



**ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ**

"ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ"

Для специальностей:

- 010000 - Естественнонаучные специальности
- 070000 - Междисциплинарные естественно-технические специальности
- 100000 - Энергетика и энергомашиностроение
- 110000 - Metallургия
- 120000 - Машиностроение и материалобработка
- 130000 - Авиационная и ракетнокосмическая техника
- 140000 - Морская техника
- 150000 - Наземные транспортные средства
- 160000 - Военные специальности
- 170000 - Технологические машины и оборудование
- 180000 - Электротехника
- 190000 - Приборостроение
- 200000 - Электронная техника, радиотехника и связь
- 210000 - Автоматика и управление
- 220000 - Информатика и вычислительная техника
- 240000 - Эксплуатация транспорта
- 250000 - Химическая технология
- 280000 - Технология товаров широкого потребления
- 310000 - Сельское и рыбное хозяйство
- 330000 - Безопасность жизнедеятельности

Издание официальное

Государственный комитет Российской Федерации
по высшему образованию

*

Москва

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

Одобрена научно-методическим советом по теоретической электротехнике
Председатель
К.С. Демирчян
Составлена в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по указанным специальностям.
Утверждаю:
Начальник Главного управления образовательно-профессиональных программ и технологий

Ю.Г. Татур

**ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
"ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ"**

Для специальностей:

- 010000 - Естественнонаучные специальности
- 070000 - Междисциплинарные естественнотехнические специальности
- 100000 - Энергетика и энергомашиностроение
- 110000 - Metallургия
- 120000 - Машиностроение и материалобработка
- 130000 - Авиационная и ракетнокосмическая техника
- 140000 - Морская техника
- 150000 - Наземные транспортные средства
- 160000 - Военные специальности
- 170000 - Технологические машины и оборудование
- 180000 - Электротехника
- 190000 - Приборостроение
- 200000 - Электронная техника, радиотехника и связь
- 210000 - Автоматика и управление
- 220000 - Информатика и вычислительная техника
- 240000 - Эксплуатация транспорта
- 250000 - Химическая технология
- 280000 - Технология товаров широкого потребления
- 310000 - Сельское и рыбное хозяйство
- 330000 - Безопасность жизнедеятельности

Москва 1996 г.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
"ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ"

Для специальностей:

- 010000 - Естественнонаучные специальности
- 070000 - Междисциплинарные естественнотехнические специальности
- 100000 - Энергетика и энергомашиностроение
- 110000 - Metallургия
- 120000 - Машиностроение и материалобработка
- 130000 - Авиационная и ракетнокосмическая техника
- 140000 - Морская техника
- 150000 - Наземные транспортные средства
- 160000 - Военные специальности
- 170000 - Технологические машины и оборудование
- 180000 - Электротехника
- 190000 - Приборостроение
- 200000 - Электронная техника, радиотехника и связь
- 210000 - Автоматика и управление
- 220000 - Информатика и вычислительная техника
- 240000 - Эксплуатация транспорта
- 250000 - Химическая технология
- 280000 - Технология товаров широкого потребления
- 310000 - Сельское и рыбное хозяйство
- 330000 - Безопасность жизнедеятельности

1. ПРЕДИСЛОВИЕ.

1.1. Цели преподавания курса Теоретические основы электротехники (ТОЭ)

Курс ТОЭ занимает основное место среди общетехнических дисциплин, определяющих теоретический уровень профессиональной подготовки инженеров-электриков.

Предмет курса составляют электромагнитные явления и их прикладное применение для создания, передачи и распределения электроэнергии как универсального посредника между источниками энер-

гии и потребителями, для решения проблем электромеханики, электротехнологии, передачи и распределения информации, электроники, автоматики, управления, информационно-измерительной и вычислительной техники. Курс ТОЭ как базовый курс должен обеспечивать комплексную подготовку будущего специалиста – профессиональную подготовку, развитие творческих способностей, умение формулировать и решать на высоком научном уровне проблемы изучаемой специальности, умение творчески применять и самостоятельно повышать свои знания. Эти цели достигаются на основе фундаментализации образования, повышения творческой активности и самостоятельности работы студентов, широкого применения вычислительной техники и новых информационных технологий (НИТ) в учебном процессе.

Внедрение вычислительной техники и НИТ в курс ТОЭ способствует значительной интенсификации процесса обучения, что особенно важно в условиях быстро увеличивающегося объема научно-технической информации, а также помогает освоить основы методов вычислительного эксперимента, что связано с развитием вопросов теории и разработкой алгоритмов электротехнических расчетов на основе применения вычислительной техники.

1.2. Задачи изучения курса ТОЭ

Основная задача изучения курса ТОЭ состоит в изучении одной из форм материи – электромагнитного поля и его проявлений в различных устройствах техники, усвоении современных методов моделирования электромагнитных процессов, методов анализа, синтеза и расчета электрических цепей, электрических и магнитных полей, знание которых необходимо для понимания и успешного решения инженерных проблем будущей специальности. Изучение теоретической электротехники должно способствовать выработке развитых представлений о методах применения теории электромагнитных явлений и методологии курса ТОЭ в специальных дисциплинах.

1.3. Рекомендации по изучению курса ТОЭ

При изложении дисциплины ТОЭ предполагается знание студен-

тами курса физики и особенно его разделов электричество и магнетизм, а также таких разделов курсов высшей математики и вычислительной математики как теория матриц, дифференциальные уравнения и методы их решения, включая численные, теория функций комплексного переменного, преобразование Фурье-Лапласа, уравнения в частных производных, теория поля, поэтому изучение курса ТОЭ необходимо начинать с III семестра.

Содержание курса ТОЭ в соответствии с последовательностью изучения условно можно разделить на следующие части.

Первая, именуемая "Теория цепей" ("Основы теории цепей"), содержит обобщение понятий и законов из области электромагнитных явлений на основе сведений, полученных в курсе физики, и развитие формулировок и определений основных понятий и законов теории электрических и магнитных цепей, относящихся ко всем разделам курса. Здесь формулируются основные физические понятия курса ТОЭ, что имеет большое значение для правильной математической формулировки задач, решаемых методами, излагаемыми в последующих разделах курса. Следующая, наибольшая по объему часть, отводится анализу линейных и нелинейных электрических цепей. Задачи диагностики и синтеза изучаются только для простых электрических цепей.

Заключительная последняя часть "Теория электромагнитного поля" имеет решающее значение в общей электротехнической подготовке будущего инженера-электрика, так как на основе изучения наиболее простой математической модели пространственно-временных процессов студент осваивает главные особенности и методы решения уравнений математической физики. Эта часть курса имеет важное значение для воспитания у студентов фундаментальных общетеоретических представлений в области электромагнитных явлений.

С целью дальнейшего освоения современных методов теоретической электротехники и необходимого широкого, проблемно-ориентированного применения средств и методов вычислительной техники вводятся факультативные курсы. При этом важнейшей составной частью процесса изучения курса является контролируемая самостоятельная работа студентов.

Самостоятельная работа подразумевает не только изучение теоретических вопросов, но также обязательное выполнение не менее 2-3-х в семестр расчетных (или лабораторно-расчетных) заданий

разумной сложности, ориентированных на использование вычислительной техники в оптимально приближенных к реальным инженерным задачам будущей специальности, или курсовых работ.

Эффективность самостоятельного изучения оценивается регулярно проводимыми контрольными работами.

Выбор и составление задач для практических занятий должны наиболее полно учитывать проблемы данной специальности. Необходимо выявление наиболее актуальных и теоретически важных примеров - задач для иллюстрации общефизических и расчетно-теоретических положений курса ТОЭ с учетом специфики методических подходов, применяемых в данной специальности.

При изучении курса предполагается применение специализированных обучающих программ для самостоятельного освоения разделов курса ТОЭ при помощи ЭВМ, а в дальнейшем использование экспертных систем, методического и программного обеспечения для принятия решений с целью развития профессиональных навыков в области анализа, синтеза и диагностики устройств, где протекают электромагнитные явления.

Содержание программы построено по модульному принципу. Первый модуль (раздел 2.3) включает в себя все вопросы, составляющие содержание дисциплины ТОЭ. Последовательность изучения тем может варьироваться.

Второй модуль (разд.4.5) охватывает материалы для самостоятельной контролируемой работы студентов: ориентировочный перечень лабораторных и расчетно-графических работ, выполняемых, как правило, с применением ЭВМ. Материалы этого модуля носят рекомендательный характер. Вынесение вопросов курса для самостоятельной проработки может быть решено кафедрами ТОЭ. Для выполнения программы необходимо в учебном плане предусмотреть 85-102 часа лекций, 85-102 часа семинарских (практических) занятий, 68-85 часов лабораторных работ, всего 238-289 часов.

2 . СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.

2.1. Основные понятия и законы электромагнитного поля и теории электрических и магнитных цепей

2.1.1. Введение

Основные этапы развития электротехники и ее теоретических основ, отечественная школа теоретической электротехники.

Краткий исторический очерк развития науки об электрических и магнитных явлениях и их практическом применении. Тесная связь теоретических исследований с практическими задачами электротехники.

Предмет курса теоретической электротехники, его построение, связь со смежными и специальными дисциплинами, его место в общей системе электротехнического образования инженера.

Общая физическая основа задач теории электромагнитного поля и теории электрических и магнитных цепей. Заряженные элементарные частицы и электромагнитное поле как особые виды материи, относительность электрического и магнитного полей. Связь электрического и магнитного полей. Связь заряда частиц и тел с их электрическим полем. Поляризация веществ. Постулат Максвелла. Виды электрического тока. Принцип непрерывности электрического тока. Электрическое напряжение и электродвижущая сила. Магнитный поток и его непрерывность. Закон электромагнитной индукции. Потокосцепление. ЭДС самоиндукции и взаимной индукции. Принцип электромагнитной инерции. Связь магнитного поля с электрическим током. Намагниченность веществ. Закон полного тока. Система уравнений электромагнитного поля Максвелла.

Энергия системы заряженных тел. Распределение энергии в электрическом поле. Силы, действующие на заряженные тела. Энергия системы контуров с электрическими токами. Распределение энергии в магнитном поле. Электромагнитная сила.

Электрические и магнитные цепи. Элементы электрических цепей. Активные и пассивные электрические цепи. Физические явления в электрических цепях. Научные абстракции, принимаемые в теории электрических цепей, их практическое значение и границы применимости. Цепи с распределенными и сосредоточенными параметрами.

Параметры электрических цепей. Линейные и нелинейные электрические и магнитные цепи. Условно-положительные направления тока в элементах цепи и напряжения на их зажимах. Источники ЭДС и источники тока. Управляемые и неуправляемые элементы цепи. Возмущающие воздействия в электрических цепях. Электрические сигналы и способы их математического описания. Схемы электрических

цепей. Топологические понятия для схемы электрической цепи. Граф цепи. Матрицы соединений, контуров, сечений и связь между ними. Понятие о дуальности.

Законы электрических цепей. Узловые и контурные уравнения электрических цепей. Полная система уравнений электрических цепей. Переходные и установившиеся процессы в электрических цепях. Понятие функций электрической цепи.

Дифференциальные уравнения процессов в цепях с сосредоточенными параметрами. Понятие о переходных и установившихся состояниях электрических цепей. Анализ и синтез, идентификация и диагностика - как основные задачи теоретической электротехники.

2.1.2. Теория линейных электрических цепей

2.1.2.1. Основные свойства и эквивалентные параметры электрических цепей при синусоидальных токах

Синусоидальные ЭДС, напряжения и токи. Источники синусоидальных ЭДС и токов. Действующие и средние значения периодических ЭДС, напряжений и токов. Изображение синусоидальных функций времени комплексными числами. Векторные диаграммы.

Синусоидальный ток в цепи с последовательным соединением участков R , L и C . Комплексные сопротивления и проводимость. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме. Комплексный метод формирования уравнений.

Активная, реактивная и полная мощности. Мгновенная мощность и колебания энергии в цепи синусоидального тока. Расчет мощности по комплексам напряжения и тока.

Эквивалентные параметры сложной цепи переменного тока, рассматриваемой в целом как двухполюсник. Схемы замещения двухполюсника при заданной частоте.

2.1.2.2. Методы расчета электрических цепей при установившихся синусоидальных и постоянных токах

Расчет при последовательном, параллельном и смешанном соединении участков цепи. Эквивалентные преобразования в электрических цепях.

Методы узловых напряжений и контурных токов. Методы сечений и смешанных величин, метод расширенных узловых напряжений. Принципы наложения, взаимности и основанные на них методы расчета цепи. Теорема о компенсации, линейные соотношения между напряжениями и токами. Метод эквивалентного генератора. Многополюсники. Понятие о диаоптике - расчете сложных электрических цепей по частям.

Расчет цепей при наличии взаимной индукции. Индуктивно-связанные элементы электрической цепи. Трансформатор с линейными характеристиками. Идеальный трансформатор. Цепи, связанные через электрическое поле.

Баланс мощностей в цепи синусоидального тока. Проблемы расчета установившихся режимов сложных электрических цепей. Топологические методы расчета и анализа цепей. Применение сигнальных графов для расчета электрических цепей.

Оценка влияния изменения параметров на режим цепи. Чувствительность цепи к изменениям параметров. Коэффициенты и функции чувствительности. Методы расчета чувствительности (метод присоединенной схемы, метод дифференцирования узловой или расширенной узловой матрицы).

2.1.2.3. Резонансные явления и частотные характеристики

Резонанс при последовательном и параллельном соединении элементов цепи. Частотные характеристики последовательного и параллельного соединений, а также цепей, содержащих только реактивные элементы. Резонанс в индуктивно-связанных контурах. Добротность контура. Коэффициент передачи, расстройка. Избирательность и полоса пропускания. Практическое значение резонанса в электрических цепях. Метод расчета частотных характеристик на основе расширенных узловых уравнений.

2.1.2.4. Расчет трехфазных цепей

Многофазные цепи и системы и их классификация. Понятие о трехфазных источниках ЭДС и тока. Расчеты трехфазных цепей в симметричных и несимметричных режимах. Получение вращающегося магнитного поля. Симметричные составляющие трехфазной системы

величин. Применение метода симметричных составляющих к расчету трехфазных цепей .

2.1.2.5. Расчет электрических цепей при несинусоидальных периодических ЭДС, напряжениях и токах

Расчеты мгновенных установившихся напряжений и токов в электрических цепях при действии периодических несинусоидальных ЭДС и токов. Зависимость формы кривой тока от характера цепи при несинусоидальных токах и напряжениях. О составе высших гармоник при наличии симметрии форм кривых тока или напряжения. Особенности поведения высших гармоник в трехфазных цепях. Ряд Фурье в комплексной форме. Биения и модулированные колебания.

Комплексный коэффициент передачи электрической цепи и связанные с ним характеристики: амплитудная, фазовая, частотные характеристики. характеристики затухания и группового времени запаздывания. Анализ преобразования сигнала в частотной области и условие прохождения сигнала без искажений.

2.1.2.6. Переходные процессы в электрических цепях с сосредоточенными параметрами и методы их расчета

Понятие о переходном процессе в линейной электрической цепи. Причины возникновения и сущность переходного процесса.

Классический метод расчета. Порядок составления и методы решения уравнений электрической цепи. Свободные и принужденные составляющие. Установившиеся и преходящие составляющие. Собственные частоты цепи. Определение постоянных интегрирования.

Переходные процессы в цепях с одним накопителем энергии. Переходные процессы в последовательной цепи R, L, C при ее включении на постоянное и синусоидальное напряжение.

Переходные процессы при мгновенном изменении параметров участков цепи. Расчеты переходных процессов в сложной цепи. Метод переменных состояния. Запись аналитических решений уравнений состояния с использованием функций от матриц.

Расчеты при воздействии ЭДС произвольной формы. Интеграл свертки и его применение при анализе переходных процессов.

Операторный метод расчета. Основные положения операторного

метода. Уравнения цепей в оперативной форме. Расчет переходных и свободных токов операторным методом.

Частотный метод расчета. Частотные характеристики и их применение к расчету переходных процессов. Связь между частотными и временными характеристиками.

2.1.2.7. Методические и математические аспекты использования вычислительной техники

Расчет переходных процессов в электрических цепях на основе конечно-разностного описания этих процессов. Сведение численного расчета переходного процесса в электрических цепях к расчету резистивных цепей - методу синтетических (дискретных) схем замещения электрических цепей, машинное формирование уравнений для синтетических схем на основе метода поэлементного вклада.

Расчет переходных процессов в электрических цепях на основе интегральных преобразований. Применение интегральных преобразований (Лапласа, Фурье) для расчета переходных процессов в сложных электрических цепях. Связь интегральных преобразований. Аналитический метод решения уравнений состояния в сложной электрической цепи при аналитически заданных функциях ЭДС и токов источников - определение отдельных составляющих (свободной, принужденной, установившейся, преходящей) и полного решения этих уравнений на основе функций от матриц. Рекуррентные соотношения для расчета дискретных значений матричных функций.

2.1.2.8. Четырехполюсники и многополюсники

Различные виды уравнений пассивного и активного четырехполюсника. Системы параметров четырехполюсника и их взаимосвязь. Эквивалентные схемы замещения взаимных четырехполюсников. Характеристические параметры. Схемные функции и частотные характеристики. Способы соединений. Передаточные функции согласованных схем. Функциональные четырехполюсники. Назначение. Обратные связи. Четырехполюсник с активными элементами. Структурные схемы. Вопросы устойчивости в электрических цепях с обратной связью. Электрические пассивные и активные фильтры и корректоры.

Уравнения пассивных и активных многополюсников, схемы замещения активных многополюсников. Соединения многополюсников и их

матричное описание. Диагностика резистивных многополюсников. Методы составления уравнений для соединений многополюсников на основании уравнений отдельных многополюсников, метод декомпозиции.

2.1.2.9. Электрические цепи с распределенными параметрами

Примеры цепей с распределенными параметрами. Уравнения линии с распределенными параметрами.

Решение уравнений однородной линии при установившемся синусоидальном режиме. Моделирование однородной линии цепной схемой. Бегущие волны. Различные режимы работы. Условия для неискажающей линии. Линия без потерь. Режим работы однородной линии с активной и реактивной нагрузкой. Измерительная линия.

Переходные процессы в цепях с распределенными параметрами. Решение уравнений однородной неискажающей линии при переходном процессе. Прямая и обратная волны. Характер и происхождение волн в линиях. Машинное моделирование процессов в цепях с распределенными параметрами.

Резистивно-емкостные цепи с распределенными параметрами, их физическая реализация. Решение уравнений таких цепей при установившемся и переходном режимах.

2.1.2.10. Синтез электрических цепей

Задачи синтеза линейных электрических цепей. Проблема аппроксимации характеристик и проблема схемной реализации. Необходимые и достаточные условия реализаций. Фундаментальные свойства схемных функций цепей.

Положительная вещественная функция и ее свойства. Свойства входных функций индуктивно-емкостных, резистивно-индуктивных и резистивно-емкостных двухполюсников. Методы схемной реализации пассивных двухполюсников.

Понятие о синтезе передаточных функций четырехполюсников. Схемная реализация пассивных четырехполюсников лестничной и мостовой структур. Схемная реализация активных четырехполюсников.

2.1.3. Теория нелинейных электрических и магнитных цепей

2.1.3.1. Элементы нелинейных электрических цепей, их характеристики и параметры

Понятия об элементах и свойствах нелинейных цепей.

Классификация нелинейных элементов: двухполюсники и многополюсники, активные и пассивные элементы, реактивные нелинейные элементы, инерционные и безынерционные элементы. Характеристики нелинейных элементов, статические и дифференциальные параметры. Модели нелинейных элементов.

2.1.3.2. Установившиеся процессы в нелинейных цепях и методы их расчета

Основные свойства и методы расчета нелинейных электрических и магнитных цепей при постоянных токах и потоках. Графические, графоаналитические и численные методы расчета при последовательном, параллельном и смешанном соединении элементов. Расчет сложных нелинейных цепей. Расчет магнитных цепей. Аналогия уравнений магнитных и электрических нелинейных цепей. О расчете магнитных цепей с постоянными магнитами.

Особенности расчета режимов нелинейных цепей при переменных токах и напряжениях. Особенности периодических режимов в нелинейных цепях. Высшие гармоники. Комбинационные колебания. Общая характеристика методов расчета. Соотношения задач анализа линейных и нелинейных цепей. Идеи линеаризации. Способы аппроксимации характеристик нелинейных элементов: кусочно-линейная, степенная, сплайнами. Простейшие графические и графоаналитические методы, итерационные методы. Аналитические методы, методы сопряжения интервалов, гармонического баланса, гармонической линеаризации.

Цепи с нелинейными индуктивностями - катушками с ферромагнитным сердечником. Метод эквивалентных синусоид. Эквивалентные параметры и схемы замещения катушки и трансформатора. Резонансные явления в нелинейных цепях. Феррорезонансы напряжения и тока. Цепи с вентильными преобразователями. Цепи с периодически меняющимися параметрами.

2.1.3.3. Элементы теории колебаний и методы расчета переходных процессов в нелинейных электрических цепях

Особенности колебательных процессов в нелинейных электрических цепях. Вопросы устойчивости колебательного режима в цепях, содержащих линейные реактивные элементы и нелинейное сопротивление, подключаемых к источнику постоянного напряжения. О выборе эквивалентной схемы для рассмотрения вопроса об устойчивости. Возбуждение автоколебаний в нелинейной системе с обратной связью. Релаксационные колебания.

Переходные процессы в нелинейных электрических цепях и методы их расчета: аналитические и численные. Исследование процессов на фазовой плоскости. Нелинейные моделирующие цепи. Метод медленно меняющихся амплитуд (метод усреднения). Метод переменных состояния. Особенности составления уравнений для нелинейных электрических цепей. Особенности колебательных процессов в цепях с периодически меняющимися параметрами. Понятие о стохастических процессах в электрических цепях с детерминированными параметрами.

Метод дискретных моделей для нелинейных цепей. Сведение расчета переходных процессов в нелинейной цепи к расчету множества резистивных цепей. Контурные, узловые и расширенные узловые уравнения резистивных цепей и их итерационное решение. Схемная интерпретация метода Ньютона, итерационные схемные модели.

2.1.4. Основы теории дискретных (цифровых) цепей

Дискретные (цифровые) сигналы, системы и их характеристики. Описание дискретных сигналов и систем в частотной области. Импульсная и частотная характеристика дискретной системы и их взаимосвязь. Дискретизация непрерывных сигналов, спектры дискретных последовательностей, периодичность спектральных функций.

Основные элементы дискретных схем: элементы задержки, умножители и сумматоры. Составление разностных уравнений для дискретных схем.

Разностные уравнения состояния дискретных цепей, решение уравнений во временной области. Применение дискретного преобразования Лапласа (z -преобразование) для решения разностных урав-

нений состояния. Передаточные функции дискретных систем в z -области и их свойства.

Основные структуры цифровых фильтров и способы их реализации.

2.2. Теория электромагнитного поля

2.2.1. Уравнения электромагнитного поля

Закон полного тока и закон электромагнитной индукции, теорема Гаусса, принципы непрерывности магнитного потока и электрического тока в дифференциальной форме. Полная система уравнений электромагнитного поля (уравнения Максвелла). Материальные среды и их электрофизические свойства. Векторы электромагнитного поля на границе раздела сред. Энергия и энергетические преобразования в электромагнитном поле.

Формы записи уравнений Максвелла и условия однозначности их решения (теорема единственности). Основные частные случаи моделей электромагнитных полей (статические и стационарные поля, переменные поля в проводящих средах и т.п.).

2.2.2. Электростатическое поле

Электростатическое поле и его уравнения. Безвихревой характер электростатического поля. Потенциал и градиент потенциала. Определение потенциала при заданном распределении зарядов. Уравнения Лапласа и Пуассона и примеры их решения. Основная задача электростатики. Плоскопараллельное поле двух заряженных осей. Поле и емкость параллельных цилиндров. Теорема единственности и ее следствия. Метод зеркальных изображений.

Связь между потенциалами и зарядами в системе заряженных тел. Потенциальные и емкостные коэффициенты, частичные емкости. Алгоритм расчета емкостей. Емкости простых систем электродов и линий (емкость между круглыми цилиндрами, емкость двухпроводной линии с учетом влияния земли, емкость трехфазной сети). Энергия и сила в электростатическом поле.

2.2.3. Электрическое поле постоянных токов

Уравнения электрического поля постоянных токов. Аналогия электрического поля в проводящей среде с электростатическим полем. Электрическое поле растекания токов, сопротивление растекания.

2.2.4. Магнитное поле постоянных токов

Вихревой характер магнитного поля тока. Скалярный и векторный потенциалы и их применение к расчетам магнитных полей. Обобщенный скалярный магнитный потенциал и его применение для расчета магнитных полей в областях с током. Аналогии магнитного поля с электростатическим полем. Поле вблизи плоских поверхностей ферромагнитных тел. Графические методы построения магнитных полей. Намагничивание тел различной формы. Размагничивающий фактор. Описание электромагнитных полей в сверхпроводящих средах и их магнитные характеристики. Энергия и сила в магнитном поле.

Расчет индуктивности. Общие выражения для взаимной и собственной индуктивностей. Индуктивности простых систем (длинного провода и прямоугольной рамки, кругового контура и т.п.). Алгоритм расчета индуктивностей. Метод участков расчета индуктивностей. Индуктивность двухпроводной линии. Взаимная индуктивность между двумя двухпроводными линиями. Индуктивность трехфазной линии.

2.2.5. Аналитические и численные методы расчета потенциальных электрических и магнитных полей

Постановка краевой задачи для уравнений Пуассона и Лапласа. Виды граничных условий и типы краевых задач. Методы решения краевых задач.

Аналитические методы расчета потенциальных полей: метод зеркальных изображений, метод конформных преобразований, решение краевых задач с использованием функций Грина, метод разделения переменных, метод интегральных уравнений, вариационная постановка краевой задачи и методы ее решения.

Численные методы расчета потенциальных полей: метод конечных разностей (сеток) и способы его реализации, проекционно-сеточные

методы, метод конечных элементов, численные методы решения интегральных уравнений, метод граничных элементов, комплексный метод граничных элементов для плоскопараллельных полей.

2.2.6. Основные соотношения переменного электромагнитного поля в материальной среде

Запись уравнений переменного электромагнитного поля со сторонними источниками через векторы поля. Применение электродинамических потенциалов для записи уравнений Максвелла. Уравнения Максвелла в комплексной форме. Комплексные параметры среды. Теорема Умова-Пойнтинга в комплексной форме. Вектора Пойнтинга. Виды задач электродинамики и методы их решения.

2.2.7. Электромагнитная волна в диэлектрике

Волновые уравнения электромагнитного поля в однородном изотропном диэлектрике. Распространение плоской волны. Плоские гармонические волны в идеальном диэлектрике. Характеристики плоской гармонической волны в несовершенном диэлектрике. Расчет распространения электромагнитных волн в диэлектрике методом разделения переменных. Скорость распространения электромагнитных волн в диэлектрике.

2.2.8. Переменные электромагнитные поля в проводящей среде

Векторные уравнения теплопроводности распространения электромагнитного поля в проводящей среде. Решение одномерного уравнения теплопроводности. Плоское гармоническое электромагнитное поле. Явление поверхностного эффекта. Поверхностный эффект в тонких пластинах и цилиндрических проводниках. Понятие об эффекте близости. Расчет полных сопротивлений проводников при переменных токах. Аналитические методы (разделения переменных, интегральных уравнений) решения краевой задачи в проводящей среде. Применение численных методов (конечных разностей и конечных элементов) расчета переменных полей в проводящих средах.

Понятие об электромагнитном экранировании.

2.2.3. Электрическое поле постоянных токов

Уравнения электрического поля постоянных токов. Аналогия электрического поля в проводящей среде с электростатическим полем. Электрическое поле растекания токов, сопротивление растекания.

2.2.4. Магнитное поле постоянных токов

Вихревой характер магнитного поля тока. Скалярный и векторный потенциалы и их применение к расчетам магнитных полей. Обобщенный скалярный магнитный потенциал и его применение для расчета магнитных полей в областях с током. Аналогии магнитного поля с электростатическим полем. Поле вблизи плоских поверхностей ферромагнитных тел. Графические методы построения магнитных полей. Намагничивание тел различной формы. Размагничивающий фактор. Описание электромагнитных полей в сверхпроводящих средах и их магнитные характеристики. Энергия и сила в магнитном поле.

Расчет индуктивности. Общие выражения для взаимной и собственной индуктивностей. Индуктивности простых систем (длинного провода и прямоугольной рамки, кругового контура и т.п.). Алгоритм расчета индуктивностей. Метод участков расчета индуктивностей. Индуктивность двухпроводной линии. Взаимная индуктивность между двумя двухпроводными линиями. Индуктивность трехфазной линии.

2.2.5. Аналитические и численные методы расчета потенциальных электрических и магнитных полей

Постановка краевой задачи для уравнений Пуассона и Лапласа. Виды граничных условий и типы краевых задач. Методы решения краевых задач.

Аналитические методы расчета потенциальных полей: метод зеркальных изображений, метод конформных преобразований, решение краевых задач с использованием функций Грина, метод разделения переменных, метод интегральных уравнений, вариационная постановка краевой задачи и методы ее решения.

Численные методы расчета потенциальных полей: метод конечных разностей (сеток) и способы его реализации, проекционно-сеточные

методы, метод конечных элементов, численные методы решения интегральных уравнений, метод граничных элементов, комплексный метод граничных элементов для плоскопараллельных полей.

2.2.6. Основные соотношения переменного электромагнитного поля в материальной среде

Запись уравнений переменного электромагнитного поля со сторонними источниками через векторы поля. Применение электродинамических потенциалов для записи уравнений Максвелла. Уравнения Максвелла в комплексной форме. Комплексные параметры среды. Теорема Умова-Пойнтинга в комплексной форме. Вектора Пойнтинга. Виды задач электродинамики и методы их решения.

2.2.7. Электромагнитная волна в диэлектрике

Волновые уравнения электромагнитного поля в однородном изотропном диэлектрике. Распространение плоской волны. Плоские гармонические волны в идеальном диэлектрике. Характеристики плоской гармонической волны в несовершенном диэлектрике. Расчет распространения электромагнитных волн в диэлектрике методом разделения переменных. Скорость распространения электромагнитных волн в диэлектрике.

2.2.8. Переменные электромагнитные поля в проводящей среде

Векторные уравнения теплопроводности распространения электромагнитного поля в проводящей среде. Решение одномерного уравнения теплопроводности. Плоское гармоническое электромагнитное поле. Явление поверхностного эффекта. Поверхностный эффект в тонких пластинах и цилиндрических проводниках. Понятие об эффекте близости. Расчет полных сопротивлений проводников при переменных токах. Аналитические методы (разделения переменных, интегральных уравнений) решения краевой задачи в проводящей среде. Применение численных методов (конечных разностей и конечных элементов) расчета переменных полей в проводящих средах.

Понятие об электромагнитном экранировании.

Важным учетом специфики специальностей является подбор специальных задач и их изучение на упражнениях. При проведении специализированного упражнения основное внимание необходимо обратить на следующее.

Мотивы выбора темы, необходимость и уровень аргументации такого выбора с точки зрения специфических задач данной специализации, допустимой степени упрощения этих задач, сохранения целостности при выбранных допущениях.

Основные моменты курса ТОЭ в качестве фундаментальной базы для решения подобного круга проблем на конкретном примере выбранной темы.

При проведении семинарских занятий в вычислительных классах, оборудованных индивидуальными терминалами-дисплеями, следует прежде всего обеспечивать диалоговый режим работы на основе предварительно созданных программ.

Шире практиковать специализированные компьютерные программы практических упражнений, в максимальной мере повышающие возможности самообучения и стимулирующие самостоятельную работу студентов.

4. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Элементы электрических цепей и их математические модели. Активный двухполюсник постоянного тока. Пассивный двухполюсник в цепи синусоидального тока. Разветвленная цепь синусоидального тока. Электрические цепи с взаимной индуктивностью. Резонанс напряжений. Резонанс в индуктивно-связанных контурах. Трехфазные сети. Линейные цепи несинусоидального периодического тока. Переходные процессы в линейных цепях с одним накопителем энергии. Переходные процессы в цепях с источником синусоидального напряжения. Пассивные линейные четырехполюсники. Электрические фильтры. Интегрирующие и дифференцирующие цепи. Модель длинной линии. Нелинейные цепи постоянного тока. Цепи с вентилями. Формы кривых тока и напряжения в нелинейных цепях. Феррорезонанс напряжений. Резонансный преобразователь частоты. Релаксационные колебания в электрической цепи. Исследование плоскостепенных полей на моделях. Исследование плоскостепенных полей на ЭВМ (методом сеток, методом конечных элементов, методом интегральных

уравнений). Растекание электрического тока в земле: исследование трехмерного поля на модели. Определение потенциальных коэффициентов, коэффициентов электростатической индукции и частичных емкостей системы тел. Электромагнитные силы в системах проводников и контуров с токами. Исследование магнитного поля вокруг проводников и катушек с токами. Определение индуктивности и взаимной индуктивности катушек. Электромагнитное экранирование. Намагничивание тел различной формы. Поверхностный эффект в шинах, лежащих в пазу электрической машины. Распределение переменного тока в одном проводе и в системе проводников. Волновод. Распространение электромагнитного поля в диэлектрике (и другие).

5. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ И КУРСОВЫХ РАБОТ

Линейная цепь постоянного тока. Линейная цепь синусоидального тока. Несинусоидальные токи в линейной цепи. Несинусоидальные токи в трехфазной цепи. Переходные процессы в линейных цепях. Установившиеся режимы нелинейной цепи переменного тока. Магнитные цепи. Переходные процессы в нелинейных цепях. Установившийся процесс в длинной линии. Переходные процессы в длинных линиях. Синтез реактивного двухполюсника. Электростатическое поле двухпроводной линии. Расчет поля и емкости методом функций комплексного переменного. Численный расчет и графическое построение магнитного поля электромагнита. Электромагнитное поле в плоских шинах с учетом поверхностного эффекта и эффекта близости (и другие).

6. ЛИТЕРАТУРА

6.1. Основная

- 6.1.1. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.1- Л.: Энергоиздат, 1981.- 536с.
- 6.1.2. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.2- Л.: Энергоиздат, 1981.- 416с.
- 6.1.3. Теоретические основы электротехники. Т.1. Под ред. П.А.Ионкина. М.: Высшая школа, 1976.- 544с.
- 6.1.4. Теоретические основы электротехники. Т.2. Под ред. П.А.Ионкина. М.: Высшая школа, 1976.- 383с.
- 6.1.5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Ч.1.- М.: Высшая школа, 1978.- 528с.
- 6.1.6. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле.- М.: Высшая школа, 1985.- 263с.
- 6.1.7. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей.- М.: Энергоатомиздат, 1989.- 528с.

6.2. Дополнительная

- 6.2.1. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи.- М.: Высшая школа, 1981.- 333с.
- 6.2.2. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. Нелинейные цепи.- М.: Высшая школа, 1977.- 272с.
- 6.2.3. Толстов Ю.Г. Теория линейных электрических цепей.- М.: Высшая школа, 1978.- 279с.
- 6.2.4. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники. Т.3.- М.: Энергия, 1975.- 352с.
- 6.2.5. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи. Ч.1.- М.: Энергия, 1978.- 592с.
- 6.2.6. Теоретические основы электротехники. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле. Под ред. Г.И.Атабекова. Ч.2,3.- М.: Энергия, 1979.- 432с.
- 6.2.7. Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники. Под ред. П.А.Ионкина.- М.: Энергоиздат, 1982.- 768с.

- 6.2.8. Задачник по теоретическим основам электротехники (теория цепей). Под ред. К.М.Поливанова.- М.: Энергия, 1973.- 304с.
- 6.2.9. Сборник задач по теории электрических цепей. Под ред. П.Н.Матханова и Л.В.Данилова.- М.: Высшая школа, 1980.- 224с.
- 6.2.10. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под ред. Л.А.Бессонова.- М.: Высшая школа, 1980.- 472с.
- 6.2.11. Демирчян К.С., Бутырин П.А. Моделирование и машинный расчет электрических цепей.- М.: Высшая школа, 1988.- 335с.
- 6.2.12. Белецкий А.Ф. Теория линейных электрических цепей.- М.: Радио и связь, 1986.- 543с.
- 6.2.13. Демирчян К.С., Чечурин В.Л. Машинные расчеты электромагнитных полей.- М.: Высшая школа, 1986.- 240с.

Программу составили:

Демирчян К.С. - академик РАН, профессор Московского энергетического института (технического университета).

Боронин В.И. - профессор Санкт-Петербургского технического университета.

Миронов В.Г. - профессор Московского энергетического института (технического университета).

Кузовкин В.А. - профессор Московского энергетического института (технического университета).

Немов Д.И. - доцент Московского энергетического института (технического университета).

Ответственный редактор:

Схириадзе А.Г. - профессор Московского государственного технологического университета "Станкин".

