

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИШЭ

 А.С. Матвеев
« ___ » _____ 2022 г.

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПРИЕМ 2022 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ ОЧНАЯ

2.4.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Уровень образования	Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации		
Курс	2	семестр	4

Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры		А.С. Ивашутенко
Руководитель программы аспирантуры (ПА)		А.П. Леонов

2022 г.

1. Общие положения

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине 2.4.1. Теоретическая и прикладная электротехника (далее – кандидатский экзамен) по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) сформирована с учетом освоения аспирантами специальной дисциплины образовательного компонента программы аспирантуры и паспорта научной специальности.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

На кандидатском экзамене аспирант (соискатель) должен продемонстрировать умение пользоваться знаниями, приобретенными в ходе освоения дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры.

Основу программы кандидатского экзамена по специальности 2.4.1. Теоретическая и прикладная электротехника, составили ключевые проблемы современного состояния и прогнозирование развития электроэнергетической отрасли.

Направления исследований по специальности 2.4.1. Теоретическая и прикладная электротехника:

1. Теоретические и экспериментальные исследования электромагнитных полей и процессов в электротехнических, электроэнергетических, информационных, управляющих и биологических системах.
2. Анализ, синтез, оптимизация и диагностика электромагнитных полей и электрических цепей.
3. Математическое моделирование неэлектрических явлений и процессов с использованием электромагнитных аналогов.
4. Теоретические и прикладные исследования электродинамических систем, интегрирующих объекты информационной и электротехнической природы.
5. Изучение на стадиях от разработки до утилизации физико-химических процессов, определяющих свойства электротехнических и радиотехнических материалов и изделий в связи с их химическим составом, структурой и внешними условиями эксплуатации.
6. Оптимизация параметров электротехнических, радиотехнических материалов и изделий, технологии их производства, эксплуатации и утилизации.
7. Моделирование процессов проектирования, исследования, производства, эксплуатации и утилизации электротехнических и радиотехнических материалов, изделий на их основе.
8. Повышение долговечности и надежности электротехнических и радиотехнических материалов и изделий на их основе.
9. Разработка научных основ, анализ и экспериментальные исследования процессов преобразования (выпрямления, инвертирования, импульсного, частотного и фазочастотного регулирования и т.п.) в устройствах силовой электроники, создания схем и устройств и моделей силовой электроники, исследование свойств и принципов функционирования элементов схем и устройств.
10. Математическое и схемотехническое моделирование преобразовательных устройств, оптимизация преобразователей, их элементов и узлов.

2. Содержание и структура кандидатского экзамена

Полупроводниковые приборы

Основные свойства чистых и примесных полупроводников. Электропроводность чистых и примесных полупроводников. Токи в полупроводнике (дрейфовый и диффузионный). Подвижность носителей в полупроводнике, ее зависимость от температуры, концентрации примесей и напряженности электрического поля. Зависимость удельного сопротивления примесного полупроводника от температуры. Механизм рекомбинации и время жизни носи-

телей. Закон убывания концентрации носителей за счет рекомбинации. Уравнение непрерывности. Электронно-дырочный переход, явления, возникающие при контакте металла с полупроводником. Полупроводники с различным типом проводимости. Зонная диаграмма p–n-перехода. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) p–n-перехода, виды его пробоя. Полупроводниковый диод, особенности его ВАХ. Температурные свойства параметров и характеристик диода. Разновидности диодов (стабилитроны, диоды Шоттки, туннельные диоды). Основные приемы конструирования и технологии изготовления диодов. Биполярный транзистор. Устройство и принцип действия биполярного транзистора, анализ процессов в базе транзистора – характер движения носителей, влияние электрического поля, распределение концентрации неосновных носителей. Соотношение между токами электродов транзистора. Характеристики транзистора при включении по схемам с общей базой и общим эмиттером. Уравнение Эберса–Молла для статических ВАХ идеализированного транзистора. Мало сигнальная эквивалентная схема транзистора, влияние температуры, частоты и нагрузки на параметры эквивалентной схемы. Ключевой режим биполярного транзистора. Режим отсечки и насыщения. Анализ переходных процессов в транзисторе методом заряда. Конструирование биполярных транзисторов и элементы технологии их производства. Параметрические особенности биполярных транзисторов на большие мощности. Биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ). Устройство и принцип действия. Схема замещения и ВАХ БТИЗ, электрические и температурные параметры схемы замещения, требования к управляющим сигналам. Особенности использования БТИЗ в технических устройствах и области их безопасной работы. Особенности IGBT и IGCT. Полевые транзисторы с управляющим p–n-переходом. Устройство, принцип действия и ВАХ Транзисторы МДП-типа с встроенным и индуцированным каналом. Схемы замещения, параметры и характеристики полевых транзисторов. ^ Оптоэлектронные пары диод – диод, диод – транзистор. Оптоэлектронные приборы повышенной яркости – светодиоды. Схемы включения оптоэлектронных приборов. Тиристоры. Структура и физические процессы в тиристорах. ВАХ тиристора. Переходные процессы включения и выключения в незапираемых (однооперационных) тиристорах. Предельные и классификационные параметры тиристоры. Асимметрично запирающие и обратнотокпроводящие тиристоры. Симисторы, фото- и оптронные тиристоры. Запираемые (двух операционные) тиристоры. Интегральные и гибридные микросхемы. Схемотехника и конструкция, типовые логические микросхемы. Серия микросхем на биполярных и полевых транзисторах. Электромагнитные элементы силовой электроники. Трансформаторы, дроссели, реакторы. Конструктивные особенности и принципы использования высокочастотных ферритовых электромагнитных элементов. Электрорадиоизделия силовой электроники – конденсаторы, резисторы, светодиодные индикаторы. Коммутационно-защитная аппаратура силовой электроники – быстродействующие предохранители, бесконтактные реле и коммутаторы, разъемы, провода и кабели.

Анализ электрических цепей с полупроводниковыми элементами

Электрические цепи и сигналы. Элементы электрических цепей (источники, потребители и накопители энергии), их параметры и характеристики. Электрическая схема и структурный граф цепи. Матрицы сечений и контуров, связь между ними. Коммутационные процессы в электрических цепях. Постоянные и гармонические токи и напряжения. Комплексная форма представления гармонического процесса в электрической цепи. Периодически изменяющиеся токи и напряжения, разложение сигнала на гармонические составляющие. Параметры и характеристики периодического тока. Модулированные сигналы и их дискретные частотные спектры. Непериодические токи и напряжения. Интеграл Фурье и непрерывные спектры электрических сигналов. Преобразование Лапласа и операторные изображения сигналов. Установившиеся и переходные процессы в линейных цепях. Анализ установившихся режимов в резистивных цепях, исходные уравнения, способы их решения и проверки. Законы Кирхгофа, баланс мощностей. Гармонические и периодические режимы в линейных цепях с источниками, потребителями и накопителями энергии. Расчетные схемы с комплексными параметрами элементов. Активная, реактивная и полная мощность электрической цепи, мощность искажения. Законы коммутации и начальные условия, исходные алгебраические и

дифференциальные уравнения состояния цепи. Классические методы решения дифференциальных уравнений (принужденный и свободный процессы в электрической цепи). Операторный метод анализа процессов в электрической цепи. Интегро-дифференциальные уравнения состояния цепи и ее эквивалентная операторная схема. Реакция электрической цепи на возмущение в виде ступенчатой, импульсной и произвольной функции времени. Пространство состояний электрической цепи, формирование систем алгебраических и дифференциальных уравнений состояний, методы аналитических и численных решений уравнений. Математическое моделирование электрических цепей. Фильтрующие устройства в электрических цепях. Четырехполюсники, их схемы, уравнения преобразования энергии. Эквивалентная схема активного четырехполюсника. Характеристические параметры и условия согласования пассивного четырехполюсника с источником энергии и нагрузкой. Последовательный и параллельный LC-контур, их резонансные и частотные характеристики. LC-фильтры, их характеристические параметры в полосах пропускания и демпфирования сигналов. Пассивные и активные RC-фильтры, их передаточные функции и частотные характеристики. Установившиеся и переходные процессы в нелинейных цепях. Нелинейные цепи – ограничение и стабилизация тока и напряжения, выпрямление переменного тока, амплитудная модуляция гармонического сигнала. Цепи с управляемыми элементами – электронный усилитель, управляемый выпрямитель. Аналитические, графические и численные методы анализа переходных процессов в цепях с нелинейными элементами. Устойчивость режима постоянного тока в нелинейной цепи. Релаксационный генератор – электрическая схема генератора, условия существования устойчивого режима его работы. Условия возникновения гармонических колебаний в нелинейной цепи. Гармонический генератор – электрическая схема генератора, уравнения состояния и фазовый портрет.

Электронные цепи

Линейные усилители. Однокаскадные усилители на биполярных и полевых транзисторах. Обратные связи в усилителях, их влияние на параметры и характеристики усилителей. Устойчивость усилителя с обратной связью. Частотные и импульсные характеристики усилителей. Методы температурной стабилизации рабочего режима транзисторных усилителей. Операционные усилители. Использование операционных усилителей в схемах масштабирования, суммирования, интегрирования и дифференцирования электрических сигналов. Активные фильтры на основе операционных усилителей и RC-цепей. Генераторы гармонических колебаний с RC- и LC-цепями. Диодные ключи, ограничители и фиксаторы уровня напряжения. Транзисторные насыщенные ключи на биполярных транзисторах. Ненасыщенные ключи. Траектория рабочей точки при переключении транзистора. Влияние на траекторию рабочей точки характера нагрузки (R, RL, L, RC). Области безопасной работы. Ключи на полевых транзисторах. Схемотехника ключей на большие мощности. Энергия, рассеиваемая в транзисторах при переключении, основные приемы отвода тепла. Импульсные схемы и стабилизаторы напряжения. Компараторы, мультивибраторы и генераторы линейно изменяющегося напряжения на основе дискретных компонентов, операционных усилителей и логических интегральных схем. Параметрические стабилизаторы напряжения. Линейные (в том числе интегральные) стабилизаторы. Регуляторы и стабилизаторы напряжения и тока на полупроводниковых элементах, работающих в ключевых режимах.

Преобразовательная техника

Основные схемы одно- и трехфазных выпрямителей. Работа однофазных выпрямителей на активно-индуктивную, активно-емкостную нагрузки, на нагрузку, содержащую противо-ЭДС и индуктивность. Режим прерывистого тока. Трехфазный мостовой выпрямитель. Внешняя характеристика выпрямителя при различном числе одновременно работающих вентилей. Несимметричный (полууправляемый) выпрямитель, его регулировочная характеристика. Многофазные схемы выпрямления на основе последовательного или параллельного соединения выпрямителей. Взаимодействие выпрямителя с источником переменного тока. Первичные токи многофазных выпрямителей. Коэффициент мощности источника перемен-

ного тока при управляемом и неуправляемом режимах работы выпрямителя. Способы повышения коэффициента мощности. Явление вынужденного подмагничивания трансформатора в одно- и трехфазных трансформаторных выпрямителях, способы устранения эффекта подмагничивания. Влияние анодных индуктивностей на работу выпрямителей. Инверторы, ведомые сетью, и преобразователи частоты. Переход от выпрямительного режима к инверторному. Электрические процессы в инверторе, ведомом сетью, его регулировочная характеристика. Влияние анодных индуктивностей на работу инвертора, коэффициент его мощности, приемы повышения коэффициента мощности инвертора. Реверсивный преобразователь переменного тока. Перекрестная и встречно-параллельная схемы преобразователя. Совместное и раздельное управление преобразователем. Особенности работы преобразователя на индуктивную нагрузку и индуктивную нагрузку с противо-ЭДС. Непосредственный преобразователь частоты. Одно- и многофазная схемы непосредственного преобразователя частоты, особенности его работы на активно-индуктивную нагрузку. Импульсные преобразователи и регуляторы постоянного напряжения. Импульсные методы регулирования напряжения (тока) – широтно- и частотно-импульсное регулирование, метод позиционного слежения. Импульсные регуляторы I, II и III родов, их регулировочные характеристики. Транзисторные преобразователи напряжения с передачей энергии через трансформатор на интервале формирования импульса и во время паузы. Импульсные преобразователи постоянного напряжения на тиристорах с параллельной и последовательной двухступенчатой коммутацией. ^ Автономные инверторы и преобразователи на их основе. Автономные инверторы тока и напряжения, их сравнительная оценка. Автономный параллельный инвертор как пример инвертора тока, его внешняя характеристика. Стабилизация и регулирование выходного напряжения инвертора тока с помощью индуктивно-тиристорного компенсирующего устройства. Инвертор тока с отсекающими диодами. Одно- и трехфазные инверторы напряжения, особенности их работы на индуктивную нагрузку, роль отсекающих диодов. Инвертор напряжения с одноступенчатой (прямой) коммутацией (схема Мак-Муррея–Бедфорда). Инвертор напряжения с двухступенчатой (непрямой) коммутацией. Электрические процессы в коммутационных узлах при последовательной и параллельной коммутации. Преобразователи частоты на основе инверторов напряжения и инверторов тока для частотно-управляемого электропривода. Параллельный и последовательный резонансные инверторы, токи и напряжения в инверторах при граничном режиме работы и в режиме с паузой. Резонансные инверторы с обратными диодами. Особенности работы тиристоров при принудительной коммутации – отпирание, запираение, коммутационные потери мощности, эффекты, связанные с изменением производных тока и напряжения в период коммутации. Преобразователи напряжения с звеном повышенной частоты. Методы снижения коммутационных потерь в инверторах повышенной частоты – демпфирующие цепи, резонансная и квазирезонансная коммутация. Методы улучшения спектрального состава выходного напряжения инверторов. Многофазные преобразователи со ступенчатой формой напряжения.

Системы управления преобразователями

Обработка информации. Количественная оценка информации. Виды сигналов. Характеристика аналоговых сигналов – спектры и функции распределения. Передача информации модулированными сигналами с гармоническим и импульсным носителями. Кодирование цифровых сигналов, виды цифровых кодов. Понятие о системах счисления, обратном и дополнительном кодах. Кодовые расстояния, избыточное кодирование, коды с обнаружением и исправлением ошибок. Способы цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразований. Преобразователи, основанные на последовательном счете, поразрядном уравнивании и считывании. Преобразователи временных интервалов: аналоговый сигнал – интервал, аналоговый сигнал – частота, интервал–код, частота–код. ^ Основы проектирования цифровых узлов и устройств. Коммутационные логические устройства. Логические функции, способы их описания, их реализации с использованием типовых логических элементов И, ИЛИ, И–НЕ, ИЛИ–НЕ. Дешифраторы, мультиплексоры, арифметические логические устройства – принцип их действия и особенности использования. Основные виды триггеров, построение счет-

чиков и регистров. Реверсивные счетчики. Емкость счетчика и управление ею. Регистры с последовательным и параллельным вводом и выводом информации. Автоматы на основе интегральных микросхем. Способы описания состояния автоматов, таблицы переходов и выходов. Кодирование входов, выходов и внутренних состояний автоматов. Противогоночное кодирование. Синтез узлов на основе типовых логических элементов. Виды полупроводниковых запоминающих устройств. Способы расширения адресного пространства и разрядности данных запоминающего устройства. Программирование ПЗУ, ОЗУ, РПЗУ. Полупроводниковое запоминающее устройство как многофункциональный логический элемент. Построение автоматов на основе программируемых ПЗУ с обратными связями. ^ Микропроцессорная техника систем управления. Программная реализация процедур сбора, вычислительных операций над информацией и управления. Структура микропроцессорной системы, ее составные части. Магистральный способ связи узлов. Магистрали данных, адреса управления. Функционирование микропроцессора при выполнении команд. Машинные циклы, слова состояния процессора. Виды команд. Переходы – выполнение подпрограмм, стек, прерывания и обработка прерываний, прямой доступ к памяти. Однокристалльные и разрядно-модульные микропроцессоры, однокристалльные микроЭВМ, периферийные устройства микропроцессорных систем (интерфейсы).

Механические свойства электротехнических материалов

Механические испытания при растяжении. Закон Гука. Определение модуля упругости. Испытания на сжатие. Отношение нагрузки к исходному поперечному сечению образца. Измерение прочности материалов при изгибе. Измерение твердости материалов. Определение долговечности клеевых соединений.

Теплофизические свойства электротехнических материалов

Поведение электротехнических материалов при нагревании (охлаждении), определение допустимых рабочих температур. Физические процессы в электротехнических материалах, приводящие к выделению тепла. Определение теплопроводности электротехнических материалов. Определение теплоемкости электротехнических материалов. Температура размягчения. Температура плавления и переработки. Термодеструкция. Дифференциальный термический анализ. Нагревостойкость электротехнических материалов. Холодостойкость при отрицательной температуре. Стойкость к термоударам.

Химико-физические свойства электротехнических материалов

Химостойкость. Стойкость материала к разрушению (коррозии) при контактировании с водой, кислотами, щелочами, солевыми растворами, топливом, газами. Изменение внешнего вида, массы, электрических и других параметров. Тропикостойкость электротехнических материалов под воздействием климатических факторов. Радиационная стойкость. Изменение механических свойств, влияющих на электрофизические параметры электротехнических материалов, в процессе радиолитического воздействия под воздействием ионизирующих излучений. Определение воздействия внутренних частичных разрядов на изоляцию силовых конденсаторов, трансформаторов, кабелей, электрических машин.

Магнитные свойства материалов

Строение и свойства магнитных материалов. Магнитные материалы, применяемые в энергетике, электротехнике и радиоэлектронике. Магнетизм микрочастиц. Классическая и квантовая теории парамагнетизма. Магнитная анизотропия и кристаллическая структура магнитных материалов. Природа магнитной анизотропии. Основные представления о магнитострикции. Процессы намагничивания ферромагнетиков в магнитных полях. Экспериментальные методы исследования магнитных свойств. Основные особенности антиферромагнетиков. Косвенное обменное взаимодействие. Схема Крамерса-Андерсона. Феноменологическая теория антиферромагнетизма. Закон Кюри-Вейса. Температура Нееля, асимптотическая точка Кюри. Антиферромагнитная восприимчивость. Температурная зависимость намагни-

ченности и определение температуры Кюри ферритов по методу Фарадея. Электропроводность ферритов и ее зависимость от химического состава и температуры. Спектр магнитной проницаемости ферритов. Ферромагнитный резонанс. Магнитно-мягкие ферриты и области их применения. СВЧ ферриты, особенности их свойств и применение.

Электротехнические изделия

Электрические конденсаторы. Классификация силовых конденсаторов, конструкции силовых конденсаторов. Основные параметры силовых конденсаторов. Электроизоляционные и проводниковые материалы, применяемые в электроконденсаторостроении. Электрические кабели, провода и шнуры. Классификация, основные конструкции силовых кабелей, кабелей связи, волоконно-оптических материалов. Проводниковые, электроизоляционные и конструкционные материалы, применяемые в кабельной технике. Системы изоляции электрических машин и трансформаторов. Микалентнокомпаундированная и термореактивная изоляция. Конструкции и материалы электрической изоляции обмоток статоров и роторов электрических машин. Материалы для главной и продольной изоляции трансформаторов.

Внутренние перенапряжения в электрических системах и их ограничения

Основные виды коммутационных перенапряжений и средства по их ограничению.

Перенапряжения при коротких замыканиях на линии и при их отключении. Перенапряжения, возникающие при автоматическом повторном включении линии (АПВ). Средства ограничения.

Перенапряжения при отключении холостых трансформаторов. Перенапряжения при работе вакуумных выключателей. Средства ограничения.

Особенности защиты от перенапряжений в электропередачах с продольной и поперечной компенсацией и в настроенных электропередачах.

Дуговые перенапряжения в сетях с неэффективным заземлением нейтрали. Влияние режима заземления нейтрали сети на развитие дуговых перенапряжений. Средства заземления нейтрали.

Установившиеся перенапряжения в электрических сетях высокого напряжения. Влияние емкостного эффекта, насыщения стали трансформаторов, коронного разряда и подключенных реакторов на напряжение промышленной частоты. Перенапряжения при несимметричных коротких замыканиях на воздушных линиях. Феррорезонансные перенапряжения.

Изоляционные конструкции высокого напряжения

Изоляция воздушных линий электропередачи. Разрядные характеристики линейных изоляторов и гирлянд при напряжении промышленной частоты, коммутационных и грозовых импульсах напряжения. Воздушные промежутки в изоляции линий, регулирование электрических полей, применение расщепленных проводов. Разрядные характеристики типовых воздушных промежутков с учетом влияющих факторов. Методика выбора воздушных промежутков.

Внешняя изоляция распределительных устройств. Методика выбора и способы повышения надежности работы изоляции.

Разрядные характеристики промежутков, характерных для закрытых распределительных устройств с элегазовой изоляцией при различных формах воздействующего напряжения и давления.

Электрическая прочность внутренней изоляции. Основные факторы, определяющие старение изоляции в процессе эксплуатации. Тепловое старение и окисление изоляции. Зависимость скорости теплового старения от температуры.

Основы конструирования внутренней изоляции. Характерные формы электрических полей в изоляционных конструкциях и методы их регулирования. Краевой эффект. Применение комбинированных диэлектриков с различной диэлектрической проницаемостью.

Основы теплового расчета изоляционных конструкций. Тепловой пробой.

Изоляция силовых трансформаторов. Кратковременная электрическая прочность маслосборной изоляции. Частичные разряды в силовых трансформаторах.

Конструкция и расчет проходных изоляторов. Изоляция трансформаторов тока и напряжения. Изоляция силовых конденсаторов.

Элегазовые изоляционные конструкции электрооборудования энергосистем: комплектных распределительных устройств, измерительных трансформаторов, выключателей.

Изоляция силовых кабелей. Маслонаполненные кабели. Кабели с пластмассовой изоляцией. Кабели постоянного тока и импульсные.

Изоляция электрических машин. Кратковременная и длительная прочность. Допустимые рабочие и испытательные напряженности.

Дополнительная часть программы кандидатского экзамена, включающая региональную и вузовскую компоненты

Специальные дополнительные требования к кандидатскому экзамену формируется аспиранту (соискателю) научным руководителем в зависимости от выбранного направления научных исследований, содержание которых изложено ниже.

1. Моделирование и исследование ресурса кабельных изделий, электроизоляционных систем

Расчетно-экспериментальное определение показателей надежности электроизоляционных систем. Надежность, показатели надежности. Способы определения показателей надежности. Расчетно-экспериментальное определение показателей надежности изоляции низковольтных обмоток асинхронных двигателей. Механизм и критерии отказа систем изоляции обмоток. Оценка долговечности изоляции. ГОСТы и методики по оценке показателей надежности электрической изоляции.

2. Современные материалы и технологии в электроизоляционной и кабельной технике

Классификация электротехнических материалов. Задачи, решаемые в электроэнергетическом, электротехническом и радиоэлектронном оборудовании использованием электроизоляционных материалов. Физические свойства электроизоляционных материалов, определяющие эффективность их использования по назначению. Медь и алюминий, как основные материалы для токопроводящих жил кабелей и проводов. Алюмомедные проводники. Применение стали. Биметаллические токопроводящие жилы. Применение сшитых полиэтиленов. Характеристика трех способов сшивания полиэтилена. Применение радиационного сшивания. Особенности пероксидного сшивания и оборудование для наложения пероксидносшитого полиэтилена. Одно- и двухстадийные методы силанольного сшивания. Материалы аэрокосмического назначения. Электроизоляционные полимерные пленки.

Требования к материалам аэрокосмического назначения. Конструкционные полимерные материалы. Материалы электрической изоляции бортовых систем.

3. Основные физические свойства диэлектриков

Энергетические характеристики атомов. Виды связей между атомами, молекулами. Энергия взаимодействия. Классификация диэлектриков по видам связи. Различия между диэлектриками, полупроводниками и проводниками.

Особенности строения и физические состояния. Термомеханические характеристики. Причины гибкости линейных макромолекул. Особенности теплового движения в полимерах. Пластификация и модификация полимеров. Надмолекулярные структуры. Аморфная и кристаллическая фазы в полимерах.

Виды поляризации. Поляризуемость. Диэлектрическая проницаемость. Диэлектрическая восприимчивость. Внутреннее поле, среднее макроскопическое поле, действующее поле в диэлектрике. Поле Лорентца. Связь между поляризацией и поверхностной плотностью зарядов. Поляризация на постоянном напряжении. Электретное состояние диэлектриков.

4. Физика пробоя диэлектриков

Теория пробоя в газах Таунсенда. Стримерная теория пробоя. Пробой газов в зависимости от давления и его химического состава. Закон Пашена. Зависимость пробивного напряжения газов от частоты электрического поля. Резонансная теория пробоя газов.

Виды пробоя жидких диэлектриков. Механизм пробоя жидких диэлектриков по Геманту, Флоренскому, Волькенштейну. Вольтализация теория пробоя жидких диэлектриков. Зависимость электрической прочности жидких диэлектриков, содержащих влагу и газообразные включения, от температуры и давления.

Виды пробоя твердых диэлектриков. Зависимость электрической прочности твердых диэлектриков от температуры, толщины диэлектриков, времени приложения напряжения, площади электродов при различных видах пробоя.

Электротепловой пробой твердых диэлектриков. Теории Вагнера, Фока. Оценка значения пробивного напряжения твердых диэлектриков.

Электрический пробой твердых диэлектриков. Теории электрического пробоя твердых диэлектриков, основанные на принципах классической физики. Теории Роговского, Грифица. Ударная термическая и электростатическая ионизация в твердых диэлектриках. Теории Иоффе, Смурова, Френкеля, Хиппеля, Фрелиха, Чуенкова, Воробьева и Завадовской. Энергетический анализ импульсной электрической прочности твердых диэлектриков по Вершинину. Электрический пробой полимерных диэлектриков. Особенности зависимости электрической прочности полимеров от температуры. Теория Артбауэра, Старка и Гартона.

Электрическое старение твердых диэлектриков. Работа Койкова, Дмитревского, Ильченко по исследованию процесса пробоя в твердых диэлектриках при длительном воздействии электрического поля высокой напряженности.

3. Методические указания по процедуре проведения и оценивания кандидатского экзамена

Условия допуска к сдаче кандидатского экзамена

К кандидатскому экзамену допускаются:

- аспиранты, полностью освоившие программу специальной дисциплины и сдавшие зачет, предусмотренный учебным планом на предыдущем этапе обучения.
- соискатели, прикрепленные к ТПУ для сдачи кандидатских экзаменов, перед экзаменом по специальной дисциплине обязаны пройти собеседование с ведущими специалистами профильного ОЭЭ ИШЭ, на базе которой ведется подготовка аспирантов.

В рамках подготовки к кандидатскому экзамену по специальности 2.4.3. Электроэнергетика аспирант (соискатель) представляет реферат по тематике своего диссертационного исследования. Тема реферата должна быть согласована с научным руководителем диссертации. Проверку подготовленного реферата проводит член экзаменационной комиссии. При наличии оценки «зачтено» за реферат аспирант допускается к сдаче кандидатского экзамена.

Требования к оформлению. Реферат выполняется на листах бумаги формата А4. Текст печатается на компьютере 14 шрифтом. Пробел между строками – 1,5 интервала. При написании текста необходимо соблюдать поля: левое - 25÷30 мм, правое – 10÷15 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм. Все страницы реферата нумеруются и брошюруются. Объем работы должен составлять не менее 1-го авторского листа (не менее 24 стр.). *Оригинальность текста реферата* должна составлять 95%.

Структура реферата включает титульный лист, лист рецензии, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованной литературы.

Титульный лист является первым листом реферата и заполняется по образцу.

Содержание включает наименование глав, разделов, параграфов с указанием номера страницы, с которой они начинаются. Во *введении* раскрывается значение выбранной темы, степень ее исследованности, цель и задачи работы, формулируются основные положения темы и структура работы. Текст *основной части* делится на главы, разделы или параграфы, здесь излагается содержание работы. В основной части целесообразно выделение 2-3 вопросов, отражающих разные аспекты темы. В реферате важно привести различные точки зрения на проблему и дать им оценку. В *заключении* подводятся итоги рассмотрения темы. Приветствуется определение автором перспективных направлений по изучению проблемы.

Страницы реферата нумеруются арабскими цифрами, соблюдается сквозная нумерация по всему тексту. Номер ставится внизу страницы по центру. Каждая глава (раздел) должна

начинаться с новой страницы. Ссылки на источники, цитаты в тексте в квадратных скобках. Список использованной литературы дается в алфавитном порядке и должен содержать не менее 15 источников, из них не менее 50% последних пяти лет, из которых не менее половины последних трех лет.

Проведение кандидатского экзамена

На кандидатском экзамене экзаменуемый должен продемонстрировать совокупность имеющихся знаний по специальной дисциплине.

Прием кандидатских экзаменов осуществляется очно и в устной форме в комиссии, утвержденной приказом ректора, в составе которой должно участвовать не менее 3-х членов. В случае особых обстоятельств допускается прием кандидатского экзамена в режиме онлайн. Экзаменационный билет включает в себя 3 вопроса.

Первые два вопроса - это вопросы основной части данной Программы, которые соответствуют паспорту научной по специальности 2.4.3. Электроэнергетика, третий вопрос должен соответствовать проблематике научной деятельности аспиранта (соискателя).

Ответы на вопросы выполняются в письменном виде в форме тезисов. Устный ответ осуществляется в виде самостоятельного изложения материала на основе письменных тезисов. После устного ответа члены экзаменационной комиссии вправе задать отвечающему уточняющие вопросы по ответам. При необходимости задаются дополнительные вопросы по различным темам специальной дисциплины. Результат сдачи заносится в журнал регистрации, который хранится в отделении / НОЦ. Протоколы сдачи экзаменов с подписью всех членов комиссии сдаются в отдел аспирантуры и докторантуры.

Критерии оценки ответа на кандидатском экзамене:

% выполнения заданий экзамена	Экзамен, балл	Соответствие традиционной оценке	Определение оценки
90%÷100%	18 ÷ 20	«Отлично»	Отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владение опытом практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, их качество оценено количеством баллов, близким к максимальному
70% - 89%	14 ÷ 17	«Хорошо»	Достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество ни одного из них не оценено минимальным количеством баллов
55% - 69%	11 ÷ 13	«Удовл.»	Приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество некоторых из них оценено минимальным количеством баллов
0% - 54%	0 ÷ 10	«Неудовл.»	Результаты обучения не соответствуют минимально достаточным требованиям

4. Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Пешков И.Б. Материалы кабельного производства. – М.: Машиностроение, 2013. -456 с., ил. (<http://catalog.lib.tpu.ru> Пешков И.Б. Материалы кабельного производства).
2. Алиев, Исмаил Ибрагимович. Кабельные изделия : справочник / И. И. Алиев. — 3-е изд. — Москва: РадиоСофт, 2014. — 224 с.: ил.. — Библиогр.: с. 221.. — ISBN 978-5-93037-281-6.
<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C314438>
3. Белоус, Анатолий Иванович. Полупроводниковая силовая электроника / А. И. Белоус, С. А. Ефименко, А. С. Турцевич. — Москва : Техносфера, 2013. — 214 с.: ил. — (Мир электроники). — Библиогр.: с. 206-214. — ISBN 978-5-94836-367-7.
<http://opac.lib.tpu.ru/document/1/RU%5CTPU%5Cbook%5C267538>
4. Физические и химические процессы при переработке полимеров / М. Л. Кербер [и др.]. — Санкт-Петербург: Научные основы и технологии, 2013. — 318 с.: ил.. — Библиогр.: с. 309-313. — Список определений и сокращений: с. 314-317.. — ISBN 978-5-91703-032-

6. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C253550>
5. Раувендааль, Крис. Экструзия полимеров : пер. с англ. / К. Раувендааль; П. Дж. Грэмман; Б. А. Дэвис; Т. А. Оссвальд. — Санкт-Петербург: Профессия, 2015. — 762 с.: ил. — Hanser. — Библиография в конце разделов. — Алфавитно-предметный указатель: с. 755-762.. — ISBN 978-5-93913-102-5. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C339077>
 6. Лимпер, Андреа. Производство резиновых смесей : пер. с англ. / А. Лимпер. — Санкт-Петербург: Профессия, 2013. — 263 с.: ил. — Библиография в конце глав. — Предметный указатель: с. 260-263.. — ISBN 978-5-91884-045-0. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C256636>
 7. Овчаренко, Н. И. Автоматика энергосистем : учебник для вузов / Н. И. Овчаренко ; под ред. чл.-корр. РАН, докт. техн. наук, проф. А.Ф. Дьякова - Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. - ISBN 978-5-383-00975-8 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009758.html> - Режим доступа : по подписке.
 8. Важов, В. Ф. Техника высоких напряжений : учебник / В. Ф. Важов, В. А. Лавринович. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 262 с. — (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-010565-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1086750> (дата обращения: 22.03.2022). – Режим доступа: по подписке.
 9. Техника высоких напряжений : учебное пособие / Л. Ф. Дмоховская [и др.]; под ред. Д. В. Разевига. – 3-е изд., стер.. – Екатеринбург: АТП, 2015. –488 с.
 10. Бортник И.М., Электрофизические основы техники высоких напряжений : учебник для вузов / И.М. Бортник и др.; под общ. ред. И.П. Верещагина - М. : Издательский дом МЭИ, 2016. - ISBN 978-5-383-01017-4 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010174.html> . - Режим доступа : по подписке.

Дополнительная литература

1. Рудской А. И. Теория и технология прокатного производства: учебное пособие [Электронный ресурс]/ А. И. Рудской, В. А. Лунев. — Санкт-Петербург : СПбГПУ, 2008. — 527 с. Книга из коллекции Лань – Инженерно-технические науки.—ISBN 978-5-02-025302-5. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/50589> (дата обращения: 27.06.2019).
2. Кулезнев В. Н. Химия и физика полимеров : учебное пособие [Электронный ресурс] / В. Н. Кулезнев, В. А. Шершнева. — 3-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 368 с. Книга из коллекции Лань – Инженерно-технические науки.— ISBN 978-5-8114-1779-7. Режим доступа <https://e.lanbook.com/book/51931> (дата обращения: 27.06.2019).
3. Уханов А.П. Эксплуатационные материалы: учебник [Электронный ресурс] / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, А. А. Глущенко, А. Л. Хохлов. — Санкт-Петербург: Лань, 2019. — 528 с. — Книга из коллекции Лань — Инженерно-технические науки. — ISBN 978-5-8114-3799-3. — Схема доступа: <https://e.lanbook.com/book/123674> (дата обращения: 27.06.2019).
4. Аникеенко В.М., Татарников А.А. Производство кабелей и проводов с резиновой изоляцией. – Томск, ТПУ, 1977.-209 с.
5. Аникеенко В.М., С.С. Марьин Основы кабельной техники. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007 – 193 с.
6. Раувендааль, К. Экструзия полимеров: пер. с англ. яз. 4-го изд. / К. Раувендааль. СПб.: Профессия, 2008. 768 с. 7. Вторичная переработка пластмасс / под ред. Ла Мантия Франческо; ред. перевода Г. Е. Заиков. СПб.: Профессия, 2007. - 400 с.
7. Лакерник Р.М. Наложение металлических оболочек.—М.:Энергия,1980.-215 с.
8. Тимофеев И.А. Электротехнические материалы и изделия: Учебное пособие. - СПб.: Издательство «Лань», 2012-272.:ил.-(Учебники для вузов. Специальная литература)-ISBN 978-5-8114-1304-1. - Схема доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/3733> (дата обращения: 27.06.2019).
9. Петрович, Виталий Петрович. Силовая электроника : лабораторный практикум : учебное

пособие / В. П. Петрович, А. В. Глазачев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск : Изд-во ТПУ, 2013. — 120 с.: ил. — Библиография в конце работ. Схема доступа: <http://opac.lib.tpu.ru/document/1/RU%5CTPU%5Cbook%5C283592>

10. Розанов, Юрий Константинович. Силовая электроника : учебник для вузов / Ю. К. Розанов, М. В. Рябчицкий, А. А. Кванюк // 2-е изд., стер. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2009. — 632 с.: ил. — Библиогр.: с. 616-620. — ISBN 978-5-383-00403-6. Схема доступа: <http://opac.lib.tpu.ru/document/1/RU%5CTPU%5Cbook%5C192692>
11. Похолков Ю.П., Меркулов В.И., Петров А.В. Физика диэлектриков (область слабых и сильных полей). Лабораторный практикум. ТПУ, Томск, 2003 – 132 с.
12. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. М.: Энергия, 1973.
13. Сажин Б.И. Электрические свойства полимеров. М.: Химия, 1977 – 196 с.
14. Воробьев Г.А. Свойства диэлектриков (раздел курса «Физика твердого тела»). ТГУСУиР, Томск, 2002 – 127 с.
15. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. М.: Л.: Энергия, 1979 – 223 с.