

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.09.05 Теоретическая электротехника

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины по выбору

«Уравнения электрических цепей»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.3.1

Всего: 72 часов

Семестр 5, в том числе

6 часов – контактная работа,
48 часов – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 878, и паспорта специальности 05.09.05 Теоретическая электротехника, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение подходов к рациональному построению систем электроснабжения.

Задачами дисциплины являются:

- математическое моделирование электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в различных средах;
- разработка методов анализа, синтеза, оптимизации и диагностики электромагнитных полей и электрических цепей;
- использование численных методов интегрирования при математическом моделировании электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в различных средах.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);

- готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- способность проведения исследований слабых и сильных электромагнитных полей в электротехнических, электроэнергетических, электрофизических, информационных, управляющих и биологических системах. (ПК-2)

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений и дифференциальных уравнений в частных производных, возникающих при математическом моделировании электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в различных средах (УК-1, ПК-2);

уметь:

- проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные (УК-2);
- использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);

владеть:

- способностью разрабатывать методы анализа, синтеза, оптимизации и диагностики электромагнитных полей и электрических цепей (ПК-2);

– навыками работы с профессиональным программным обеспечением, реализующим численные методы расчета электромагнитных полей (ОПК-1, ПК-2);

– навыками преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-3).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Введение в дисциплину

Понятие электрической цепи, электрической схемы, математической модели цепи, уравнения электрической цепи и ее элементов. Компонентные уравнения элементов электрических цепей в стационарных (установившихся) режимах и динамических (переходных) процессах. Особенности компонентных уравнений линейных и нелинейных, параметрических элементов, а также элементов с распределенными параметрами. Компонентные уравнения во временной, комплексной, частотной, операторной областях. Формирование по компонентным уравнениям и уравнениям законов Кирхгофа уравнений электрических цепей. Особенности уравнений электронных, магнитных цепей и уравнений электроэнергетических систем. Уравнения сложных цепей - проблемы высокой размерности, плохой обусловленности и жесткости уравнений. Понятие агрегирования и макромоделирования цепей и систем; уравнения макромоделей. Уравнения цепей в некорректно поставленных задачах анализа, синтеза, диагностики. Уравнения электрических цепей в задачах оптимизации и управления: проблема овражности.

2. Компонентные уравнения основных элементов электрических цепей и формирование канонических уравнений цепей

Понятие идеальных элементов цепей и их компонентные уравнения. Компонентные уравнения источников, резисторов, конденсаторов, катушек, трансформаторов, вращающихся электрических машин, линий электропередач, элементов электроники. Компонентные уравнения

двухполюсников и многополюсников, элементов трехфазных цепей и цепей с распределенными параметрами. Использование интегральных и дифференциальных преобразований для формирования компонентных уравнений в частотной, операторной областях. Особенности компонентных уравнений основных элементов цепей в различных диапазонах частот и интенсивностей электромагнитных процессов. Канонические уравнения цепей (узловые, контурные, гибридные уравнения, уравнения состояния) и методы их формирования. Понятие систем координат и координатных базисов для описания электромагнитных процессов многофазных и сложных цепей, связь и преобразования этих систем (преобразование Фортескью, Парка, Кларк, связь контурных, узловых, гибридных базисов). Топологические матрицы, их свойства и их использование для формирования канонических систем уравнений цепей. Теорема существования и единственности решений уравнений электрических цепей. Недоопределенные, переопределенные, вполне неопределенные системные уравнения электрических цепей и понятие обобщенных решений этих уравнений.

3. Уравнения состояния электрических цепей

Понятие электрического состояния. Порядок сложности цепи и канонический набор переменных состояния. Формирование уравнений состояния во временной и частотной области. Канонические и неканонические уравнения состояния. Две дихотомии решения уравнений состояния. Аналитическое решение уравнений состояния. Понятия регулярного пучка матриц, спектра матриц, жордановых цепочек, применяемых при аналитическом решении уравнений состояния. Уравнения состояния стационарных электрических цепей с распределенными параметрами. Уравнения состояния нестационарных электрических цепей. Качественный анализ уравнений состояния (понятие и выявление жестких и сверхжестких, дребезжащих и неустойчивых уравнений состояния). Методы оценки спектра матриц уравнений состояния электрических цепей.

Расщепление жестких уравнений состояния электрических цепей во временной области.

4. Численные решения уравнений состояния электрических цепей

Дискретные модели и уравнения электрических цепей и процедуры формирования дискретных уравнений линейных, нелинейных, параметрических цепей и цепей с распределенными параметрами. Основные понятия численных решений уравнений (итерационная процедура, шаг дискретизации, решетчатая функция, рекурсия, явные и неявные методы, точность и устойчивость метода). Численные методы решения уравнений электрических цепей в стационарных режимах, численные методы решения уравнений электрических цепей в переходных процессах. Формализация описания и формирования уравнений электрических цепей при машинной их обработке. Процедуры оценки точности численного интегрирования уравнений состояния цепей (правило Рунге) и верификация результатов численного расчета процессов.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 5 семестр
– дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Что представляют собой компонентные уравнения элементов электрических цепей?
2. Приведите примеры компонентных уравнений основных элементов цепей.
3. Какие канонические типы уравнений электрических цепей Вы знаете?
4. Как по компонентным уравнениям формируются канонические уравнения электрических цепей?
5. Какие способы формирования канонических уравнений электрических цепей Вы знаете?
6. Как записывается аналитическое решение линейных уравнений состояния электрических цепей?
7. В чем заключается процедура численного решения уравнений состояния электрических цепей и каковы главные сложности ее реализации?

8. Как проводится качественный анализ уравнений электрических цепей? Приведите пример такого анализа.

9. Какими интегральными понятиями характеризуются матрицы уравнений состояния электрических цепей и как эти понятия связаны с их решениями?

10. Приведите пример жестких уравнений электрических цепей.

11. В чем заключаются преимущества и сложности численных и аналитических решений уравнений состояния цепей?

12. Записать компонентные уравнения идеальных и реальных резистивного, емкостного, индуктивного элементов.

13. Записать компонентные уравнения идеального и реального трансформатора.

14. Получить аналитические выражения матриц узловых и контурных уравнений и перечислить свойства элементов этих матриц.

15. Сформировать уравнения системы последовательной RLC-цепи и определить спектр их матрицы.

16. Какие уравнения называются плохо обусловленными и в чем заключаются сложности решения задач анализа цепей с плохо обусловленными уравнениями?

17. Какие уравнения называются жесткими, и в чем заключается сложность решения задач анализа цепей с жесткими уравнениями?

18. Показать, как расщепляются жесткие уравнения состояний на примере жесткого уравнения, описывающего разряд конденсатора на активно-индуктивный элемент.

19. Записать аналитические решения уравнения состояния линейной электрической цепи общего вида в матричном и расщепленном виде.

20. Сформировать разностные уравнения для макромоделей последовательных и параллельных RL- и RC-двухполюсников.

21. В чем заключается правило Рунге для оценки точности интегрирования с уравнением состояния электрических цепей?

22. Записать последовательность действий по машинному расчету электрических цепей.

23. Как при машинном расчете электрических цепей решается проблема большой размерности уравнений цепей?

24. Какова цель введения различных искусственных координат при решении уравнений трехфазных цепей вместе естественных (a, b, c) координат?

25. Записать интегральные преобразования, используемые при аналитическом построении асимптотических составляющих решений уравнений состояния линейных цепей.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. / К. С. Демирчян, и др. . – СПб. : Питер, 2009
2. Гантмахер Ф. Теория матриц - М.: Физматлит, 2012. – 577 с.
3. Голубева Н.В. Математическое моделирование систем и процессов - СПб.: Лань, 2013. –192 с.

Дополнительная литература:

1. Бободжанов А.А., Сафонов В.Б. Высшая математика. Методы Фурье и интегральных преобразований в уравнениях математической физики. М.: Изд. МЭИ, 2014.-260 с.
2. Бободжанов А.А., Бободжанова М.А., Сафонов В.Б. Высшая математика. М.: Изд. МЭИ, 2015.-348 с.
3. Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченова Н. В. Вычислительные методы – СПб. : Лань, 2014. –672 с.
4. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Том 1/ Под редакцией П. А. Бутырина -М.:, издательство МЭИ, 2012.
5. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Том 2/ Под редакцией П. А. Бутырина -М.:, издательство МЭИ, 2012.

Электронные библиотечные системы

1. Электронная библиотека МЭИ <http://elib.mpei.ru/>
2. Научная электронная библиотека ООО «РУНЭБ» <http://elibrary.ru>

3. Журнал Nature издательства Nature Publishing Group <http://www.nature.com>, доступ только из локальной вычислительной сети МЭИ.

4. 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://twi.mpei.ac.ru/ochkov/VPU_Book_New/mas/TOE/index.htm