

Теория электрических цепей

Институт Физики, Нанотехнологий
и Телекоммуникаций
(ИФНиТ)

Второй курс (осенний семестр)

Купцов Владимир Дмитриевич

Высшая школа прикладной физики и
космических технологий

к. 224, II уч. корпус

vdkuptsov@yandex.ru

Содержание курса

- **Лекции**

Материалы лекций для скачивания размещены:

Сайт ВШ ПФиКТ—> Студентам—> Материалы по учебным дисциплинам —> Купцов В.Д. Теория электрических цепей.

- **Упражнения**, расчетно-графическое задание по темам:

1. Метод комплексных амплитуд,
2. Методы расчета сложных цепей,
3. Расчет переходных процессов

Введение

1. Основы теории электрических цепей

1.1 Электрическая цепь и электрическая схема

1.2 Ток, напряжение, энергия и мощность в участке цепи

1.3 Идеализированные пассивные элементы цепи:
сопротивление, емкость, индуктивность

1.4 Реальные пассивные элементы цепей и их схемы
замещения

1.5 Источники тока и напряжения

1.6 Структура схемы электрической цепи

1.7 Законы Кирхгофа

1.8 Принцип дуальности в теории цепей

1.9 Уравнения, описывающие процессы в электрических
цепях. Принцип суперпозиции и область его
применимости

2. Гармонические колебания в линейных электрических цепях

- 2.1 Основные характеристики гармонических колебаний
- 2.2 Метод комплексных амплитуд
- 2.3 Комплексные сопротивления и проводимости
- 2.4 Мощность в цепи гармонического тока
- 2.5 Уравнение баланса мощности
- 2.6 Условие передачи максимальной мощности от генератора в нагрузку
- 2.7 Комплексный коэффициент передачи. Примеры расчета простейших цепей, дифференцирующая и интегрирующая цепи
- 2.8 Метод контурных токов
- 2.9 Метод узловых потенциалов
- 2.10 Теорема взаимности
- 2.11 Теорема об эквивалентном источнике
- 2.12 Трансформатор
- 2.13 Трехфазные цепи
- 2.14 Многофазные электрические машины

3. Резонансные явления в электрических цепях

- 3.1 Свободные колебания в LC-контуре
- 3.2 Вынужденные колебания в последовательном LC-контуре
- 3.3 Частотные характеристики последовательного колебательного контура. Полоса пропускания.
- 3.4 Резонанс в параллельном колебательном контуре
- 3.5 Сложный параллельный колебательный контур
- 3.6 Вынужденные колебания в двух связанных колебательных контурах
- 3.7 Свободные колебания в двух связанных контурах

4. Анализ цепей при негармонических воздействиях

- 4.1 Частотный спектр периодического колебания. Ряд Фурье
- 4.2 Колебания с непрерывным спектром. Преобразование Фурье
- 4.3 Свойства преобразования Фурье
- 4.4 Спектральный анализ простейших колебаний
- 4.5 Дельта-функция
- 4.6 Спектральный метод анализа цепей
- 4.7 Условие неискаженной передачи через цепь
- 4.8 Импульсная характеристика цепи. Интеграл суперпозиции.
- 4.9 Переходная характеристика цепи, ее связь с импульсной характеристикой
- 4.10 Преобразование Лапласа
- 4.11 Свойства преобразования Лапласа
- 4.12 Применение преобразования Лапласа к анализу цепей (операторный метод)
- 4.13 Свойства передаточной функции цепи
- 4.14 Переходные процессы в электрических цепях

- ## 5. Волновые процессы в цепях с распределенными параметрами
- 5.1 Основы теории длинных линий
 - 5.2 Дифференциальные уравнения длинных линий
 - 5.3 Волны в длинной линии в режиме гармонических колебаний
 - 5.4 Фазовая скорость и длина волны в линии
 - 5.5 Процессы в линиях без потерь при разных нагрузках
 - 5.6 Уравнения передачи для фрагмента длинной линии
 - 5.7 Входное сопротивление отрезка длинной линии
 - 5.8 Коэффициент отражения
 - 5.9 Распределение амплитуд напряжения и тока вдоль линии
 - 5.10 Коэффициент стоячей и бегущей волны
 - 5.11 Круговые диаграммы сопротивлений и проводимостей
 - 5.12 Согласование длинной линии с нагрузкой
 - 5.13 Волновые процессы в длинных линиях с малыми потерями

Литература

Основная:

1. Зайцев Э.Ф., Черепанов А.С., Ферсман Г.А. Электротехника и электроника. Теория электрических цепей. Ч. 1: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2005.
2. Новиков Ю.Н. Основные понятия и законы теории цепей, методы анализа процессов в цепях. СПб.: - Лань, 2011.
3. Шебес М.Р., Каблукова М.В. Задачник по теории линейных электрических цепей, - Питер, 1990.

Дополнительная:

1. Атабеков Г.И. Основы теории цепей. – СПб.: Лань, 2009.
2. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В. Теоретические основы радиотехники, т.1,2,3. – Издательство Питер, 2009.
3. Попов В.П. Основы теории цепей. – Издательство Юрайт, 2013.

Теория электрических цепей рассматривает физические процессы в квазистационарном приближении, при котором возможно применять понятия напряжений и токов. (не напряженности магнитного и электрического поля).

Радиофизика — наука о физических процессах, связанных с электромагнитными колебаниями и волнами. К этим процессам относятся 1) усиление, генерирование и преобразование электромагнитных колебаний; 2) излучение, распространение и прием радиоволн; 3) взаимодействие электромагнитного поля с веществом.

Радиотехника — наука, изучающая электромагнитные колебания и волны радиодиапазона, методы генерации, усиления, преобразования, излучения и приёма, а также применение их для передачи информации, включающая в себя технику радиопередачи и радиоприёма, обработку сигналов, проектирование и изготовление радиоаппаратуры.

Электротехника — область техники, связанная с получением, распределением, преобразованием и использованием электрической энергии.

Классификация длин волн и частот радиодиапазона

Волны	Длины волн	Частоты	Название
$\lambda = c/f$		$f = \frac{1}{T} = \omega/2\pi$	
Сверхдлинные СД	Более 10 км	Ниже 30 кГц	НЧ
Длинные ДВ	10 – 1 км	30-300 кГц	СЧ
Средние СВ	1000 – 100 м	0,3-3 МГц	
Короткие КВ	100 – 10 м	3-30 МГц	ВЧ
Метровые МВ	10 – 1 м	30-300 МГц	
Дециметровые ДМВ	100 – 10 см	0,3-3 ГГц	СВЧ
Сантиметровые СМВ	10 – 1 см	3-30 ГГц	
Миллиметровые ММВ	10 – 1 мм	30-300 ГГц	КВЧ
Субмиллиметровые	Менее 1 мм	Выше 300 ГГц	

Основы теории электрических цепей

Электрическая цепь — устройство, в котором электромагнитные процессы могут быть описаны с помощью понятий напряжения и тока, то есть напряжения и токи выступают как величины, задание которых в любой момент времени однозначно определяет состояние цепи.

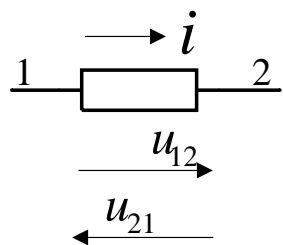
Электрическая схема — это графическое изображение электрической цепи, где реальные элементы представлены в виде условных обозначений.

Принципиальная схема — показывает все функциональные элементы и связи между ними.

Расчетная (эквивалентная) схема — в ней каждый реальный элемент замещается совокупностью идеальных элементов (активных и пассивных), такие схемы удобны для расчетов и именно они рассматриваются в теории цепей.

Электрический ток упорядоченное движение носителей электрических зарядов (электронов, ионов, дырок).

Сила (величина) тока равна количеству суммарного заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника за единицу времени.



$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$u_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

Напряжение (падение напряжения) на данном участке цепи - разность электрических потенциалов точек 1 и 2. Это — скалярная величина, равная работе, которая затрачивается на перенос единичного положительного заряда из точки 1 в 2.

Стационарный состояние - электрические заряды и токи во всех точках устройства (цепи) постоянны во времени, при этом постоянны и создаваемые ими поля E, B .

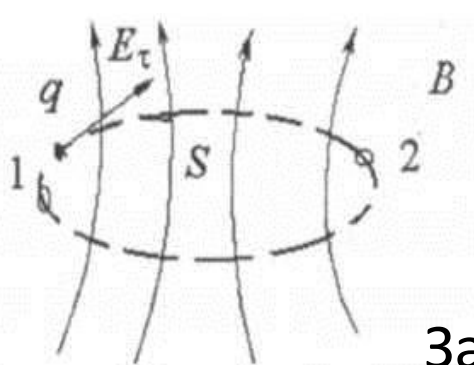
$\Delta W = u\Delta q$ - работа по перемещению заряда Δq за время $\Delta \tau$

$p = \frac{dW}{dt} = ui$ - мгновенная мощность это скорость изменения энергии

$W = \int_{t_1}^{t_2} p dt = \int_{t_1}^{t_2} u i dt$ - поглощенная энергия

1. Индуктивность на переменном токе.

Переменное электрическое поле не обладает потенциалом. Работа по переносу заряда q из точки 1 в точку 2 (работа сил электрической индукции) зависит от пути его движения:

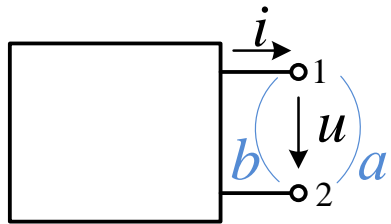


$$\int_1^2 q E_\tau dl + \int_2^1 q E_\tau dl = q \oint E_\tau dl = q e_{инд}$$

Закон Фарадея: $e_{инд} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_S B_n dS$

$e_{инд} = 0$ только в стационарном состоянии

$u_{12} = \int_1^2 E_{\tau} dl$ - для переменных токов напряжение между точками 1 и 2, то есть путь интегрирования должен быть четко указан



Путь интегрирования проводим между внешними зажимами (вне элемента $d\Phi/dt \approx 0$). Результат практически не зависит от пути. Можем использовать напряжение $u_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$

$$D/c \ll T$$

$$D \ll \lambda$$

Условие квазистационарности электромагнитного поля: за время распространения возмущения поля от одной точки до любой другой токи и напряжения практически не меняются.

D - максимальный размер устройства,

c - скорость света, $\lambda \approx c/f$ - длина волны,

T - время, за которое токи и напряжения заметно меняются.

2. Конденсатор на переменном токе:

j_{np} - ток проводимости

$j_{см} = \frac{\partial D}{\partial t}$ - плотность тока смещения, соответствующий изменению электрического поля

$j_n = j_{np} + j_{см}$ - плотность полного тока, причем интеграл через любую замкнутую поверхность $\oint j_n ds = 0$

Условие квазистационарности: током смещения можно пренебречь всюду, за исключением конденсаторов.

Теория цепей следует из строгой теории электромагнитного поля как предельный случай квазистатики.