 3. Наличие третьего электрода в конструкции рассматриваемого конденсатора позволяет его использовать как управляющий электрод, например, с его помощью можно воздействовать на сигнал, проходящей через остальные электроды. Рассматриваемый элемент можно использовать в приемных трактах в роли переменного конденсатора.

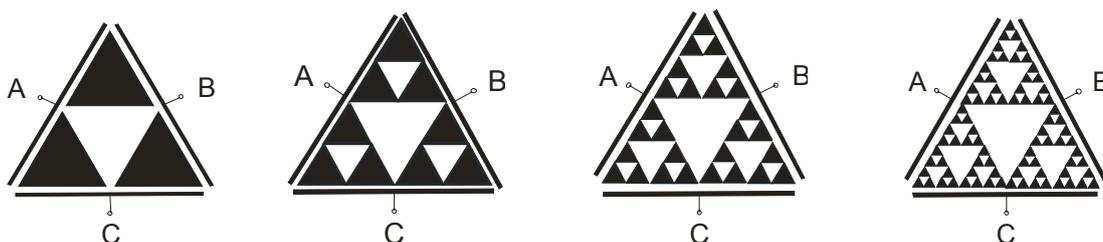


Рис. 5. Электрические конденсаторы: А, В, С – электроды, между которыми находится диэлектрический КМ, имеющий предфрактальную структуру

Во всех предложенных конструкциях элементов систем управления и электроэнергетики использованы те или иные композиционные материалы, представляющие механические смеси различных материалов. Кроме того, на практике с неоднородными веществами приходится встречаться несравненно чаще, чем с однородными. Поэтому задача об определении физических свойств неоднородного вещества на основании данных о его составе, структуре и физических свойствах его компонент имеет важное теоретическое и практическое значение. Именно к таким веществам относятся композиционные материалы.

Сделан обзор существующих методов расчета электрических характеристик КМ. При этом установлено, что:

1. Существующие методы расчета электрических характеристик (диэлектрическая проницаемость, электро- и теплопроводности) композиционного материала основываются, главным образом, на упрощенных модельных представлениях о форме частиц, составляющих смесь, и их распределений в смеси.

При попытке учета реальной формы частиц существующие методы встречаются со значительными математическими трудностями.

2. Существующие методы расчета электрических параметров смеси ориентированы только на определение диэлектрической проницаемости или проводимости. Отсутствие единого подхода не позволяет определить все электрические характеристики материала и установить частотную зависимость характеристик смеси.

3. Расчеты, выполненные по формуле Лихтенеккера, которая наиболее часто используется на практике, совпадают с экспериментом в том случае, когда диэлектрические проницаемости компонент различаются незначительно. Известны также работы, в которых показано удовлетворительное совпадение расчетов по формуле Лихтенеккера с экспериментом даже при больших различиях между ε_1 и ε_2 , но причины такого совпадения не рассматриваются. Соответственно, нет обоснования диапазона применимости этой формулы.

4. Диэлектрическая проницаемость смеси, вычисленная по рекуррентному соотношению

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{//}^{i+1} &= \theta_{//}^i \cdot \varepsilon_{//}^i + \theta_{\perp}^i \cdot \varepsilon_{\perp}^i, \\ \varepsilon_{\perp}^{i+1} &= \frac{\varepsilon_{\perp}^i \cdot \varepsilon_{//}^i}{\theta_{//}^i \cdot \varepsilon_{\perp}^i + \theta_{\perp}^i \cdot \varepsilon_{//}^i}, \\ \theta_{//}^i + \theta_{\perp}^i &= 1, \\ \theta_{//}^i &= \frac{\rho_i - \rho_i^{\theta_i'}}{\rho_i - 1}, \\ i &= 1, 2, 3, \dots, \rightarrow \infty \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где:

$\varepsilon_{\perp, //}^i$ - диэлектрическая проницаемость смеси, в которой граница раздела между компонентами перпендикулярна (параллельна) вектору напряженности электрического поля \overline{E} ;

$\theta_{\perp, //}^i$ - часть единичного объема, в пределах которого компоненты смеси расположены так, что граница раздела между ними перпендикулярна (параллельна) \overline{E} ;

$$\rho_i = \frac{\varepsilon_{//}^i}{\varepsilon_{\perp}^i}, \quad \varepsilon_{\perp}^{i=0} = \varepsilon_{\perp}(\theta_2'), \quad \varepsilon_{//}^{i=0} = \varepsilon_{//}(\theta_2'),$$

получается более точной, чем результаты, полученные по другим известным формулам, но недостатком рассмотренного подхода является то, что для обоснования метода использована полуэмпирическая формула Лихтенеккера, не имеющая своего строгого доказательства.

В третьей главе выполнена разработка методов расчета электрических характеристик элементов (силового резистора, конденсатора) на основе КМ.

Предложен метод для уточнения диапазона применимости формулы Лихтенеккера, полученной им на полуэмпирической основе, которая в настоящее время часто используется для расчета электрофизических параметров

композиционного материала, представляющего собой двухкомпонентную смесь.

В работе предложен метод расчета электрических характеристик элементов на основе КМ псевдофрактальной структуры. Предлагаемый метод расчета электрических характеристик КМ на основе обобщения теории многослойного конденсатора Максвелла позволяет вычислить все электрические параметры смеси и определить их частотную зависимость.

Для получения обобщенной модели многослойного конденсатора Максвелла произведем следующее изменение. Выберем направление границы раздела между компонентами так, чтобы она проходила по диагонали прямоугольника и составляла с его основанием угол α (рис.5,а).

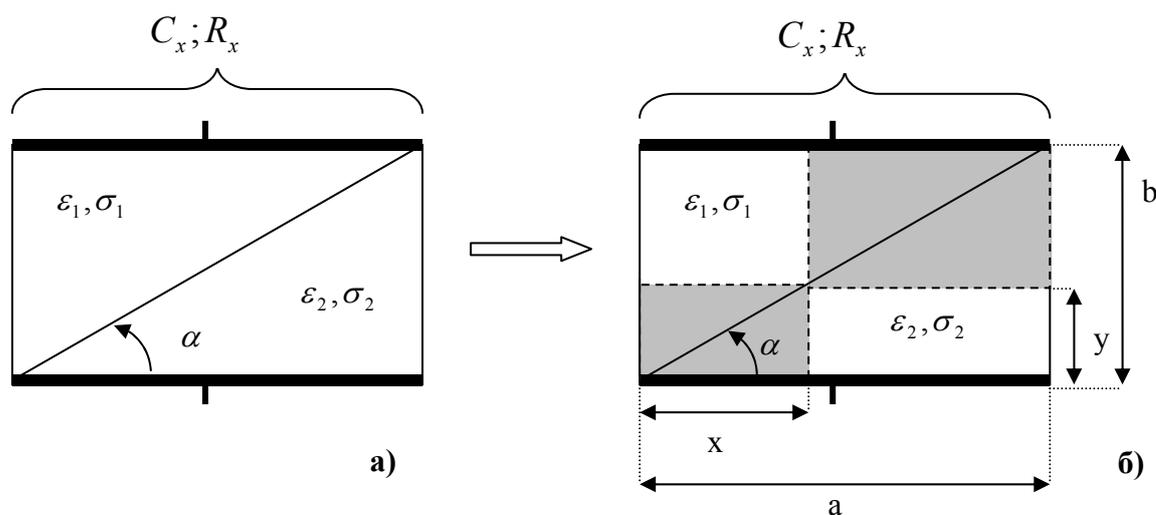


Рис. 5. Обобщенная модель многослойного конденсатора Максвелла

Такое расположение границы раздела соответствует модели двухкомпонентной смеси с одинаковыми значениями компонент $\theta_1 = \theta_2 = 0,5$. Емкость и сопротивление этой модели соответственно равны C_x , R_x .

Мысленно разобьем конденсатор (рис.5,б) на части с помощью взаимно перпендикулярных линий, соответствующих эквипотенциальной и силовой линиям электрического поля.

Эквивалентная схема такой системы показана на рис.6. При составлении этой схемы замещения и определения её параметров использовано «почти» - фрактальное свойство рассматриваемой модели (рис. 5,б), где две закрашенные части подобны целому, поэтому $C_3 = C_x$; $R_3 = R_x$ и $C_4 = C_x$; $R_4 = R_x$.

Структуру, состоящую из частей, некоторые из которых подобны целому, назовем псевдофракталом (по Мандельброту: фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому). Параметры эквивалентной схемы находим из следующих выражений:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \frac{x}{b-y}, & R_1 &= \rho_1 \frac{b-y}{x}; & C_2 &= \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_2 \frac{a-x}{y}, & R_2 &= \rho_2 \frac{y}{a-x}, \\ \rho_1 &= \frac{1}{\sigma_1}, & \rho_2 &= \frac{1}{\sigma_2}, & C_x &= \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{cm} \frac{a}{b}, & R_x &= \rho_{cm} \frac{b}{a}, & \rho_{cm} &= \frac{1}{\sigma_{cm}}. \end{aligned} \right\} (2)$$

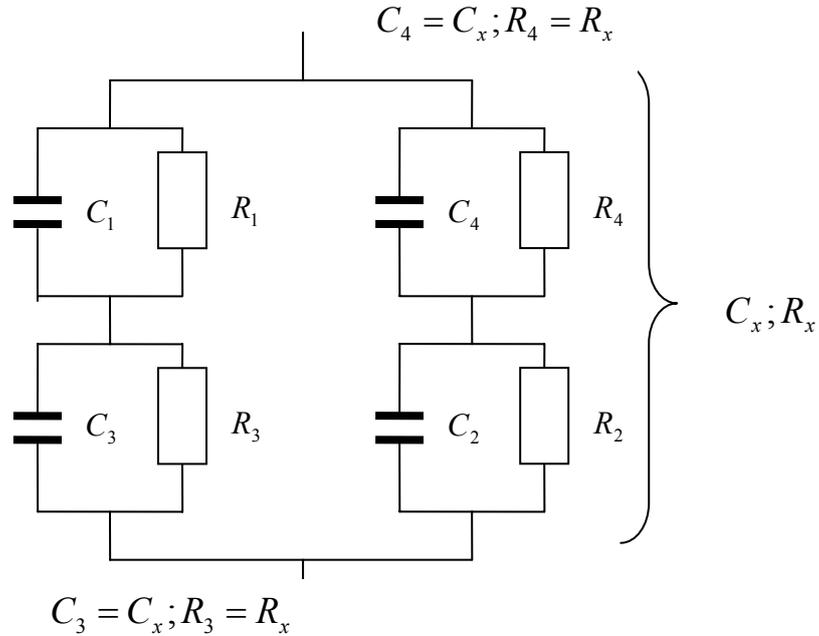


Рис. 6. Эквивалентная схема многослойного конденсатора Максвелла

В дальнейшем в выражениях (2) параметры ε_{cm} , ρ_{cm} будем обозначать как ε_x , ρ_x .

Рассмотрим случай, когда на схему (рис.6) подают напряжение $u = U_0 e^{j\omega t}$.

Мы имеем:

$$\dot{Y}_x = \frac{\dot{Y}_1 \cdot \dot{Y}_x}{\dot{Y}_1 + \dot{Y}_x} + \frac{\dot{Y}_2 \cdot \dot{Y}_x}{\dot{Y}_2 + \dot{Y}_x}, \quad (3)$$

$$\text{где } \dot{Y}_x = g_x + jb_x = \frac{1}{R_x} + j\omega \cdot C_x; \quad \dot{Y}_1 = \frac{1}{R_1} + j\omega \cdot C_1; \quad \dot{Y}_2 = \frac{1}{R_2} + j\omega \cdot C_2$$

При составлении уравнения (3) учтено псевдо-фрактальное свойство модели, в результате чего $C_3 = C_x$; $R_3 = R_x$ и $C_4 = C_x$; $R_4 = R_x$. Преобразовав это уравнение и подставив значения Y в полученную формулу, имеем:

$$\left(\frac{1}{R_x^2} - \omega^2 C_x^2\right) + j2\omega \cdot C_x \frac{1}{R_x} = \left(\frac{1}{R_1 R_2} - \omega^2 C_1 C_2\right) + j\omega \cdot \left(\frac{C_1}{R_2} + \frac{C_2}{R_1}\right) \quad (4)$$

Приравняв действительную и мнимую составляющие, расположенные в левой и правой частях равенства (4), получим систему двух уравнений для определения C_x и R_x конденсатора (рис.5,а), являющуюся моделью смеси.

$$\begin{cases} \frac{1}{R_x^2} - \omega^2 C_x^2 = \frac{1}{R_1 R_2} - \omega^2 C_1 C_2 \\ 2C_x \frac{1}{R_x} = \frac{C_1}{R_2} + \frac{C_2}{R_1}. \end{cases} \quad (5)$$

Воспользовавшись параметрами эквивалентной схемы (2), имеем

$$\begin{cases} \sigma_x^2 - \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_x^2 = \sigma_1 \sigma_2 - \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2, \\ 2\varepsilon_x \sigma_x = \varepsilon_1 \sigma_2 + \varepsilon_2 \sigma_1. \end{cases} \quad (6)$$

Решив систему уравнений (6) относительно неизвестных ε_x и σ_x , получим выражения, устанавливающие частотную зависимость электрофизических параметров диэлектрического композиционного материала, состоящего из двух компонент с равными объемными концентрациями:

- диэлектрическую проницаемость

$$\varepsilon_x = \sqrt{\frac{-(\sigma_1 \sigma_2 - \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2) + \sqrt{(\sigma_1^2 + \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_1^2) \cdot (\sigma_2^2 + \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_2^2)}}{2\omega^2 \varepsilon_0^2}}; \quad (7)$$

- проводимость

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(\sigma_1 \sigma_2 - \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2) + \sqrt{(\sigma_1^2 + \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_1^2) \cdot (\sigma_2^2 + \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_2^2)}}{2}}. \quad (8)$$

Тангенс угла диэлектрических потерь $tg \delta_x = \frac{1}{R_x \omega C_x} = \frac{1}{\frac{1}{\sigma_x} \omega \varepsilon_x} = \frac{\sigma_x}{\varepsilon_x \omega}$.

Подставив в это уравнение значения σ_x и ε_x , получим формулу для определения $tg \delta_x$

Определено, что если между параметрами компонент рассматриваемой системы диэлектриков выполняется следующее соотношение $\varepsilon_2 \cdot \sigma_1 = \varepsilon_1 \cdot \sigma_2$, то возможна независимость проводимости этой системы от частоты.

$$\operatorname{tg} \delta_x = \sqrt{\frac{\varepsilon_0^2 (\sigma_1 \sigma_2 - \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2) + \sqrt{(\sigma_1^2 + \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_1^2) \cdot (\sigma_2^2 + \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_2^2)}}{- (\sigma_1 \sigma_2 - \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2) + \sqrt{(\sigma_1^2 + \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_1^2) \cdot (\sigma_2^2 + \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon_2^2)}}}. \quad (9)$$

Графоаналитическое исследование соотношений (7, 8, 9) показало, что в частотной зависимости проводимости и тангенса угла диэлектрических потерь композиционного материала рассматриваемой структуры наблюдается хаотическое колебание их значений в отдельных диапазонах частот, а в частотной зависимости относительной диэлектрической проницаемости во всем диапазоне частот хаотического колебания не наблюдается.

В работе дано обобщение рассмотренного метода для любого значения концентраций компонент КМ.

Предложенный метод позволил впервые получить расчетные формулы для определения относительной диэлектрической проницаемости, удельной электрической проводимости, а также тангенса угла диэлектрических потерь композиционных материалов на основе единого подхода. Кроме того, по полученным формулам можно установить частотную зависимость указанных параметров.

Получено аналитическое соотношение между проводимостью и диэлектрической проницаемостью, позволяющее установить, при каких соотношениях между этими параметрами параметр композиционного материала не зависит от частоты.

В четвертой главе приводятся результаты расчета в сравнении с экспериментальными данными обобщенной проводимости (λ - коэффициент теплопроводности) и ее зависимость от температуры для ряда материалов: спеченных двуокиси титана; шпинели; окиси беррилия; муллита; двуокиси циркония, характеризующихся различной пористостью; смесей полистирола с тальком или с окисью магния; смеси кристаллической и стекловидной двуокиси кремния.

Результаты сравнения показывают, что среднее отклонение результатов расчетов обобщенной проводимости, проведенных с помощью разработанной в работе методики, не превышает 13%. Таким образом, ошибка при расчете обобщенной проводимости статистических смесей по предложенной методике снижается примерно в полтора раза по сравнению с расчетами по общепринятой формуле Оделевского.

Внедрение. Результаты диссертационной работы внедрены в Кыргызском научно-техническом центре по энергетике «ЭНЕРГИЯ» и ОсОО «Вулкан».

В приложениях приведены: акты внедрения; копии патентов об изобретениях; эквивалентные схемы замещения КМ при различных значениях объемной концентрации компонент; графики зависимости электрофизических параметров КМ от значений объемной концентрации компонент.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты выполненной диссертационной работы состоят в следующем:

1. Разработаны технологии изготовления новых композиционных материалов на основе базальта, стекла, порошка из полупроводящего или проводящего материала с электропроводящими и магнитными свойствами для электротехнических элементов в системах управления и электроэнергетики.

2. Предложены новые конструкции электрического провода, защищенные патентом.

3. Предложены новые конструкции резистивного устройства для систем управления на основе композиционного материала, защищенные патентом.

4. Разработана новая конструкция силового резистора для электроэнергетики с регулируемым значением сопротивления и вольтамперной характеристикой.

5. Выполнено теоретическое обоснование диапазона применимости формулы Лихтенеккера, являющейся наиболее широко используемой формулой при расчете электрофизических параметров композиционных материалов.

6. Предложен новый метод расчета электрофизических параметров композиционного материала. Этот метод позволил впервые получить расчетные формулы для определения относительной диэлектрической проницаемости, удельной электрической проводимости и тангенса угла диэлектрических потерь композиционных материалов на основе единого подхода. Кроме того, по полученным формулам можно установить частотную зависимость указанных параметров.

7. Получено аналитическое соотношение между проводимостью и диэлектрической проницаемостью, позволяющее установить, при каких соотношениях между ними параметр композиционного материала не зависит от частоты.

8. Рассчитана и сравнена с экспериментальными результатами обобщенная проводимость и ее зависимость от температуры для ряда материалов: спеченных двуокиси титана; шпинели; окиси беррилия; муллита; двуокиси циркония, характеризующихся различной пористостью; смесей полистирола с тальком или с окисью магния; смеси кристаллической и стекловидной двуокиси кремния, а также ε и λ композиций на основе Al_2O_3 , SiO_2 , $BaTiO_3$, TiO_2 и диановых эпоксидных смол.

9. Разработанные рекуррентные соотношения, алгоритмы расчета и формулы для расчета ε_{cm} использованы при определении обобщенной проводимости (коэффициент теплопроводности) электроизоляционных материалов, что позволило прогнозировать свойства разрабатываемых изделий.

10. Полученные результаты позволяют улучшить технико-экономические показатели электротехнических элементов, используемых в системах управления и электроэнергетики.

11. Предложена теория о природе перемежающейся электрической дуги в сетях изолированной нейтрали, основанная на понятии о самоорганизации.

Список опубликованных работ

1. Исакеева Э.Б., Сатаркулов К.А. Определение диэлектрической проницаемости смеси по максимуму числа состояний системы с равными диэлектрическими проницаемостями. - Материалы международной научной конференции «Технологии и перспективы современного инженерного образования, науки и производства», секция «Физика». Бишкек, 7-8 октябрь. 1999. – с. 78-86.
2. Сатаркулов К.А., Исакеева Э.Б. Новая постановка задачи по расчету диэлектрической проницаемости смеси хаотической структуры. – Доклады юбилейной научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы развития электроэнергетики Кыргызской Республики». Бишкек, 18-19 декабрь, 1999. – с. 86-90.
3. Исакеева Э.Б., Сатаркулов К.А. Расчет электрофизических параметров смеси диэлектриков из анизотропных частиц. – Доклады международной конференции «Проблемы математического моделирования и информационных технологий». Бишкек, 2001. - с. 218-226.
4. Исакеева Э.Б. Расчет диэлектрической проницаемости смеси с учетом угла между вектором напряженности электрического поля и границей раздела между компонентами. – Наука и новые технологии. Материалы I съезда инженеров Кыргызской Республики. Бишкек, 2002. – с. 52-56.
5. Сатаркулов К.А., Исакеева Э.Б. К обоснованию диапазона применимости формулы Лихтенеккера при расчетах электрофизических параметров композиционных диэлектрических материалов. - Вестник Кыргызского технического университета им. И. Раззакова №5. Бишкек, 2002. – с. 108-118.
6. Исакеева Э.Б. Расчет электрофизических параметров композиционных материалов. - 4 международная научно-техническая конференция «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях». Алматы, 2004. – с. 310-313.
7. Исакеева Э.Б. Энтропийный метод расчета относительной диэлектрической проницаемости механической смеси диэлектриков. – Известия КГТУ им. И. Раззакова №7, 2005. - с. 118-124.
8. Исакеева Э.Б. Информационная система для автоматизации проектирования новых композиционных диэлектрических материалов.- Наука и новые технологии. Бишкек, 2006.
9. Исакеева Э.Б., Сатаркулов К.А. Расчет электрических характеристик композиционного материала на основе обобщения теории многослойного конденсатора Максвелла. – Вестник Казахского национального технического университета им. К. Сатпаева №6. Алматы, 2005. – с. 74-81.
10. Сатаркулов К.А., Кадыркулов С.С., Исакеева Э.Б. Электрический провод. – Патент № 495 31. Январь, 2002г.
11. Сатаркулов К.А., Трукмен уулу Т., Четвертак Д.А., Джунушалиев И.А., Исакеева Э.Б., Ибраева Д.Р. Резистивный нагреватель. – Патент № 677 30. Июнь, 2004г.

Резюме

Исакеева Элмира Базаркуловна

«Разработка электротехнических элементов на базе композиционных материалов для систем управления и электроэнергетики»

Ключевые слова: Электрические сети, перемежающаяся дуга, режим нейтрали, электротехнический элемент, система управления, силовой резистор, композиционные материалы, диэлектрическая проницаемость, удельная проводимость, тангенс угла диэлектрических потерь.

В диссертационной работе сформулирована гипотеза возникновения перемежающегося дугового замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью, рассмотрено влияние силового резистора в нейтрали на уровни перенапряжений при замыканиях на землю в электрических сетях. Разработаны и запатентованы для систем управления и электроэнергетики новые конструкции электротехнических элементов, предложен принцип получения нового композиционного материала (электротехнического базальта). Создана информационная система автоматизации проектирования состава композиционного материала.

Предложен новый метод расчета электрических характеристик элементов на базе композиционного материала.

Кыска маалымат

Исакеева Элмира Базаркуловна

«Башкаруу системи жана электрзардечилиги щцщн композициялык текзаттардын негизинде электротехникалык элементтерди иштеп чыгуу»

Ачкыч сөздөр: электр тору, ёчщп-жануучу жаа, бейтарап шарттамы, электротехникалык элемент, башкаруу системи, кщчтук резистор, композициялык текзат, диэлектриктик ёткёрщмдщщцщк, салыштырма ёткёрщмдщщцщк, диэлектриктик коромжулуктун тангенс бурчу.

Диссертациялык иште бейтарабы жердетилбеген чекитщщ электр торлорунда жерге жаа аркылуу туташуу болгондо ёчщп жануучу электр жаасынын пайда болуу гипотезасы сунушталган, жана электр торлорунда жерге туташуу болгондо бейтараптагы кщчтцщк резистордун аша чыналууга тийгизген таасири кёрсётцлгён. Башкаруу системи жана электрзардечилиги щцщн электротехникалык элементтин жабы конструкциясы иштеп чыгарылган жана патенттелген. (Электротехникалык базальт) Композициялык текзаттын курамын автоматтык жол менен долбоорлоонун маалыматтык системи тцщцлгён.

Композициялык текзаттардын негизинде тцщцлгён элементтердин электрлик мщннёздёмёлёрщн эсептёёнщн жабы ыкмасы сунушталган

Resume

Isakeeva Elmira Bazarkulovna

«Development of electrotechnical elements on the basis of compositional materials for the management systems and electrical energetic»

Key words: electrical nets, sliding Ares, neutral conditions, electrotechnical element, management system, dielectric penetrability, specific conductivity, tangent of dielectric phase angle.

The hypothesis of sliding arcs locking appearance in the earth in nets with isolated neutral is formulated in this work, the influence of force resistor in neutral on the degree of high tension at locking electrical nets in the earth, is also considered. New constructions of electrotechnical elements are developed and patented for the management systems and electrical energetic. The principle of getting new compositional material (electrotechnical basalt) is suggested. The information system of automatisisation projecting of compositional material's component has been created.

New calculation method of elements' electrical characteristics is suggested on the basis of compositional material.