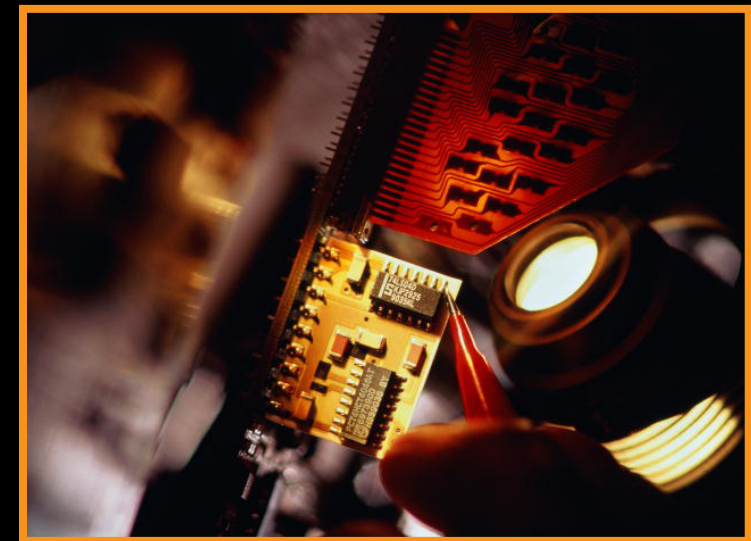


Электротехника и электроника



П. В. Ермуратский
Г. П. Лычкина
Ю. Б. Минкин

Электротехника и электроника

Учебник предназначен для изучения общепрофессиональной дисциплины «Электротехника и электроника», которая является федеральным компонентом Государственного образовательного стандарта ряда направлений бакалавриата, изучаемой студентами большинства неэлектротехнических вузов.

В первой части рассматриваются основные принципы и методы расчетов электрических цепей постоянного, однофазного синусоидального и трёхфазного токов.

Во второй части анализируются устройства с нелинейными элементами: диодами, транзисторами, и принципы действия выпрямителей, стабилизаторов, усилителей, интегральных микросхем и микропроцессоров.

В третьей части рассматриваются принципы действия, математические модели, основные характеристики трансформаторов, машин постоянного и переменного токов, вопросы выбора двигателей для электропривода. Приведены основные методы измерения и описания электроизмерительных приборов, расширен раздел, посвященный современным цифровым измерительным приборам.

В соответствии с образовательными государственными стандартами III поколения материал изложен так, что даёт набор знаний, умений и навыков анализа электрических цепей и электрических устройств, доведённых до уровня компетенций, формулирующих способность самостоятельно применять их в практических ситуациях профессиональной деятельности



Интернет-магазин: www.aliants-kniga.ru

Книга - почтой: Россия, 123242,
Москва, а/я 20. books@aliants-kniga.ru

Оптовая продажа: "Альянс-книга"
Тел. (495) 258-9195. books@aliants-kniga.ru

ISBN 978-5-94074-688-1



9 785940 746881 >



П. В. ЕРМУРАТСКИЙ, Г. П. ЛЫЧКИНА, Ю. Б. МИНКИН

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Учебник

Допущено Научно-методическим советом по электротехнике и электронике Министерства образования и науки Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям 240100 — Химическая технология и биотехнология, 240700 — Биотехнологии, 221700 — Стандартизация и метрология, 280700 — Техносферная безопасность, 150100 — Материаловедение и технологии материалов бакалаврской подготовки.



Москва, 2011

УДК 621.38 (0 75.8)

ББК 31.2 Я73

Е749

Рецензенты: М.В.Немцов, д.т.н., профессор кафедры электротехники НИЯУ МИФИ и Ю.Е. Бабичев, профессор кафедры электротехники МГГУ к.т.н., доцент

Е749 П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин
Электротехника и электроника. — М.: ДМК Пресс, 2011. — 416 с.: ил.

ISBN 978-5-94074-688-1

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.*
dm@dmk-press.ru

Корректор *Синяева Г. И.*

Верстка *Паранская Н. В.*

Дизайн обложки *Мовчан А. Г.*

Подписано в печать 07.02.2011. Формат 60×88 ¹/₁₆.

Гарнитура «Ньютон». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 25,48. Тираж 1000 экз. Заказ №

ISBN 978-5-94074-688-1

© П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин., 2011

© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник предназначен для изучения общепрофессиональной дисциплины «Электротехника и электроника», которая является федеральным компонентом Государственного образовательного стандарта ряда направлений бакалавриата, изучаемой студентами большинства неэлектротехнических вузов.

Учебник написан преподавателями кафедры «Электротехники, электроники и микропроцессорной техники» Московской государственной академии тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова, носящей имя Анатолия Владимировича Нетушила.

Авторы посвящают этот учебник 80-летию кафедры, которая является одной из старейших в академии. Она была основана в 1930 г. как кафедра Электротехники для обеспечения инженерной подготовки студентов химических специальностей.

Зарождение и формирование новых научных направлений в области электротехники всегда находило отражение в читаемых кафедрой дисциплинах. Углублённое преподавание «Электроники» привело к переименованию кафедры в 1972 г. в кафедру «Электротехники и электроники».

С развитием вычислительной техники в стране кафедра организовала в институте внедрение в учебный и научный процесс вычислительной техники и стала называться с 1975 г. кафедрой «Электротехники, электроники и вычислительной техники». В 1985 г. из состава кафедры отделились Вычислительный центр института и вновь созданная кафедра Вычислительной математики и ЭВМ, которая с 1992 г. — кафедра Информационных технологий.

Интенсивное развитие микропроцессорной техники и внедрение её в учебный процесс привело в 1990 г. к переименованию кафедры в её современное название.

Кафедру возглавляли: доц. Золотарёв В.И. 1930 — 1937 гг.; проф. Круковский А.В. 1937 — 1940 гг.; проф. Телешев Б.А. 1940 — 1954 гг.; проф. Ясинский В.В. 1954 — 1972 гг.; проф. Нетушил А.В. 1972 — 1988 гг.;

проф. Ермуратский П.В. 1988 — 2008 гг.; доц. Минкин Ю.Б. 2008 — по настоящее время.

Большой вклад в развитие кафедры внес Анатолий Владимирович Нетушил — выдающийся, всемирно известный учёный, профессор, доктор технических наук, автор ряда учебников по Теоретическим основам электротехники (ТОЭ) и Теории автоматического управления (ТАУ), заслуженный деятель науки и техники РФ, действительный член Академии электротехнических наук РФ, почетный академик Международной академии информатизации, член редколлегии и руководитель теоретической секции журнала «Электричество», член редколлегии журналов «Известия ВУЗов — Электромеханика», «Известия ВУЗов — Радиоэлектроника», научно-методического сборника МИНВУЗа СССР «Электротехника». Он активно работал председателем экспертной комиссии Академии электротехнических наук.

Со времени создания научно-методического Совета по Электротехнике МИНВУЗа СССР А.В. Нетушил работал заместителем председателя научно-методического Совета по электротехнике Минобразования РФ, возглавлял секцию по изданию учебников и учебных пособий. Много сил и энергии отдавал разработке учебных планов и программ по электротехнике, компьютеризации учебного процесса.

Многолетний опыт преподавания дисциплины «Электротехника и электроника» в МИТХТ и ряде вузов страны был обобщён в выдержавшем 2 издания «Справочном пособии по основам электротехники и электроники», написанном сотрудниками кафедры под редакцией А.В. Нетушила.

Первое издание было опубликовано в 1986 г. в издательстве «Высшая школа» и было допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для студентов неэлектротехнических специальностей вузов; второе издание вышло в свет в 1995 г. в издательстве Энергоатомиздат.

Изложение материала в читаемой на кафедре в течении двух семестров дисциплине «Электротехника и электроника» было ориентировано на математическое описание физических процессов, происходящих в электротехнических и электронных устройствах, применяемых в электрооборудовании химико-технологических производств.

С введением новых поколений стандартов наблюдается значительное сокращение числа часов, отводимых на изучение дисциплины «Электротехника и электроника».

В настоящее время выделяют 4 уровня подготовки бакалавров и специалистов неэлектротехнических направлений.

Уровни	1	2	3	4
Число часов	120 — 140	150 — 230	240 — 306	280 — 360

В 2008 г. авторами П.В. Ермуратским, Г.П. Лычкиной и Ю.Б. Минкиным было издано «Краткое учебное пособие по основам электротехники и электроники», предназначенное для студентов, изучающих дисциплину «Электротехника и электроника» на первом уровне, когда общее число часов, отводимых на подготовку бакалавров, менее 120 — 140 часов.

В данном учебнике авторы отошли от справочного характера изложения материала и основное внимание уделили доступности восприятия дисциплины студентами.

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

В первой части рассматриваются основные принципы и методы расчетов электрических цепей постоянного, однофазного синусоидального и трёхфазного токов.

Во второй части анализируются устройства с нелинейными элементами: диодами, транзисторами, и принципы действия выпрямителей, стабилизаторов, усилителей, интегральных микросхем и микропроцессоров.

В третьей части рассматриваются принципы действия, математические модели, основные характеристики трансформаторов, машин постоянного и переменного токов, вопросы выбора двигателей для электропривода.

Приведены основные методы измерения и описания электроизмерительных приборов, расширен раздел, посвященный современным цифровым измерительным приборам.

К написанию учебника привлекались сотрудники кафедры: Закалюкин Р.М. §§ 6.21 и 7.3.1; Королёв Е.С. — §§ 6.4, 6.5, 11.7; Трофимов А.Н. и Перминов Д.А. §8.3. В редактировании рукописи активное участие принимала Гришина О.Ю.

Авторы исходили из того, что студенты, изучающие дисциплину «Электротехника и электроника» на первом уровне, должны знать основные законы, применяемые для анализа электрических цепей,

понимать принципы действия основных электротехнических и электронных устройств.

Методика изложения — единый подход к линейным электрическим устройствам как к двухполюсникам позволяет с применением принципа эквивалентного генератора строить их математические модели и по ним вести исследования аналитически или на моделях. Эта методика изложения позволяет вырабатывать у студента компетентный подход к различным электротехническим устройствам, развивает культуру мышления при обобщении и анализе реальных объектов исследования на моделях.

В соответствии с образовательными государственными стандартами III поколения материал изложен так, что даёт набор знаний, умений и навыков анализа электрических цепей и электрических устройств, доведённых до уровня компетенций, формулирующих способность самостоятельно применять их в практических ситуациях профессиональной деятельности.

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	9
1.2. Законы Ома и Кирхгофа для линейной цепи.	13
1.3. Граф схемы.	19
1.4. Структурные преобразования схем замещения линейных цепей	21
1.5. Рационализация составления и решения уравнений Кирхгофа: методы контурных токов, узловых потенциалов, пропорциональных величин	26
1.6. Принципы суперпозиции, компенсации, взаимности	32
1.7. Мощность в цепи постоянного тока	35
1.8. Двухполюсники	36
1.9. Принцип эквивалентного генератора (активного двухполюсника)	37
1.10. Мощность, отдаваемая активным двухполюсником во внешнюю цепь	41
1.11. Применение принципа эквивалентного генератора для анализа цепей измерительных приборов	42
1.12. Четырёхполюсники. Уравнения и схемы замещения	45
Глава вторая. ОДНОФАЗНЫЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА	
2.1. Общая характеристика цепей синусоидального тока	54
2.2. Структура цепи синусоидального тока.	55
2.3. Гармонические функции и их представление в комплексной форме	59
2.4. Синусоидальный ток в резистивном элементе R	63
2.5. Синусоидальный ток в индуктивном элементе L	65
2.6. Синусоидальный ток в ёмкостном элементе C	68
2.7. Сводная таблица соотношений между параметрами в цепи синусоидального тока с R, L, C элементами	71
2.8. Мощность цепи синусоидального тока	71
2.9. Законы, принципы, методы анализа цепей синусоидального тока в комплексной форме	75
2.10. Измерение тока, напряжения, мощности в цепях синусоидального тока	76
2.11. Последовательное соединение R, L, C элементов	77
2.12. Параллельное соединение R, L, C элементов	80
2.13. Схемы замещения реальных индуктивных катушек и конденсаторов	82
2.14. Резонансы напряжений и токов	84
2.15. Падение и потеря напряжения при передаче электроэнергии	89
2.16. Примеры анализа цепей синусоидального тока	90
Глава третья. ТРЁХФАЗНЫЕ ЦЕПИ	
3.1. Трёхфазная цепь и ее элементы	96
3.2. Соединение фаз источников и приёмников звездой, четырёхпроводная линия	98
3.3. Соединение фаз источников и приёмников звездой, трёхпроводная линия.	101
3.3.1. Симметричная нагрузка.	101
3.3.2. Несимметричная нагрузка.	102
3.4. Соединение фаз приёмника в трёхфазной цепи треугольником	104
3.5. Пример анализа трёхфазной цепи	106
3.6. Мощность в трёхфазной цепи	109
3.7. Защитное заземление и зануление в трёхфазной цепи	111
Глава четвертая. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ	
4.1. Возникновение переходных процессов в электрических цепях	116
4.2. Решение уравнений, составленных по законам Ома и Кирхгофа для переходных процессов	116

4.3. Переходные процессы при включении цепи с R, L элементами	118
4.4. Переходные процессы при замыкании цепи с R, L элементами	121
4.5. Переходные процессы при включении и отключении цепи с R, C элементами	123

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	138
6.2. Полупроводниковые диоды	142
6.2.1. Физические основы работы полупроводниковых приборов, p-n переход	142
6.2.2. Полупроводниковый диод и его вольт-амперная характеристика	145
6.3. Выпрямители	148
6.3.1. Основные понятия и характеристики	148
6.3.2. Однополупериодный выпрямитель	150
6.3.3. Двухполупериодные выпрямители	152
6.3.3.1. Двухполупериодный мостовой выпрямитель	152
6.3.3.2. Двухполупериодный выпрямитель с выводом средней точки трансформатора	154
6.3.4. Трёхфазный выпрямитель с выводом нейтрали	154
6.3.5. Трёхфазный мостовой выпрямитель	155
6.3.6. Сглаживание выпрямленного напряжения	156
6.3.6.1. Основные понятия о сглаживающих фильтрах	156
6.3.6.2. Ёмкостной фильтр	156
6.3.6.3. Индуктивный фильтр	158
6.3.6.4. LC-фильтр	158
6.3.7. Схемы выпрямления с умножением напряжения	159
6.3.8. Работа выпрямителя на встречный источник ЭДС	160
6.4. Управляемые источники напряжения	161
6.4.1. Тиристоры	161
6.4.2. Управляемые выпрямители	162
6.5. Стабилизаторы	163
6.5.1. Стабилитроны	163
6.5.2. Стабилизаторы напряжения	165

Глава седьмая. ТРАНЗИСТОРЫ И УСИЛИТЕЛИ

7.1. Характеристики нелинейных резистивных четырёхполюсников	170
7.2. Общая характеристика усилителей	171
7.3. Полевые и биполярные транзисторы, их характеристики и параметры	174
7.3.1. Полевые транзисторы	174
7.3.2. Общая характеристика биполярных транзисторов	176
7.3.3. Схемы включения транзисторов	177
7.3.4. Вольт-амперные характеристики транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером	178
7.3.5. Рабочая область на семействе характеристик транзистора	179
7.3.6. Рабочая точка транзистора	180
7.3.7. Дифференциальные параметры транзистора	181
7.3.8. Уравнения и схема замещения транзистора по переменному току	182
7.3.9. Определение h-параметров транзистора по вольт-амперным характеристикам	183