

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Поверинов Игорь Егорович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 21.04.2025 13:54:15

Уникальный программный ключ:

6d465b936eef331cede482bded6d124078218052f016469673871a2eab0de1b2

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

(ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова»)

Факультет энергетики и электротехники

Кафедра электротехнологий, электрооборудования и автоматизированных производств

Утверждена в составе
образовательной программы
высшего образования

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) «ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ И ЭЛЕКТРОФИЗИКА»

Научная специальность – 2.4.4. Электротехнология и электрофизика

Форма обучения – очная

Год начала освоения – 2025

СОСТАВИТЕЛЬ (СОСТАВИТЕЛИ):

к.т.н., доцент кафедры электротехнологий, электрооборудования
и автоматизированных производств, доцент
Д.Г. Михадаров

ОБСУЖДЕНО:

На заседании кафедры электротехнологий, электрооборудования и автоматизированных
производств 11 февраля 2025 г., протокол № 5
Заведующий кафедрой
А.Г. Калинин

СОГЛАСОВАНО:

Декан факультета Н.В.Руссова
Начальник отдела подготовки и
повышения квалификации
научно-педагогических кадров С.Б. Харитонова

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля).

Цель освоения дисциплины – формирование у будущих специалистов представления об основных методах преобразования электроэнергии в различные другие и областях применения электротехнологических, электрофизических процессов.

Задачи освоения дисциплины: выработать у аспирантов полное представление об основных электротехнологических и электрофизических процессах и показать их роль в различных отраслях; формирование у аспирантов знаний и умений, позволяющих применять основные положения изучаемой дисциплины в исследовательской и преподавательской деятельности в области электротехнологии и электрофизики; выработка умений проводить необходимые измерения параметров различных электротехнологических и электрофизических процессов; обучение методам проведения теоретических и экспериментальных исследований; выработка способности к эффективному поиску информации и критике источников; обучение навыкам логически мыслить, вести научные дискуссии; формирование творческого мышления, самостоятельности суждений.

2. Планируемые результаты освоения дисциплины (модуля).

В процессе освоения данной дисциплины обучающиеся формируют следующие результаты освоения дисциплины:

К7 – способность разрабатывать теоретические основы и техническую базу энергетики мощных импульсных воздействий;

К8 – способность разрабатывать аналитические и компьютерные модели расчета рациональных электротермических, электромагнитных, электрофизических режимов работы электротехнологических, электрофизических и электрохимических устройств и процессов;

К9 – готовность к исследованию работоспособности и качества функционирования электротехнологических и электрофизических устройств и процессов в различных эксплуатационных режимах и внешних воздействиях.

3. Структура и содержание дисциплины (модуля).

3.1. Структура дисциплины (модуля).

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Формируемые компетенции	Форма текущего контроля
1	Раздел 1. Электротехнология	К7, К8	устный контроль; тестирование
2	Раздел. 2. Электрофизика	К7, К8	устный контроль; тестирование

3.2. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы.

№ п/п	Темы занятий	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа	Всего часов
Семестр 3					
Раздел 1. Электрофизика					
1.	Тема 1. Основы электродинамики	2	2	5	9
2.	Тема 2. Основы теории электрических цепей	2	2	5	9
3.	Тема 3. Строение вещества	2	2	5	9
4.	Тема 4. Вещество в сильном электромагнитном поле	2	2	5	9
5.	Тема 5. Накопление и коммутация энергии больших мощностей	2	2	5	9
6.	Тема 6. Физика сильноточных пучков заряженных частиц	2	2	5	9
7.	Тема 7. Физика и техника устройств на основе низкотемпературной плазмы	2	2	5	9
8.	Тема 8. Компьютерные технологии	2	2	5	9
Итого за 3 сем., час		16	16	40	72
Семестр 4					
Раздел 2. Электротехнология					
9.	Тема 9. Теория теплообмена и виды нагрева.	2	2	9	13
10.	Тема 10. Теория электрических цепей электродных печей	2	2	10	14
11.	Тема 11. Электротехнологические процессы	2	2	10	14
12.	Тема 12. Электрические печи сопротивления. Установки индукционного нагрева. Дуговые сталеплавильные печи (ДСП). Установки спецнагрева.	2	2	9	13
13.	Тема 13. Электрооборудование и электроснабжение электротехнологических установок (ЭТУС)	2	2	10	14
14.	Тема 14. Источники питания электротехнологических установок (ЭТУС)	2	2	9	13
15.	Тема 15. Компьютерная и микропроцессорная техника в электротехнологии	2	2	10	14
16.	Тема 16. Системы автоматического управления электротехнологическими установками (САУ ЭТУ)	2	2	9	13
Итого за 4 сем., час		16	16	76	108
Итого, час		32	32	116	180
Итого, з.е.					5

Вид промежуточной аттестации:

зачет – семестр 3;

кандидатский экзамен – семестр 4.

3.3. Темы занятий и краткое содержание.

Раздел 1. Электрофизика

Тема 1. Основы электродинамики

Лекция 1.

Электростатика. Закон Кулона. Теорема Гаусса. Проводники в электрическом поле. Работа электрических сил, потенциал электрического поля. Уравнение Пуассона и Лапласа. Потенциал объемных и поверхностных зарядов. Двойной электрический слой. Энергия взаимодействия электрических зарядов. Энергия электрического поля. Пондермоторные силы.

Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Свободные и связанные заряды. Уравнение электрического поля в произвольной среде. Пондермоторные силы в диэлектриках. Энергия электрического поля в диэлектриках. Тензор напряжений электрического поля. Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики.

Магнитостатика. Магнитное поле постоянных токов. Сила Лоренца. Векторный потенциал магнитного поля. Уравнения магнитного поля. Потенциальные и соленоидальные магнитные поля. Граничные условия в магнитном поле токов. Пондермоторные силы в магнитном поле. Взаимная индукция и самоиндукция линейных проводников.

Магнитное поле в веществе. Намагниченность магнитов. Уравнения макроскопического магнитного поля в магнетиках. Механизмы намагничивания магнетиков. Теорема Лармора. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм.

Электромагнитное поле в неподвижной среде. Электромагнитные волны. Уравнения Максвелла. Теорема Пойнтинга. Уравнение для потенциалов электромагнитного поля. Решение волнового уравнения. Запаздывающие и опережающие потенциалы. Скорость распространения электромагнитных возмущений.

Практическое занятие 1.

Квазистационарное электромагнитное поле. Глубина проникновения магнитного поля в проводник. Скин-эффект.

Распространение электромагнитного поля в волноводах. Критическая длина волны. Фазовая и групповая скорости. Дисперсия.

Электромагнитные колебания в полых резонаторах.

Излучение заряженных частиц. Условия излучения в неограниченном пространстве. Поле излучения системы зарядов. Волновая зона. Дипольное излучение осциллятора. Излучение релятивистской частицы. Магнитотормозное излучение. Переходное излучение. Черенковское излучение электромагнитных волн в среде. Спонтанное и индуцированное излучение. Вынужденное комбинационное рассеяние.

Численные методы решения краевых задач электродинамики. Метод конечных разностей. Быстрое преобразование Фурье, методы прогонки и циклической редукции. Метод конечных элементов. Вариационные разностные методы. Функция Грина. Метод конечных элементов.

Тема 2. Основы теории электрических цепей

Лекция 2.

Линейные цепи. Методы расчета линейных электрических цепей в стационарном режиме. Уравнения Кирхгофа. Метод комплексных амплитуд. Метод контурных токов. Метод узловых напряжений. Метод эквивалентного генератора. Цепи с зависимыми источниками. Цепи с взаимными индуктивностями.

Методы расчета линейных цепей в нестационарных режимах. Классический метод. Операторный метод (преобразование Лапласа). Метод переменных состояний. Спектральный метод (преобразование Фурье). Интеграл Дюамеля. Цепные схемы, передаточные функции. Обратная связь, электрические фильтры.

Цепи с распределенными параметрами. Длинные линии. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в стационарном режиме. Падающие и отраженные волны. Распределение токов и напряжений в линии. Входное сопротивление линии. Согласование длинных линий.

Решение телеграфных уравнений в нестационарном режиме. Переходные процессы при коммутации предварительно заряженных линий.

Практическое занятие 2.

Синтез линейных электрических цепей. Синтез пассивных двухполюсников. Свойства входных функций пассивных двухполюсников. Положительные вещественные функции. Критерии физической реализуемости. Алгоритм Кауэра. Алгоритм Фостера.

Элементы синтеза четырехполюсника. Синтез четырехполюсников по трем заданным Z- или Y-параметрам, по передаточной функции в виде Г-образного звена из rC- или rL-элементов. Синтез неуравновешенных четырехполюсников в виде каскадного соединения.

Нелинейные цепи. Методы расчета нелинейных цепей постоянного тока. Метод условной линеаризации. Графические методы – лестничная структура, схемы с двумя узлами. Метод кусочно-линейной аппроксимации. Трансформатор с ферромагнитным сердечником. Цепи с ферромагнетиками. Феррорезонанс.

Методы расчета нелинейных цепей в нестационарном режиме. Метод интегрируемой аппроксимации. Метод кусочно-линейной аппроксимации. Метод медленно меняющихся амплитуд. Метод малого параметра. Метод интегральных уравнений. Вариационные методы. Цепи с инерционными элементами, параметрические цепи.

Тема 3. Строение вещества

Лекция 3.

Газы. Основы кинетической теории газов. Давление газа, уравнение состояния идеального газа. Распространение звуковых волн в идеальном газе. Ударные волны в идеальном газе. Эффективное сечение и средняя длина свободного пробега. Процессы переноса.

Плазма. Основные понятия. Кинетическая теория плазмы, распределение частиц по скоростям, эффективные сечения и частоты столкновений. Механизмы ионизации и рекомбинации в плазме. Термическая ионизация, уравнение Саха. Дебаевский радиус. Плазменная частота. Испускание и поглощение фотонов. Диффузия и дрейф частиц. Амбиполярная диффузия. Соотношение между подвижностью и коэффициентами диффузии.

Проводимость низкотемпературной плазмы. Проводимость полностью ионизированного газа (формула Спитцера). Образование непрерывного спектра в плазме. Свободно-свободные и свободно-связанные переходы в нагретом ионизированном газе.

Практическое занятие 3.

Системы и методы плазменной энергетики. Плазменный пиролиз органических веществ. Плазменные системы переработки токсичных отходов. Генераторы низкотемпературной плазмы (плазмотроны), физические основы и техническая реализация.

Жидкости. Макроскопические свойства жидкостей. Силы взаимодействия молекул. Явление переноса в жидкостях.

Твердые тела. Кристаллическая решетка. Силы связи в решетке. Электронный газ, модель потенциальной ямы Шоттки. Зонная модель. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Работа выхода. Явление сверхпроводимости.

Тема 4. Вещество в сильном электромагнитном поле

Лекция 4.

Эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества. Эмиссия электронов из твердого тела. Термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия, ионная эмиссия.

Газовый разряд. Формы разряда в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Лавинный разряд. Закон Пашена. Стримерная форма разряда, переход от стримера к канальной форме разряда. Коронный и тлеющий разряды. Дуговой разряд. Изоляционные свойства газовых диэлектриков. Сильноточный газовый разряд в плотных средах.

Прохождение тока через жидкость. Проводимость электролитов. Топливные элементы. Технический электролиз. Проводимость жидких изоляторов. Диэлектрические потери. Электрическая прочность и пробой жидких диэлектриков. Ударные волны, генерируемые в конденсированной среде. Разряд в жидкостях.

Практическое занятие 4.

Проводники, твердые диэлектрики, полупроводники в сильных полях. Проводимость. Криопроводимость. Сверхпроводимость. Эффект Холла. Термоэлектричество. Электрический взрыв проводников. Диэлектрические потери, электрическая прочность, пробой в твердом диэлектрике. Поверхностный разряд.

Механическая прочность диэлектриков в сверхсильных магнитных полях. Магнитные материалы.

Сверхпроводимость в постоянных и высокочастотных полях. Эффект Месснера. Остаточное сопротивление.

Тема 5. Накопление и коммутация энергии больших мощностей

Лекция 5.

Пространственно-временная концентрация энергии. Способы накопления энергии и типы накопителей. Характеристики накопителей энергии, сравнительные характеристики различных типов накопителей. Максимальная плотность энергии у различных типов накопителей, физические ограничения на плотность энергии в накопителях. Способы передачи энергии от накопителей к нагрузке, оптимизация процесса передачи энергии. Согласование энергии различных видов.

Емкостные накопители энергии. Емкостные накопители энергии на основе малоиндуктивных импульсных конденсаторов. Принципы построения генераторов импульсных напряжений и генераторов импульсных токов. Классификация емкостных накопителей энергии. Защита конденсаторных батарей на высокую энергию. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на основе конденсаторов (вакуумные, газовые, жидкостные разрядники, разрядные колонны). Схемы поджига и синхронизации разрядников. Особенности работы коммутаторов в генераторах импульсных напряжений и генераторах импульсных токов.

Практическое занятие 5.

Методы формирования импульсов с помощью емкостных накопителей энергии. Емкостные накопители на линиях с распределенными параметрами. Первичные и

промежуточные емкостные накопители энергии. Особенности работы емкостных накопителей энергии на линиях с распределенными параметрами в режиме заряда (хранения) и разряда. Оптимизация по напряжению и мощности накопителей энергии на линиях коаксиального типа с распределенными параметрами. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на линиях с распределенными параметрами различных типов (газовые, жидкостные и твердотельные разрядники, разрядники V/N-типа, рельсовые разрядники). Особенности работы коммутаторов накопителей на линиях, конструкции коммутаторов. Методы обеспечения режима многоканальной коммутации.

Тема 6. Физика сильноточных пучков заряженных частиц

Лекция 6.

Распространение сильноточных пучков в вакууме. Предельный ток, ограниченный пространственным зарядом. Предельный ток Альвена. Формирование виртуального катода. Нейтрализованный, самосфокусированный пучок. Е-слой. Магнитная изоляция в диодах и линиях передач.

Распространение сильноточных пучков в плазме и газе. Электромагнитные поля, возбуждаемые пучком при инжекции. Равновесное состояние пучка в плазме. Нестационарная ионизация при инжекции пучка в газах. Токовая нейтрализация пучка.

Генерация сильноточных электронных и ионных пучков. Взрывная эмиссия в сильноточном диоде. Плоский диод в режиме Богуславского-Ленгмюра. Парapotенциальный поток в плоском диоде. Коаксиальный диод с магнитной изоляцией. Сильноточные ионные диоды – диод с магнитной изоляцией, рефлексный диод, пинч-рефлексный диод.

Практическое занятие 6.

Волны и неустойчивости в сильных пучках заряженных частиц. Волны в холодной стационарной плазме. Продольные волны в холодной дрейфующей плазме. Собственные волны в сильноточных пучках. Волны пространственного заряда в замагниченном пучке.

Электростатическая и электродинамическая неустойчивости волн пространственного заряда. Циклотронный резонанс. Неустойчивости в многокомпонентной системе.

Тема 7. Физика и техника устройств на основе низкотемпературной плазмы

Лекция 7.

Особенности физических процессов в низкотемпературной плазме.

Плазмохимические, металлургические и другие устройства на основе совместного применения мощных электрических дуговых разрядов и электромагнитных полей.

Практическое занятие 7.

Физика приэлектродных процессов в сильноточных дуговых разрядах.

Тема 8. Компьютерные технологии

Лекция 8.

Компьютер как инструмент научной работы. Математическое моделирование с применением компьютерных технологий.

Практическое занятие 8.

Возможности пакетов математических вычислительных программ для решения прикладных задач.

Раздел. 2. Электротехнология

Тема 9. Научно-технические основы электротехнологий

Лекция 9.

Современные проблемы использования электрической энергии для технологических процессов. Основные виды продукции с предпочтительным производством на электротехнологических установках. Классификация электротехнологических установок. Электротехнологические установки с тепловым процессом формирования требуемого качества продукции. Основные методы преобразования электрической энергии в тепловую, их эффективность и распространенность в современных технологических процессах. Основные законы подобия и моделирования процессов в электротермических установках. Использование физического, математического и численного моделирования для решения задач электрического нагрева и его оптимизации.

Практическое занятие 9.

Перспективные направления в использовании электроэнергии для технологических процессов. Географические, экономические и экологические аспекты использования электротехнологий.

Тема 10. Физические принципы и техническая реализация современных электротехнологических установок

Лекция 10.

Эффект теплообразования при прохождении электрического тока по проводнику. Сопротивление проводника. Особенности тепловыделения в сопротивлении. Основные законы теплопередачи от элемента сопротивления к объекту нагрева. Влияние геометрии рабочего пространства и третьих тел на теплопередачу. Основные методы расчета стационарных и нестационарных тепловых полей. Решение тепловых задач с внутренними источниками тепла.

Электрические печи сопротивления. Основные виды и конструкции электрических цепей сопротивления. Печи с нагревательными элементами, прямого действия, электродно-соляная ванна, печь электрошлакового переплава. Тепловой расчет печей периодического действия. Тепловой расчет печей методического действия. Расчет нагревателей среднетемпературных и высокотемпературных печей. Особенности конструкции нагревателей с теплоотдачей преимущественно излучением. Особенности теплового расчета электрических печей с принудительной циркуляцией атмосферы. Расчет электрических нагревателей с преимущественно конвективной теплоотдачей. Методы измерения и регулирования температур в электрических печах.

Практическое занятие 10.

Электрический дуговой разряд как источник тепла. Параметры электрической дуги высокого и низкого давления. Влияние внешней среды на процессы тепло- и массопереноса и процесс преобразования энергии в электрических дугах. Приэлектродные процессы в электрических дугах. Коронный, барьерный, тлеющий разряды. Методы расчета электрических цепей с дуговыми разрядами в контуре цепи. Вольтамперная характеристика электрической дуги постоянного и переменного тока. Устойчивость системы с дуговым разрядом. Устойчивость дугового разряда при наличии возмущений. Влияние материала электродов и среды на устойчивость дугового разряда.

Лекция 11.

Плазма и ее разновидности. Особенности использования холодной плазмы в электротехнологических установках.

Дуговые (в том числе руднотермические и плазменнодуговые) печи прямого и косвенного действия. Особенности теплообразования и теплопередачи в дуговых печах. Технологические процессы выплавки стали в дуговых печах. Расчет электрических процессов в дуговой печи. Тепловой расчет и энергетический баланс процессов в дуговой печи. Источники питания и электрооборудование дуговой печи. Расчет и проектирование коротких сетей. Дуговая печь как нагрузка электрической сети. Современные тенденции в развитии систем электропитания и повышении эффективности тепловых процессов в дуговых печах.

Особенности тепловых процессов в рудовосстановительных печах. Область применения, классификация и типы рудовосстановительных печей. Источники питания, электрооборудование, методы электрического расчета энергетического баланса печей. Перспективные направления совершенствования тепловых и энергетических процессов в технологиях рудовосстановительных печей.

Дуговые вакуумные печи. Особенности технологических процессов плавки в вакуумных печах. Гарнисажные дуговые вакуумные печи.

Практическое занятие 11.

Перенос и преобразование энергии в электромагнитном поле. Плоская волна, скин-эффект. Процесс взаимодействия электромагнитного поля с металлом. Электромагнитные явления в металлах с постоянной магнитной проницаемостью. Принцип индукционного нагрева. Методы расчета систем «индуктор – металл». Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности системы «индуктор – металл» Электродинамические процессы в ферромагнитных телах. Источники питания индукционных установок. Механические усилия в электродинамических системах. Взаимодействия электромагнитного поля с плазмой и расплавленным металлом.

Канальные и тигельные печи индукционного нагрева. Физические основы индукционного нагрева. Индукционные плавильные тигельные печи. Расчет основных параметров тигельной печи. Магнитогидродинамические процессы в ванне печи. Энергетический баланс установки. Источники питания и электрооборудование тигельных печей. Особенности расчета индукционных печей. Энергетический баланс канальной печи. Электродинамические явления в каналах печей. Установки индукционного нагрева на средних и высоких частотах. Установки сквозного нагрева. Выбор основных параметров установок сквозного нагрева. Источники питания и электрооборудование на средних частотах. Индукционная поверхностная закалка. Выбор основных параметров установок индукционной закали. Ламповые генераторы. Режимы работы ламповых генераторов. Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников. Установки зонной плавки.

Электронно-лучевая высоковакуумная печь для переплава особо чистой стали и тугоплавких материалов Мощные электронные пушки. Характеристики оптической системы электронных пушек. Электронные установки зонной очистки металлов и выращивание монокристаллов. Электронные испарительные установки. Тепловой расчет и энергетические характеристики электронно-лучевых установок.

Тема 11. Процессы и установки для сварки и улучшения свойств материалов

Лекция 12.

Электродуговая сварка. Особенности формирования сварочных дуг. Источники питания сварочных дуг. Плазменнодуговая сварка и резка металлов. Физические основы плазменной сварки и резки металлов. Контактная сварка. Физические основы электрической контактной сварки. Стыковая сварка. Точечная сварка. Шовная сварка. Электрооборудование установок контактной сварки.

Плазменная техника и технология. Основные типы и классификация плазмотронов атмосферного давления. Основные виды плазменных технологий (резка, плавка, сварка, напыление, плазмохимия, нанопорошки). Плазменно-ионные технологии и устройства (травление, очистка, нанесение покрытий, полировка). Приэлектродные явления и теплообмен в электродных пятнах, условия устойчивости горения электрических дуг. Математическое моделирование и расчет плазмы, плазмотронов и плазменных технологий (уравнение энергии и движения, электромагнитные задачи).

Электроэрозионные и анодно-механические методы обработки металлов. Электроэрозионная обработка металлов. Параметры импульсных разрядов. Основные операции, выполняемые электроэрозионным методом. Импульсные генераторы для электроэрозионной обработки. Анодно-механическая обработка металлов. Основы анодно-механической обработки. Разновидности анодно-механической обработки.

Практическое занятие 12.

Электрогидравлические и магнитно-импульсные методы обработки. Установки для электрогидравлической обработки. Физические процессы, происходящие при высоковольтном электрическом разряде в жидкости. Генераторы импульсов тока. Технологическое использование электрического разряда в жидкости. Магнитноимпульсная обработка металлов. Физические основы магнитноимпульсной обработки металлов. Элементы оборудования установок магнитноимпульсной обработки. Характеристики операции магнитноимпульсной обработки.

Промышленные лазеры. Физические основы лазерной техники. Принцип действия и характеристики газовых лазеров, лазерные технологии.

Ультразвуковые установки и методы сварки, очистки и интенсификации технологических процессов.

Тема 12. Электротехнологические процессы в экологии

Лекция 13.

Перспективы использования электротехнологических процессов для улучшения окружающей среды. Состояние и темпы загрязненности воздушной и водной среды промышленными и бытовыми отходами.

Практическое занятие 13.

Основные электрофизические и электротехнологические методы очистки окружающей среды. Очистка воздушной и водной среды посредством озона. Основные электрофизические методы получения озона. Плазмохимические методы нейтрализации и разложения токсичных газов. Методы деструкции радиоактивных отходов.

Тема 13. Источники электропитания электротехнологических установок

Лекция 14.

Источники питания электротехнологических установок с первичной энергией в виде электросети промышленной частоты. Источники питания для дуговых и руднотермических печей, выбор печных трансформаторов, методы регулирования мощности в печах. Системы управления режимом работы источника питания.

Источники питания постоянного тока для электротехнологических установок. Основные схемы выпрямления, регулирования тока и напряжения источников питания. Формирования падающих вольтамперных характеристик источников. Условия совместимости источников питания с первичной сетью.

Практическое занятие 14.

Источники питания звуковой и ультразвуковой частот для установок индукционного нагрева. Особенности построения схем инвертирования тока и выбор

элементной базы для полупроводниковых источников питания печей индукционного нагрева. Ламповые генераторы. Основные схемы генерации и регулирования мощности. Генераторные триоды, параметры ламповых генераторов.

Магнетронные источники питания сверхвысокой частоты для целей нагрева.

Тема 14. Автоматическое управление электротехнологическими процессами

Лекция 15.

Принципы и задачи автоматического управления электротехнологическими установками. Импульсные и непрерывные методы регулирования режимами электротехнологических установок. Программное управление. Понятие о самонастраивающихся системах управления.

Автоматическое управление электропечами сопротивления. Позиционные регуляторы температуры. Динамика систем непрерывного регулирования температуры. Расчет и настройка регуляторов температуры. Современные типовые регуляторы температуры.

Автоматическое управление индукционными электротехнологическими установками. Управление плавильными установками промышленной частоты. Принцип управления индукционными установками на средних частотах. Управление высокочастотными установками с ламповыми генераторами.

Практическое занятие 15.

Автоматическое управление режимами дуговых сталеплавильных печей. Сталеплавильная печь как объект регулирования. Задачи управления. Промышленные регуляторы дуговых сталеплавильных печей. Системы комплексного управления дуговыми печами с применением ЭВМ. Автоматическое регулирование рудовосстановительных печей.

Автоматическое управление вакуумными дуговыми печами. Требования к автоматической системе ведения плавки. Автоматические регуляторы длины дуги и мощности нагревателя печи.

Автоматическое управление электрошлаковыми печами. Режимы работы электрошлаковой печи и выбор параметров регулирования.

Автоматическое управление плазменными, электронно-лучевыми и лазерными установками.

Тема 15. Особенности математического моделирования электротехнологических процессов

Лекция 16.

Структура и физический смысл основных уравнений, описывающих электротехнологические и электрофизические процессы (уравнения стационарной и нестационарной теплопроводности, баланса энергии, движения и неразрывности). Уравнения электромагнитного поля (Максвелла, цепные задачи).

Плоские и цилиндрические задачи, граничные и начальные условия. Нелинейный характер уравнений и итерационный метод их решения. Элементы вычислительной математики: метод конечных элементов, конечных разностей, контрольного объема.

Практическое занятие 16.

Аппроксимирующие функции. Конструирование дискретного аналога уравнений. Обеспечение устойчивости и сходимости решения. Метод прямой и обратной прогонки.

Специфика языков программирования. Системы автоматического проектирования в электротермии.

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины (модуля).

Формы и виды контроля знаний аспирантов, предусмотренные по данной дисциплине:

- текущий контроль;
- промежуточная аттестация (зачет, кандидатский экзамен).

Критерии получения зачета по дисциплине (модулю):

- оценка «зачтено» ставится, если обучающийся выполнил не менее половины аудиторных контрольных работ, домашних заданий, докладов, ответил на половину вопросов к зачету;

- оценка «не зачтено» ставится, если обучающийся выполнил менее половины аудиторных контрольных работ, домашних заданий, докладов, не ответил на половину вопросов к зачету.

Критерии экзаменационной оценки:

- для оценки «отлично» - наличие глубоких и исчерпывающих знаний в объеме пройденного программного материала правильные и уверенные действия по применению полученных знаний на практике, грамотное и логически стройное изложение материала при ответе, знание дополнительно рекомендованной литературы;

- для оценки «хорошо» - наличие твердых и достаточно полных знаний программного материала, незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильные действия по применению знаний на практике, четкое изложение материала;

- для оценки «удовлетворительно» - наличие твердых знаний пройденного материала, изложение ответов с ошибками, уверенно исправляемыми после дополнительных вопросов, необходимость наводящих вопросов, правильные действия по применению знаний на практике;

- для оценки «неудовлетворительно» - наличие грубых ошибок в ответе, непонимание сущности излагаемого вопроса, неумение применять знания на практике, неуверенность и неточность ответов на дополнительные и наводящие вопросы.

4.1. Примерный перечень вопросов к зачету

1. Уравнение Пуассона и Лапласа.
2. Потенциал объемных и поверхностных зарядов. Двойной электрический слой.
3. Энергия электрического поля в диэлектриках.
4. Магнитное поле постоянных токов. Сила Лоренца.
5. Теорема Лармора. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм.
6. Уравнения Максвелла.
7. Квазистационарное электромагнитное поле.
8. Распространение электромагнитного поля в волноводах.
9. Электромагнитные колебания в полых резонаторах.
10. Излучение заряженных частиц. Волновая зона. Дипольное излучение осциллятора.
11. Излучение релятивистской частицы.
12. Спонтанное и индуцированное излучение.
13. Численные методы решения краевых задач электродинамики.
14. Методы расчета линейных электрических цепей в стационарном режиме.
15. Методы расчета линейных цепей в нестационарных режимах.
16. Цепи с распределенными параметрами.
17. Решение телеграфных уравнений в нестационарном режиме.
18. Синтез линейных электрических цепей.
19. Элементы синтеза четырехполюсника/

20. Методы расчета нелинейных цепей постоянного тока. Метод условной линеаризации.
21. Методы расчета нелинейных цепей в нестационарном режиме.
22. Давление газа, уравнение состояния идеального газа.
23. Плазма. Основные понятия. Проводимость низкотемпературной плазмы.
24. Системы и методы плазменной энергетики.
25. Макроскопические свойства жидкостей. Силы взаимодействия молекул. Явление переноса в жидкостях.
26. Твердые тела. Кристаллическая решетка. Силы связи в решетке.
27. Эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества. Термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия, ионная эмиссия.
28. Газовый разряд. Самостоятельный и несамостоятельный разряды.
29. Прохождение тока через жидкость. Разряд в жидкостях.
30. Проводники, твердые диэлектрики, полупроводники в сильных полях.
31. Механическая прочность диэлектриков в сверхсильных магнитных полях. Магнитные материалы.
32. Сверхпроводимость в постоянных и высокочастотных полях.
33. Способы накопления энергии и типы накопителей. Характеристики накопителей энергии/
34. Согласование энергии различных видов.
35. Принципы построения генераторов импульсных напряжений и генераторов импульсных токов.
36. Методы формирования импульсов с помощью емкостных накопителей энергии.
37. Первичные и промежуточные емкостные накопители энергии.
38. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на линиях с распределенными параметрами различных типов.
39. Распространение сильноточных пучков в вакууме.
40. Распространение сильноточных пучков в плазме и газе.
41. Генерация сильноточных электронных и ионных пучков.
42. Сильноточные ионные диоды.
43. Волны в холодной стационарной плазме.
44. Электростатическая и электродинамическая неустойчивости волн пространственного заряда.
45. Особенности физических процессов в низкотемпературной плазме.
46. Физика приэлектродных процессов в сильноточных дуговых разрядах.
47. Возможности пакетов математических вычислительных программ для решения прикладных задач.

4.2. Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Стационарная теплопередача, расчет тепловых потерь через плоскую многослойную стенку.
2. Стационарная теплопередача, расчет тепловых потерь через цилиндрическую многослойную стенку.
3. Расчет нагревательных элементов электрических печей сопротивления.
4. Последовательность расчета нагревательных элементов.
5. Компенсация реактивной мощности в индукционных установках. Расчет параметров конденсаторной батареи.
6. Выбор частоты тока при сквозном индукционном нагреве. Двухчастотный нагрев.
7. Электродинамические явления в индукционных тигельных печах.
8. СВЧ-нагрев диэлектрических материалов (особенности, источники питания СВЧ-

- энергии, передача СВЧ-энергии).
9. Источники питания установок для индукционного и диэлектрического нагрева.
 10. Применение симметрирующих устройств при питании установок индукционного нагрева.
 11. Методика расчета электрических параметров и геометрических размеров нагревательных элементов.
 12. Компланарный и триангулированный токоподводы (сравнение параметров)
 13. Особенности переноса мощности в дуговых печах. Принципы снижения несимметрии токоподвода
 14. Энергетические балансы дуговых печей
 15. Основные направления энергосбережения на дуговых печах
 16. Влияние несинусоидальности, колебательности режима и нелинейности токоподвода на электрические характеристик дуговых печей
 17. Критерии и методы оптимизации режима дуговых печей. Особые точки электрической характеристики дуговых печей
 18. Саморегулирование и автоматическое регулирование длины дуги.
 19. Сварочные электронные пушки и их основные параметры. Схемы промышленных установок для электронно-лучевой сварки.
 20. Типы лазеров, применяемых для сварки и их технологические характеристики. Основные параметры сварки лазерным лучом и их расчёт.
 21. Рабочий процесс в электрошлаковой печи.
 22. Принцип действия и области применения плазменного нагрева.
 23. Закономерности выделения и распределения тепла в шлаковой ванне электрошлаковых печей
 24. Тепловые процессы и энергетический баланс при электрошлаковом переплаве.
 25. Энергетический баланс электронно-лучевых установок.
 26. Источники питания установок для плазменно-дугового напыления.
 27. Тепловые процессы при лазерной поверхностной обработке металлов: постановка задачи, методы решения.
 28. Электрические и тепловые процессы при вакуумно-дуговой плавке.

Каждому аспиранту на экзамене дополнительно задаются вопросы по теме диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).

5.1. Рекомендуемая основная литература.

№	Название
1.	Теоретический курс физики в 10-ти томах. Т. 2 Теория поля. Т. 5 Электродинамика сплошных сред. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. /Под ред. Л.П. Питаевского. –М.: Физматгиз, 2001
2.	Зельдович И.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. –М.: Наука, 1966
3.	Райзер Ю.П. Физика газового разряда. –М.: Наука, 1987
4.	Шнеерен Г.А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверхсильных токов. Издание 2-е. –М.: Энергоатомиздат, 1992
5.	Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. –М.: Энергоатомиздат, 1990

6.	Глебов И.А., Рутберг Ф.Г. Мощные генераторы плазмы. –М.: Энергоатомиздат, 1990
7.	Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Т. 1 – 4. /Под ред. В.Е. Фортова. –М.: Наука, 2000
8.	Чередниченко В.С. Электрические печи сопротивления. Теплопередача и расчеты электропечей сопротивления: монография/ В.С.Чередниченко и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 624 с. – (Современные электротехнологии) – Т.1)
9.	Чередниченко В.С. Электрические печи сопротивления. Конструкции и эксплуатация электропечей сопротивления /В.С.Чередниченко и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ 2006. – 572 с., ил. – (Серия монографий «Современные электротехнологии». – Т.2).
10	Свенчанский А.Д. Электрические промышленные печи. ч.1. Электрические печи сопротивления. –М.: Энергия, 1975. – 384 с., ил.
11	Иванова Г.М. Теплотехнические измерения и приборы. Учебник для вузов. М.: Изд-во МЭИ. 2007. 458 с., ил.
12	Слухоцкий А.Е., Немков В.С., Павлов Н.А., Бамунер А.В. Установки индукционного нагрева.: Уч.пособ. для вузов/Под ред. А.Е. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд., 1981.
13	Современные энергосберегающие электротехнологии.: Уч. пособие для вузов/ Ю.И. Блинов, А.С. Васильев, А.Н. Никоноров и др. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2000.
14	Миронова А.Н., Миронов Ю.М. Электротехнологическая эффективность дуговых сталеплавильных печей. Чебоксары: Изд-во Чув.ГУ. 1999
15	Тулусовский Ю.Н., И.Ю.Зинуров Инновации для дуговых сталеплавильных печей. Научные основы выбора. Новосибирск: изд-во НГТУ. 2010
16	Миронов Ю.М. Установки электрошлаковой металлургической технологии. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 408 с. + 48 илл. – (Серия монографий «Современные электротехнологии». – Т. 11.)
17	Миронов Ю.М. Электрошлаковые печи для плавки и литья: Учеб. Пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш ун-та, 2005. 294 с.
18	Акулов А.И. и др. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для ВУЗов по специальности «Оборудование и технология сварочного производства». А.И.Акулов, Г.А.Бельчук, В.П. Демянцевич – М.: Машиностроение 1977-432с.
19	Плазменные электротехнологические установки (учеб. Пособие для ВУЗов) Под ред. В.С. Чередниченко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005г. (Современные электротехнологии; т.2).
20	Лазерная техника и технология. В 7 кн.: Учеб. Пособие для вузов/ Под ред. А.Г. Григорьянца.- М.: Высш. Шк., 1988.

5.2. Рекомендуемая дополнительная литература.

№	Название
1.	Электротермическое оборудование/Под общ. Ред. А.П.Альтгаузена. 2-е изд., М.:Энергия,1980, 416с.
2.	Электрооборудование и автоматика электротермических установок / Альтгаузен А.П. и др. –М.: Энергия, 1978, 304 с.
3.	Электрические промышленные печи. Дуговые печи и установки спецнагрева: /Под ред. А.Д. Свенчанского, М. – Энергоатомиздат, 1981, 296 с.
4.	Электрические печи сопротивления: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию/ Ю.П. Ананьин. Чуваш. Ун-т. Чебоксары, 2010
5.	Электрические печи сопротивления: Методические указания к лабораторным

	работам/ Ю.П. Ананьин, Чуваш. Ун-т, Чебоксары, 2008, 32с.
6.	А.Д. Свенчанский, К.Д. Гуттерман. Автоматическое регулирование электрических печей/ М.-Л., Энергия, 1965. 480 с.
7.	Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева.– Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд., 1988.
8.	Княжевская Г.С., Фирсова М.Г., Килькеев Р.Ш. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов. – Л.: Машиностроение, 1989.
9.	Яров В.М., Терехов В.П., Ильгачев А.Н. Полупроводниковые преобразователи частоты для установок индукционного нагрева. ЧГУ, 2005
10.	Миронов Ю.М. Теоретическая электротехника электрических электродных печей.- Чебоксары: Чув.гос.ун-т, 1997
11.	Волохонский Л.А. Вакуумные дуговые печи. – М.: Энергоатомиздат, 1985, 232 с
12.	Порошковая металлургия и напыленные покрытия: / В.Н. Анцифирев и др. -М.: Металлургия, 1987, 792 с.
13.	Технология и оборудование контактной сварки:[Б.Д. Орлов, А. А. Чаналев, Ю. В. Дмитриев и др.]. Под ред. Б. Д. Орлова - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986г. - 351с.
14.	М.Б. Гутман, Л.С. Кацевич, М.С. Лейканд и др.Электрические печи сопротивления и дуговые печи /Под ред. М.Б. Гутмана. – М.: Энергоатомиздат. 1980. – 360 с., ил.
15.	Механизмы и приводы электротехнологических установок / Ю.П. Ананьин, Ю.М. Петросов. Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та , 2005, - 402с.
16.	В.П. Исаченко и др. Теплопередача. М.: Энергия, 1975.488 с
17.	В.А. Рогов. Методика и практика технических экспериментов. М.: Академия, 2007. 283 с., ил.
18.	И.И. Алиев. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. – М., Высшая школа. 2007, 255 с., ил.
19.	Основы метрологии и электрические измерения / Б.Я. Авдеев и др.; Под ред. Е.М. Душина. 6-е изд., перераб. и доп. – Л., Энергоатомиздат. 1987. – 480 с, ил.
20.	Теплотехника / А.П. Баскаков и др. Под ред. А.П. Баскакова. М.: Энергоатомиздат. 1991. 221 с.
21.	Промышленная теплоэнергетика и теплотехника / Под общ. ред. Чл.-корр. РАН А.В. Клименко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М., изд-во МЭИ. 2004. – 632 с., ил.

5.3. Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы, интернет-ресурсы.

№	Перечень программного обеспечения, профессиональных баз данных и информационных справочных систем, интернет-ресурсов
Перечень программного обеспечения	
1.	Пакет офисных программ Microsoft Office
2.	Операционная система Windows
3.	Системы компьютерной математики для проведения инженерных расчётов.
4.	Система автоматизированного проектирования Компас
Перечень ЭБС	
1.	Научная библиотека ЧувГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://library.chuvsu.ru
2.	Электронно-библиотечная система IPRBooks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru
3.	Образовательная платформа «Юрайт»: для вузов и ссузов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.urait.ru

Интернет-ресурсы	
1.	Единое окно к образовательным ресурсам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://window.edu.ru
2.	Российская государственная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rsl.ru
3.	Российская национальная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nlr.ru
4.	Научная электронная библиотека «Киберленинка» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cyberleninka.ru
5.	Научная электронная библиотека «Elibrary» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.elibrary.ru
6.	Библиографическая и реферативная база данных «Scopus» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.scopus.com
7.	Поисковая платформа «Web of Science» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://webofknowledge.com

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).

Учебные аудитории для лекционных и практических занятий по дисциплине оснащены мультимедийным проектором и настенным экраном.

Учебные аудитории для самостоятельных занятий по дисциплине оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и доступом к электронной информационно-образовательной среде ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова».

7. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям лиц с ограниченными возможностями.

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

– для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

– для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

– для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

8. Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы.

Самостоятельная работа определяется спецификой дисциплины и методикой ее преподавания, временем, предусмотренным учебным планом, а также степенью обучения, на которой изучается дисциплина.

Для самостоятельной подготовки можно рекомендовать следующие источники: конспекты лекций и/или практических и лабораторных занятий, учебную литературу соответствующего профиля.

Преподаватель в начале чтения курса информирует обучающихся о формах, видах и содержании самостоятельной работы, разъясняет требования, предъявляемые к результатам самостоятельной работы, а также формы и методы контроля и критерии оценки.

Методические рекомендации по подготовке к зачету

Подготовка к зачету начинается с первого занятия по дисциплине, на котором обучающиеся получают предварительный перечень вопросов к зачёту и список рекомендуемой литературы, их ставят в известность относительно критериев выставления зачёта и специфике текущей и промежуточной аттестации. С самого начала желательно планомерно осваивать материал, руководствуясь перечнем вопросов к зачету и списком рекомендуемой литературы, а также путём самостоятельного конспектирования материалов занятий и результатов самостоятельного изучения учебных вопросов.

Темы, вынесенные на самостоятельное изучение, необходимо законспектировать. В конспекте кратко излагается основная сущность учебного материала, приводятся необходимые обоснования, табличные данные, схемы, эскизы, графики и т.п. Конспект целесообразно составлять целиком на тему. При этом имеется возможность всегда дополнять составленный конспект материалами из журналов, данных из Интернета и других источников. Таким образом, конспект становится сборником необходимых материалов, куда аспирант вносит всё новое, что он изучил, узнал. Такие конспекты представляют, большую ценность при подготовке к занятиям.

Основные этапы самостоятельного изучения учебных вопросов:

1. Первичное ознакомление с материалом изучаемой темы по тексту учебника, картам, дополнительной литературе.
2. Выделение главного в изучаемом материале, составление обычных кратких записей.
3. Подбор к данному тексту опорных сигналов в виде отдельных слов, определённых знаков, графиков, рисунков.
4. Продумывание схематического способа кодирования знаний, использование различного шрифта и т.д.
5. Составление опорного конспекта.

Методические рекомендации по подготовке к экзамену

Экзамен преследует цель оценить работу обучающегося за определенный курс: полученные теоретические знания, их прочность, развитие логического и творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умения анализировать и синтезировать полученные знания и применять на практике решение практических задач.

Формулировка вопросов совпадает с формулировкой перечня вопросов, доведенного до сведения обучающихся за один месяц до экзаменационной сессии. В процессе подготовки к экзамену организована предэкзаменационная консультация для всех учебных групп. Результат экзамена выражается оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно».

С целью уточнения оценки экзаменатор может задать не более одного-двух дополнительных вопросов, не выходящих за рамки требований рабочей программы дисциплины. Под дополнительным вопросом подразумевается вопрос, не связанный с тематикой вопросов билета. Дополнительный вопрос, также как и основные вопросы билета, требует развернутого ответа. Кроме того, преподаватель может задать ряд уточняющих и наводящих вопросов, связанных с тематикой основных вопросов билета. Число уточняющих и наводящих вопросов не ограничено.