

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

А. Ф. Копылов, Ю. П. Саломатов, Г. К. Былкова

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

**ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.
МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.
ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ $R - L$ И $R - C$ ЦЕПЕЙ**

Часть 1

Рекомендовано учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 210300 «Радиотехника», 18.10.2010

Красноярск
СФУ
2013

УДК 621.3.011.7(07)
ББК 31.211я73
К659

Копылов, А.Ф.

К659 Основы теории электрических цепей. Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R-L$ и $R-C$ цепей: учеб. пособие / А. Ф. Копылов, Ю. П. Саломатов, Г. К. Былкова. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. – 666 с.
ISBN 978-5-7638-2507-7

Изложены основные понятия и определения, методы расчета электрических цепей постоянного и гармонического тока, частотные характеристики простейших $R-L$ и $R-C$ цепей. Приведены примеры расчета. Большое внимание уделено анализу частотных характеристик $R-L$ и $R-C$ цепей.

Учебное пособие «Основы теории электрических цепей» издается в двух частях. В первую часть включены глава 1 «Основные понятия, определения теории цепей и законы электрического тока» и глава 2 «Электрические цепи с источниками постоянного напряжения и тока». Во вторую часть включены глава 3 «Электрические цепи на переменном (гармоническом) токе» и глава 4 «Частотные характеристики простейших электрических цепей». Издание является продолжающимся, поэтому нумерация страниц сквозная.

Предназначено для студентов специальности 210300 «Радиотехника».

УДК 621.3.011.7(07)
ББК 31.211я73

ISBN 978-5-7638-2507-7

© Сибирский федеральный университет, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА	4
1.1. Основные понятия и определения теории цепей.....	4
1.2. Основные законы электрических цепей	25
1.2.1. Закон Ома.....	25
1.2.2. Первый закон Кирхгофа	26
1.2.3. Второй закон Кирхгофа	28
1.2.4. Закон Джоуля-Ленца.....	31
1.2.5. Закон электромагнитной индукции.....	32
1.2.6. Закон Кулона	33
1.2.7. Основные законы электрических цепей для переменного (гармонического) тока	34
2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ С ИСТОЧНИКАМИ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА	39
2.1. Общие замечания	39
2.2. Теорема компенсации	42
2.3. Соединения сопротивлений и проводимостей в электрических цепях	45
2.3.1. Последовательное соединение сопротивлений и проводимостей.....	45
2.3.2. Параллельное соединение проводимостей и сопротивлений.....	49
2.3.3. Смешанное соединение сопротивлений и проводимостей.....	53
2.3.4. Соединение сопротивлений звездой и треугольником	59
2.4. Реальные источники тока и ЭДС на постоянном токе	76
2.5. Анализ простых электрических цепей.....	89
2.6. Анализ сложных электрических цепей.....	91
2.6.1. Анализ сложных электрических цепей применением уравнений Кирхгофа.....	91
2.6.2. Анализ сложных электрических цепей методом контурных токов	108
2.6.3. Анализ сложных электрических цепей методом узловых потенциалов	124
2.6.4. Анализ сложных электрических цепей методом эквивалентного генератора.....	143
2.6.5. Анализ сложных электрических цепей методом суперпозиции.....	165

2.7. Свойство взаимности	186
2.8. Потенциальная диаграмма электрической цепи постоянного тока.....	188
2.9. Баланс мощностей в электрической цепи постоянного тока.....	193
3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ НА ПЕРЕМЕННОМ (ГАРМОНИЧЕСКОМ) ТОКЕ.....	195
3.1. Основные понятия и определения теории цепей для синусоидальных (гармонических) токов и напряжений	195
3.2. Изображение гармонических функций.....	197
3.3 Действующее значение синусоидального (гармонического) тока.....	209
3.4. Резистор (активное сопротивление), индуктивность и ёмкость на гармоническом токе	213
3.4.1. Резистор (активное сопротивление) на гармоническом токе	213
3.4.2. Индуктивность на гармоническом токе.....	219
3.4.3. Ёмкость на гармоническом токе.....	229
3.5. Последовательная $R - L - C$ цепь на гармоническом токе	238
3.6. Схемы замещения реальных индуктивности и ёмкости	246
3.7. Мощность гармонического тока.....	253
3.7.1. Общие вопросы определения мощности гармонического тока	253
3.7.2. Мощность гармонического тока в цепи с чисто активным входным сопротивлением	264
3.7.3. Мощность гармонического тока в цепи с активно-индуктивным и чисто индуктивным входным сопротивлением	273
3.7.4. Мощность гармонического тока в цепи с активно-ёмкостным и чисто ёмкостным входным сопротивлением	285
3.7.5. Обобщение результатов анализа мощности в цепи переменного (гармонического) тока	305
3.8. Параллельная $R - L - C$ цепь на гармоническом токе.....	310
3.9. Дуальные цепи.....	319
3.10. Основы метода комплексных амплитуд.....	322
3.10.1. Комплексные числа.....	322
3.10.2. Операции с комплексными числами.....	327
3.10.3. Вектор на комплексной плоскости. Метод комплексных амплитуд.....	331
3.10.4. Основные законы электрических цепей в комплексной форме	339
3.10.4.1. Закон Ома в комплексной форме	339
3.10.4.2. Первый закон Кирхгофа в комплексной форме.....	339
3.10.4.3. Второй закон Кирхгофа в комплексной форме	342

3.10.4.4. Последовательное соединение активных и реактивных сопротивлений	343
3.10.4.5. Параллельное соединение активных и реактивных сопротивлений	345
3.10.4.6. Смешанное последовательно-параллельное соединение активных и реактивных сопротивлений	347
3.10.4.7. Соединение активных и реактивных сопротивлений звездой и треугольником	350
3.10.4.8. Мощность гармонического тока в комплексной форме	352
3.11. Применение метода комплексных амплитуд для расчета сложных электрических цепей	367
3.11.1. Анализ (расчет) сложных электрических цепей гармонического тока применением уравнений Кирхгофа	371
3.11.2. Анализ (расчет) сложных электрических цепей гармонического тока методом контурных токов	377
3.11.3. Анализ (расчет) сложных электрических цепей гармонического тока методом узловых потенциалов	380
3.11.4. Анализ (расчет) сложных электрических цепей гармонического тока методом эквивалентного генератора	384
3.11.5. Анализ (расчет) сложных электрических цепей гармонического тока методом суперпозиции	399
3.11.6. Топографическая диаграмма напряжения и векторная диаграмма токов для цепей переменного (гармонического) тока	406
3.11.7. Баланс мощностей в цепи гармонического тока для реальной схемы	410
3.11.8. Мост Витстона на гармоническом токе	445
3.11.9. Согласование генератора и нагрузки	450
3.11.9.1. Согласование генератора и нагрузки по критерию максимальной активной мощности	450
3.11.9.2. Согласование генератора и нагрузки по критерию максимального КПД	468
4. ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОСТЕЙШИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ	473
4.1. Связь комплексных частотных, амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик электрических цепей	473
4.2. Частотные характеристики последовательной $R - L$ цепи	489
4.2.1. Эквивалентные схемы последовательной $R - L$ цепи	489
4.2.2. Частотные характеристики входного сопротивления последовательной $R - L$ цепи	498
4.2.3. Частотные характеристики коэффициента прямой передачи по напряжению последовательной $R - L$ цепи	503

4.3. Частотные характеристики последовательной $R - C$ цепи	517
4.3.1. Эквивалентные схемы последовательной $R - C$ цепи	517
4.3.2. Частотные характеристики входного сопротивления последовательной $R - C$ цепи	520
4.3.3. Частотные характеристики коэффициента прямой передачи по напряжению последовательной $R - C$ цепи	526
4.4. Частотные характеристики параллельной $R - L$ цепи	536
4.4.1. Эквивалентные схемы параллельной $R - L$ цепи	536
4.4.2. Частотные характеристики входной проводимости параллельной $R - L$ цепи	542
4.4.3. Частотные характеристики входного сопротивления параллельной $R - L$ цепи	557
4.4.4. Частотные характеристики входного и выходного напряжений и коэффициента прямой передачи по напряжению параллельной $R - L$ цепи	573
4.4.5. Частотные характеристики тока в сопротивлении и тока в индуктивности параллельной $R - L$ цепи	584
4.5. Частотные характеристики параллельной $R - C$ цепи	604
4.5.1. Эквивалентные схемы параллельной $R - C$ цепи	604
4.5.2. Частотные характеристики входной проводимости параллельной $R - C$ цепи	608
4.5.3. Частотные характеристики входного сопротивления параллельной $R - C$ цепи	614
4.5.4. Частотные характеристики входного и выходного напряжений и коэффициента прямой передачи по напряжению параллельной $R - C$ цепи	625
4.5.5. Частотные характеристики тока в сопротивлении и тока в ёмкости параллельной $R - C$	634
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	660
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	661