

Батура, М. П. Теория электрических цепей: учебник для вузов / М. П. Батура, А. П. Кузнецов, А. П. Курулёв; под общ. ред. А. П. Курулёва. — 3-е изд., перераб. — Минск: Вышэйшая школа, 2015. — 605, [1] с.: ил. — Библиогр.: с. 602.

УДК 621.3.011.7(075.8)

ББК 31

Ч/З №1 — 1 экз.

Рассматриваются электромагнитные процессы в линейных электрических цепях. Описываются резонансные явления в последовательных и параллельных колебательных контурах, в системе связанных контуров. Излагаются основы четырехполюсников и электрических фильтров, методы анализа переходных процессов в линейных цепях, методы анализа электрических цепей с распределенными параметрами, основы синтеза линейных электрических цепей.

Предыдущее издание вышло в 2007 г.

Для студентов учреждений высшего образования по направлениям специальностей «Радиоэлектронная техника», «Компоненты оборудования», «Связь». Может служить руководством для инженерно-технических работников, повышающих свой уровень знаний.

М.П. Батура А.П. Кузнецов А.П. Курулёв

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Утверждено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника
для студентов учреждений высшего образования
по направлениям специальностей
«Радиоэлектронная техника»,
«Компоненты оборудования», «Связь»

Под общей редакцией
кандидата технических наук,
доцента А.П. Курулёва

3-е издание, переработанное

«Вышэйшая школа»
2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
I. УСТАНОВИВШИЕСЯ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ	7
1. Основные понятия и определения теории цепей	7
1.1. Определения, характеристики, классификация электрических цепей и их элементов	7
1.2. Понятие о дуальности. Дуальные элементы и цепи	13
1.3. Элементы топологии цепей	14
Контрольные вопросы и задания	16
2. Линейные электрические цепи постоянного тока	17
2.1. Закон Ома и законы Кирхгофа для цепей постоянного тока	17
2.2. Баланс мощностей в цепях постоянного тока	21
2.3. Эквивалентные преобразования схем электрических цепей	22
2.4. Метод уравнений Кирхгофа	29
2.5. Метод контурных токов	32
2.6. Метод наложения	39
2.7. Метод узловых потенциалов	41
2.8. Метод эквивалентного генератора	47
2.9. Теорема компенсации	50
2.10. Принцип взаимности	51
2.11. Рекомендации по выбору оптимального метода расчета электрических цепей	53
Контрольные вопросы и задания	54
3. Линейные электрические цепи гармонического тока	55
3.1. Основные характеристики гармонического тока	55
3.2. Представление гармонического тока проекциями вращающегося вектора. Векторная диаграмма	59
3.3. Представление гармонического тока с помощью комплексных величин	61
3.4. Комплексные сопротивления и проводимости. Закон Ома и законы Кирхгофа в комплексной форме	64
3.5. Цепи гармонического тока с одним пассивным элементом	66
3.6. Цепь синусоидального тока с последовательным соединением элементов r, L и C	70
3.7. Мощность в цепи синусоидального тока	73
3.8. Цепь синусоидального тока с параллельным соединением элементов r, L и C	77
3.9. Обобщение методов расчета цепей постоянного тока на цепи гармонического тока	80
Контрольные вопросы и задания	88
4. Цепи с индуктивной связью	89
4.1. Индуктивная связь. Степень связи и коэффициент связи	89
4.2. Согласное и встречное включение катушек индуктивности	91
4.3. Последовательное соединение индуктивно связанных катушек	92
4.4. Параллельное соединение индуктивно связанных катушек	94
4.5. Трансформатор без магнитопровода	96
Контрольные вопросы и задания	102
5. Резонансные явления в последовательном колебательном контуре	102
5.1. Виды частотных характеристик электрических цепей	102
5.2. Частотные характеристики rC - и rL -цепей	109
5.3. Последовательный колебательный контур	114
5.4. Частотные характеристики последовательного колебательного контура	116
Контрольные вопросы и задания	127
6. Резонансные явления в параллельном колебательном контуре	128
6.1. Параметры параллельного колебательного контура	128
6.2. Частотные характеристики простого параллельного контура	132
6.3. Сложные параллельные колебательные контуры	135
Контрольные вопросы и задания	141
7. Резонанс в системе связанных колебательных контуров	142
7.1. Виды связи между контурами	142
7.2. Эквивалентные схемы индуктивно связанных контуров	144

7.3. Настройка системы двух индуктивно связанных контуров	148
7.4. Частотные характеристики индуктивно связанных контуров	154
7.5. Полоса пропускания индуктивно связанных контуров	157
Контрольные вопросы и задания	160
8. Трехфазные электрические цепи	160
8.1. Параметры трехфазной цепи	160
8.2. Соотношения линейных и фазных значений токов и напряжений в трех- фазных цепях	163
8.3. Мощность трехфазного тока	165
Контрольные вопросы и задания	169
9. Основы теории четырехполюсников	170
9.1. Определения и классификация четырехполюсников	170
9.2. Уравнения и схемы замещения четырехполюсников	172
9.3. Способы определения параметров четырехполюсников	182
9.4. Комплексные входные и передаточные функции четырехполюсников	184
9.5. Характеристические и рабочие параметры четырехполюсников	188
9.6. Уравнения четырехполюсника в гиперболических функциях	192
9.7. Основные виды соединений четырехполюсников. Матричные уравнения	193
9.8. Обратная связь в четырехполюсниках	200
9.9. Влияние обратной связи на коэффициент усиления цепи и его стабиль- ность	204
9.10. Влияние обратной связи на характеристики цепи	206
Контрольные вопросы и задания	209
10. Электрические фильтры	209
10.1. Общие сведения об электрических фильтрах	209
10.2. Характеристические параметры, полосы пропускания и затухания	212
10.3. Фильтры нижних частот типа k	216
10.4. Преобразование частоты. Фильтры верхних частот	219
10.5. Полосовые фильтры	223
10.6. Заграждающие фильтры	226
10.7. Понятие о фильтрах типа m	229
10.8. Фильтры типа rC	235
10.9. Мостовые фильтры	236
10.10. Пьезоэлектрические фильтры	239
Контрольные вопросы и задания	241
11. Цепи периодического несинусоидального тока	242
11.1. Тригонометрическая форма ряда Фурье	242
11.2. Условия симметрии и коэффициенты ряда Фурье	246
11.3. Перенос начала отсчета	250
11.4. Комплексная форма ряда Фурье	252
11.5. Применение ряда Фурье для расчета периодического несинусоидального процесса	253
11.6. Действующее и среднее значения периодической несинусоидальной функции	256
11.7. Мощность в цепи периодического несинусоидального тока	258
11.8. Коэффициенты, характеризующие периодические несинусоидальные функции	259
Контрольные вопросы и задания	261
II. НЕУСТАНОВИВШИЕСЯ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОРАДИОЦЕПЯХ	262
12. Классический метод анализа переходных процессов в линейных электрических цепях с сосредоточенными параметрами	262
12.1. Общие сведения о переходных процессах в электрических цепях и классическом методе их анализа	262
12.2. Переходные процессы в неразветвленных цепях первого порядка с источником постоянного напряжения	270
12.2.1. Свободные токи и напряжения в цепях первого порядка	270
12.2.2. Анализ переходных процессов в цепях первого порядка	274
12.2.3. Переходные процессы при скачкообразном изменении схемы цепи	277
12.3. Переходные процессы в неразветвленных цепях первого порядка с источником синусоидального напряжения	278
12.4. Переходные процессы в разветвленных цепях первого порядка	284

12.5. Анализ переходных процессов в разветвленных цепях первого порядка без составления дифференциального уравнения	286
12.6. Переходные процессы в неразветвленных цепях второго порядка	287
12.6.1. Свободные процессы в цепях второго порядка	287
12.6.2. Параметры свободных колебаний	295
12.6.3. Подключение rLC -цепи к источнику постоянного напряжения	298
12.6.4. Подключение rLC - цепи к источнику синусоидального напряжения	301
12.7. Переходные процессы в разветвленных цепях второго порядка	304
Контрольные вопросы и задания	305
13. Анализ переходных процессов в линейных электрических цепях методом наложения	306
13.1. Принцип наложения в теории переходных процессов	306
13.2. Типовые функции воздействия	307
13.3. Временные характеристики электрических цепей	311
13.4. Определение реакции цепи на воздействие произвольной формы с помощью временных характеристик	316
13.4.1. Определение реакции цепи на воздействие произвольной формы с помощью переходной характеристики цепи	316
13.4.2. Определение реакции цепи на воздействие произвольной формы с помощью импульсной характеристики цепи	323
Контрольные вопросы и задания	326
14. Операторный метод анализа переходных процессов в линейных электрических цепях	327
14.1. Основные положения и теоремы операционного исчисления	327
14.2. Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме	331
14.3. Операторные передаточные функции электрической цепи и их связь с комплексными передаточными функциями и временными характеристиками	337
Контрольные вопросы и задания	344
15. Расчет переходных процессов в линейных электрических цепях методом переменных состояния	344
15.1. Суть метода переменных состояния	344
15.2. Формирование уравнений переменных состояния	347
15.3. Решение уравнений переменных состояния	351
Контрольные вопросы и задания	359
16. Частотный метод анализа переходных процессов в цепях с сосредоточенными параметрами	360
16.1. Спектры периодических сигналов	360
16.2. Спектры непериодических сигналов	380
16.3. Спектры модулированных сигналов	395
16.4. Спектральный метод анализа прохождения сигналов через линейные электрические цепи	420
Контрольные вопросы и задания	436
17. Цепи с распределенными параметрами	437
17.1. Первичные параметры однородной линии	437
17.2. Дифференциальные уравнения однородной линии	440
17.3. Периодический режим в однородной линии	442
17.4. Вторичные параметры однородной линии	450
17.5. Линия без искажений	455
17.6. Линия без потерь	458
17.7. Режимы работы линии без потерь. Стоячие волны	459
17.8. Входное сопротивление линии	466
17.9. Мощность линии без потерь	470
17.10. Переходные процессы в цепях с распределенными параметрами	472
17.11. Исследование переходных процессов в цепях с распределенными параметрами с помощью преобразования Лапласа	477
Контрольные вопросы и задания	479
18. Основы синтеза линейных электрических цепей	480
18.1. Задача синтеза электрических цепей	480
18.2. Свойства операторных передаточных функций линейных электрических цепей	481
18.3. Свойства полинома Гурвица	485
18.4. Минимально-фазовые и неминимально-фазовые цепи	489

18.5. Свойства операторных входных функций линейных электрических цепей	493
18.6. Входные операторные функции реактивных двухполюсников.	
Реактансные функции	494
18.7. Виды операторных входных сопротивлений и проводимостей	496
18.8. Реализация реактивных двухполюсников путем разложения их входных операторных функций на простые дроби (метод Фостера)	498
18.9. Реализация реактивных двухполюсников путем представления их входных операторных функций в виде цепной дроби (метод Кауэра)	504
18.10. Реализация двухполюсников типа RC	510
18.11. Понятие о реализации двухполюсников общего типа	517
18.12. Нормирование параметров элементов электрических цепей	520
18.13. Синтез четырехполюсников	522
18.13.1. Реализация четырехполюсников в виде мостовых схем	522
18.13.2. Реализация лестничных четырехполюсников, нагруженных резисторами с одной из сторон	524
18.13.3. Реализация лестничных реактивных четырехполюсников, нагруженных резисторами с двух сторон	530
18.13.4. Реализация четырехполюсников типа rC	534
18.14. Задача аппроксимации при синтезе электрических цепей	541
Контрольные вопросы и задания	544
19. Анализ линейных активных цепей	544
19.1. Эквивалентные схемы активных цепей	544
19.2. Матричный метод анализа	550
19.3. Сигнальные графы и их применение для расчета электронных схем	560
19.4. Имитация индуктивности с помощью активной rC -цепи	566
Контрольные вопросы и задания	571
20. Анализ нелинейных электрических цепей	572
20.1. Свойства нелинейных цепей	572
20.2. Методы расчета нелинейных электрических цепей	574
20.3. Преобразование спектров сигналов в нелинейных электрических цепях	583
20.3.1. Умножение частоты	583
20.3.2. Преобразование частоты	587
20.3.3. Модуляция	589
20.3.4. Детектирование	590
20.4. Переходные процессы в нелинейных цепях	593
Контрольные вопросы и задания	601
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	602