

УДК 621.3.03(075.8)
ББК 31.21
А49

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *М. Л. Белов*; доктор техн. наук, профессор *Л. А. Потапов*

Алехин В. А.

А49 Электротехника: теория и практика. Моделирование в среде TINA-8. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 308 с.: ил.
ISBN 978-5-9912-0658-7.

Пособие состоит из 18 лекций, содержащих теоретический материал, задачи для решения, схемы для моделирования, контрольные вопросы, и соответствует программе дисциплины «Электротехника». Отличительной особенностью книги является то, что любую изучаемую схему можно загрузить в бесплатную студенческую версию программы TINA-TI и исследовать самостоятельно её работу. Пособие содержит дополнительные главы – резонансные контуры, электрические фильтры, двухполюсники, цепи с распределёнными параметрами, которые представляют интерес для углублённого понимания курса.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки 27.03.04 – «Управление в технических системах».

ББК 31.21

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Тиражирование книги начато в 2017 г.

Все права защищены.

Любая часть этого издания не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения правообладателя.

© ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»
www.techbook.ru
© В.А. Алехин

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ	4
1.1. Задачи дисциплины «Электротехника»	4
1.2. Основные понятия электротехники	6
1.3. Алфавит электрических цепей	7
1.4. Зависимые (управляемые) активные элементы	13
1.5. Модели реальных электронных компонентов	14
1.6. Нелинейные элементы электрических цепей	16
1.7. Классификация электрических цепей	17
1.8. Основные топологические понятия и соотношения ...	17
1.9. Основные законы электрических цепей	19
1.10. Виды сигналов	21
1.11. Принцип суперпозиции в линейной цепи	23
Контрольные вопросы	26
2. ОСНОВНЫЕ АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЦЕПЕЙ	28
2.1. Составление уравнений на основании законов Кирхгофа	28
2.2. Метод контурных токов (МКТ)	29
2.3. Метод узловых напряжений (МУН)	33
2.4. Метод двух узлов	35
Контрольные вопросы	36
3. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕМЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ	37
3.1. Принцип наложения	37
3.2. Теорема взаимности (теорема обратимости)	38
3.3. Входные и взаимные проводимости и сопротивления ветвей	39
3.4. Связь между входными и взаимными проводимостями	40
3.5. Теорема о компенсации	41
3.6. Теорема об эквивалентном генераторе	42
3.7. Передача энергии от активного двухполюсника к нагрузке, согласование нагрузки с генератором	43
Контрольные вопросы	47
4. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ	48

4.1. Преобразование пассивных цепей	48
4.2. Преобразование активных цепей	52
4.3. Правило переноса источника напряжения через узел	55
4.4. Правило размножения источников тока	56
Контрольные вопросы	57
5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКИХ ТОКАХ И НАПРЯЖЕНИЯХ	58
5.1. Гармонические сигналы и их характеристики	58
5.2. Оператор поворота	59
5.3. Символическое представление гармонической функции	59
5.4. Формы записи комплексной амплитуды (КА)	61
5.5. Сложение гармонических функций одной частоты	62
5.6. Гармонический ток и напряжение в резисторе	62
5.7. Гармонический ток и напряжение в индуктивности	64
5.8. Гармонический ток и напряжение в емкости	65
5.9. Комплексное сопротивление цепи	67
5.10. Символический метод расчёта	69
5.11. Векторная диаграмма тока и напряжения в неразвет- влённой цепи	70
5.12. Резонанс напряжений	71
5.13. Расчёт напряжения и токов при параллельном соеди- нении R, L, C	73
5.14. Переход от сопротивления к проводимости	74
5.15. Резонанс токов	74
5.16. Основные законы цепей в символической форме	75
5.17. Порядок расчета цепи символическим методом	76
5.18. Топографические диаграммы	77
5.19. Энергетические соотношения в цепях переменного то- ка. Мгновенная и средняя мощность	78
5.20. Действующие значения токов и напряжения	79
5.21. Активная, реактивная и полная мощность	80
5.22. Расчёт мощности в комплексной форме	82
5.23. Баланс мощностей	82
5.24. Согласование источников энергии с нагрузкой в цепи гармонического тока	84
5.25. Повышение коэффициента мощности	85
5.26. Примеры расчета цепей гармонического тока	85
Контрольные вопросы	91
6. ЦЕПИ С ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИЕЙ	93
6.1. Определение взаимной индукции и взаимной индук- тивности	93

6.2. Согласное и встречное включение катушек	95
6.3. Комплексное сопротивление взаимной индуктивности	97
6.4. Экспериментальное определение одноимённых за- жимов	97
6.5. Коэффициент взаимной связи	98
6.6. Последовательное соединение магнитно-связанных ка- тушек	98
6.7. Линейный трансформатор	99
6.8. Коэффициенты трансформации	100
6.9. Совершенный трансформатор	100
6.10. Идеальный трансформатор	101
6.11. Согласующие свойства трансформатора	102
6.12. Схема замещения воздушного трансформатора	102
6.13. Развязка магнитно-связанных цепей	103
6.14. Расчёт сложных цепей, содержащих взаимные индук- тивности	105
6.15. Примеры расчета цепей с взаимными индуктивнос- тями	106
Контрольные вопросы	111
7. КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ	113
7.1. Определение и применение колебательных цепей.....	113
7.2. Комплексные передаточные функции колебательной цепи	114
7.3. Последовательный колебательный контур	115
7.3.1. Резонанс напряжений	116
7.3.2. Обобщенные частотные характеристики тока в по- следовательном контуре	117
7.3.3. Абсолютная и относительная расстройка	118
7.3.4. Полоса пропускания последовательного контура ...	119
7.3.5. Влияние добротности контура на избирательность .	120
7.3.6. Передаточные функции по напряжению	122
7.3.7. Влияние нагрузки на избирательные свойства кон- тура	123
7.4. Параллельный колебательный контур	125
7.4.1. Обобщенная схема параллельного контура	125
7.4.2. Расчетные соотношения в параллельном контуре ..	125
7.4.3. Амплитудно-частотные характеристики параллель- ного контура	126
7.4.4. Согласование параллельного контура с генератором	128
7.5. Связанные колебательные контуры	128
7.5.1. Расчет АЧХ связанных контуров в Mathcad	129

7.5.2. Моделирование связанных контуров	130
Контрольные вопросы	132
8. ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКИ	134
8.1. Определение четырехполюсника	134
8.2. Классификация четырехполюсников	134
8.3. Основные уравнения и параметры четырехполюсников	135
8.4. Система Y -параметров	135
8.5. Система Z -параметров	137
8.6. Система A -параметров	138
8.7. Система B -параметров	139
8.8. Система H -параметров	140
8.9. Входное сопротивление четырехполюсника	140
8.10. Параметры холостого хода и короткого замыкания ...	142
8.11. Вычисление A -параметров через параметры холостого хода и короткого замыкания	142
8.12. Схемы замещения четырехполюсника	143
8.13. Соединения четырехполюсников	144
8.14. Расчет A -параметров простых четырехполюсников ..	146
8.15. Характеристические сопротивления	148
8.16. Характеристическая постоянная передачи	149
8.17. Уравнения четырехполюсника в гиперболической форме	151
8.18. Каскадное соединение согласованных четырехполюс- ников	152
8.19. Комплексные передаточные функции четырехполюс- ника	153
8.20. Примеры расчета четырехполюсников	154
Контрольные вопросы	160
9. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ	161
9.1. Определения и классификация фильтров	161
9.2. Условие полосы пропускания реактивного фильтра ..	162
9.3. Уравнения частотных характеристик Т- и П-фильтров	163
9.4. Уравнения частотных характеристик Г-образных фильтров	164
9.5. Реактивные фильтры типа « k »	164
9.6. Расчет в Mathcad АЧХ фильтра	166
9.7. Моделирование фильтров типа « k »	167
Контрольные вопросы	169
10. ЛИНИИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ	170
10.1. Определение линии с распределенными параметрами	170

10.2. Вывод телеграфных уравнений линии с потерями ...	170
10.3. Уравнения линии для гармонического сигнала. Характеристические параметры линии	171
10.4. Падающие и отраженные волны	172
10.5. Входное сопротивление линии	172
10.6. Уравнения линии без потерь	172
10.7. Режимы работы линии без потерь	173
10.8. Расчет распределения напряжения и тока по длине линии в Mathcad	173
10.9. Согласование линии с нагрузкой	175
Контрольные вопросы	175
11. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ	176
11.1. Определение установившегося и переходного процесса	176
11.2. Первый закон коммутации	177
11.3. Второй закон коммутации	178
11.4. Начальные условия (НУ)	178
11.5. Классический метод расчета переходного процесса ..	180
11.6. Способы составления характеристического уравнения	181
11.7. Определение постоянных интегрирования	182
11.8. Переходные процессы в цепях первого порядка	183
11.9. Постоянная времени цепи	184
11.10. Включение в RL -цепь гармонической ЭДС	186
11.11. Включение в RC -цепь постоянной ЭДС	188
11.12. Дифференцирующие и интегрирующие цепи	189
11.13. Переходные процессы в цепях второго порядка	193
11.14. Декремент колебаний	197
11.15. Примеры расчета переходных процессов классическим методом	198
Контрольные вопросы	201
12. ОПЕРАТОРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ	202
12.1. Прямое преобразование Лапласа	202
12.2. Изображения простейших функций	203
12.3. Основные свойства преобразования Лапласа	203
12.4. Расчет переходного процесса при нулевых начальных условиях	204
12.5. Операторная схема замещения участка цепи при ненулевых начальных условиях	205
12.6. Законы Кирхгофа в операторной форме	207

12.7.	Способы перехода от изображения к оригиналу	208
12.8.	Особенности расчета операторным методом при гармонической ЭДС	209
12.9.	Примеры расчета переходных процессов операторным методом	210
	Контрольные вопросы	214
13.	ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛОВ ДЮАМЕЛЯ К РАСЧЕТУ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ	215
13.1.	Принцип наложения элементарных воздействий	215
13.2.	Единичная функция, переходная характеристика цепи	215
13.3.	Интеграл Дюамеля первого вида	216
13.4.	Импульсная функция, импульсная характеристика цепи	218
13.5.	Расчет импульсной характеристики	219
13.6.	Интеграл Дюамеля второго вида	220
13.7.	Передаточная функция цепи	221
13.8.	Примеры расчетов переходных процессов с использованием интегралов Дюамеля	223
	Контрольные вопросы	226
14.	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НЕГАРМОНИЧЕСКИХ ТОКАХ И НАПРЯЖЕНИЯХ	227
14.1.	Разложение периодических функций в ряд Фурье ...	227
14.2.	Дискретные спектры	228
14.3.	Пример разложения функции в ряд Фурье	229
14.4.	Смещение функции по времени	231
14.5.	Анализ линейных цепей при периодических негармонических воздействиях	232
14.6.	Действующее значение негармонических сигналов ...	234
14.7.	Мощность периодических негармонических сигналов	235
14.8.	Коэффициенты характеризующие несинусоидальные периодические процессы	236
14.9.	Примеры расчета цепей при периодических негармонических сигналах	237
	Контрольные вопросы	239
15.	ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ	241
15.1.	Принцип получения трехфазной системы ЭДС	241
15.2.	Способы соединения трехфазного генератора с нагрузкой	243
15.3.	Симметричная нагрузка в соединении звезда-звезда ..	244
15.4.	Несимметричная нагрузка в соединении звезда-звезда ..	246

15.5. Соединение треугольник–треугольник	246
15.6. Выбор способа соединения потребителей	247
15.7. Мощность в трехфазной цепи	247
15.8. Примеры расчета трехфазных цепей	248
Контрольные вопросы	251
16. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	252
16.1. Определение нелинейных цепей.....	252
16.2. Виды нелинейных элементов в цепях постоянного тока	252
16.3. Статическое и дифференциальное сопротивление не- линейного резистора	254
16.4. Расчет схем с нелинейными резисторами на постоян- ном токе	254
16.5. Последовательное соединение двух нелинейных эле- ментов	256
16.6. Параллельное соединение НЭ	256
16.7. Расчет разветвленной нелинейной цепи методом двух узлов	257
16.8. Нелинейные цепи переменного тока	258
16.9. Свойства нелинейных цепей на переменном токе	259
16.10. Выпрямление переменного напряжения с помощью диодов	260
16.11. Сглаживание пульсаций выпрямленного тока	261
16.12. Расчет нелинейной цепи по первой гармонике напря- жения и тока.....	262
Контрольные вопросы	263
17. МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ	264
17.1. Определение	264
17.2. Основные величины магнитного поля.....	264
17.3. Закон полного тока	265
17.4. Магнитный поток Φ через поверхность S	265
17.5. Основные характеристики ферромагнитных мате- риалов	266
17.6. Основные законы магнитных цепей	267
17.7. Расчет неразветвленной магнитной цепи	268
17.8. Расчет разветвленной магнитной цепи	269
Контрольные вопросы	270
18. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ	271
18.1. Классификация электрических машин	271
18.2. Создание вращающегося магнитного поля	272

18.3. Вращающееся магнитное поле двухфазного тока	273
18.4. Устройство асинхронного двигателя трехфазного тока	274
18.5. Магнитный поток полюса	276
18.6. Конструкция ротора асинхронных машин	276
18.7. Принцип действия асинхронного двигателя	277
18.8. Схема замещения обмоток ротора	277
18.9. Вращающий момент асинхронного двигателя	278
18.10. Оптимальное скольжение	279
18.11. Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности асинхронного двигателя	280
18.12. Синхронные машины переменного тока	280
18.13. Устройство трехфазной синхронной машины	280
18.14. Принцип действия синхронного генератора	281
18.15. Уравнение электрического состояния и схема замеще- ния фазы синхронного генератора	283
18.16. Внешние характеристики синхронных генераторов . . .	284
18.17. Принцип действия и особенности работы синхронного двигателя	285
18.18. Синхронные микродвигатели	287
18.19. Электрические машины постоянного тока	290
18.19.1. Принцип действия машин постоянного тока в ге- нераторном и двигательном режимах	291
18.19.2. Принцип действия двигателя постоянного тока (ДПТ)	292
18.19.3. Способы возбуждения машин постоянного тока . .	294
18.19.4. Генераторы постоянного тока независимого воз- буждения	295
18.19.5. Генераторы постоянного тока с самовозбуждением	296
18.19.6. Генераторы постоянного тока смешанного возбуж- дения	297
18.20. Двигатели постоянного тока независимого и параллель- ного возбуждения	297
18.21. Механические характеристики ДПТ	298
18.22. Регулировка частоты вращения ДПТ независимого и параллельного возбуждения	298
Литература	299