

УДК 621.38  
ББК 32.973.26-108.2  
Р31

А

**Рег, Джеймс.**

Р31 Промышленная электроника / Рег Дж. ; пер. с англ. — 2-е изд., эл. — 1 файл pdf: 1138 с. — Москва : ДМК Пресс, 2023. — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-366-0

Предметом промышленной электроники является электроника, используемая при выполнении технологических процессов, необходимых для производства различных видов товаров и услуг.

В этой книге рассмотрены многие элементы электронных систем, причем акцент сделан на том, как эти элементы вписываются в промышленное применение. Учебник выстроен в соответствии с традиционными курсами промышленной электроники, существующими в технических университетах. В нем рассматриваются двигатели постоянного и переменного токов, вопросы дискретного и аналогового управления производственным процессом, ключи и датчики, а также системы управления и автоматизации производства. Кроме того, разделы, посвященные механотронике, в равной степени полезны и для изучающих курс механики, поскольку знакомят с концепциями электромеханики, использующимися в промышленных машинах и автоматике.

Издание предназначено студентам старших курсов радио- и электротехнических специальностей вузов, обучающихся по специальности «Промышленная электроника», инженерам, а также будет полезно всем читателям, интересующимся современной электроникой.

УДК 621.38  
ББК 32.973.26-108.2

**Электронное издание на основе печатного издания:** Промышленная электроника / Рег Дж. ; пер. с англ. — Москва : ДМК Пресс, 2016. — 1136 с. — ISBN 978-5-97060-218-8. — Текст : непосредственный.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-89818-366-0

© Pearson Education Inc.,  
© Издание, оформление ДМК Пресс, 2016

А

# Содержание

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ .....</b>	<b>12</b>
<b>ГЛАВА 1 ВВЕДЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННУЮ ЭЛЕКТРОНИКУ .....</b>	<b>19</b>
Цель главы .....	19
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	20
1.1 Введение .....	21
1.2 Краткая история развития промышленной электроники .....	22
1.3 Типы промышленного производства .....	25
1.4 Классификация устройств управляющей промышленной электроники .....	27
1.5 Пирамида и дерево технологий .....	29
1.6 Поиск и устранение неисправностей системы .....	33
1.7 Знания, необходимые для схемотехнического анализа .....	47
1.8 Веб-сайты для данного раздела .....	48
Резюме .....	48
Вопросы .....	50
Проблемы поиска неисправностей .....	51
Задачи .....	52
<b>ГЛАВА 2 ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ .....</b>	<b>54</b>
Цель главы .....	54
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	55
2.1 Введение в дискретное управление .....	56
2.2 Классификация переключателей по механическим и электрическим свойствам .....	56
2.3 Ручные переключатели для электронных схем .....	71
2.4 Механические переключатели электронных схем .....	78
2.5 Мощные ручные переключатели для промышленного управления .....	81
2.6 Переключатели для промышленного управления с механическим приводом .....	92
2.7 Переключатели, управляемые технологическим процессом .....	100
2.8 Дискретные выходные устройства — приводы .....	106
2.9 Реле .....	109
2.10 Контакторы .....	117
2.11 Клапаны .....	119
2.12 Нагреватели и сигнальные лампы .....	128
2.13 Схемы управления .....	129

2.14 Поиск неисправностей во входных и выходных устройствах .....	140
2.15 Веб-сайты производителей входных и выходных устройств .....	145
Краткий обзор главы 2 .....	146
Вопросы .....	149
Вопросы по справочным данным .....	151
Проблемы поиска неисправностей .....	152
Задачи .....	152

### ГЛАВА 3 ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ .....

Цель главы .....	155
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	156
3.1 Введение в твердотельные устройства .....	156
3.2 р-п переход и твердотельные устройства .....	158
3.3 Биполярный транзистор .....	166
3.4 Транзисторные ключи .....	172
3.5 Твердотельные реле .....	182
3.6 Цепи смещения транзисторных усилителей .....	185
3.7 Транзисторный усилитель с общим эмиттером .....	189
3.8 Транзисторный регулятор напряжения .....	194
3.9 Транзисторный инвертор .....	197
3.10 Транзисторные преобразователи постоянного напряжения .....	203
3.11 Диагностирование схем с биполярными транзисторами .....	211
3.12 Другие твердотельные устройства .....	212
3.13 Веб-сайты о твердотельных устройствах .....	221
Резюме .....	222
Вопросы .....	224
Вопросы по справочным данным .....	225
Задачи .....	226

### ГЛАВА 4 ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ И ЛИНЕЙНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ .....

Цель главы .....	229
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	230
4.1 Операционные усилители. Краткий исторический очерк .....	231
4.2 Введение в параметры операционных усилителей .....	232
4.3 Пояснение к справочным данным операционных усилителей .....	233
4.4 Инвертирующие усилители .....	240
4.5 Неинвертирующие усилители .....	245
4.6 Суммирующие усилители .....	247
4.7 Дифференциальные усилители .....	249

4.8 Преобразователи напряжения в ток .....	250
4.9 Преобразование тока в напряжение .....	251
4.10 Интеграторы и дифференциаторы .....	252
4.11 Компараторы и датчики окна .....	256
4.12 Схемы активных фильтров .....	262
4.13 Контрольно-измерительные усилители .....	274
4.14 Усилители разностных токов .....	278
4.15 Поиск неисправностей в устройствах на базе ОУ .....	287
4.16 Веб-сайты по операционным усилителям .....	289
Резюме .....	290
Вопросы .....	292
Вопросы по справочным листам .....	294
Задачи .....	294

## **ГЛАВА 5 ПРИБОРЫ ИЗ СЕМЕЙСТВА ТИРИСТОРОВ .....**

Цель главы .....	297
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	298
5.1 Введение в тиристоры .....	298
5.2 Кремниевые управляемые вентили .....	300
5.3 Устройства переключения тиристора .....	316
5.4 Применения тириستоров .....	327
5.5 Симисторы .....	330
5.6 Применения симисторов .....	343
5.7 Управляемые переключатели .....	346
5.8 Поиск неисправностей тириستоров .....	353
5.9 Веб-сайты о тиристорах .....	353
Резюме .....	354
Вопросы .....	355
Вопросы по справочным листам .....	357
Задачи .....	357

## **ГЛАВА 6 ДАТЧИКИ И УСТРОЙСТВА ДИСКРЕТНОЙ АВТОМАТИКИ .....**

Цели обучения .....	361
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	362
6.1 Введение в электронные датчики .....	363
6.2 Бесконтактные датчики приближения .....	366
6.3 Бесконтактные датчики фотоэлектрического типа .....	383
6.4 Интерфейсы выходного устройства датчика .....	409
6.5 Аналоговые датчики для систем автоматизации .....	413
6.6 Выбор и применение датчиков .....	417
6.7 Подключение датчиков к цепям питания и управления .....	429
6.8 Системы технического зрения .....	433

6.9 Поиск неисправностей при применении дискретных датчиков .....	445
6.10 Веб-сайты для дискретных датчиков автоматизации .....	449
Резюме .....	450
Вопросы .....	453
Вопросы по справочным данным .....	455
Проблемы поиска неисправностей .....	456
Задачи .....	457
<b>ГЛАВА 7 ДАТЧИКИ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АНАЛОГОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ</b> .....	461
Цель главы .....	461
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	462
7.1 Введение .....	463
7.2 Силовые приводы и выходные устройства .....	463
7.3 Управляющие клапаны .....	463
7.4 Электронагревательные элементы .....	472
7.5 Обзор датчиков, усилителей и преобразователей для систем управления .....	475
7.6 Датчики температуры .....	478
7.7 Датчики давления .....	489
7.8 Расходомеры .....	499
7.9 Датчики уровня .....	514
7.10 Датчики положения .....	525
7.11 Другие датчики процесса .....	529
7.12 Устройства управления процессом поиска неисправностей и датчики .....	531
7.13 Веб-сайты по устройствам управления процессом и датчиков .....	533
Резюме .....	534
Вопросы .....	538
Задачи .....	540
<b>ГЛАВА 8 БЕЗОПАСНОСТЬ</b> .....	543
Цель главы .....	543
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	543
8.1 Введение в технику безопасности .....	545
8.2 Требования техники безопасности .....	545
8.3 Безопасность обслуживающего персонала .....	547
8.4 Охрана труда на производственных участках .....	550
8.5 Датчики присутствия .....	551
8.6 Устройства электромеханической блокировки .....	557

8.7	Разработка стратегии обеспечения безопасности .....	565
8.8	Рекомендации при проектировании .....	573
8.9	Подсчет стоимости программы обеспечения безопасности .....	573
8.10	Веб-сайты по технике безопасности .....	574
	Резюме .....	575
	Вопросы .....	577
	Задачи .....	578

## ГЛАВА 9 ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ИХ СИСТЕМЫ

<b>УПРАВЛЕНИЯ</b> .....	581
Цель главы .....	581
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	582
9.1 Введение .....	583
9.2 Теория магнетизма .....	584
9.3 Возможности двигателя постоянного тока .....	587
9.4 Компоненты двигателя постоянного тока .....	590
9.5 Работа двигателей постоянного тока и их основные типы .....	595
9.6 Электродвигатели постоянного тока с последовательным возбуждением .....	597
9.7 Электродвигатели постоянного тока с параллельным возбуждением .....	607
9.8 Двигатели постоянного тока со смешанным возбуждением .....	615
9.9 Другие методы управления скоростью и направлением вращения .....	621
9.10 Тяговые двигатели постоянного тока .....	633
9.11 Методы торможения .....	635
9.12 Веб-сайты по двигателям постоянного тока и схемам управления .....	638
Резюме .....	640
Вопросы .....	641
Задачи .....	643

## ГЛАВА 10 ДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И ПРИВОДЫ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ

Цель главы .....	645
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	646
10.1 Введение .....	647
10.2 Основные принципы работы .....	647
10.3 Компоненты двигателя переменного тока .....	653
10.4 Однофазные асинхронные двигатели .....	661
10.5 Трехфазные двигатели переменного тока .....	669
10.6 Управление трехфазными двигателями .....	682

10.7	Расшифровка данных, приведенных в табличке на двигателе .....	689
10.8	Приводы двигателей переменного тока .....	694
10.8	Веб-сайты по двигателям переменного тока и приводам с регулированием скорости .....	699
	Резюме .....	700
	Вопросы .....	701
	Задачи .....	702
<b>ГЛАВА 11</b>	<b>СПЕЦИАЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ .....</b>	<b>705</b>
	Цель главы .....	705
	Применение знаний в профессиональной деятельности .....	706
11.1	Введение в .....	706
11.2	Двигатели постоянного тока с постоянными магнитами .....	707
11.3	Бесщеточные двигатели постоянного тока .....	714
11.4	Шаговые двигатели .....	719
11.5	Серводвигатели .....	731
11.6	Оптические кодеры .....	736
11.7	Резольверы .....	746
11.8	Сравнение двигателей специального назначения .....	750
11.9	Веб-сайты по двигателям специального назначения и устройствам управления ими .....	750
	Резюме .....	751
	Вопросы .....	753
	Задачи .....	754
<b>ГЛАВА 12</b>	<b>ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ .....</b>	<b>757</b>
	Цель главы .....	757
	Применение знаний в профессиональной деятельности .....	758
12.1	Введение .....	759
12.2	Системы ПЛК и ее компоненты .....	763
12.3	Типы ПЛК .....	770
12.4	Стандартные языки IEC 61131-3 .....	773
12.5	Язык лестничных схем (LD) по стандарту IEC 61131-3 .....	775
12.6	Традиционное программирование логических лестничных схем ...	780
12.7	Язык функциональных блок-схем .....	805
12.8	Язык структурированного текста (ST) .....	817
12.9	Последовательные функциональные диаграммы (SFC) .....	828
12.10	Веб-сайты о программируемых логических контроллерах .....	839
	Резюме .....	843
	Вопросы .....	846
	Вопросы по справочным данным .....	848
	Задачи .....	849

<b>ГЛАВА 13 ВСТРОЕННЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ .....</b>	<b>853</b>
Цель главы .....	853
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	853
13.1 Введение .....	854
13.2 Аппаратные средства микроконтроллеров .....	856
13.3 Справочные данные микроконтроллеров .....	858
13.4 Основы программирования микроконтроллеров .....	863
13.5 Применение встроенных микроконтроллеров .....	868
13.6 Веб-сайты с информацией о встроенных микроконтроллерах ....	871
Резюме .....	871
Вопросы .....	873
Задачи .....	875
 <b>ГЛАВА 14 УПРАВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫМИ ПРОЦЕССАМИ .....</b>	 <b>877</b>
Цель главы .....	877
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	878
14.1 Введение .....	879
14.2 Реакция системы .....	881
14.3 Разомкнутые и замкнутые системы управления .....	886
14.4 Показатели эффективности управляющих систем .....	903
14.5 Процессы с опережением и запаздыванием .....	921
14.6 Контроллеры позиционных регуляторов .....	931
14.7 Контроллеры непрерывного действия с одной петлей обратной связи .....	944
14.8 Цифровое управление .....	962
14.9 Режим ручного управления и безударное переключение .....	970
14.10 Контроллеры с нечетким управлением .....	970
14.11 Процесс настройки управляющих систем .....	978
14.12 Система обозначений и стандартных символов .....	989
14.13 Веб-сайты по управлению непрерывными процессами .....	997
Резюме .....	997
Вопросы .....	1001
Вопросы по справочным данным .....	1003
Задачи .....	1004
 <b>ГЛАВА 15 ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ .....</b>	 <b>1007</b>
Цель главы .....	1007
Применение знаний в профессиональной деятельности .....	1008
15.1 Введение .....	1008
15.2 Определение промышленных роботов .....	1009
15.3 Основная система робота .....	1017



15.4	Инструментальная оснастка .....	1025
15.5	Контроллер робота .....	1038
15.6	Обучающие станции .....	1044
15.7	Основы программирования роботов .....	1045
15.8	Программируемые сервороботы .....	1052
15.9	Синтаксис языка программирования сервороботов .....	1055
15.10	Программирование разомкнутых робототехнических систем .....	1062
15.11	Безопасность робота .....	1066
15.12	Диагностирование робототехнических систем .....	1069
15.13	Веб-сайты о промышленных роботах .....	1071
	Резюме .....	1072
	Вопросы .....	1075
	Вопросы по справочным данным .....	1076
	Проблемы безопасности .....	1077
	Задачи .....	1077

## **ГЛАВА 16 ОБМЕН ДАННЫМИ МЕЖДУ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ**

	Цель главы .....	1081
	Применение знаний в профессиональной деятельности .....	1082
16.1	Введение .....	1083
16.2	Классификация сетевых сред передачи данных .....	1088
16.3	Сети предприятий .....	1098
16.4	Сеть предприятия .....	1102
16.5	Сети Fieldbus .....	1111
16.6	Поиск сетевых неисправностей .....	1114
16.7	Веб-сайты о сетях передачи данных .....	1119
	Резюме .....	1119
	Вопросы .....	1121
	Задачи .....	1122

<b>ГЛОССАРИЙ</b> .....	1123
------------------------	------