

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донбасский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «ДонГТУ»)
Факультет автоматизации и электротехнических систем

Кафедра электрических машин и аппаратов

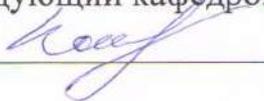
ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
по образовательной программе высшего образования – программе
подготовки научных кадров высшей квалификации в аспирантуре

2.4. Энергетика и электротехника
(код и группа научной специальности)

2.4.2. Электротехнические комплексы и системы
(шифр научной специальности)

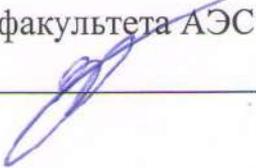
Рассмотрено и одобрено на заседании
кафедры ЭМА, протокол № 9 от 20.04.2023 г.

Заведующий кафедрой ЭМА


Л. Н. Комаревцева

Одобрена Ученым советом факультета АЭС
протокол № 9 от 28.04.2023 г.

Декан факультета АЭС


И. А. Карпук

Алчевск, 2023

Настоящая программа составлена на основе дисциплин группы научных специальностей «Электроэнергетика и электротехника» и предназначена для сдачи вступительного испытания по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы. Цель вступительного испытания заключается в выявлении готовности претендента к освоению учебного плана по программе аспирантуры.

Перечень теоретических вопросов

Общие вопросы электромеханического преобразования энергии

Конструктивные формы и исполнения электрических машин по способу монтажа и степени защиты. Климатические исполнения и категории размещения электротехнических устройств. Материалы, применяемые в электромашиностроении. Требования к магнитным, проводниковым, изоляционным и конструкционным материалам.

Виды и классификация вращающихся электрических машин. Основные рабочие характеристики двигателей и генераторов. Требования к характеристикам, связанные с интенсификацией производства, усложнением оборудования и технологических процессов. Показатели надежности и виброакустические.

Размерные соотношения в электрических машинах. Машинная постоянная. Принцип построения серий. Шкалы мощностей, частот вращения, высот оси вращения. Габаритные и установочно-присоединительные размеры. Методы расчета и конструирования. Обеспечение технологичности конструкции. Обеспечение безопасности эксплуатации электрических машин. Определение главных размеров электрических машин. Электромагнитные нагрузки электрических машин, ограничения по их выбору. Расчетная мощность.

Конструкция обмоток машин переменного тока из прямоугольного и круглого провода и их изоляция в зависимости от мощности, исполнения и номинального напряжения машины. Выбор числа пазов. Расчетные соотношения для определения числа витков, сечения провода и размеров пазов различной формы. Расчет показателей надежности обмоток. Схемы обмоток машин переменного тока. Однослойные и двухслойные обмотки. Обмотки для механизированной намотки. Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Механические расчеты электрических машин. Валы электрических машин. Расчет прочности и критической частоты вращения. Расчет крепления полюсов электрических машин. Расчет прочности крепления обмоток, бандажей и клиньев. Расчет подшипников электрических машин. Расчет шумов и вибраций. Тепловые расчеты в электрических машинах. Классификация машин по способам охлажде-

ния. Режимы работы электрических машин. Баланс мощностей. Уравнения теплопроводности. Задачи теплового расчета. Расчет тепловых сопротивлений. Метод эквивалентных потерь. Удельные тепловые нагрузки. Тепловые схемы замещения типовых конструктивных схем электрических машин. Схемы вентиляции. Расчет вентиляционных цепей. Форсированные системы охлаждения. Приближенные расчеты охлаждения электрических машин.

Трансформаторы

Современные требования предъявляемые к силовым трансформаторам распределительных сетей. Стандартизация в трансформаторостроении. Классификация и система обозначений. Серии трансформаторов. Проектирование единичного трансформатора и серии. Методы расчета трансформаторов.

Конструктивная схема и основные размеры силового трансформатора Выбор и оценка исходных данных. Материалы применяемые в трансформаторостроении. Выбор активных материалов. Магнитная система современного трансформатора. Влияние электротехнической стали и конструкции магнитной системы на характеристики. Влияние проводникового материала на характеристики и массогабаритные показатели трансформатора.

Изоляция в трансформаторах. Требования к изоляции трансформатора. Главная и продольная изоляция. Испытательное напряжение. Изоляционные конструкции, выбор изоляционных расстояний. Защита изоляции от перенапряжений. Электростатические экраны, емкостные кольца, экранирующие витки, переплетенные обмотки.

Алгоритмы расчета основных конструктивных форм обмоток Выбор конструктивных форм обмоток. Критерии выбора обмоток с учетом технических параметров трансформатора и заданных требований. Конструктивная раскладка витков в обмотках различного типа. Критерии выбора размеров и количества элементарных проводников в обмотках. Алгоритм расчета слоевых, винтовых и катушечных обмоток. Предварительная оценка соответствия спроектированной обмотки исходным данным.

Расчет параметров короткого замыкания. Потери в обмотках и металлоконструкциях. Расчет основных и добавочных потерь. Коэффициент добавочных потерь. Требования по соответствию уровня потерь короткого замыкания. Способы корректировки численного значения потерь в ходе проектирования. Электромагнитные поля рассеяния в силовых трансформаторах. Влияние индуктивности рассеяния на характеристики, надежность и работоспособность трансформатора. Пути корректировки напряжения короткого замыкания при проектировании.

Определение механических сил и электродинамической устойчивости обмоток. Ударный ток короткого замыкания. Силы, действующие на обмотки в режиме короткого замыкания. Меры по обеспечению электродинамической стойкости обмоток. Оценка термической стойкости обмоток при коротком замыкании.

Расчет параметров холостого хода. Влияние технологии изготовления магнитопровода на параметры холостого хода. Определение массы частей магнитной системы. Расчет намагничивающей мощности. Расчет потерь и тока холостого хода.

Конструктивная проработка трансформатора. Конструктивные исполнения бака трансформаторов. Основные требования по контролю и защите трансформаторов. Применение устройств контроля и защиты силовых трансформаторов. Направления совершенствования устройств контроля и защиты. Расширители, вводы, арматура, устройства перемещения. Термосифонный фильтр.

Этапы жизненного цикла силового трансформатора. Сборка магнитопровода, обмоток, изоляционных деталей, испытание трансформаторов, разработка (с посещением трансформаторного производства). Основные положения обобщенного метода расчета силовых трансформаторов. Основные допущения метода. Поиск псевдооптимального варианта силового трансформатора. Особенности проектирования серии трансформаторов. Применение обобщенного метода при проектировании серии трансформаторов.

Расчет и конструирование вентиляторов для типовых конструктивных схем машин. Тепловые поля в силовых трансформаторах, тепловой расчет обмотки. Тепловая схема замещения трансформатора. Выбор и расчет системы охлаждения. Расчет площади конвекции и излучения бака. Проверочный расчет превышенной температуры обмоток и масла.

Асинхронные машины

Особенности проектирования асинхронных двигателей. Основные серии АД. Конструкция асинхронных машин. Определение главных размеров. Выбор электромагнитных нагрузок, их влияние на характеристики. Воздушный зазор.

Проектирование короткозамкнутых и фазных роторов. Особенности расчета параметров короткозамкнутых роторов. Эффект вытеснения тока и его учет. Насыщение от полей рассеяния.

Расчет магнитной цепи. Параметры асинхронной машины для номинального режима. Активные и индуктивные сопротивления обмоток. Сопротивления обмоток двигателей с короткозамкнутыми роторами.

Потери и КПД асинхронной машины. Рабочие характеристики и их расчет. Зависимости характеристик АД от входных параметров. Пусковые характеристики асинхронного двигателя. Особенности проектирования специальных исполнений АД. Особенности теплового и вентиляционного расчета.

Взрывозащита электрических машин.

Синхронные машины

Особенности проектирования синхронных машин. Конструкции синхронных машин. Турбо и гидрогенераторы. Явнополюсные синхронные машины общего назначения. Главные размеры. Проектирование обмоток якоря. Воздушный зазор. Выбор размеров полюсов. Демпферная обмотка. Расчет требуемой МДС обмотки возбуждения. Проектирование обмоток возбуждения. Параметры и постоянные времени. Характеристики синхронных генераторов и двигателей.

Особенности проектирования гидрогенераторов. Конструкции гидрогенераторов. Выбор главных размеров. Обмотки статора. Выбор размеров паза статора. Выбор размеров магнитопровода ротора и демпферной обмотки. Расчет магнитной цепи. Расчет обмотки возбуждения гидрогенератора. Расчет параметров и постоянных времени обмоток. Потери и КПД. Характеристики гидрогенератора. Особенности теплового и вентиляционного расчета. Расчет подпятника и подшипников. Особенности расчета механических частей на прочность.

Особенности проектирования турбогенераторов. Конструкции турбогенераторов. Выбор главных размеров. Обмотки статора. Выбор размеров паза статора в зависимости от типа охлаждения. Зубцовая зона и ярмо ротора. Расчет магнитной цепи. Расчет обмотки возбуждения турбогенератора. Расчет параметров и постоянных времени обмоток. Отношение короткого замыкания, токи короткого замыкания, статическая перегружаемость. Потери и КПД. Особенности теплового расчета. Особенности расчета механических частей на прочность. Расчет критических частот вращения ротора.

Машины постоянного тока

Проектирование машин постоянного тока. Общая характеристика МПТ, область их применения. Современные серии. Выбор главных размеров. Электромагнитные нагрузки. Расчет обмоточных данных и зубцовой зоны якоря. Особенности проектирования якорных обмоток машин постоянного тока. Расчетные соотношения, связывающие обмотку якоря с коллектором. Выбор типа обмотки. Волновые и петлевые обмотки.

Воздушный зазор машины постоянного тока. Компенсационная обмотка. Определение требуемой МДС обмотки возбуждения. Проектирование коллектора и щеточного аппарата. Расчет коммутации и проектирование добавочных полюсов. Потери и КПД. Рабочие характеристики МПТ.

Электропривод и автоматизированные электромеханические системы

Регулирование координат электроприводов постоянного и переменного тока: управляемый преобразователь – двигатель постоянного тока, преобразователь частоты – асинхронный двигатель, преобразователь частоты – синхронный двигатель.

Энергетика электроприводов постоянного и переменного тока. Выбор электродвигателя по мощности для типовых режимов работы и проверка его по нагреву.

Типовые функциональные схемы электроприводов, осуществляющих автоматический пуск, стабилизацию скорости, реверс и торможение электродвигателей постоянного тока. Защита от перегрузок и аварийных режимов.

Системы подчиненного регулирования параметров электромеханической системы.

Принцип векторного управления асинхронным двигателем. Типовые структурные схемы его реализации.

Преобразователи переменного напряжения в постоянное и постоянного в переменное. Частотно- и широтно-импульсные преобразователи. Схемы выпрямления. Характеристики управляемых выпрямителей. Принципы анализа процесса коммутации в управляемых выпрямителях. Ограничение зоны прерывистых токов. Основные типы инверторов. Векторное формирование напряжения на нагрузке. Тиристорные инверторы напряжения. Способы коммутации тиристоров. Однополярная и двухполярная схема ШИМ. Работа ШИМ на активную и реактивную нагрузки.

Электрические аппараты

Общие понятия об электрических и электронных аппаратах

Классификация по назначению, по току и напряжению, по области применения. Применение в схемах электроснабжения, электроприводе и электрическом транспорте.

Физические явления в электрических аппаратах

Методы анализа электромагнитных полей. Законы электромагнитного поля. Дифференциальные уравнения для параметров поля. Численные методы (метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод интегральных уравнений) и программное обеспечение для расчетов полей электромагнитных систем. Методы расчетов параметров макромоделей (ЭДС, индуктивностей, силовых характеристик) на основе анализа электромагнитного поля.

Электродинамические силы в электрических аппаратах. Методы расчета. Использование электродинамических сил. Электродинамическая стойкость электрических аппаратов.

Источники теплоты в электрических аппаратах. Методы анализа. Способы снижения потерь в электрических аппаратах. Теплопередача в окружающее пространство. Критерии подобия. Критериальные уравнения. Расчет коэффициентов теплопередачи. Задачи стационарной и нестационарной теплопроводности в электрических аппаратах. Нестационарный режим нагрева и остывания электрических аппаратов.

Контакты электрических аппаратов. Модели контактирования. Ом-вольтная характеристика контактов и сваривание контактов.

Электрическая дуга отключения. Вольт-амперные характеристики стационарной и нестационарной дуги. Распределение потенциалов в дуге. Условия гашения электрической дуги в цепи постоянного тока. Шунтирование дуги. Условия гашения дуги переменного тока. Начальная прочность межконтактного промежутка после прохождения тока через нуль. Восстанавливающаяся прочность и восстанавливающееся напряжение. Влияние собственной частоты сети на процессы гашения дуги.

Электромеханические аппараты

Электрические аппараты распределительных устройств низкого напряжения, управления и автоматики. Электрические аппараты высокого напряжения. Выбор, применение, методы испытаний, эксплуатация и тенденции развития электромеханических аппаратов.

Силовые электронные аппараты

Основные виды аппаратов, их функции и классификация. Сравнительный анализ статических и электромеханических аппаратов и области их рационального применения.

Силовые электронные ключи. Особенности коммутации электронных ключей.

чей. Статические и динамические режимы работы ключей. Области безопасной работы и защита электронных ключей.

Пассивные компоненты и охладители силовых электронных приборов. Влияние повышенной частоты и несинусоидальности напряжения на работу конденсаторов и реакторно-трансформаторного оборудования.

Статические коммутационные аппараты

Статические коммутационные аппараты постоянного и переменного токов. Функциональные возможности и области рационального применения. Гибридные коммутационные аппараты.

Статические регуляторы постоянного и переменного тока

Примеры импульсного регулирования параметров электрической энергии. Основные схемы импульсных регуляторов постоянного тока. Тиристорные регуляторы постоянного тока.

Тиристорные регуляторы переменного тока с естественной и искусственной коммутацией. Применение силовых транзисторов в регуляторах переменного тока. Регуляторы реактивной мощности.

Математическое описание электромеханических устройств

Уравнения обобщенной электрической машины. Математическая модель электромеханических систем с электродвигателями разных типов. Уравнения Парка-Горева для асинхронного и синхронного двигателя. Физический смысл параметров обобщенной машины - коэффициентов в дифференциальных уравнениях. Электромагнитный момент обобщенной электрической машины, уравнение движения ротора.

Методы анализа электромагнитных полей. Законы электромагнитного поля. Дифференциальные уравнения для параметров поля. Численные методы (метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод интегральных уравнений) и программное обеспечение для расчетов полей электромагнитных систем.

Рекомендуемая литература

1. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. В 2-х томах. – М.: Издательский дом МЭИ, 2004.
2. Гольдберг О. Д. Электромеханика: учеб. для студ. вузов / О. Д. Гольдберг, С. И. Хелемская; под ред. О. Д. Гольдберга. – М.: Изд. центр «Академия», 2007. – 512 с.
3. Костенко М. П., Пиотровский Л. М. Электрические машины. Ч. 1. Машины постоянного тока. Трансформаторы. – Л.: Энергия, 1972; Ч. 2. Машины переменного тока. – Л.: Энергия, 1973.
4. Вольдек А. И. Электрические машины. – М.: Энергия, 1978.
5. Проектирование электрических машин: учеб пособие для вузов / И. П. Копылов, Ф. А. Горяинов, Б. К. Клоков и др.; под ред. И. П. Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.
6. Гурин Я. С., Кузнецов Б. И. Проектирование серий электрических машин. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
7. Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов: Учеб. пособие для втузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.
8. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводами. – М.: «Академия», 2005. – 304 с.
9. Онищенко Г. Б. Теория электропривода. – М.: ООО «Образование и исследование», 2013. – 352 с.
10. Белов М. П., Новиков В. Л., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. – М.: «Академия», 2004. – 576 с.
11. Анучин А. С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 374 с.
12. Охорзин В. А., Сафонов К. В. Теория управления: [учебник для вузов] – Санкт-Петербург: Москва: Краснодар: Лань, 2014. – 224 с.
13. Электрические и электронные аппараты: учебник для студ. высш. учеб. заведений. В 2-х т. Т. 1. Электромеханические аппараты / [Е. Г. Акимов и др.]; под. ред. А. Г. Годжелло, Ю. К. Розанова. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 352 с.
14. Электрические и электронные аппараты: учебник для студ. высш. учеб. заведений. В 2 т. Т. 2. Силовые электронные аппараты / [А. П. Бурман и др.]; под. ред. Ю. К. Розанова. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 400 с.
15. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.