

УДК 621.373(075)

ББК 32.884.1

С54

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *Ю. А. Ковалгин* (СПбГУТ им. проф. Бонч-Бруевича); доктор техн. наук, профессор *В. Н. Митрохин* (МГТУ им. Баумана); доктор техн. наук, профессор *Б. Я. Рябко* (СибГУТИ); доктор техн. наук, профессор *Н. И. Смирнов* (МТУСИ)

Соболев В. Н.

С54 Теория электрических цепей. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 502 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0342-5.

Изложены основные разделы теории электрических цепей (ТЭЦ). Наряду с подробным изложением теоретического материала, соответствующего действующей программе учебной дисциплины ТЭЦ, приведены примеры решения конкретных задач и задания для самостоятельных компьютерных исследований с методическими указаниями по их выполнению при помощи программных систем MathCad и Micro-Cap.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки – «Информационные технологии и системы связи» квалификации (степени) «бакалавр» и квалификации (степени) «магистр».

ББК 32.884.1

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Соболев Владимир Николаевич

Теория электрических цепей

Учебное пособие для вузов

Редактор Ю. Н. Чернышов

Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова

Обложка художника О. В. Карповой

Подписано в печать 13.03.2014. Печать цифровая. Формат 60×88/16.

Уч. изд. л. 31,5. Тираж 1000 экз. (1-й завод 100 экз.)

ISBN 978-5-9912-0342-5

© В. Н. Соболев, 2014

© Издательство «Горячая линия – Телеком», 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Глава 1. Основные законы и общие методы анализа электрических цепей	5
1.1. Элементы электрических цепей и законы электротехники	5
1.1.1. Цели изучения.....	5
1.1.2. Основные теоретические положения	5
1.1.3. Вопросы для самопроверки	21
1.1.4. Задание для самостоятельных расчётов.....	22
1.2. Методы расчёта токов в ветвях резистивных цепей ..	23
1.2.1. Цели изучения	23
1.2.2. Основные теоретические положения	23
1.2.3. Вопросы для самопроверки.....	35
1.2.4. Задание для самостоятельных расчётов	36
1.3. Расчёт RLC-цепей в режиме гармонических колебаний	37
1.3.1. Цели изучения.....	37
1.3.2. Основные теоретические положения	37
1.3.3. Вопросы для самопроверки.....	48
1.3.4. Задание для самостоятельных расчётов.....	49
Глава 2. Частотный анализ электрических цепей.....	51
2.1. Основные понятия частотного анализа и принципы его выполнения при помощи системы Micro-Cap.....	51
2.1.1. Цели изучения.....	51
2.1.2. Основные теоретические положения	51
2.1.3. Вопросы для самопроверки.....	53
2.1.4. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	53
2.1.5. Методические указания	54
2.1.6. Графики.....	59
2.2. Исследование частотных характеристик неразветвлённых RL- и RC-цепей.....	61
2.2.1. Цели изучения.....	61
2.2.2. Основные теоретические положения	61
2.2.3. Задание для предварительного расчёта	63

2.2.4. Вопросы для самопроверки	64
2.2.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	64
2.2.6. Методические указания	65
2.2.7. Графики	66
2.3. Исследование АЧХ и ФЧХ пассивных электрических цепей	71
2.3.1. Цели изучения	71
2.3.2. Основные теоретические положения	72
2.3.3. Задание для предварительного расчёта	73
2.3.4. Пример аналитического исследования частотной характеристики	74
2.3.5. Пример получения графиков частотных характеристик при помощи системы Micro-Cap	77
2.3.6. Вопросы для самопроверки	77
2.3.7. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	78
2.3.8. Методические указания	78
2.3.9. Графики	78
Глава 3. Резонансные явления в электрических цепях	83
3.1. Пассивный последовательный колебательный контур	83
3.1.1. Цели изучения	83
3.1.2. Основные теоретические положения	83
3.1.3. Задание для предварительного расчёта	86
3.1.4. Вопросы для самопроверки	86
3.1.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	88
3.1.6. Методические указания	89
3.1.7. Графики	90
3.2. Электронный аналог колебательного контура на операционном усилителе	95
3.2.1. Цели изучения	95
3.2.2. Основные теоретические положения	95
3.2.3. Задание для предварительного расчёта	99
3.2.4. Вопросы для самопроверки	99
3.2.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	99
3.2.6. Методические указания	100
3.2.7. Графики	101
3.3. Параллельный колебательный контур	103
3.3.1. Цели изучения	103

3.3.2. Основные теоретические положения	103
3.3.3. Задание для предварительного расчёта	106
3.3.4. Вопросы для самопроверки	107
3.3.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	107
3.3.6. Порядок выполнения экспериментов	107
3.3.7. Методические указания	109
3.3.8. Графики	110

Глава 4. Анализ переходных процессов в электрических цепях

4.1. Исследование переходных процессов в неразветвлённых цепях первого порядка	114
4.1.1. Цели изучения	114
4.1.2. Основные теоретические положения	114
4.1.3. Задание для предварительного расчёта	119
4.1.4. Вопросы для самопроверки	120
4.1.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	120
4.1.6. Порядок выполнения экспериментов	120
4.1.7. Методические указания	122
4.1.8. Графики	124
4.2. Исследование переходных процессов в разветвлённых цепях первого порядка	127
4.2.1. Цели изучения	127
4.2.2. Основные теоретические положения	127
4.2.3. Задание для предварительного расчёта	132
4.2.4. Вопросы для самопроверки	133
4.2.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	133
4.2.6. Порядок выполнения экспериментов	133
4.2.7. Методические указания	136
4.2.8. Графики	138
4.3. Исследование переходных процессов в неразветвлённых цепях второго порядка	143
4.3.1. Цели изучения	143
4.3.2. Основные теоретические положения	143
4.3.3. Задание для предварительного расчёта	148
4.3.4. Вопросы для самопроверки	148
4.3.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	149
4.3.6. Порядок выполнения экспериментов	149

4.3.7. Методические указания	151
4.3.8. Графики.....	153
4.4. Исследование переходных процессов в разветвлённых цепях второго порядка	156
4.4.1. Цели изучения.....	156
4.4.2. Основные теоретические положения	156
4.4.3. Задание для предварительного расчёта	165
4.4.4. Вопросы для самопроверки.....	165
4.4.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	166
4.4.6. Порядок выполнения экспериментов	166
4.4.7. Методические указания	167
4.4.8. Графики.....	168
Глава 5. Временные методы анализа процессов в электрических цепях.....	172
5.1. Переходные и импульсные характеристики и их использование	172
5.1.1. Цели изучения.....	172
5.1.2. Основные теоретические положения	172
5.1.3. Задание для предварительного расчёта	183
5.1.4. Вопросы для самопроверки.....	184
5.1.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	184
5.1.6. Порядок выполнения экспериментов	184
5.1.7. Методические указания	187
5.1.8. Графики.....	189
5.2. Расчёт отклика линейной электрической цепи на воздействие произвольной формы	193
5.2.1. Цели изучения.....	193
5.2.2. Основные теоретические положения	193
5.2.3. Задание для предварительного расчёта	197
5.2.4. Вопросы для самопроверки.....	198
5.2.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	198
5.2.6. Порядок выполнения экспериментов	198
5.2.7. Методические указания	200
5.2.8. Графики.....	201
Глава 6. Спектральный анализ периодических сигналов	205
6.1. Синтез периодических сигналов из гармонических составляющих	205

6.1.1. Цели изучения	205
6.1.2. Основные теоретические положения	205
6.1.3. Задание для предварительного расчёта	207
6.1.4. Вопросы для самопроверки	208
6.1.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	208
6.1.6. Порядок выполнения экспериментов	209
6.1.7. Методические указания	211
6.1.8. Графики	212
6.2. Исследование спектра последовательности прямоугольных импульсов	216
6.2.1. Цели изучения	216
6.2.2. Основные теоретические положения	217
6.2.3. Задание для предварительного расчёта	220
6.2.4. Вопросы для самопроверки	221
6.2.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	221
6.2.6. Порядок выполнения экспериментов	222
6.2.7. Методические указания	223
6.2.8. Графики	224
6.3. Исследование спектров периодических и квазипериодических сигналов разной формы	228
6.3.1. Цели изучения	228
6.3.2. Основные теоретические положения	228
6.3.3. Задание для предварительного расчёта	232
6.3.4. Вопросы для самопроверки	232
6.3.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	233
6.3.6. Порядок выполнения экспериментов	233
6.3.7. Методические указания	236
6.3.8. Графики	237
6.4. Связь ВАХ нелинейного элемента с амплитудным спектром тока, порождённого гармоническим напряжением	242
6.4.1. Цели изучения	242
6.4.2. Основные теоретические положения	242
6.4.3. Задание для предварительного расчёта	246
6.4.4. Вопросы для самопроверки	247
6.4.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	248
6.4.6. Порядок выполнения экспериментов	248
6.4.7. Методические указания	249

6.4.8. Графики	250
6.5. Передаточные функции линейного четырёхполюсника и спектры сигналов на его входе и выходе	254
6.5.1. Цели изучения	254
6.5.2. Основные теоретические положения	254
6.5.3. Задание для предварительного расчёта	256
6.5.4. Вопросы для самопроверки	257
6.5.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	257
6.5.6. Порядок выполнения экспериментов	258
6.5.7. Методические указания	260
6.5.8. Графики	261
6.6. Преобразование спектров в линейных и нелинейных электрических цепях	264
6.6.1. Цели изучения	264
6.6.2. Основные теоретические положения	264
6.6.3. Задание для предварительного расчёта	266
6.6.4. Вопросы для самопроверки	266
6.6.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	267
6.6.6. Порядок выполнения экспериментов	267
6.6.7. Методические указания	271
6.6.8. Графики	272
Глава 7. Четырёхполюсники	279
7.1. Основные параметры четырёхполюсников	279
7.1.1. Цели изучения	279
7.1.2. Основные теоретические положения	279
7.1.3. Задание для самостоятельного расчёта	285
7.2. Регулярные соединения четырёхполюсников	286
7.2.1. Цели изучения	286
7.2.2. Основные теоретические положения	286
7.2.3. Задание для самостоятельного расчёта	288
7.3. Характеристические параметры и параметры холостого хода короткого замыкания	289
7.3.1. Цели изучения	289
7.3.2. Основные теоретические положения	289
7.3.3. Задание для предварительного расчёта	292
7.3.4. Вопросы для самопроверки	292
7.3.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	292
7.3.6. Порядок выполнения экспериментов	293

7.3.7. Методические указания	294
7.3.8. Графики	295

Глава 8. Частотная фильтрация электрических сигналов

8.1. Синтез пассивных фильтров нижних и верхних частот	301
8.1.1. Цели изучения	301
8.1.2. Основные теоретические положения	301
8.1.3. Задание для предварительного расчёта	312
8.1.4. Вопросы для самопроверки	313
8.1.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	314
8.1.6. Порядок выполнения экспериментов	314
8.1.7. Методические указания	317
8.1.8. Графики	318
8.2. Синтез полосовых и режекторных фильтров	321
8.2.1. Цели изучения	321
8.2.2. Основные теоретические положения	322
8.2.3. Задание для предварительного расчёта	330
8.2.4. Вопросы для самопроверки	330
8.2.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	330
8.2.6. Порядок выполнения экспериментов	331
8.2.7. Методические указания	337
8.2.8. Графики	338
8.3. Исследование идеальных и реальных полосовых фильтров	343
8.3.1. Цели изучения	343
8.3.2. Основные теоретические положения	343
8.3.3. Задание для предварительного расчёта	345
8.3.4. Вопросы для самопроверки	345
8.3.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	346
8.3.6. Порядок выполнения экспериментов	346
8.3.7. Методические указания	354
8.3.8. Графики	356
8.4. Основы синтеза активных RC-фильтров	362
8.4.1. Цели изучения	362
8.4.2. Основные теоретические положения	362
8.4.3. Задание для предварительного расчёта	367
8.4.4. Вопросы для самопроверки	367
8.4.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	367

8.4.6. Порядок выполнения экспериментов	368
8.4.7. Методические указания	372
8.4.8. Графики	373
8.5. Исследование цифровых цепей	376
8.5.1. Цели изучения	376
8.5.2. Основные теоретические положения	376
8.5.3. Задание для предварительного расчёта	386
8.5.4. Вопросы для самопроверки	386
8.5.5. Задание для самостоятельного выполнения экс- периментов на персональном компьютере	387
8.5.6. Порядок выполнения экспериментов	387
8.5.7. Методические указания	388
8.5.8. Графики	389
8.6. Синтез цифровых фильтров	392
8.6.1. Цели изучения	392
8.6.2. Основные теоретические положения	392
8.6.3. Задание для предварительного расчёта	404
8.6.4. Вопросы для самопроверки	405
8.6.5. Задание для самостоятельного выполнения экс- периментов на персональном компьютере	405
8.6.6. Порядок выполнения экспериментов	405
8.6.7. Методические указания	406
8.6.8. Графики	406
Глава 9. Обратные связи и устойчивость электричес- ких цепей	418
9.1. Влияние обратных связей на свойства и характери- стики электрических цепей	418
9.1.1. Цели изучения	418
9.1.2. Основные теоретические положения	418
9.1.3. Задание для предварительного расчёта	434
9.1.4. Вопросы для самопроверки	434
9.1.5. Задание для самостоятельного выполнения экс- периментов на персональном компьютере	435
9.1.6. Порядок выполнения экспериментов	435
9.1.7. Методические указания	438
9.1.8. Графики	439
9.2. Устойчивость электрических цепей	443
9.2.1. Цели изучения	443
9.2.2. Основные теоретические положения	443
9.2.3. Задание для предварительного расчёта	451
9.2.4. Вопросы для самопроверки	451

9.2.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	451
9.2.6. Порядок выполнения экспериментов	452
9.2.7. Методические указания	453
9.2.8. Графики	455

Глава 10. Цепи с распределёнными параметрами 458

10.1. Длинные линии	458
10.1.1. Цели изучения	458
10.1.2. Основные теоретические положения	458
10.1.3. Задание для предварительного расчёта	467
10.1.4. Вопросы для самопроверки	467
10.1.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	468
10.1.6. Порядок выполнения экспериментов	468
10.1.7. Методические указания	470
10.1.8. Графики	472
10.2. Линии без потерь в различных режимах работы	476
10.2.1. Цели изучения	476
10.2.2. Основные теоретические положения	476
10.2.3. Задание для предварительного расчёта	481
10.2.4. Вопросы для самопроверки	482
10.2.5. Задание для самостоятельного выполнения экспериментов на персональном компьютере	482
10.2.6. Порядок выполнения экспериментов	482
10.2.7. Методические указания	483
10.2.8. Графики	484
Приложения	488
Литература	493