

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

д.т.н. проф.  Драгунов В.К.

« 27 »  2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
специальной дисциплины 2.4.1. Теоретическая и прикладная
электротехника
Профиль: Теоретическая электротехника**

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности «Теоретическая и прикладная электротехника» в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение фундаментальных основ теоретической электротехники.

Задачами дисциплины являются:

- изучение экспериментальных и расчетных методов исследования слабых и сильных электромагнитных полей в электротехнических, электроэнергетических, электрофизических, информационных, управляющих и биологических системах.

- изучение экспериментальных и расчетных методов исследования электрических, электронных и магнитных цепей.

- освоение методов анализа, синтеза, оптимизации и диагностики электромагнитных полей и электрических цепей.

- методов математического моделирования неэлектрических явлений и процессов с использованием электромагнитных аналогов.

- освоение основ теории и методов исследования электродинамических систем, интегрирующих объекты информационной и электротехнической природы.

- способность разрабатывать стенды, устройства и установки для экспериментальных исследований электромагнитных полей, электрических, магнитных и электронных цепей.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Формула специальности (см. википедия)

Электротехника – область науки и техники, связанная с использованием электрических и магнитных явлений в практических целях. Теоретическая электротехника – фундаментальные основы знаний, язык всех электротехнических и электроэнергетических дисциплин. ТОЭ синтезирует знания физики и математики. Курс ТОЭ состоит из ТЭЦ (теория цепей) и ТЭМП (теория электромагнитного поля) и содержит несколько частей.

Вводная часть – «Введение, краткая история электротехники, основные понятия и законы теории электромагнитного поля и теории электрических и магнитных цепей» содержит обобщение понятий и законов из области электромагнитного поля, формулировок и определений основных понятий и законов теории электрических и магнитных цепей, относящихся ко всем разделам курса.

Наиболее объемная часть – «Теория линейных электрических цепей». В ней излагаются свойства линейных электрических цепей и методы расчета процессов в таких цепях. Проводится анализ цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами в установившемся режиме и расчет переходных процессов, вызванных коммутацией. В «Теории нелинейных электрических и магнитных цепей» рассматриваются свойства и методы расчета цепей с нелинейными характеристиками.

Ряд электротехнических проблем решается только методами «Теории электромагнитного поля».

Области исследований

1. Фундаментальные основы теории электромагнитного поля.
2. Влияние энергетики на глобальный климат и перспективы развития электроэнергетики и электротехники.
3. Сверхпроводниковые колебательные и антенные системы.
4. Диагностика электрических цепей и электротехнических устройств.
5. Интеллектуализация электротехнических и электроэнергетических устройств и систем и управление ими.
6. СВЧ-электротехника и электромагнитная совместимость.
7. Моделирование электротехнических устройств и систем.
8. Системы электроснабжения постоянного тока.
9. Специальные вопросы обеспечения качества электроэнергии.

Отрасль науки

– технические науки;

Основные понятия и законы

Предмет теоретической электротехники, основные этапы развития электротехники, отечественная электротехническая школа. Характеристика задач теории электромагнитного поля и теории электрических и магнитных цепей. Электромагнитное поле как особый вид материи, две его составляющие - электрическое поле, магнитное поле. Параметры и интегральная форма основных уравнений электромагнитного поля. Энергия, силы и механические проявления электрического и магнитного полей. Электрическое напряжение и электродвижущая сила. Электрический ток, виды электрического тока. Магнитный поток и его непрерывность. Электрические и магнитные цепи. Научные абстракции, используемые в теории электрических цепей. Линейные

и нелинейные цепи, цепи с распределенными и сосредоточенными параметрами. Схемы электрических и магнитных цепей. Понятие о топологии схем электрических и магнитных цепей. Графы и топологические матрицы схем электрических и магнитных цепей. Законы электрических и магнитных цепей. Полные системы уравнений электрических и магнитных цепей. Установившиеся и переходные процессы в электрических и магнитных цепях. Анализ, синтез и диагностика как основные задачи теории электрических и магнитных цепей.

Теория линейных электрических цепей

Электрические и электронные цепи в системах передачи, распространения и преобразования энергии и информации. Активные и пассивные цепи. Двухполюсники и многополюсники. Управляемые источники. Индуктивно связанные элементы. Методы расчета электрических цепей при установившихся синусоидальных и постоянных токах: метод эквивалентного генератора, метод контурных токов и узловых напряжений, методы эквивалентных преобразований электрических цепей, комплексный метод. Мощности в цепях синусоидального и постоянного токов. Баланс мощностей. Численные методы решения уравнений цепей при установившихся процессах. Точные и итерационные методы. Метод Гаусса, разложение матриц на треугольные сомножители. Условие сходимости итерационных методов.

Многофазные цепи. Расчет симметричных и несимметричных режимов работы трехфазных цепей. Метод симметричных составляющих.

Многополюсники, матрицы и основные уравнения четырехполюсников. Характеристическое сопротивление и коэффициент передачи. Схемы замещения взаимных и невзаимных четырехполюсников. Соединения четырехполюсников. Особенности формирования уравнений цепей, содержащих многополюсные компоненты.

Электрические цепи при несинусоидальных периодических напряжениях и токах. Гармонический анализ периодических функций. Действующие значения мощности и токов, напряжений, электродвижущих сил. Состав высших гармоник при симметрии форм кривых напряжений и токов. Мощности в цепях с несинусоидальными напряжениями и токами. Резонансные явления. Частотные характеристики цепей и методы их расчета. Элементы теории фильтров. Полоса пропускания и избирательность фильтра.

Переходные процессы в линейных цепях. Анализ переходных процессов во временной и частотной областях. Использование интегралов Дюамеля, Лапласа, Фурье при расчете переходных процессов, передаточные функции цепи. Классический метод расчета. Метод переменных состояний. Расчет процессов при наличии в цепи емкостных контуров и индуктивных сечений. Проблемы и методы численного решения уравнений состояния. Понятие о жесткости уравнений состояния. Сведение задач расчета переходных процессов к расчету резистивных цепей - метод дискретных схем замещения.

Машинное формирование уравнений дискретных схем на основе метода поэлементного вклада. Аналитическое решение уравнений состояния. Определение составляющих решения уравнений состояния электрических цепей - свободной, принужденной, установившейся и переходящей. Численная обработка матричных функций аналитических решений уравнений состояния.

Цифровые электрические и электронные цепи, z -преобразование, уравнения состояния в z -области, передаточные функции цифровых систем в z -области.

Синтез линейных электрических цепей. Проблемы аппроксимации и схемной реализации. Необходимые и достаточные условия схемной реализации. Фундаментальные свойства схемных функций цепей. Синтез передаточных функций четырехполюсников.

Диагностика линейных электрических цепей. Диагностики резистивных многополюсников методом узловых сопротивлений. Диагностики резистивных цепей по частям. Погрешности измерений при решении задач диагностики.

Цепи с распределенными параметрами. Уравнения длинных линий, их решение для установившихся синусоидальных колебаний. Переходные процессы в цепях с распределенными параметрами.

Теория нелинейных электрических цепей

Установившиеся процессы в нелинейных цепях. Методы расчета нелинейных электрических и магнитных цепей при постоянных токах и напряжениях.

Нелинейные цепи переменного тока и методы их расчета. Анализ установившихся процессов в нелинейных цепях переменного тока. Формирование алгебраических уравнений нелинейных резистивных электрических цепей и численные методы их решения.

Переходные процессы в нелинейных цепях. Основные методы анализа нелинейных электрических цепей - метод возмущений, метод гармонического баланса. Частотные свойства нелинейных цепей. Фазовая плоскость. Метод переменных состояния. Численные методы решения нелинейных уравнений состояния. Методы неявного интегрирования. Дискретные модели нелинейных реактивных элементов и их применение к расчету динамических режимов.

Автоколебания. Почти гармонические колебания. Релаксационные колебания. Устойчивость. Простейшие энергетические состояния. Машинный расчет периодических и автоколебательных режимов.

Теория электромагнитного поля

Векторы и основные уравнения электромагнитного поля. Полная система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах.

Граничные условия. Энергия и энергетические преобразования в электромагнитном поле. Теорема Умова-Пойнтинга.

Статические поля. Основные уравнения статических (электрического и магнитного) полей. Уравнение Пуассона и Лапласа. Метод зеркальных изображений. Емкость, емкостные и потенциальные коэффициенты. Краевые задачи и методы их решения. Метод разделения переменных. Метод интегральных уравнений. Численные методы решения краевых задач: метод сеток, метод конечных элементов. Энергия и силы в электростатическом поле.

Стационарные электрические и магнитные поля. Основные уравнения поля. Дифференциальная форма законов Ома, Джоуля - Ленца, Кирхгофа. Подобие статических и стационарных полей. Скалярный и векторный магнитные потенциалы. Потокосцепление. Собственная и взаимная индуктивности. Расчет индуктивностей. Метод участков. Особенности применения метода интегральных уравнений. Энергия и силы в магнитном поле.

Переменное электромагнитное поле в материальной среде. Уравнения переменного магнитного поля. Уравнения Максвелла в комплексной форме. Комплексные параметры среды. Теорема Умова-Пойнтинга в комплексной форме. Вектор Пойнтинга. Поверхностный эффект. Глубина проникновения. Численные методы (конечных разностей и конечных элементов) расчета переменных полей в проводящих средах. Электромагнитное поле в реальных проводниках, диэлектриках, ферромагнетиках и анизотропных средах.

Электромагнитные волны и излучение. Волновое уравнение и его решение. Гармонические волны в идеальном диэлектрике. Волны в пространстве, ограниченном проводящими границами. Волноводы и резонаторы. Типы волн.

Диагностика электрических цепей

Задача диагностики электрических цепей. Тестовая и функциональная диагностика. Корректность ее постановки, базисная постановка задачи диагностики. Этапы решения задачи диагностики: физический эксперимент, математическая обработка результатов эксперимента. Сложность решения задачи диагностики резистивных цепей: число измерений, число математических операций обработки эксперимента, число обусловленности математической модели. Проблемы обработки плохо обусловленных и некорректных (вырожденных и переопределенных) математических моделей задач диагностики резистивных цепей. Математические проблемы решения плохо обусловленных, вырожденных и переопределенных диагностических моделей, чувствительность решений задачи диагностики к точности определения экспериментальных данных, обобщенные решения задачи диагностики.

Методы решения задач диагностики электрических цепей. Взаимные формы записи уравнений задачи диагностики цепей по данным только одного

диагностического эксперимента. Теоремы эквивалентности. Диагностика пассивных резистивных цепей методом узловых сопротивлений. Влияние погрешности измерений на точность решения задачи диагностики методом узловых сопротивлений.

Диагностика параметров пассивных электрических цепей обобщенным методом узловых сопротивлений. Метод узловых проводимостей. Модифицированный метод узловых проводимостей. Проблема определения активных параметров резистивных цепей при их диагностике методом узловых сопротивлений.

Диагностика резистивных цепей по частям. Диагностика по частям методом узловых сопротивлений, методом контурных проводимостей, гибридным методом, методами звезд и контуров.

Диагностика трансформаторов под нагрузкой. Проблемы диагностики трансформаторов. Формирование математических моделей для диагностики трансформаторов. Выбор базисов измеряемых переменных для формирования математических моделей в задачах диагностики трансформаторов. Связь конструктивных и электрических параметров диагностируемых трансформаторов. Учет нелинейности математической модели диагностируемого трансформатора. Учет несинусоидальности режимов при диагностике под нагрузкой. Проблемы диагностики трансформаторов по данным переходных процессов.

Математическое моделирование цепей и электродинамических систем

Задачи математического моделирования и модели электрических цепей. Теоремы существования решений уравнений электрических цепей и корректной постановки задач моделирования. Некорректные задачи моделирования электрических цепей и общие подходы к их решению. Проблема сложности решения задач моделирования: высокая размерность, нелинейность, плохая обусловленность, жесткость и овражность задач.

Моделирование резистивных цепей. Формирование уравнений, машинная технология формирования уравнений. Численные методы обработки уравнений электрических цепей. Диакоптика высокоразмерных электрических цепей. Оценка чувствительности решения задачи анализа электрических цепей к точности задания их параметров. Решение плохо обусловленных и некорректно поставленных задач моделирования. Нестандартные модели электрических цепей.

Математическое моделирование линейных электрических цепей в переходных процессах. Канонические и неканонические формы уравнений состояния электрических цепей. Уравнения состояния первого, второго, высших порядков. Дифференциально-алгебраические уравнения состояния. Собственные значения, собственные векторы, проекторы и пучки матриц уравнений состояния электрических цепей. Общие виды решений различных

форм уравнений состояния электрических цепей. Аналитические выражения решений уравнений состояния электрических цепей на основе левых и правых преобразований Лапласа. Жесткие и сверхжесткие системы уравнений состояния электрических цепей. Понижение порядка жестких уравнений состояния электрических цепей.

Численные методы моделирования переходных процессов в электрических цепях: резистивные аналоги накопителей энергии и разностные схемы уравнений электрических цепей. Машинное формирование и численная обработка уравнений электрических цепей с использованием резистивных аналогов накопителей энергии. Проблема устойчивости и точности решения уравнений электрических цепей при моделировании переходных процессов. Численные решения жестких и сверхжестких уравнений состояния электрических цепей.

Моделирование нелинейных электрических цепей в установившихся и переходных процессах. Резистивные дискретные аналоги нелинейных элементов. Машинное формирование уравнений нелинейных электрических цепей.

Моделирование электродинамических систем в установившихся и переходных режимах: математические модели электродинамических систем, упрощенные модели электроэнергетических систем в переходных процессах. Методы расчета электродинамических систем.

Информационные технологии электротехники

Технологии машинного расчета электрических цепей. Задачи машинного расчета электрических цепей, методы и технологии их решения. Формализация описания электрических цепей. Топологические списки, технологии ввода данных для расчета цепей. Технология формирования узловых уравнений: принцип поэлементного вклада. Проблемы численной обработки узловых уравнений. Условия существования единственного решения узловых уравнений. Оценка точности решения узловых уравнений по точности задания исходных данных и числу обусловленности узловых матриц. Технология оценки корректности описания цепей: построение диаграммы выделения компонент связности цепей по топологическим спискам методом пометок (волновым методом). Технологии численной обработки узловых уравнений. Технологии диакоптики - расчета цепей по частям. Технология машинного расчета переходных процессов. Выбор шага расчета: правило Рунге. Технологии описания модели полей с учетом размерности и характера рассчитываемого поля. Технологии формирования математической компьютерной модели поля.

Технологии работы с конкретными программами расчета электрических цепей и электромагнитных полей. Знакомство с программами расчета электрических цепей и электромагнитных полей (Matlab, Desing, Canter, Qfield, Ansys, Elcut т.д.) и средой Labview работы с виртуальными

инструментами. Технологии работы с компьютерными программами и средами при расчете электрических цепей и электромагнитных полей.

Вопросы для самоконтроля:

1. Укажите основные теоремы и принципы теории цепей, охарактеризуйте задачи теории электрических и магнитных цепей.
2. Перечислите основные методы расчета установившихся режимов в электрических цепях с сосредоточенными параметрами.
3. Перечислите основные методы расчета переходных режимов в электрических цепях с сосредоточенными параметрами.
4. Перечислите основные методы расчета установившихся и переходных режимов в электрических цепях с распределенными параметрами.
5. Перечислите основные методы расчета установившихся и переходных режимов в нелинейных электрических цепях с сосредоточенными параметрами.
6. Какие уравнения формируют полную систему, описывающую макроскопические электромагнитные явления?
7. Запишите граничные условия для векторов поля.
8. Перечислите методы расчета электростатических полей и алгоритмы расчета электрической емкости.
9. Стационарные электрические и магнитные поля. Расчет сопротивлений и индуктивностей.
10. Переменное электромагнитное поле в материальной среде. Уравнения электродинамики.
11. Численные методы (конечных разностей и конечных элементов) расчета переменных полей в проводящих средах. Электромагнитное поле в реальных проводниках, диэлектриках, ферромагнетиках и анизотропных средах.
12. Гармонические волны в идеальном диэлектрике. Волны в пространстве, ограниченном проводящими границами. Волноводы и резонаторы. Типы волн.
13. Изложите методы решения задач диагностики электрических цепей.
14. Математическое моделирование цепей и электродинамических систем.
15. Технологии машинного расчета электрических цепей. Задачи машинного расчета электрических цепей, методы и технологии их решения.

Вопросы, включенные в билеты для проведения экзамена:

1. Понятия: электрической цепи, ее схемы, графа, дерева, связей (хорд), узлов, ветвей, элементов. Планарность графов: критерий планарности.
2. Топологические матрицы электрических цепей и их основное свойство. Уравнения Кирхгофа в матричной форме. Компонентные уравнения. Полная система уравнений линейной электрической цепи постоянного тока.

3. Активные и пассивные линейные и нелинейные двухполюсники в цепях постоянного тока. Вольтамперная и внешняя характеристики двухполюсников. N-образные и S-образные характеристики.
4. Преобразования электрических цепей: «треугольник» - «звезда», преобразование переноса ЭДС через узел и источника тока вдоль контура; замена цепи генератора - схема Тевенена и схема Нортон.
5. Входные и взаимные сопротивления и проводимости, коэффициенты передачи по току и напряжению в цепях постоянного тока. Принцип суперпозиции и его математическая запись.
6. Метод узловых напряжений. Вывод и матричная запись уравнений. Свойства матрицы узловых проводимостей. Методика применения метода узловых напряжений.
7. Расширенный метод узловых напряжений.
8. Метод контурных токов. Вывод и матричная запись уравнений. Свойства матрицы контурных сопротивлений.
9. Расширенный метод контурных токов.
10. Теорема существования и единственности решений уравнений электрических схем.
11. Теорема Телленджена. Баланс мощностей в линейных электрических цепях в матричной форме.
12. Теорема об эквивалентном генераторе и основанный на ней метод расчета цепей. Методика использования этого метода.
13. Теорема компенсации.
14. Диакоптика электрических цепей.
15. Передача энергии от активного двухполюсника к пассивному в цепях постоянного тока. Условие передачи максимальной мощности, КПД передачи.
16. Электрические цепи синусоидального тока. Основные понятия: амплитудные, мгновенные и действующие значения токов, напряжений, ЭДС, частота, период, круговая частота, отставание (опережение) по фазе синусоидальных токов и напряжений.
17. Активные, индуктивные, емкостные, полные, комплексные сопротивления в цепях синусоидального тока.
18. Изображение синусоидальных токов и напряжений векторами и представление их комплексными числами. Комплексная схема замещения электрических цепей.
19. Комплексный метод расчета электрических цепей.
20. Активная и реактивная составляющие комплексных токов и напряжений.
21. Мощности в цепях синусоидального тока: мгновенная, полная, активная, реактивная, комплексная мощности. Коэффициент мощности.
22. Компенсация реактивной мощности простейшей электропередачи.
23. Баланс мощностей в цепях синусоидального тока. Теорема Телленджена. Теорема Ланджевена.
24. Знаки и направления передачи мощности в системе двух активных двухполюсников.

25. Условие передачи максимальной мощности от источника к приемнику в цепях синусоидального тока.
26. Связь мощностей и энергий реактивных элементов
27. Треугольники токов, напряжений, сопротивлений, проводимостей, мощностей.
28. Эквивалентные параметры пассивного двухполюсника в цепях синусоидального тока.
29. Топографические диаграммы напряжений и методика их построения.
30. Двойственность понятий, определений, уравнений теории электрических цепей. Дуальные цепи.
31. Понятие о поверхностном эффекте и эффекте близости.
32. Примеры и эквивалентные схемы индуктивной катушки при различных частотах токов и напряжений. Понятие добротности катушки.
33. Понятия и эквивалентные схемы конденсатора. Добротность и угол потерь конденсатора.
34. Комплексные частотные характеристики.
35. Резонанс напряжений. Резонансные кривые.
36. Резонанс токов. Резонансные кривые.
37. Электрические цепи со взаимной индуктивностью. Закон электромагнитной индукции, потокосцепление, ЭДС взаимной индукции и самоиндукции, собственная и взаимная индуктивности катушек. Уравнение магнитосвязанных катушек.
38. Встречное и согласное соединения магнитосвязанных катушек. Векторные диаграммы, эквивалентная индуктивность соединения.
39. Магнитная развязка.
40. Воздушный трансформатор: уравнение, векторная диаграмма.
41. Уравнения реального, совершенного и идеального воздушного трансформатора. Входные сопротивления и мощности идеального трансформатора.
42. Частотные характеристики чисто реактивных цепей.
43. Цепи несинусоидального тока. Понятие гармоник. Разложение несинусоидальных функций в ряды Фурье. Явление Гиббса.
44. Учет особенностей периодических функций при поиске их разложений в тригонометрические ряды.
45. Действующее значение несинусоидального сигнала.
46. Активная мощность в цепи несинусоидального тока. Коэффициент мощности.
47. Коэффициенты, интегрально характеризующие несинусоидальные периодические токи и напряжения.
48. Методика расчета цепей с несинусоидальными периодическими токами и напряжениями. Особенности расчета высших гармоник комплексным методом.
49. Биение колебаний.
50. Частотно-амплитудные и частотно-фазовые спектры несинусоидальных колебаний.

51. Модулированные колебания.
52. Реактивные мощности в цепях несинусоидального тока. Мощности по Фризе, Будеану. Четырехполюсники: классификация, уравнения и первичные параметры четырехполюсников с A , Z , Y -матрицами, особенности параметров проходных пассивных и симметричных четырехполюсников.
53. Экспериментальное определение A -параметров четырехполюсников.
54. A -параметры управляемых источников (ИНУН, ИНУТ, ИТУН, ИТУТ), гираторы.
55. Входные сопротивления четырехполюсников. Сопротивление холостого хода и короткого замыкания.
56. Каскадное, последовательное и параллельное соединения четырехполюсников.
57. Вторичные параметры четырехполюсников. Понятия характеристического сопротивления и постоянной передачи.
58. Диагностика электрических цепей. Метод узловых сопротивлений.
59. Электрические фильтры: классификация, фильтры типа k . Т-образный низкочастотный фильтр типа k .
60. Трехфазные источники, цепи, системы. Симметричные цепи и уравновешенные системы. Соединение трехфазных цепей. Связь фазных и линейных токов и напряжений в симметричных цепях. Мощности трехфазных цепей.
61. Расчет симметричных режимов трехфазных цепей.
62. Расчет несимметричных режимов трехфазных цепей со статической нагрузкой.
63. Измерение мощности в трехфазных цепях. Метод двух ваттметров.
64. Метод симметричных составляющих. Прямые, обратные, нулевые последовательности токов и напряжений. Сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности. Преобразование Фортескью.
65. Расчет трехфазных цепей с динамической нагрузкой методом симметричных составляющих (поперечная несимметрия).
66. Расчет трехфазных цепей с несимметричным участком в линии (продольная несимметрия).
67. Высшие гармоники в трехфазных цепях. Соотношение фазных и линейных напряжений в трехфазных цепях с высшими гармониками.
68. Эквивалентные однофазные схемы трехфазных линий.
69. Эквивалентная схема замещения асинхронного двигателя.
70. Переходные процессы в линейных электрических цепях: переходные токи и напряжения, коммутации, начальные условия, законы коммутации.
71. Классический метод расчета переходных процессов в электрических цепях. Понятие установившихся и преходящих токов и напряжений. Собственные частоты цепи. Постоянные времени. Методика расчета переходных процессов классическим методом.
72. Свойства корней характеристического уравнения и качественная картина переходных процессов в линейных цепях.

73. Расчет классическим методом переходных процессов в простейшей RL-цепи при постоянном и синусоидальном напряжении источника.
74. Расчет классическим методом переходных процессов в простейшей RC-цепи при постоянном и синусоидальном напряжении источника.
75. Переходные процессы в RLC -контуре. Понятие критического сопротивления. Разряд конденсатора на RL-цепь. Энергетика такого разряда.
76. Биения колебаний при подключении RLC - цепи к синусоидальному источнику.
77. Особенности переходных процессов в цепях, описываемых жесткими дифференциальными уравнениями. Понятие пограничного слоя. Коэффициент жесткости. Упрощение модели цепи в пограничном слое и вне его.
78. Коммутации в цепях с некорректно заданными начальными условиями. Обобщенные законы коммутации. Импульсные токи и напряжения.
79. Операторный метод расчета переходных процессов в линейных цепях. Оригиналы и изображения токов и напряжений. Операторные сопротивления и схемы замещения цепей. Методика расчета переходных процессов операторным методом.
80. Метод переменных состояния. Уравнение состояния цепи и методика его формирования. Свободные и принужденные составляющие решений уравнений состояния.
81. Переходные и импульсные переходные характеристики цепи.
82. Интеграл Дюамеля и основанный на его использовании метод расчета переходных процессов в линейных электрических цепях.
83. Машинные методы расчета переходных процессов в электрических цепях. Дискретные схемы замещения элементов и цепей. Методика расчета переходных процессов, основанная на использовании дискретных схем замещения цепей.
84. Спектральный (частотный) метод анализа электрических цепей. Спектральная плотность сигнала, его амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики.
85. Теорема Рейли и равенство Парсеваля.
86. Нелинейные электрические цепи. Статические и динамические характеристики элементов цепей. Типы нелинейных характеристик.
87. Расчет простейших нелинейных резистивных цепей с последовательным, параллельным, смешанным соединением нелинейных элементов.
88. Расчет сложной цепи с одним и двумя нелинейными элементами.
89. Электрические цепи с вентилями. Идеализация характеристики и схемы замещения вентиля. Электромагнитные процессы и энергетические показатели в одно-полупериодном выпрямителе с резистивной нагрузкой.
90. Магнитные цепи. Свойства и допущения для анализа магнитных цепей. Магнитные сопротивления, магнитные напряжения, магнитодвижущие силы. Законы Кирхгофа и Ома для магнитных цепей. Схемы замещения

магнитных цепей. Аналогии между параметрами электрических и магнитных цепей.

91. Методика расчета магнитных цепей.
92. Явление гистерезиса и характеристики ферромагнитных материалов. Основная кривая намагничивания. Площадь петли гистерезиса как мера удельных потерь энергии за цикл перемагничивания ферромагнетика.
93. Явление вихревых токов. Потери на вихревые токи и гистерезис в магнитопроводах.
94. Расчет постоянных магнитов.
95. Форма кривой тока катушки с ферромагнитным сердечником при синусоидальной форме ее напряжения.
96. Формы кривых напряжения и потока в катушке с ферромагнитным сердечником при синусоидальном токе катушки.
97. Понятие эквивалентной синусоиды и его использование при анализе процессов в катушках со стальным магнитопроводом. Схемы замещения и векторные диаграммы таких катушек.
98. Явление феррорезонанса. Феррорезонанс напряжений. Феррорезонанс токов.
99. Особенности переходных процессов в нелинейных цепях.
100. Анализ переходных процессов в RL-цепи с нелинейной катушкой методом условной линеаризации.
101. Анализ переходных процессов в RL-цепи с нелинейной катушкой методом аналитической аппроксимации.
102. Анализ переходных процессов в RL-цепи с нелинейной катушкой методом кусочно-линейной аппроксимации.
103. Изображение переходных процессов на фазовой плоскости. Понятие фазовой траектории, узла, цикла, фокуса. Направление движения изображающей точки по фазовой траектории. Устойчивость движения.
104. Длинные линии: уравнение однородной двухпроводной линии в установившемся режиме, первичные и вторичные параметры линий.
105. Установившийся режим в длинных линиях: токи и напряжения линий в комплексной и временной областях, понятия бегущей, прямой и обратной волн, фазовая скорость.
106. Уравнения однородной линии в гиперболических функциях: вывод, запись уравнений при известных токах и напряжениях в начале и конце линии.
107. Входное сопротивление длинной линии: вывод его выражения из уравнения линий в гиперболических функциях, случаи х.х. и к.з., связь входного сопротивления с сопротивлениями Z_c , Z_x , Z_k .
108. Комплексный коэффициент отражения волн в линиях.
109. Установившийся режим в длинной линии при согласованной нагрузке.
110. Линия без искажения.
111. Установившийся режим в линии без потерь.
112. Связь токов и напряжений в начале и конце волновой, полуволновой и четвертьволновой линии без потерь.

113. Стоячие волны: определение, условия возникновения, узлы и пучности.
114. Переходные процессы в длинных линиях: волновое уравнение, прямая и обратная волны, фазовая скорость, волновое сопротивление.
115. Процесс включения однородной незаряженной линии без потерь, расчетная схема для анализа этого процесса.
116. Переходные процессы в длинных линиях: отражение волн от конца линий.
117. Общий случай расчета отраженной и преломленной волн в месте сопряжения однородных линий, схема с $2U_{\text{пад}}$.
118. Переходные процессы при коммутациях в длинных линиях с ненулевыми начальными условиями.
119. Переходные процессы в длинных линиях, обусловленные природными явлениями. Блуждающие волны.
120. Полная система уравнений электромагнитного поля в дифференциальной и интегральной форме.
121. Теоремы Остроградского и Стокса; геометрический смысл теорем.
122. Электростатика: уравнения электростатического поля, безвихревой характер поля, понятие разности потенциалов, потенциала, градиента потенциала, линии напряженности и поверхности равного потенциала.
123. Электростатика: изменение потенциала и напряженности на больших расстояниях от уединенного заряженного тела, заряженной оси, двух противоположно заряженных осей.
124. Уравнения Пуассона и Лапласа.
125. Электростатика: граничные условия на поверхностях раздела двух сред.
126. Основная задача электростатики.
127. Теорема единственности решений уравнений электростатического поля и ее следствия.
128. Электростатическое поле: метод зеркальных изображений.
129. Электрическое поле двух заряженных осей.
130. Потенциальные коэффициенты, коэффициенты электростатической индукции, частичные емкости.
131. Емкость двухпроводной линии с учетом влияния земли.
132. Электрическое поле постоянных токов: уравнения, граничные условия.
133. Аналогия электростатического поля и поля постоянных токов в проводящей среде: метод электростатической аналогии.
134. Расчет сопротивления заземлителя методом электростатической аналогии.
135. Понятие о методе средних потенциалов для расчета емкостей проводников.
136. Магнитное поле постоянных токов: уравнения в дифференциальной и интегральной форме, скалярный и векторный магнитный потенциалы.
137. Магнитное поле постоянных токов: выражение магнитного потока и энергии магнитного поля через векторный магнитный потенциал.
138. Магнитное поле постоянных токов: граничное условие на поверхности раздела двух сред с различными магнитными проницаемостями.

139. Основная задача расчета магнитного поля постоянных токов.
140. Индуктивность контура из проводника круглого сечения: внешняя и внутренняя индуктивность.
141. Понятие о методе участков для расчета индуктивностей и взаимных индуктивностей.
142. Энергия и сила в электрическом поле.
143. Энергия и сила в магнитном поле.
144. Переменное электромагнитное поле в неподвижной среде: уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме, физический смысл этих уравнений.
145. Теорема Умова-Пойнтинга.
146. Переменное электромагнитное поле: неидеальные среды, понятие комплексной диэлектрической проницаемости и комплексной удельной проводимости.
147. Переменное электромагнитное поле в диэлектрике: плоская волна, волновое уравнение, волновая скорость, волновое сопротивление, диаграмма распространения волн $E_x(z)$, $H_y(z)$.
148. Плоская электромагнитная волна в проводящей среде: уравнение, волновое сопротивление, глубина проникновения.
149. Электрический поверхностный эффект.
150. Магнитный поверхностный эффект.
151. Сопротивление плоской шины при сильно выраженном поверхностном эффекте.
152. Распространение электромагнитного поля в волноводах, типы волн, собственные колебания в объемных резонаторах.
153. Излучение электромагнитной энергии. Запаздывающие потенциалы.
154. Сверхпроводимость в постоянных и высокочастотных полях. Эффект Месснера.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Требования и критерии оценивания ответов экзамена

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «**ОТЛИЧНО**» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Теоретические основы электротехники /К.С.Демирчян, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин. Т.1-3, СПб, 2006.

2.Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Гардарики, 2008.

3. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Том 1/ Под редакцией П..А.Бутырина -М.:, издательство МЭИ, 2012.

4. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Том 2/ Под редакцией П..А.Бутырина -М.:, издательство МЭИ, 2012.

5. Тюкин И.Ю., Терехов В.А. Адаптация в нелинейных динамических системах -М.: ЛКИ, 2008, 384 с.

6. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование -М.:Вильямс, 2007, 1152 с.

7. Шакиров М. А. Теоретические основы электротехники. Тензоры в ТОЭ. Электродинамика. Теория относительности – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011 . – 315 с.

8. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией П..А.Бутырина. Том 1. Электрические и магнитные цепи с сосредоточенными параметрами. Электронная версия. Авторы электронной версии справочника: В.Ф.Очков, Т.М. Лоскутова, В.С. Фланден, Ф.Н. Шакирзянов, А.Д. Андрюхин, П.С. Васильев, И.А. Гибадуллин, С.А. Пискотин. http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/VPU_Book_New/mas/TOE/index.htm

9. Бободжанов А.А., Сафонов В.Б. Высшая математика. Методы Фурье и интегральных преобразований в уравнениях математической физики. М.: Изд. МЭИ, 2014.-260 с.

10. Бободжанов А.А., Бободжанова М.А., Сафонов В.Б. Высшая математика. М.: Изд. МЭИ, 2014.-348 с.

Дополнительная литература:

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления Т. 1. Линейные системы. Изд. 2. -М.: Физматлит, 2010, 312 с.

2. Нелинейная динамика и управление/Под ред. С.В. Емельянова, С.К. Коровина -М.: Физматлит, 2010, 374 с.

3. Чернов В.М. Арифметические методы синтеза быстрых алгоритмов дискретных ортогональных преобразований -М.: Физматлит, 2007, 264 с.

4. Капцов А.В. Методы интегрирования уравнений с частными производными -М.: Физматлит, 2009, 184 с.

5. Белоконь А.В., Скалиух А.С. Математическое моделирование необратимых процессов поляризации -М.: Физматлит, 2010, 328 с.

6. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии -М.: Физматлит, 2009, 286 с.

7. Теоретический курс физики в 10 томах. Т. 2 Теория поля. Т. 5 Электродинамика сплошных сред / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Под ред. Л.П. Питаевского. М.: Физматгиз, 2001.

8. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука, 2008, 704 с.

9. Нгуен-Куок Ши Основы математического моделирования низкотемпературной плазмы. – М. : Изд-во МЭИ, 2013 . – 446 с.

10. Нгуен-Куок Ши. Квантомеханический расчет упругих рассеяний частиц в аргоновой плазме. – М. : Изд-во МЭИ, 2013 . – 52 с.

11 Месяц Г. А. Взрывная электронная эмиссия– М. : Физматлит, 2011 . – 280 с.

12. Фортон В. Е. Физика высоких плотностей энергии – М. : Физматлит, 2012 . – 712 с.

13. Фортон В. Е. Экстремальные состояния вещества – М. : Физматлит, 2009 . – 304 с.

14. Дьяков А. Ф., Максимов Б. К., Борисов Р. К. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике– М. : Изд. дом МЭИ, 2011 . – 544 с.

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
(программное обеспечение, на которое кафедра или МЭИ имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение)

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

к.т.н., доцент



И.С. Козьмина

Директор ИЭЭ,

к.т.н., доцент



В.Н. Тульский

««СОГЛАСОВАНО»»

Заведующий кафедрой ТОЭ

к.т.н., доцент



В.Н. Тульский