

Учебная программа

Дисциплины «Теория электрических цепей»

Автор программы Канаков В.А.

Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Введение. Основные определения и законы.

Задачи и программа курса. Литература. Примеры преобразования сигналов в радиотехническом канале передачи информации.

Цепи постоянного и переменного тока. Схема цепи и топологические понятия. Пассивные элементы и схемы замещения. Источники тока и напряжения, зависимые источники. Законы Кирхгофа, Джоуля – Ленца, электромагнитной индукции. Колебания в электрических цепях. Переходные и установившиеся процессы.

Линейные цепи, принцип суперпозиции, параметрические и нелинейные цепи.

Задачи анализа и синтеза электрических цепей.

Тема 2. Методы анализа цепей постоянного тока

Методы расчета сложных электрических цепей. Метод контурных токов, метод узловых потенциалов. Применение теоремы взаимности для расчета сложных цепей.

Тема 3. Методы анализа цепей при гармоническом воздействии

Мгновенное значение, амплитуда, частота, фаза, среднее и эффективное значение гармонического тока. Временные и векторные диаграммы напряжений и токов для пассивных элементов цепи. Комплексные амплитуды токов и напряжений. Комплексный импеданс пассивных двухполюсников. Поглощаемая мощность и запасаемая энергия в пассивных двухполюсниках. Последовательное и параллельное соединение пассивных двухполюсников. Колебательный контур. Расчет сложных электрических цепей: метод контурных токов и метод узловых потенциалов.

Тема 4. Трехфазные электрические цепи

Трехфазные электрические цепи, соединение фаз цепи. Симметричные и несимметричные трехфазные цепи. Основные расчетные соотношения, энергетические соотношения для трехфазной электрической цепи.

Тема 5. Спектральные представления сигналов

Классификация радиотехнических сигналов. Векторное пространство сигналов.

Спектральное представление сигналов. Ортогональные сигналы. Периодические сигналы и ряды Фурье. Обобщенный ряд Фурье. Тригонометрическая форма рядов Фурье. Комплексная форма рядов Фурье. Спектральное представление непериодических сигналов. Основные свойства преобразования Фурье. Спектральная плотность неинтегрируемых сигналов. Соотношение между длительностью сигнала и шириной его спектра. Дискретизация и квантование сигнала. Ортогональные сигналы с ограниченным спектром. Теорема Котельникова для сигнала с ограниченным спектром. Теорема Котельникова для сигнала конечной длительности. База сигнала. Объем сигнала. Спектр дискретизированного сигнала.

Модулированные сигналы. Сигналы с амплитудной модуляцией. Спектр АМ сигнала. Сигналы с угловой модуляцией. Виды угловой модуляции. Сигналы с однотоновой угловой модуляцией. Спектральное разложение ЧМ и ФМ при малых индексах модуляции. Спектр сигнала с угловой модуляцией при произвольном значении индекса модуляции. Мгновенная частота, фаза и огибающая узкополосного сигнала. Преобразование Гильберта. Аналитический сигнал и его спектр, групповое время задержки. Комплексная огибающая аналитического сигнала. Автокорреляционная функция детерминированного сигнала. Энергетический спектр и спектр мощности.

Тема 6. Методы анализа линейных цепей при произвольных детерминированных воздействиях

Понятие четырехполюсника. Методы математического описания линейных стационарных цепей. Временной метод анализа четырехполюсников. Импульсная и переходная характеристики четырехполюсников. Интеграл Дюамеля. Спектральный метод анализа четырехполюсников. Представление сигналов на плоскости комплексной частоты. Преобразования Лапласа. Передаточная функция $K(p)$ цепи.

Тема 7. Частотные характеристики линейных цепей

Частотный коэффициент передачи, АЧХ и ФЧХ. RL - и RC - цепи. Последовательный колебательный контур. Векторная диаграмма. Энергетические соотношения. Частотная и фазовая характеристики. Параллельный колебательный контур. Векторная диаграмма. Энергетические соотношения. Частотная и фазовая характеристики. Сравнительные характеристики последовательного и параллельного контуров. Связанные колебательные контуры. Линейные нестационарные цепи. Линейные параметрические двухполюсники.

Тема 8. Основы теории четырехполюсников

Условие физической реализуемости четырехполюсников. Системы уравнений и параметры четырехполюсников, эквивалентные схемы. Основные типы простых четырехполюсников. Способы соединения четырехполюсников, параметры сложных четырехполюсников. Четырехполюсники с обратной связью.

Временные характеристики параметрических четырехполюсников.

Тема 9. Электрические фильтры

Линейная фильтрация. Фильтрация нижних и верхних частот. Частотные и фазовые характеристики RC -фильтров нижних и верхних частот. Полосовая фильтрация. Фильтры Баттерворта и Чебышева. Условия безыскаженной передачи сигнала через электрическую цепь.

Тема 10. Цепи с распределенными параметрами

Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в частотной области. Бегущие волны в длинной линии. Линии без потерь. Стоячие волны в линии без потерь. Коэффициенты отражения. Входное сопротивление линии с комплексной нагрузкой. Аналогия между уравнениями линии с распределенными параметрами и уравнениями четырехполюсника.

Свойства разомкнутого и замкнутого на конце отрезка линии без потерь. Линия без потерь, нагруженная на активный, реактивный, комплексный импеданс. Вторичные параметры линии.

Тема 11. Линейные усилительные устройства

Усиление сигналов. Общие сведения об усилителях. Принципы построения. Параметры усилителя. Апериодический усилитель. Биполярный и полевой транзисторы. Статические характеристики транзисторов. Эквивалентные схемы апериодического усилителя. АЧХ и ФЧХ апериодического усилителя. Частотные искажения в апериодическом усилителе. Динамические характеристики усилителя. Нелинейные искажения в апериодическом усилителе.

Частотно-избирательные усилители. Эквивалентная схема частотно-избирательного усилителя. АЧХ и ФЧХ резонансного усилителя. Линейные искажения АМ колебания в резонансном усилителе. Метод огибающей. Нелинейные искажения в резонансном усилителе.

Обратные связи в усилителях. Передаточная функция линейной системы с обратной связью. Метод Найквиста. Критерий Найквиста устойчивости системы с обратной связью. Способы включения обратной связи в усилителях. Влияние обратной связи на свойства усилителя.

Тема 12. Введение в теорию нелинейных цепей

Введение в теорию нелинейных цепей. Некоторые характеристики нелинейных элементов. Аппроксимация характеристик нелинейных элементов. Нелинейное преобразование формы сигнала. Нелинейное преобразование спектра сигнала. Безынерционное нелинейное преобразование суммы гармонических колебаний. Комбинационные частоты. Эффект интермодуляции. Совместное воздействие на нелинейном элементе сигналов большой и малой амплитуд.

Тема 13. Нелинейное усиление и умножение частоты электрических колебаний

Нелинейное резонансное усиление. Квазилинейный метод анализа нелинейного усилителя. КПД нелинейного усилителя. Умножение частоты и усиление гармоник. Амплитудный ограничитель.

Тема 14. Генерирование гармонических колебаний

Генерация гармонических колебаний. Обобщенная схема автогенератора. Баланс амплитуд и баланс фаз. Самовозбуждение автогенератора с индуктивной обратной связью (линейное приближение). Стационарный режим автогенератора (квазилинейное приближение). Устойчивость стационарных режимов. Мягкое и жесткое самовозбуждение автогенератора. Релаксационные генераторы.

Тема 15. Формирование модулированных колебаний

Принципы получения модулированных колебаний. Амплитудная и импульсная модуляция. Требования к цепям, осуществляющим амплитудную модуляцию. Получение амплитудной модуляции с применением нелинейных каскадов. Модуляция в параметрических цепях. Частотная модуляция. Параметрическое управление частотой генератора. Реактивный каскад на транзисторе. Методы и схемы однополосной модуляции.

Тема 16. Детектирование сигналов

Детектирование сигналов. Амплитудное детектирование. Детектирование нелинейными цепями. Ток детектирования. Детекторная характеристика. Детектирование слабых и сильных сигналов. Нелинейные искажения при детектировании АМ сигнала. Частотные искажения при амплитудном детектировании. Амплитудное детектирование параметрическими цепями. Фазовое детектирование. Фазовое детектирование параметрической системой. Фазовое детектирование нелинейными каскадами. Синхронное детектирование Частотное детектирование.

Тема 17. Преобразование частоты

Преобразование частоты. Преобразование спектра в нелинейном шестиполоснике. Прямое преобразование (линейное приближение по сигналу). Дополнительные каналы и интерференционные искажения при преобразовании частоты. Преобразование частоты (нелинейный режим по сигналу). Балансные преобразователи частоты.

Тема 18. Принципы цифровой обработки сигналов

Представление непрерывных сигналов в дискретной форме. Дискретизация и квантование. Общие представления о цифровой фильтрации дискретных сигналов. Обобщенное дискретное преобразование непрерывных сигналов.

Тема 19. Элементы синтеза электрических цепей

Задачи синтеза цепей. Аналитические свойства входных функций. Цепи с одним энергоемким элементом. Реактивные двухполосники и их свойства. Синтез двухполосников. Синтез двухполосников с одним энергоемким элементом. Синтез двухэлементных реактивных двухполосников.

Тема 20. Заключение

Обзор материала курса. Основные проблемы и задачи теории электрических цепей. Требования к экзамену.

Лабораторный практикум

1. Аperiодический усилитель
2. Генератор гармонических колебаний
3. Нелинейные преобразования сигналов

Рекомендуемая литература

а) основная литература:

1. Астайкин А.И., Помазков А.П. Теоретические основы радиотехники. В 3-х частях. – Саров: ФГУП РЯЦ-ВНИИЭФ, 2003-2004.
2. Орлов И.Я. Курс лекций по основам радиоэлектроники. – Н. Новгород: ННГУ, 2005.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 1983.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1986.
5. Радиотехнические цепи и сигналы. Примеры и задачи/ Под ред. И.С. Гоноровского. – М.: Радио и связь, 1989.

б) дополнительная литература:

1. Рыжаков С.М. Топологический анализ электрических цепей. Учебное пособие – Горький: ГГУ, 1982.
2. Рыжаков С.М. Колебательные контуры. Учебное пособие – Нижний Новгород: ННГУ, 1994.
3. Кривошеев В.И. Спектральные представления сигналов. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: ННГУ, 2005.
4. Рыжаков С.М. Прохождение радиосигналов через линейные цепи. Методические указания. – Нижний Новгород: ННГУ, 1996.
5. Рыжаков С.М. Анализ четырехполосников в частотной области. Учебное пособие. – Нижний Новгород: ННГУ, 1992.
6. Рыжаков С.М. Анализ распределенных электрических цепей в частотной области. Учебное пособие. – Нижний Новгород: ННГУ, 1998.
7. Шкелев Е.И. Схемотехника линейных усилителей. Методические указания. – Нижний Новгород: ННГУ, 1991.

Вопросы для контроля

1. Векторное представление сообщений и сигналов
2. Метрика, базис, норма, скалярное произведение для векторного пространства дискретных и непрерывных сообщений и сигналов
3. Разложение непрерывных сигналов по заданному ортогональному базису
4. Гармонический анализ периодических сигналов
5. Разложение в ряд Фурье периодической последовательности импульсов
6. Преобразование Фурье и его свойства. Спектральный анализ непериодических сигналов
7. Виды модуляции, модулированные радиосигналы и их спектры
8. Амплитудная, балансная и однополосная модуляция: представление сигналов во временной и частотной областях
9. Угловая модуляция, отличие ЧМ и ФМ
10. Преобразование Гильберта, огибающая, фаза и мгновенная частота узкополосного сигнала
11. Аналитический сигнал и его свойства
12. Энергетический спектр и автокорреляционная функция импульсных сигналов
13. Спектр дискретизированного сигнала, теорема отсчетов (Котельникова)
14. Представление сигнала с ограниченным спектром равноотстоящими отсчетами
15. Представление сигнала ограниченной длительности равноотстоящими отсчетами его спектра
16. Информационная база сигнала с заданной длительностью и заданной полосой занимаемых частот
17. Линейные электрические цепи с сосредоточенными параметрами и их эквивалентные схемы: определения и методы описания
18. Идеализированные модели элементов линейных электрических цепей с сосредоточенными параметрами
19. Эквивалентность источников тока и источников э.д.с.
20. Схемы замещения комбинаций пассивных элементов
21. Теорема компенсации (эквивалентность ветви цепи источнику тока или э.д.с.)
22. Законы Кирхгофа для линейных электрических цепей, методы уменьшения числа уравнений в системе, описывающей эквивалентную схему
23. Описание линейных электрических цепей с сосредоточенными параметрами системой

- обыкновенных дифференциальных уравнений
24. Преобразование Лапласа и его свойства
 25. Эквивалентные схемы линейных электрических цепей с сосредоточенными параметрами в области комплексных частот (переменных Лапласа)
 26. Операторный метод анализа линейных электрических цепей с сосредоточенными параметрами
 27. Коэффициент передачи в частотной области линейных электрических цепей с сосредоточенными параметрами, определения и свойства АЧХ и ФЧХ для физически реализуемых цепей
 28. Спектральный метод анализа линейных электрических цепей с сосредоточенными параметрами
 29. Импульсная характеристика линейных электрических цепей с сосредоточенными параметрами, ее свойства для физически реализуемых цепей
 30. Метод интеграла Дюамеля (интеграл наложения) для анализа линейных электрических цепей с сосредоточенными параметрами
 31. Связь импульсной характеристики и коэффициента передачи линейной цепи
 32. Последовательный колебательный контур и его свойства
 33. Параллельный колебательный контур и его свойства
 34. Сложный параллельный колебательный контур
 35. Связанные колебательные контуры
 36. Линейные четырехполюсники: методы описания и эквивалентные схемы
 37. Линейный пассивный симметричный четырехполюсник: методы описания и свойства
 38. Параллельное, последовательное и цепное соединение четырехполюсников
 39. Электрические фильтры: определения и простейшие схемы
 40. Цепные электрические фильтры: описание через параметры звена
 41. Принципы усиления сигналов с помощью электровакуумного триода, униполярного и биполярного транзисторов
 42. Режимы работы биполярного транзистора, его статические характеристики
 43. Усилитель как линейный четырехполюсник: эквивалентная схема, АЧХ и ФЧХ линейного усилителя, динамические (нагрузочные) характеристики
 44. Аперiodический усилитель на биполярном транзисторе: линейный режим
 45. Эмиттерный повторитель
 46. Линейные (частотные) и нелинейные искажения в усилителях
 47. Усилители с обратными связями: реализация и виды обратной связи, коэффициент передачи, устойчивость
 48. Свойства усилительных каскадов с отрицательной и положительной обратными связями
 49. Операционный усилитель: свойства и схемы включения
 50. Дифференциальный усилитель: свойства
 51. Резонансный усилитель: линейный режим
 52. Временные характеристики линейных параметрических двухполюсников и четырехполюсников
 53. Частотные характеристики параметрических четырехполюсников
 54. Параметрическое усиление сигналов
 55. Нелинейные элементы и аппроксимация их характеристик
 56. Преобразование спектра в цепи с резистивным нелинейным элементом: гармоническое и бигармоническое воздействие
 57. Угол отсечки и коэффициенты Берга, выпрямление переменного тока
 58. Нелинейное резонансное усиление
 59. Умножение частоты в нелинейном четырехполюснике
 60. Амплитудное ограничение в нелинейном четырехполюснике
 61. Автогенератор гармонических колебаний: принцип работы, схема, условия стационарного режима
 62. Условия самовозбуждения автогенератора (линейное приближение), мягкий и жесткий режимы самовозбуждения
 63. Стационарный режим автогенератора (квазилинейное приближение), к.п.д. автогенератора,

- оптимизация режима запуска
64. Амплитудная модуляция в резонансном усилителе
 65. Амплитудная модуляция в автогенераторе, особенности спектра модулированного колебания
 66. Балансный модулятор
 67. Угловая модуляция в линейном параметрическом четырехполюснике. ФМ в резонансном усилителе с перестройкой резонансной частоты
 68. Частотная модуляция в автогенераторе с управляемой частотой
 69. Амплитудное детектирование на нелинейном элементе, линейные (частотные) и нелинейные искажения
 70. Амплитудное детектирование в параметрических цепях, детектирование сигнала с одной боковой полосой
 71. Фазовое детектирование линейным параметрическим и нелинейным каскадами
 72. Частотное детектирование преобразованием ЧМ в АМ и ЧМ в ФМ
 73. Преобразование частоты в нелинейном шестиполоснике (линейное приближение), коэффициент преобразования
 74. Дополнительные каналы и интерференционные искажения при преобразовании частоты
 75. Комбинационные частоты при преобразовании частоты (нелинейный режим по сигналу)
 76. Телеграфные уравнения для длинных линий, решение телеграфных уравнений в частотной области
 77. Стоячие волны в линии без потерь, коэффициент отражения, входное сопротивление длинной линии с комплексной нагрузкой
 78. Свойства разомкнутого и замкнутого на конце отрезка длинной линии без потерь, нагруженная на реактивное сопротивление длинная линия без потерь
 79. Нагруженная на активное сопротивление длинная линия без потерь
 80. Вторичные параметры длинных линий