

Ю.Е. Бабичев

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

ТОМ 1

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ, ЭЛЕКТРОННЫЕ И МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ

*Допущено Научно-методическим советом
по электротехнике и электронике
Министерства образования и науки РФ
в качестве учебника для студентов высших
учебных заведений, обучающихся по направлению
подготовки бакалавров «Информатика
и вычислительная техника» и направлениям
подготовки дипломированных специалистов
«Информатика и вычислительная техника»
и «Информационные системы»*



**МОСКВА
«МИР ГОРНОЙ КНИГИ»
♦ ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА
♦ ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»
2007**

УДК 621.3
ББК 31.2
Б 12

Издано при финансовой поддержке Федерального агентства
по печати и массовым коммуникациям
в рамках Федеральной целевой программы «Культура России»

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным
для взрослых. СанПиН 1.2.1253—03», утвержденным Главным
государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г.

Экспертиза проведена Министерством образования и науки
Российской Федерации (письмо № 02-Реш от 18 апреля 2006 г.)

Рецензенты:

- д-р техн. наук, проф. *А.Е. Краснопольский* [Московский государственный институт стали и сплавов (Технологический университет)];
- канд. техн. наук *В.В. Каратаев* [Московский энергетический институт (Технический университет)]

Бабичев Ю.Е.

Б 12 Электротехника и электроника / Учебник для вузов: В 2 т. —
М.: «Мир горной книги», Издательство Московского государственного
горного университета, издательство «Горная книга», 2007. —
Т. 1: Электрические, электронные и магнитные цепи. — 615 с.: ил.
ISBN 978-5-91003-015-6 (в пер.)
ISBN 978-5-7418-0485-8
ISBN 978-5-98672-065-4

В первом томе учебника даны физические основы электротехники и
электроники, рассмотрены свойства электрических сигналов, изложена
теория линейных и нелинейных электрических цепей с источниками по-
стоянного и синусоидального тока в установившихся и переходных режи-
мах. Особое внимание уделено физическим процессам и явлениям, в част-
ности, энергетическим как инициаторам распределения токов в элементах
цепей. Используется системный подход при изложении материала, когда
объекты изучения — процессы и устройства — представляются иерархиче-
скими физическими и математическими моделями.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки ба-
калавров «Информатика и вычислительная техника» и направлениям под-
готовки дипломированных специалистов «Информатика и вычислительная
техника» и «Информационные системы».

УДК 621.3
ББК 31.2

ISBN 978-5-91003-015-6
ISBN 978-5-7418-0485-8
ISBN 978-5-98672-065-4

© Ю.Е. Бабичев, 2007
© «Мир горной книги», Издательство
МГГУ, Издательство «Горная книга, 2007
© Дизайн книги. Издательство МГГУ, 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Электротехника и электроника» в современной системе подготовки специалистов по информатике и вычислительной технике занимает место общенаучной дисциплины федерального компонента, которая, наряду с ролью теоретических основ общинженерной и специальной подготовки, все больше приобретает самостоятельное значение.

Именно поэтому содержание учебников и учебных пособий по данной дисциплине должно отражать не только специфические вопросы электротехники и электроники в предметной области специалистов по информатике и вычислительной технике, но и общие вопросы, относящиеся, например, к получению, преобразованию, передаче и использованию электрической энергии. В результате этого предмет изучения дисциплины становится шире.

Дисциплина «Электротехника и электроника» изучает электрические цепи в широком понимании этого понятия, т.е. любые процессы и явления, связанные с электрическим током, а также разнообразные устройства и системы, свойства которых обусловлены наличием электрических токов и электрических напряжений. Такая широта понятия электрической цепи приводит к необходимости рассмотрения большого круга вопросов, относящихся к смежным наукам: электромеханике, электроснабжению, электроприводу, автоматике, связи, аналоговой и цифровой электронике, электрическим измерениям и др.

Сложившаяся в СССР, а теперь и в Российской Федерации электротехническая школа накопила значительный опыт как по методике преподавания, так и по содержанию учебников и учебных пособий. Здесь можно отметить ставшие классическими учебники, написанные Г.И. Атабековым, Л.А. Бессоновым, В.Г. Герасимовым, К.С. Демирчяном, А.С. Касаткиным, К.А. Кругом, П.Н. Матхановым, Л.Р. Нейманом, М.В. Немцовым, А.В. Нетушилом, К.М. Поливановым и др. Многие в этих учебниках актуально и сегодня, кое-что потеряло значимость в силу

технического прогресса, а некоторые вопросы не нашли отражения из-за отсутствия в то время сведений о важных типах электротехнического и особенно электронного оборудования, появившихся только в последнее время.

Несомненно, современные учебники и учебные пособия по электротехнике должны сохранить накопленный опыт по методике преподавания, заложенный изданными ранее учебниками, но при этом необходимо учитывать появившиеся в последнее время новые мощные средства получения знаний — компьютерные технологии. Они практически сняли вычислительные трудности в решении математических моделей и в обработке результатов физических экспериментов, позволили имитировать разнообразные физические процессы и устройства на компьютерах, проводить виртуальные лабораторные работы, вести обработку данных экспериментов в реальном времени и т.п.

В результате новые средства и их возможности стали влиять на методику изучения, с одной стороны, корректируя ее в направлении углубления и расширения предмета изучения, а с другой стороны, все больше формализуя изучаемые явления и объекты. Дисциплина все более становится «точной», а не «описательной», особенно в разделах по электромеханике и электронике, в вопросах по электроприводу и электроснабжению. Формализация и абстрактность моделей отрицательно влияют на связь изучаемых вопросов с реальными физическими явлениями и объектами, поэтому возникает настоятельная необходимость акцентировать внимание студентов на физических, а не на математических моделях. При этом важным моментом становится объяснение принимаемых допущений при построении моделей, а также границ применимости той или иной модели.

Общенаучная дисциплина «Электротехника и электроника» постоянно развивается. Для каждого времени определяется свое ядро — части, разделы и главы, которые определяют не только содержание, но и ее отличие от таких смежных дисциплин, как «Теоретические основы электротехники», «Электрические машины», «Электроника», «Электрические измерения» и др. Как правило, это отражается в «Примерной программе дисципли-

ны», разрабатываемой авторитетным коллективом авторов и утверждаемой Научно-методическим советом по электротехнике и электронике, а также Министерством образования и науки Российской Федерации. Эта дисциплина в современных Государственных образовательных стандартах ГОС является дисциплиной федерального компонента, т.е. обязательна для изучения студентами вузов всех технических направлений и специальностей.

К сожалению, ГОС по многим направлениям и специальностям, в том числе по информатике и вычислительной технике, не могут в полной мере учитывать требования Примерной программы, особенно в части трудоемкости изучения дисциплины. В этой связи становятся актуальными более тщательный отбор учебного материала и его адаптация для самостоятельного изучения студентами. Учитывая значительную дифференциацию по начальному уровню знаний обучающихся, основной учебный материал должен быть не только подробно объяснен с физических и математических позиций, но и проиллюстрирован типовыми примерами, а иногда и снабжен необходимыми справочными данными. Только тогда обучающиеся, имея даже относительно слабую начальную подготовку, смогут освоить объективно сложную для изучения дисциплину «Электротехника и электроника».

Автор предполагает, что студенты будут использовать компьютерную технику как для освоения основных методов вычислительного эксперимента, так и для интерактивного моделирования на ЭВМ объектов и процессов, изучаемых дисциплиной. При этом компьютеры следует применять в качестве инструмента получения новых знаний, а не «вычислителя». Например, универсальные математические пакеты *Mathcad* (*MathSoft, Inc.*) или *Matlab* (*MathWorks, Inc.*) предпочтительно использовать не только в режимах прямых вычислений, но и для решения систем алгебраических (линейных и нелинейных) и дифференциальных уравнений, а также в режимах символьных вычислений. Для схемотехнического моделирования и исследования электрических цепей и устройств Примерная программа дисциплины рекомендует такие пакеты как *Electronics Workbench* (*Interactive*

Image Technologies Ltd.), *PSpice* или *LabView* (*National Instruments*). Их использование значительно улучшает усвоение учебного материала, особенно по разделам «нелинейные цепи» и «электроника».

Настоящий учебник соответствует Государственным образовательным стандартам подготовки специалистов по направлениям 230100 — Информатика и вычислительная техника, 230200 — Информационные системы, 230300 — Организационно-технические системы и 230400 — Прикладная математика, а также Примерной программе дисциплины «Общая электротехника и электроника», рекомендованной Министерством образования и науки Российской Федерации для направлений подготовки дипломированных специалистов «Техника и технология». Учебник ориентирован на изучение теории электрических и электронных цепей применительно к предметной области работы специалистов, связанных со средствами получения, хранения, обработки и передачи информации, однако он может быть полезным и студентам смежных направлений, например, по автоматике и управлению.

Учебник (в 2-х томах) написан на основе 20-летнего опыта преподавания дисциплины на факультете «Автоматизации и информатики» Московского государственного горного университета студентам информационных специальностей.

В первом томе рассматриваются электрические, магнитные и электронные цепи; во втором — электромагнитные и электро-механические устройства, а также электроника.

Содержание первого и второго томов соответствует курсу, рассчитанному примерно на 200 ч, из которых: 64—72 ч лекции, 14—18 ч практические, 14—18 ч лабораторные (7—9 работ) занятия и 92 —108 ч самостоятельная работа студентов, в том числе выполнение трех домашних расчетно-графических заданий.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	9

Глава 1

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ.....	25
1.1. Теория цепей и электромагнитное поле	27
1.2. Заряд и электромагнитное поле	29
1.3. Законы электрических и магнитных полей	37
1.3.1. Материальные среды и соответствующие им материальные уравнения.....	37
1.3.2. Электрический ток. Принцип непрерывности тока.....	42
1.3.3. Явление электромагнитной индукции	49
1.3.4. Электрическое напряжение.....	53
1.4. Законы Ома и Кирхгофа	61

Глава 2

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ — НОСИТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ	67
2.1. Классификация сигналов.....	70
2.2. Модели сигналов.....	74
2.2.1. Физические модели сигналов	74
2.2.2. Математические модели сигналов.....	75
2.3. Получение и преобразование сигналов	86
2.3.1. Модуляция сигналов	86
2.3.2. Искажения сигналов	92
2.3.3. Цифровые преобразования сигналов	93

Глава 3

ЭЛЕМЕНТЫ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕПЕЙ.....	99
---	-----------

3.1. Цепи с постоянными воздействиями и их элементы	101
3.1.1. Понятие электрической и электронной цепи	101
3.1.2. Физическая модель проводников электрической цепи.....	105
3.1.3. Схема замещения электрической цепи	113
3.2. Цепи с переменными воздействиями и их элементы	127
3.2.1. Физические явления в электрических цепях переменного тока	127
3.2.2. Допущения, принимаемые в теории цепей переменного тока, их практическое значение и границы применимости	131
3.2.3. Идеализированные элементы при переменных токах	135
3.3. Цепи с синусоидальными воздействиями и их элементы	146
3.3.1. Синусоидальные токи, напряжения и ЭДС	146
3.3.2. Мощность и энергия при синусоидальных токах.....	151
3.3.3. Свойства элементов цепи при синусоидальных воздействиях	156

Глава 4

ЛИНЕЙНЫЕ РЕЗИСТИВНЫЕ ЦЕПИ	169
4.1. Законы резистивных электрических цепей	171
4.1.1. Способы соединения элементов	171
4.1.2. Основные понятия схемы цепи	173
4.1.3. Напряжения в контуре	174
4.1.4. Закон Ома для участка цепи	175
4.1.5. Закон Кирхгофа для токов	177
4.1.6. Закон Кирхгофа для напряжений	178
4.2. Анализ резистивных цепей	179
4.2.1. Выбор условных направлений токов и напряжений.....	179
4.2.2. Компонентные уравнения	179
4.2.3. Топологические уравнения	184
4.2.4. Математическая модель резистивной цепи	193
4.2.5. Анализ цепи	194

4.3. Свойства линейных резистивных цепей	197
4.3.1. Баланс мощностей	197
4.3.2. Эквивалентные преобразования	202
4.3.3. Теорема компенсации	211
4.3.4. Свойство линейности	213
4.3.5. Принцип наложения (суперпозиции)	214
4.3.6. Свойство взаимности	216
4.3.7. Теорема об активном двухполоснике (эквивалентном генераторе)	217

Глава 5

ОБЩИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА (АНАЛИЗА)

ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ	219
5.1. Метод преобразований цепи	221
5.2. Метод расчета системы уравнений по законам Кирхгофа и Ома	225
5.3. Метод наложения	228
5.4. Метод эквивалентного генератора	230
5.5. Метод контурных токов	232
5.6. Метод узловых потенциалов	236

Глава 6

ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ ПРИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ТОКАХ

6.1. Резистивные цепи при синусоидальном токе	245
6.2. R - L -цепь (активно-индуктивный двухполосник)	247
6.2.1. Расчет R - L -цепи	249
6.2.2. Свойства простейшей R - L -цепи	253
6.2.3. Мощности и энергия	257
6.3. R - C -цепь (активно-емкостный двухполосник)	261
6.3.1. Расчет R - C -цепи	261
6.3.2. Свойства R - C -цепи	264
6.3.3. Мощности и энергия	267