

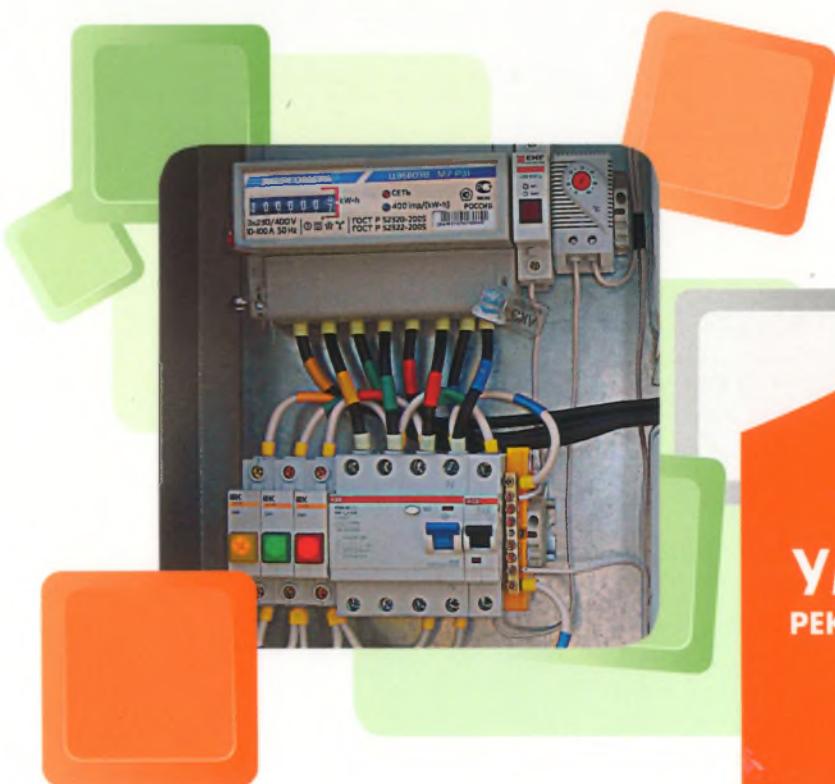
ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Ю. К. Розанов, М. Г. Лепанов

СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Под редакцией Ю. К. Розанова

УЧЕБНИК и ПРАКТИКУМ



УМО ВО
РЕКОМЕНДУЕТ

 **Юрайт**
издательство
biblio-online.ru

УДК 621.38(075.8)

ББК 32.85я73

Р64

Авторы:

Розанов Юрий Константинович — доктор технических наук, профессор кафедры электромеханики, электрических и электронных аппаратов Национального исследовательского университета «МЭИ»;

Лепанов Михаил Геннадьевич — старший преподаватель кафедры электромеханики, электрических и электронных аппаратов Национального исследовательского университета «МЭИ».

Рецензенты:

Павленко А. В. — доктор технических наук, заведующий кафедрой электромеханики и электрических аппаратов Южно-Российского государственного политехнического университета имени М. И. Платова;

Дмитриев Б. Ф. — доктор технических наук, профессор кафедры электротехники и электрооборудования судов Санкт-Петербургского государственного морского технического университета.

Розанов, Ю. К.

Р64

Силовая электроника : учебник и практикум для вузов / Ю. К. Розанов, М. Г. Лепанов. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 206 с. — (Высшее образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9916-9440-7

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам, подготовленные преподавателями лучших университетов России и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии учебники прошли экспертизу учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции.

В учебнике рассматриваются принципы действия и основные характеристики силовых электронных приборов, а также особенности применения пассивных элементов в силовых электронных устройствах. Описаны принципы регулирования и основные функциональные элементы систем управления устройствами силовой электроники. Представлены базовые схемы тиристорных преобразователей, автономных инверторов и регуляторов постоянного тока. Подробно рассмотрены транзисторные преобразователи с управлением посредством широтно-импульсной модуляции, их режимы работы и функциональные возможности. Уделено внимание устройствам повышения качества электроэнергии.

Содержание учебника соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям.

УДК 621.38(075.8)

ББК 32.85я73

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-9916-9440-7

© Розанов Ю. К., Лепанов М. Г., 2017
© ООО «Издательство Юрайт», 2020

Оглавление

Предисловие	6
Глава 1. Элементная база силовых электронных устройств	8
1.1. Принцип действия, классификация и основные характеристики силовых электронных ключей.....	8
1.1.1. Диоды	9
1.1.2. Транзисторы	13
1.1.3. Характеристики транзисторов в статическом режиме.....	16
1.1.4. Динамические характеристики транзисторов.....	18
1.1.5. Тиристоры	20
1.1.6. Сравнение силовых электронных ключей.....	24
1.2. Обеспечение безопасной работы силовых электронных ключей.....	25
1.3. Теплоотвод в электронных ключах и их конструктивное исполнение.....	27
1.3.1. Тепловой расчет системы «прибор – корпус – охладитель»	27
1.3.2. Типовые схемы модулей ключей	29
1.3.3. «Разумные» интегральные схемы	29
1.4. Пассивные элементы силовых электронных устройств	31
1.4.1. Электромагнитные компоненты	31
1.4.2. Конденсаторы.....	35
Выходы	36
Вопросы и задания для самоконтроля	37
Рекомендуемая литература.....	38
Глава 2. Системы управления силовых электронных устройств.....	40
2.1. Основные принципы управления и регулирования	40
2.2. Структура типовой системы управления.....	45
2.3. Основные функциональные узлы систем управления	46
2.3.1. Формирователи импульсов управления транзисторами	46
2.3.2. Формирователи импульсов управления тиристорами	48
2.3.3. Обеспечение гальванической развязки	50
2.3.4. Датчики тока и напряжения	51
2.4. Основная элементная база систем управления	54
2.4.1. Интегральные микросхемы.....	54
2.4.2. Микропроцессоры и микроконтроллеры.....	54
Выходы	56
Вопросы и задания для самоконтроля	57
Рекомендуемая литература.....	58
Глава 3. Преобразователи с сетевой коммутацией.....	59
3.1. Классификация преобразователей и их основные характеристики.....	59
3.1.1. Классификация силовых электронных преобразователей.....	59
3.1.2. Основные характеристики преобразователей	61

3.2. Выпрямители.....	64
3.2.1. Принцип действия выпрямителя.....	64
3.2.2. Основные схемы выпрямления	66
3.2.3. Пульсации выпрямленного напряжения	76
3.2.4. Коммутация токов в выпрямителях	77
3.3. Инверторы, ведомые сетью	80
3.3.1. Принцип действия инвертора	80
3.3.2. Переход от выпрямительного режима работы к инверторному	82
3.3.3. Коммутация токов в схемах инверторов	85
3.3.4. Основные характеристики инверторов	91
3.4. Прямые преобразователи частоты.....	92
3.5. Регуляторы переменного тока.....	95
3.6. Практические задачи	99
Типовая задача 1. Расчет выпрямителя с активно-индуктивной нагрузкой	99
Типовая задача 2. Расчет выпрямителя с емкостным фильтром.....	100
Выводы.....	102
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i>	103
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	104
<i>Рекомендуемая литература</i>	104
 Глава 4. Автономные инверторы	 106
4.1. Виды автономных инверторов.....	106
4.2. Инверторы напряжения	108
4.2.1. Однофазные инверторы напряжения	108
4.2.2. Трехфазная мостовая схема инвертора напряжения	114
4.2.3. Обеспечение синусоидальности выходного напряжения.....	117
4.3. Однофазные инверторы тока	120
4.4. Резонансные инверторы.....	122
4.4.1. Инвертор с последовательным соединением резонансного контура и нагрузки.....	123
4.4.2. Инвертор с параллельным соединением резонансного контура и нагрузки.....	129
4.4.3. Инвертор с параллельно-последовательным соединением контура и нагрузки.....	132
4.5. Практические задачи	133
Типовая задача 1. Расчет инвертора напряжения с активно-индуктивной нагрузкой	133
Типовая задача 2. Расчет инвертора тока с активно-емкостной нагрузкой...136	136
Выводы.....	139
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i>	140
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	140
<i>Рекомендуемая литература</i>	141
 Глава 5. Импульсная модуляция в силовых электронных устройствах	 142
5.1. Принципы импульсной модуляции и методы ее реализации	142
5.2. Организация широтно-импульсной модуляции (ШИМ) в автономных инверторах	145
5.2.1. Однофазные инверторы напряжения с ШИМ-управлением	145
5.2.2. Инверторы тока с ШИМ-управлением.....	152
5.2.3. Векторная модуляция в трехфазных преобразователях постоянного/переменного тока.....	155

5.3. Режимы работы преобразователей переменного/постоянного тока	158
с сетью	158
5.3.1. Функциональные возможности преобразователей.....	158
5.3.2. Режим инвертирования.....	159
5.3.3. Режим выпрямления.....	162
5.3.4. Регулирование реактивной мощности.....	163
5.3.5. Симметрирование токов в трехфазной сети.....	164
5.4. Активные и гибридные фильтры.....	165
5.4.1. Принцип активной фильтрации	165
5.4.2. Типовые схемы активных фильтров	168
5.4.3. Активные фильтры постоянного тока	170
5.4.4. Типы и характеристики пассивных фильтров.....	170
5.4.5. Принцип регулирования пассивных фильтров.....	173
Выводы.....	176
Вопросы и задания для самоконтроля.....	177
Рекомендуемая литература	177
Глава 6. Преобразователи постоянного тока в постоянный	179
6.1. Основные типы и характеристики преобразователей постоянного тока.....	179
6.2. Преобразователи непрерывного действия	182
6.2.1. Параметрические стабилизаторы	182
6.2.2. Транзисторные преобразователи непрерывного действия	183
6.3. Импульсные регуляторы постоянного тока	185
6.3.1. Понижающий регулятор.....	185
6.3.2. Повышающий регулятор	187
6.3.3. Инвертирующий регулятор.....	189
6.3.4. Регулятор с умножением напряжения	192
6.4. Преобразователи с гальванической развязкой входных и выходных цепей.....	193
6.4.1. Обратноходовой преобразователь.....	193
6.4.2. Однотактный прямоходовой преобразователь.....	194
6.4.3. Двухтактные преобразователи	195
6.5. Тиристорно-конденсаторные регуляторы с дозированной передачей энергии в нагрузку	196
6.6. Практические задачи.....	199
Типовая задача 1. Расчет параметров элементов импульсного регулятора в граничном режиме работы	199
Типовая задача 2. Определение пульсации напряжения на выходе импульсного регулятора	201
Выводы.....	203
Вопросы и задания для самоконтроля	204
Задачи для самостоятельного решения	205
Рекомендуемая литература	205
Новые издания по дисциплине «Электроника»	206

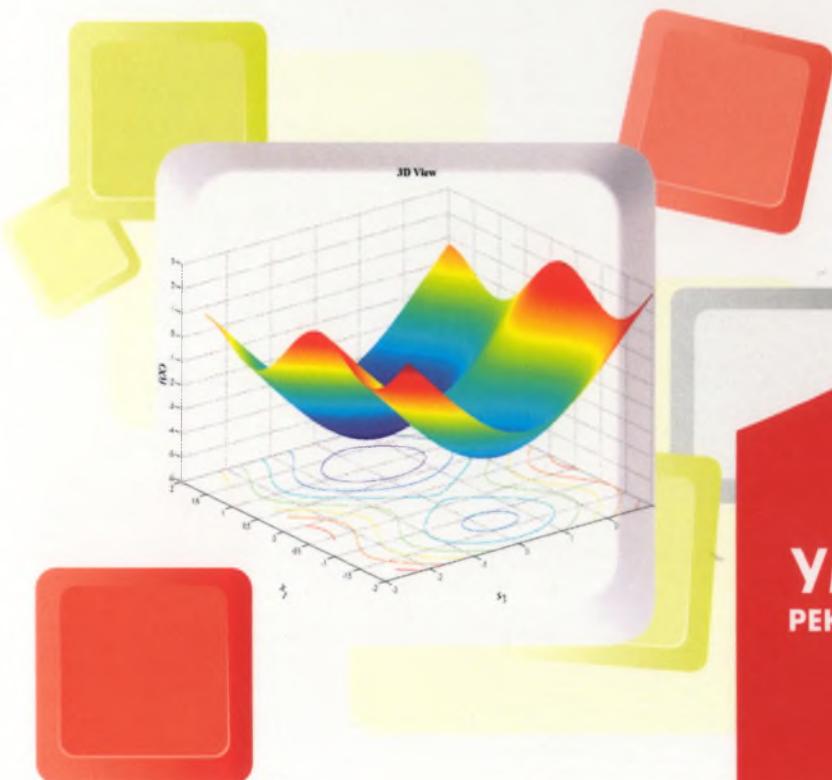
ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ



А. С. Востриков, Г. А. Французова

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

УЧЕБНИК и ПРАКТИКУМ



**УМО ВО
РЕКОМЕНДУЕТ**



УДК 681.515(075.8)

ББК 32.965.8я73

В78

Авторы:

Востриков Анатолий Сергеевич — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры автоматики факультета автоматики и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета;

Французова Галина Александровна — доцент, доктор технических наук, профессор кафедры автоматики факультета автоматики и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета.

Рецензенты:

Малышенко А. М. — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры систем управления и мехатроники Томского политехнического университета;

Золотухин Ю. Н. — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук.

Востриков, А. С.

В78

Теория автоматического регулирования : учебник и практикум для вузов / А. С. Востриков, Г. А. Французова. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 279 с. — (Высшее образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-04845-2

В книге представлены теоретические основы и методы управления для различных классов динамических систем. Рассмотрены вопросы анализа и синтеза линейных систем управления, приведены методы исследования свойств нелинейных систем, даны основные сведения об оптимальном управлении и способах автоматического поиска экстремума. Изложение материала базируется на описании динамических систем в пространстве состояний. При исследовании свойств линейных систем управления используется аппарат передаточных функций и частотных характеристик.

Представлен ряд оригинальных результатов авторов по проблеме синтеза алгоритмов управления нелинейными динамическими объектами при неполной информации об их характеристиках и действии внешних возмущений.

Для студентов, аспирантов, инженеров и научных работников, специализирующихся в области автоматического управления.

УДК 681.515(075.8)

ББК 32.965.8я73

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-534-04845-2

© Востриков А. С., Французова Г. А.,
2006

© Востриков А. С., Французова Г. А.,
с изменениями, 2017

© ООО «Издательство Юрайт», 2020

Оглавление

Предисловие	8
Глава 1. Введение в теорию автоматического управления	11
1.1. Предмет теории автоматического управления.....	11
1.2. Основные понятия и определения	12
1.3. Примеры систем управления	14
Заключение.....	16
Вопросы и задания для самопроверки.....	16
Глава 2. Динамические характеристики линейных систем.....	17
Введение.....	17
2.1. Дифференциальные уравнения	17
2.2. Составление математической модели	19
2.3. Переходная характеристика.....	23
2.4. Импульсная переходная функция	24
2.5. Переходная матрица	25
2.6. Передаточная функция.....	26
2.7. Модальные характеристики.....	30
2.8. Частотные характеристики	31
Заключение	34
Задачи	35
Глава 3. Структурный метод	38
Введение.....	38
3.1. Типовые динамические звенья	38
3.1.1. Пропорциональное (усилительное) звено.....	38
3.1.2. Дифференцирующее звено.....	40
3.1.3. Интегрирующее звено.....	41
3.1.4. Апериодическое звено.....	43
3.1.5. Форсирующее звено (пропорционально-дифференцирующее)	46
3.1.6. Звено второго порядка	48
3.2. Структурные схемы	51
3.3. Структурные преобразования	52
3.3.1. Последовательное соединение звеньев	52
3.3.2. Параллельное соединение звеньев	53
3.3.3. Обратная связь	53
3.3.4. Правило переноса.....	54
3.4. Структурные схемы, соответствующие дифференциальным уравнениям	56
3.5. Переход от передаточной функции к каноническому описанию.....	58
3.5.1. Первая каноническая форма	59
3.5.2. Вторая каноническая форма	60

3.6. Область применения структурного метода	63
Заключение	64
<i>Задачи</i>	65
Глава 4. Устойчивость линейных непрерывных систем	68
Введение	68
4.1. Условия устойчивости линейных систем	70
4.1.1. Общее условие устойчивости линейных систем	70
4.1.2. Необходимое условие устойчивости	72
4.2. Критерии устойчивости	73
4.2.1. Критерий устойчивости Гурвица	73
4.2.2. Критерий устойчивости Михайлова	76
4.2.3. Критерий устойчивости Найквиста	81
4.2.4. Логарифмическая форма критерия Найквиста	85
4.3. Области и запасы устойчивости	87
4.3.1. Основные понятия и определения	87
4.3.2. Частотные оценки запаса устойчивости	88
4.3.3. Корневые оценки запаса устойчивости	89
4.3.4. Метод D -разбиения	90
Заключение	92
<i>Задачи</i>	93
Глава 5. Анализ переходных процессов	97
Введение	97
5.1. Показатели качества переходных процессов	98
5.1.1. Ошибка регулирования	98
5.1.2. Быстродействие	99
5.1.3. Перерегулирование	99
5.1.4. Интегральные оценки	100
5.2. Анализ статических режимов	101
5.2.1. Статические системы	101
5.2.2. Астатические системы	103
5.2.3. Следящие системы (системы позиционирования)	104
5.2.4. Неединичная обратная связь	105
5.3. Частотный метод анализа	107
5.3.1. Взаимосвязь частотной характеристики и импульсной переходной функции	108
5.3.2. Взаимосвязь частотной и переходной характеристик	109
5.3.3. Оценка качества переходного процесса по вещественной частотной характеристике	110
5.3.4. О начальном участке переходной характеристики	112
5.4. Корневой метод анализа	113
5.5. Анализ процессов в системах низкого порядка	115
5.5.1. Система первого порядка	115
5.5.2. Система второго порядка	116
5.5.3. Система третьего порядка	117
Заключение	118
<i>Задачи</i>	118
Глава 6. Синтез линейных систем	123
Введение	123
6.1. Основные понятия	124
6.2. Постановка задачи синтеза одноканальных систем	125

6.3. Условия разрешимости задачи синтеза	126
6.3.1. Ресурсное ограничение	126
6.3.2. Устойчивость обратного объекта.....	127
6.3.3. Управляемость	128
6.3.4. Наблюдаемость	130
6.3.5. Вырожденность передаточной функции.....	131
6.4. Частотный метод синтеза	133
6.4.1. Постановка задачи	133
6.4.2. Влияние частотной характеристики разомкнутой системы на свойства замкнутой.....	134
6.4.3. Основные соотношения метода синтеза	135
6.4.4. Построение асимптотической логарифмической амплитудной частотной характеристики объекта.....	135
6.4.5. Построение желаемой логарифмической амплитудной частотной характеристики	137
6.4.6. Расчет корректирующего звена.....	139
6.4.7. Влияние возмущения и помехи измерения на свойства замкнутой системы	140
6.4.8. Процедура синтеза регулятора частотным методом.....	141
6.5. Модальный метод синтеза.....	144
6.5.1. Основные понятия	144
6.5.2. Постановка задачи синтеза для одноканального объекта	145
6.5.3. Выбор корректора статики.....	146
6.5.4. Расчет корректора динамики	146
6.5.5. Реализация регулятора.....	149
6.5.6. Процедура синтеза регулятора модальным методом	151
Заключение.....	153
Задачи	154
Глава 7. Динамические характеристики нелинейных систем.....	158
Введение	158
7.1. Нелинейные дифференциальные уравнения	158
7.2. Пространство состояний.....	159
7.3. Комбинированное описание нелинейных систем.....	160
7.4. Особенности процессов в нелинейных системах.....	161
Заключение.....	162
Вопросы и задания для самопроверки	163
Глава 8. Устойчивость нелинейных систем	164
Введение	164
8.1. Основные понятия и определения	165
8.2. Устойчивость по линейному приближению.....	166
8.3. Второй метод Ляпунова	168
8.3.1. Понятия и определения метода	168
8.3.2. Теоремы второго метода Ляпунова	169
8.3.3. Применение второго метода Ляпунова для анализа устойчивости линейных систем	171
8.3.4. Проверка устойчивости одного класса нелинейных систем.....	173
8.4. Частотный способ анализа устойчивости.....	175
8.4.1. Теорема Попова об абсолютной устойчивости	175
8.4.2. Графическая интерпретация теоремы Попова	175
8.4.3. Процедура проверки абсолютной устойчивости	177
Заключение.....	179
Задачи	179

Глава 9. Анализ процессов в нелинейных системах	183
Введение	183
9.1. Метод фазовой плоскости	183
9.2. Метод гармонического баланса	186
9.2.1. Основные сведения.....	186
9.2.2. Метод гармонической линеаризации.....	186
9.2.3. Основное уравнение метода гармонического баланса	189
9.2.4. Аналитический способ определения автоколебаний	190
9.2.5. Влияние параметров системы на автоколебания	191
9.2.6. Способ Гольдфарба.....	191
9.2.7. Способ Коченбургера.....	193
9.2.8. Коррекция автоколебаний	195
9.2.9. Условие применимости метода гармонического баланса.....	195
9.3. Метод малого параметра.....	196
9.4. Метод разделения движений.....	197
9.4.1. Общие свойства систем	197
9.4.2. Выделение отдельных составляющих движения.....	198
9.4.3. Основные теоремы метода разделения движений	200
9.4.4. Условие разделимости движений	202
Заключение.....	204
Задачи	205
Глава 10. Синтез нелинейных систем	210
Введение	210
10.1. Постановка задачи синтеза нелинейных одноканальных систем.....	211
10.2. Условия разрешимости задачи синтеза	212
10.2.1. Реализуемое состояние равновесия	212
10.2.2. Реализуемые желаемые уравнения	214
10.3. Метод локализации	215
10.3.1. Основные свойства систем первого порядка	216
10.3.2. Оценка влияния помех измерения	218
10.3.3. Дифференцирующий фильтр	218
10.3.4. Анализ влияния малых инерционностей	220
10.3.5. Выбор параметров дифференцирующего фильтра.....	221
10.3.6. Системы произвольного порядка.....	223
10.3.7. Процедура синтеза системы методом локализации	224
Заключение.....	226
Задачи	226
Глава 11. Системы поиска экстремума	229
Введение	229
11.1. Основные понятия и определения	229
11.2. Описание объекта управления	231
11.3. Типовые модели экстремальной характеристики объекта	231
11.4. Условие экстремума	232
11.5. Постановка задачи синтеза экстремальных систем	233
11.6. Способы оценки градиента	234
11.6.1. Способ деления производных	234
11.6.2. Способ конечных разностей.....	235
11.6.3. Оценка знака градиента.....	236
11.6.4. Способ синхронного детектирования.....	236
11.6.5. Оценка градиента с помощью специального фильтра.....	239

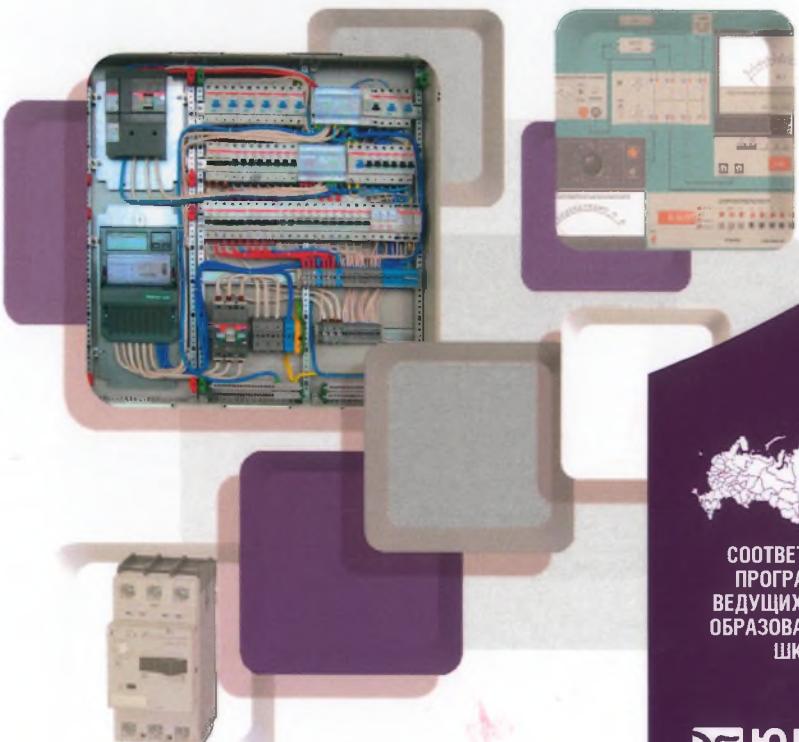
11.7. Организация движения к экстремуму	240
11.7.1. Градиентные системы первого порядка	240
11.7.2. Метод «тяжелого шарика».....	242
11.7.3. Одноканальные системы общего вида	243
11.7.4. Градиентные системы, основанные на методе локализации	243
Заключение.....	247
Задачи	247
Глава 12. Оптимальные системы	250
Введение	250
12.1. Основные понятия.....	251
12.2. Постановка задачи синтеза оптимальных систем	252
12.2.1. Описание объекта управления	252
12.2.2. Описание начальных и конечных состояний	252
12.2.3. Ограничения на переменные состояния и управление	254
12.2.4. Критерий оптимальности.....	254
12.2.5. Форма результата	255
12.3. Метод динамического программирования.....	255
12.3.1. Принцип оптимальности.....	256
12.3.2. Основные соотношения метода динамического программирования	256
12.3.3. Расчетные соотношения метода	258
12.4. Принцип максимума Понtryгина	260
12.4.1. Основное соотношение принципа максимума	260
12.4.2. Процедура определения оптимального управления	261
12.4.3. Задача оптимального быстродействия	263
12.5. Метод поверхности переключения	266
12.5.1. Основные понятия.....	266
12.5.2. Метод обратного времени	267
12.6. Субоптимальные системы.....	270
Заключение.....	271
Задачи	272
Послесловие	274
Рекомендуемая литература	278

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Под редакцией П. А. Курбатова

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

УЧЕБНИК и ПРАКТИКУМ



СООТВЕТСТВУЕТ
ПРОГРАММАМ
ВЕДУЩИХ НАУЧНО-
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ШКОЛ

 **Юрайт**
издательство

biblio-online.ru

УМО ВО рекомендует

УДК 621.3(075.8)

ББК 31.264я73

Э45

Ответственный редактор:

Курбатов Павел Александрович — доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой электрических и электронных аппаратов Национального исследовательского университета «МЭИ».

Рецензенты:

Павленко А. В. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электрических и электронных аппаратов Южно-Российского государственного политехнического университета (Новочеркасского политехнического института) имени М. И. Платова;

Синцов Г. П. — доктор технических наук, профессор кафедры электрических и электронных аппаратов Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова.

Электрические и электронные аппараты : учебник и практикум для вузов /
П. А. Курбатов [и др.]. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 440 с. — (Высшее
образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-00953-8

В книге рассмотрены основные сведения об электромеханических и силовых электронных аппаратах для электрических сетей низкого и высокого напряжения. Описаны принципы их действия, приведены их основные характеристики и области применения. Представлены электромагнитные и тепловые явления, коммутационные процессы в электромеханических аппаратах. Проанализированы типы и принципы функционирования силовых электронных коммутационных аппаратов и регуляторов постоянного и переменного тока. Изложены особенности применения систем управления электронными аппаратами и их принципы построения.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов образовательных учреждений высшего профессионального образования, обучающихся по программе подготовки бакалавров по направлению «Электроэнергетика и электротехника». Учебник будет полезен специалистам в областях электротехники и электроэнергетики, связанных с применением и эксплуатацией электрических аппаратов.

УДК 621.3(075.8)

ББК 31.264я73

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-534-00953-8

© Коллектив авторов, 2016

© ООО «Издательство Юрайт», 2020

Оглавление

Авторский коллектив	7
Список сокращений	8
Предисловие	10

Раздел I ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Глава 1. Электрический аппарат как средство управления режимами работы, защиты и регулирования параметров системы	15
1.1. Функциональное назначение и классификация электрических аппаратов ...	15
1.2. Примеры применения электрических аппаратов в сетях высокого и низкого напряжения	19
Выводы.....	22
Вопросы и задания для самоконтроля.....	22
Рекомендуемая литература	23
Глава 2. Электромеханические аппараты систем распределения электрической энергии при низком напряжении	24
2.1. Предохранители. Устройство и принцип действия предохранителей	24
2.2. Выключатели низкого напряжения. Выключатели нагрузки низкого напряжения.....	28
2.3. Автоматические выключатели. Устройство и параметры. Назначение и основные элементы автоматического выключателя.....	30
2.4. Виды автоматических выключателей.....	40
2.5. Автоматические аппараты, управляемые дифференциальным током. Функциональное назначение	43
2.6. Практические задачи	51
Выводы.....	54
Вопросы и задания для самоконтроля.....	54
Рекомендуемая литература	56
Глава 3. Электромеханические аппараты управления.....	57
3.1. Классификация и основные технические параметры аппаратов управления.....	57
3.2. Контакторы и магнитные пускатели. Устройство и принцип действия	65
3.3. Термовые реле. Устройство и принцип действия термового реле.....	75
3.4. Электромагнитные реле. Устройство и принцип действия реле	81
3.5. Практические задачи	86
Выводы.....	91

<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	91
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i>	92
<i>Рекомендуемая литература</i>	92
Глава 4. Тепловые процессы в электрических аппаратах	94
4.1. Источники теплоты в электрических аппаратах и способы теплопередачи.....	94
4.2. Уравнение Ньютона – Рихмана. Уравнение теплообмена с окружающим пространством.....	95
4.3. Стационарный режим нагрева. Уравнение теплового баланса и условие стационарности.....	96
4.4. Переходный процесс нагрева. Дифференциальное уравнение переходного процесса.....	99
4.5. Нагрев при коротком замыкании. Кривые адиабатического нагрева	103
4.6. Нагрев в повторно-кратковременном режиме. Условия существования и классы повторно-кратковременного режима.....	106
Выводы.....	109
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	109
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i>	110
<i>Рекомендуемая литература</i>	111
Глава 5. Электрические контакты	112
5.1. Понятие электрического контакта.....	112
5.2. Сопротивление электрического контакта. Понятие переходного сопротивления контакта	114
5.3. Влияние контактов на нагрев проводников	119
5.4. Сваривание контактов. Температура площадки касания электрических контактов.....	122
5.5. Контактные материалы.....	127
5.6. Практические задачи	129
Выводы.....	130
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	131
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i>	131
<i>Рекомендуемая литература</i>	132
Глава 6. Электродинамические усилия в электрических аппаратах	133
6.1. Понятие о силах взаимодействия проводников	133
6.2. Электродинамические силы при переменном токе	137
6.3. Электродинамическая стойкость	138
6.4. Практические задачи оценки электродинамической стойкости.....	139
Выводы.....	142
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i>	142
<i>Рекомендуемая литература</i>	143
Глава 7. Электромагниты.....	144
7.1. Электромагнитные приводы электрических аппаратов	144
7.2. Электромагниты в электромеханической системе электрического аппаратса.....	159
7.3. Электромагниты постоянного тока	167

7.4. Электромагниты переменного тока.....	183
7.5. Катушки электромагнитов	191
Выводы.....	194
Задачи для самостоятельного решения.....	195
Вопросы и задания для самоконтроля.....	196
Рекомендуемая литература	197
Глава 8. Электрическая дуга и процесс коммутации	198
8.1. Особенности процессов коммутации электрических цепей.....	198
8.2. Электрическая дуга, процесс горения и гашения. Плазма электрической дуги и процессы в ней	200
8.3. Способы гашения электрической дуги	215
8.4. Практические задачи	220
Выводы.....	222
Задача для самостоятельного решения.....	223
Вопросы и задания для самоконтроля.....	223
Рекомендуемая литература	224
Глава 9. Электрические аппараты высокого напряжения	225
9.1. Классификация электрических аппаратов высокого напряжения	225
9.2. Коммутационные аппараты высокого напряжения	228
9.3. Ограничивающие аппараты	238
9.4. Измерительные трансформаторы. Трансформаторы тока.....	243
Выводы.....	250
Вопросы и задания для самоконтроля.....	250
Рекомендуемая литература	251

Раздел II

ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Глава 10. Силовые электронные ключи	255
10.1. Основные виды и классификация ключей.....	255
10.2. Принцип действия и характеристики силовых полупроводниковых приборов.....	257
10.3. Периодическая коммутация и режимы работы ключей	276
10.4. Обеспечение безопасной работы силовых электронных ключей.....	283
10.5. Практические задачи.....	287
Выводы.....	304
Задачи для самостоятельного решения.....	304
Вопросы и задания для самоконтроля.....	305
Рекомендуемая литература	306

Глава 11. Пассивные компоненты и охладители силовых электронных приборов.....	307
11.1. Электромагнитные компоненты	308
11.2. Конденсаторы	318
11.3. Теплоотвод в силовых электронных приборах	323
11.4. Практическая задача	328
Выходы.....	329

<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	329
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i>	330
<i>Рекомендуемая литература</i>	330
Глава 12. Системы управления электронных аппаратов	332
12.1. Общие сведения и принципы управления	332
12.2. Интегральные микросхемы и формирователи импульсов управления.....	342
12.3. Датчики тока и напряжения	348
12.4. Микропроцессорные системы управления	352
Выводы.....	355
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i>	356
<i>Рекомендуемая литература</i>	356
Глава 13. Электронные коммутационные аппараты и регуляторы постоянного тока	357
13.1. Коммутационные аппараты постоянного тока	357
13.2. Регуляторы постоянного тока.....	377
13.3. Практические задачи.....	395
Выводы.....	399
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	399
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i>	400
<i>Рекомендуемая литература</i>	401
Глава 14. Электронные коммутационные аппараты и регуляторы переменного тока	402
14.1. Электронные и гибридные коммутационные аппараты	403
14.2. Регуляторы переменного тока с импульсной модуляцией.....	417
Выводы.....	427
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i>	427
<i>Рекомендуемая литература</i>	428
Глава 15. Электромагнитные управляемые аппараты.....	429
15.1. Общие сведения об электромагнитных статических аппаратах	429
15.2. Дроссели насыщения	430
15.3. Управляемые реакторы для электроэнергетики	435
Выводы.....	438
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i>	439
<i>Рекомендуемая литература</i>	439
Предметный указатель.....	440