

УДК 621.38 (0 75.8)
ББК 31.2 Я73
Е74

Е74 П. В. Ермуратский, Г. П. Лычкина, Ю. Б. Минкин
 Электротехника и электроника. Издание второе, исправленное— М.:
 ДМК Пресс, 2017. — 416 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-424-3

Учебник состоит из трёх частей: «Линейные электрические цепи», «Нелинейные электрические цепи, электроника», «Электромагнитные и электромеханические устройства. Электрические измерения и приборы».

Рассмотрены основные понятия теории электротехники и электроники. Приведены анализ и методы расчета однофазных и трехфазных электрических цепей; нелинейных и магнитных цепей; переходных процессов в электрических цепях. Даны основы теории электрических трансформаторов и электрических машин, их основные характеристики. Рассмотрены элементная база современных электронных устройств, усилители электрических сигналов, источники питания, цифровые устройства и основы микропроцессорной техники.

Для студентов вузов неэлектротехнических специальностей, изучающих дисциплину «Электротехника и электроника».

Учебник

ЕРМУРАТСКИЙ Петр Васильевич
 ЛЫЧКИНА Галина Прохоровна
 МИНКИН Юрий Борисович

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Главный редактор *Мовчан Д. А.*
 dmkipress@gmail.com.ru
 Корректор *Синяева Г. И.*
 Верстка *Паранская Н. В.*
 Дизайн обложки *Мовчан А. Г.*

Формат 60×88 $\frac{1}{16}$. Гарнитура «Ньютон».
 Печать офсетная. Усл. печ. л. 26. Тираж 100 экз.

ISBN 978-5-97060-424-3 © П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин., 2016
 © Оформление, издание, ДМК Пресс, 2017

Оглавление

Предисловие	3
-------------------	---

Часть первая. ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Глава первая. Линейные цепи постоянного тока

1.1. Электрическая цепь. Характеристики и схемы замещения источников и приёмников (потребителей) электрической энергии	7
1.2. Законы Ома и Кирхгофа для линейной цепи.	11
1.3. Граф схемы	17
1.4. Структурные преобразования схем замещения линейных цепей	19
1.5. Рационализация составления и решения уравнений Кирхгофа: методы контурных токов, узловых потенциалов, пропорциональных величин ..	24
1.6. Принципы суперпозиции, компенсации, взаимности	30
1.8. Двухполюсники	34
1.9. Принцип эквивалентного генератора (активного двухполюсника)	35
1.10. Мощность, развиваемая активным двухполюсником.	39
1.11. Применение принципа эквивалентного генератора для анализа цепей измерительных приборов.	40
1.12. Четырёхполюсники. Уравнения и схемы замещения	43

Глава вторая. ОДНОФАЗНЫЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

2.1. Общая характеристика цепей синусоидального тока	52
2.2. Структура цепи синусоидального тока.	53
2.3. Гармонические функции и их представление в комплексной форме	57
2.4. Синусоидальный ток в резистивном элементе R	61
2.5. Синусоидальный ток в индуктивном элементе L	63
2.6. Синусоидальный ток в ёмкостном элементе C	66
2.7. Сводная таблица соотношений между параметрами в цепи синусоидального тока с R, L, C элементами	69
2.8. Мощность в цепи синусоидального тока.	69
2.9. Законы, принципы, методы анализа цепей синусоидального тока в комплексной форме.	73
2.10. Измерение тока, напряжения, мощности в цепях синусоидального тока.	74
2.11. Последовательное соединение R, L, C элементов.	75
2.12. Параллельное соединение R, L, C элементов	78
2.13. Схемы замещения реальных индуктивных катушек и конденсаторов	80
2.14. Резонансы напряжений и токов	82
2.15. Падение и потеря напряжения при передаче электроэнергии	87
2.16. Примеры анализа цепей синусоидального тока	88

Глава третья. ТРЁХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

3.1. Трёхфазная цепь и ее элементы	94
3.2. Соединение фаз источников и приёмников звездой, четырёхпроводная линия ..	96
3.3. Соединение фаз источников и приёмников звездой, трёхпроводная линия	99
3.3.1. Симметричная нагрузка	99

3.3.2. Несимметричная нагрузка	100
3.4. Соединение фаз приёмника в трёхфазной цепи треугольником	102
3.5. Пример анализа трёхфазной цепи	104
3.6. Мощность в трёхфазной цепи	107
3.7. Защитное заземление и зануление в трёхфазной цепи	109

Глава четвертая. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

4.1. Возникновение переходных процессов в электрических цепях	114
4.2. Решение уравнений, составленных по законам Ома и Кирхгофа для переходных процессов	114
4.3. Переходные процессы при включении цепи с R , L элементами	116
4.4. Переходные процессы при замыкании цепи с R , L элементами	119
4.5. Переходные процессы при включении и отключении цепи с R , C элементами	121
4.6. Переходные процессы в цепи с R , L , C элементами	125

Глава пятая. ЦЕПИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

5.1. Несинусоидальные ЭДС, напряжения и токи	130
5.2. Математическое описание функций, несинусоидально зависящих от времени (ЭДС, токов и напряжений)	131
5.3. Максимальные, действующие и средние значения несинусоидальных периодических функций (напряжений, ЭДС и токов)	135
5.4. Высшие гармоники в трёхфазных цепях	136

Часть вторая. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Глава шестая. ДИОДЫ, ВЫПРЯМИТЕЛИ, СТАБИЛИЗАТОРЫ

6.1. Характеристики элементов и методы расчета нелинейных цепей	136
6.2. Полупроводниковые диоды	140
6.2.1. Физические основы работы полупроводниковых приборов, p - n переход	140
6.2.2. Полупроводниковый диод и его вольт-амперная характеристика	143
6.3. Выпрямители	146
6.3.1. Основные понятия и характеристики	146
6.3.2. Однополупериодный выпрямитель	148
6.3.3. Двухполупериодные выпрямители	150
6.3.3.1. Двухполупериодный мостовой выпрямитель	150
6.3.3.2. Двухполупериодный выпрямитель с выводом средней точки трансформатора	152
6.3.4. Трёхфазный выпрямитель с выводом нейтрали	152
6.3.5. Трёхфазный мостовой выпрямитель	153
6.3.6. Сглаживание выпрямленного напряжения	154
6.3.6.1. Основные понятия о сглаживающих фильтрах	154
6.3.6.2. Ёмкостной фильтр	154
6.3.6.3. Индуктивный фильтр	156
6.3.6.4. LC -фильтр	156
6.3.7. Схемы выпрямления с умножением напряжения	157
6.3.8. Работа выпрямителя на встречный источник ЭДС	158

6.4. Управляемые источники напряжения	159
6.4.1. Тиристоры	159
6.4.2. Управляемые выпрямители	160
6.5. Стабилизаторы	161
6.5.1. Стабилитроны	161
6.5.2. Стабилизаторы напряжения	163

Глава седьмая. ТРАНЗИСТОРЫ И УСИЛИТЕЛИ

7.1. Характеристики нелинейных резистивных четырёхполюсников	168
7.2. Общая характеристика усилителей	169
7.3. Полевые и биполярные транзисторы, их характеристики и параметры	172
7.3.1. Полевые транзисторы	172
7.3.2. Общая характеристика биполярных транзисторов	174
7.3.3. Схемы включения транзисторов	175
7.3.4. Вольт-амперные характеристики транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером	176
7.3.5. Рабочая область на семействе характеристик транзистора	177
7.3.6. Рабочая точка транзистора	178
7.3.7. Дифференциальные параметры транзистора	179
7.3.8. Уравнения и схема замещения транзистора по переменному току	180
7.3.9. Определение h-параметров транзистора по вольт-амперным характеристикам	181
7.4. Анализ работы и расчет параметров усилителя переменного напряжения на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером и коллекторной нагрузкой	183
7.4.1. Режим работы усилителя по постоянному току	183
7.4.2. Схема замещения усилителя по переменному току и расчет параметров усилителя $R_{вх}$, $R_{вых}$, K_u	186
7.4.3. Частотные характеристики усилителя	188
7.5. Переходная и амплитудная характеристики усилителя	192
7.6. Усилители мощности	194
7.7. Обратные связи в усилителях	196
7.7.1. Виды обратных связей в усилителях	196
7.7.2. Влияние последовательной отрицательной обратной связи по напряжению на параметры усилителя	198
7.7.3. Эмиттерный повторитель	200
7.7.4. Температурная стабилизация	201
7.8. Усилители постоянного тока и операционные усилители	202
7.8.1. Усилители постоянного тока	202
7.8.2. Операционные усилители	204
7.9. Автогенераторы	207

Глава восьмая. ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

8.1. Интегральные микросхемы	214
8.2. Логические и цифровые элементы	216

8.2.1. Логические элементы	217
8.2.2. Транзисторные ключи	220
8.2.3. Триггеры	223
8.2.4. Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП)	225
8.2.5. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)	226
8.3. Микропроцессоры и микроконтроллеры	227
8.3.1. Микропроцессор. Основные понятия и определения	227
8.3.2. Классификация микропроцессоров	228
8.3.3. Архитектура и устройство микропроцессоров	230
8.3.3.1. Архитектура МП.	230
8.3.3.2. Функциональные параметры МП.	231
8.3.3.3. Предельные эксплуатационные параметры МП	233
8.3.3.4. Структура простейшего микропроцессора КР580ВМ80А.	233
8.3.4. Принципы работы микропроцессора	237
8.3.4.1. Двоичная арифметика	237
8.3.4.2. Алгоритм работы микропроцессора КР580ВМ80А.	240
8.3.4.3. Программная модель микропроцессора КР580ВМ80А	242
8.3.4.4. Режимы адресации микропроцессора КР580ВМ80А	245
8.3.4.5. Система команд микропроцессора КР580ВМ80А	246
8.3.4.6. Применение микропроцессоров	249

Часть третья. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

Глава девятая. МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ

9.1. Ферромагнитные материалы и их характеристики	254
9.2. Магнитные цепи при постоянной МДС	257
9.3. Магнитные цепи при переменной МДС. Эквивалентный синусоидальный ток	261
9.4. Магнитная цепь при действии постоянной и переменной МДС	266
9.5. Комплексная магнитная проницаемость и комплексная индуктивность	267

Глава десятая. ТРАНСФОРМАТОРЫ И ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

10.1. Однофазный трансформатор	270
10.1.1. Назначение трансформатора	270
10.1.2. Устройство трансформатора.	271
10.1.3. Принцип действия трансформатора.	272
10.1.4. Режимы работы трансформатора	274
10.1.5. Уравнения электрического и магнитного состояния трансформатора	276
10.1.6. Приведение параметров трансформатора и его схема замещения	278
10.1.7. Определение параметров схемы замещения трансформатора	281
10.1.8. Внешняя характеристика трансформатора	282
10.1.9. Потери и КПД трансформатора	284
10.1.10. Пример расчета трансформатора.	285
10.2. Трёхфазные трансформаторы	287
10.2.1. Параллельная работа трансформаторов	290
10.3. Измерительные трансформаторы	290

10.4. Автотрансформатор	291
10.5. Электротермические установки	292
10.5.1. Классификация электротермических установок	292
10.5.2. Печи сопротивления	293
10.5.3. Трансформаторы для электротермических установок	294
10.5.4. Индукционные печи	295
10.5.5. Дуговые печи	296
10.5.6. Плазмотроны	298

Глава одиннадцатая. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

11.1. Общая характеристика электрических машин	300
11.2. Электрические машины переменного тока	301
11.2.1. Вращающееся магнитное поле ротора	301
11.2.2. Вращающееся магнитное поле статора	301
11.2.3. Результирующее магнитное поле	303
11.3. Асинхронные машины	304
11.3.1. Устройство трёхфазной асинхронной машины	304
11.3.2. Принцип действия асинхронного двигателя	305
11.3.3. Режимы работы асинхронной машины	306
11.3.4. Уравнения и схема замещения одной фазы асинхронной машины	306
11.3.5. Преобразование энергии в асинхронной машине	308
11.3.6. Механическая характеристика асинхронной машины	309
11.3.7. Способы пуска асинхронных двигателей	311
11.4. Синхронные машины	312
11.4.1. Устройство синхронной машины	312
11.4.2. Принцип действия синхронной машины	313
11.4.2.1. Синхронный двигатель	313
11.4.2.2. Синхронный генератор	314
11.4.3. Уравнения и схема замещения одной фазы синхронной машины	314
11.4.4. Векторные диаграммы синхронных машин	315
11.4.5. Момент синхронного двигателя	317
11.4.6. Схемы пуска	317
11.5. Машины постоянного тока	319
11.5.1. Устройство машин постоянного тока	319
11.5.2. Принцип действия генератора постоянного тока	320
11.5.3. Генератор постоянного тока	321
11.5.3.1. Генератор с независимым возбуждением	321
11.5.3.2. Генераторы с параллельным возбуждением	323
11.5.3.3. Генераторы со смешанным возбуждением	324
11.5.4. Двигатель постоянного тока	325
11.5.4.1. Двигатели с независимым возбуждением	325
11.5.4.2. Двигатели постоянного тока с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением	328
11.6. Сравнительные характеристики и области применения электрических машин	332
11.7. Выбор электрических двигателей	333

11.7.1. Общие положения	333
11.7.2. Нагрев и охлаждение двигателей	335
11.7.3. Режимы работы электрических двигателей	337
11.7.4. Выбор двигателя по мощности при продолжительном режиме работы	338
11.7.5. Выбор двигателя для повторно-кратковременного режима работы	344
11.7.6. Выбор двигателя для кратковременного режима работы	345
11.7.7. Единые серии асинхронных двигателей	346
Глава двенадцатая. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ	
12.1. Измерительные приборы	348
12.1.1. Основные понятия и определения	348
12.1.2. Характеристики и параметры средств измерения	349
12.1.3. Условные обозначения, наносимые на шкалу измерительных приборов	352
12.1.4. Электромеханические измерительные преобразователи	354
12.2. Методы измерения	357
12.2.1. Измерение тока	357
12.2.2. Измерение напряжения	359
12.2.3. Измерение мощности и энергии	361
12.2.4. Прямые методы измерения сопротивления резистора	362
12.2.5. Компарирующие методы измерений	364
12.2.6. Резонансный метод измерения параметров катушек индуктивности и конденсаторов	367
12.3. Цифровые измерительные приборы	369
12.3.1. Квантование и дискретизация непрерывных величин	369
12.3.2. Цифровые вольтметры	375
12.3.3. Цифровые мультиметры	382
12.3.4. Универсальный RLC-метр Agilent	383
12.3.5. Счетчики электрической энергии	385
12.3.6. Цифровые частотомеры	385
Приложения	
Приложение 1. Буквенные обозначения и единицы основных величин в электротехнике	390
Приложение 2. Физические законы и основные понятия	392
Приложение 3. Математические понятия, применяемые в электротехнике	395
Приложение 4. Маркировка полупроводниковых приборов	396
Приложение 5. Система обозначений ИМС	397
Приложение 6. Основные технические данные некоторых серийных асинхронных электродвигателей общего применения	400
Список литературы	404
Предметный указатель	405