



# Содержание

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	12
<b>ГЛАВА 1 ВВЕДЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННУЮ ЭЛЕКТРОНИКУ</b> .....	19
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> .....	54
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 Контактторы .....	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
<b>ГЛАВА 3 ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ .....</b>	<b>155</b>
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
<b>ГЛАВА 4 ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ И ЛИНЕЙНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ .....</b>	<b>229</b>
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
<b>ГЛАВА 5 ПРИБОРЫ ИЗ СЕМЕЙСТВА ТИРИСТОРОВ .....</b>	<b>297</b>
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 тиристоров .....	327
5.5 Симисторы .....	330
5.6 Применения симисторов .....	343
5.7 Управляемые переключатели .....	346
5.8 Поиск неисправностей тиристоров .....	353
5.9 Веб-сайты о тиристорах .....	353
Резюме .....	354
Вопросы .....	355
Вопросы по справочным листам .....	357
Задачи .....	357
<b>ГЛАВА 6 ДАТЧИКИ И УСТРОЙСТВА ДИСКРЕТНОЙ АВТОМАТИКИ .....</b>	<b>361</b>
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> .....	<b>461</b>
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> .....	<b>543</b>
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
<b>ГЛАВА 9 ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ИХ СИСТЕМЫ</b>		
	<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
<b>ГЛАВА 10 ДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И ПРИВОДЫ</b>		
	<b>С РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ</b> .....	645
	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> .....	853
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> .....	877
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> .....	1007
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
<b>ГЛАВА 16</b>	<b>ОБМЕН ДАННЫМИ МЕЖДУ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ</b> .....	<b>1081</b>
	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> .....		<b>1123</b>

*Посвящается моему лучшему другу и любимой жене Мерси  
и моим внукам — Исааку, Саманте, Амелии, Джейсон и Катерине*

Джеймс Рег

*Посвящается моей любимой жене Розанне  
и памяти моих родителей, Джона и Анны,  
которые привили мне любовь к писательскому творчеству*

Гленн Сартори

# Предисловие

## ВВЕДЕНИЕ

Предметом промышленной электроники является электроника, используемая в промышленности, чтобы выполнять множество технологических процессов, необходимых при производстве всех видов товаров и услуг. Чем такая электроника отличается от электроники других типов, используемой в технике и технологии? Электроника, применяемая в промышленности, использует концепции, рассматриваемые в разнообразных электрических и электронных курсах, от цепей постоянного тока до систем управления. В этом учебнике рассмотрена совокупность многих элементов электроники, причем акцент сделан на том, как эти элементы вписываются в промышленные применения. В результате, учебник выстроен в соответствии с традиционными курсами промышленной электроники, существующими во многих двух- и четырехлетних программах обучения электротехнике в технологических университетах. В учебнике также 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 *мехатронике*, в равной степени полезны и для курсов механики, поскольку они знакомят с концепциями электромеханики, используемыми в промышленных машинах и автоматике.

## ЧТО ДАЕТ УЧЕБНИК СТУДЕНТАМ

Поскольку технологические установки являются сложными системами с высокой степенью автоматизации, для работы в сфере автоматизации производства требуется большое число дипломированных специалистов: инженеров и технологов. Студенты, которые будут иметь дело с производственными системами в промышленности должны понимать теорию и принципы работы электронной техники. Наша главная цель состояла в том, чтобы создать ясный и всесторонний учебник для изучения промышленной электроники и систем управления. Материал изложен в логическом порядке, концепции должны быть понятны для неподготовленного читателя и в учебнике мы старались полностью осветить все области знаний, необходимые студентам. Многие авторы используют для описания незнакомые студентам термины, без пред-

варительного их определения. В настоящем учебнике незнакомые термины и технические выражения определяются при первом их упоминании.

Каждая глава начинается разделом с названием «Применение знаний в профессии», в котором рассказывается, как рассматриваемая информация может использоваться при работе в промышленности. В этом разделе описываются также виды задач или области профессиональной деятельности, которыми могут заняться студенты, если материал, изложенный в главе, покажется им интересным и захватывающим. В материал включены также многочисленные рисунки и примеры решения задач, помогающие разъяснить представленные концепции. Чтобы сделать обучение более наглядным и представить необходимые примеры, используются также многочисленные ресурсы, имеющиеся в сети Интернет. Вопросы и задачи в конце каждой главы основаны на реальных ситуациях, встречающихся в промышленной практике. Учебник создан для студентов технологических университетов с двух- и четырехлетними курсами обучения технологии. При изучении этого курса промышленной электроники считается, что читатель имеет твердые знания в области схем постоянного и переменного тока, а также уверенно владеет математическим аппаратом алгебры и тригонометрии. Следовательно, текст может использоваться уже в третьем, либо в четвертом семестре, поскольку вся теория полупроводниковых устройств включена в первые главы учебника. Текст может также использоваться в двух- и четырехлетних программах подготовки инженеров-механиков с акцентом на разделах, посвященных мехатронике.

## СТРУКТУРА УЧЕБНИКА

Главы данного учебника имеют одинаковую структуру, общими чертами для которой являются следующие:

- В начале каждой главы приводятся цели обучения.
- Затем следует раздел «Применение знаний в профессии», в котором рассказывается, как рассматриваемые концепции используются в различных задачах и в областях деятельности, которые студенты могут выбрать на основе рассмотренной в данной главе области технологии.
- Широта круга рассматриваемых разделов промышленной электроники, равна или превышает объемы, покрываемые имеющимися в продаже учебниками.
- Применяется метод пирамиды обучения — от развития основных концепций электроники и устройств в первых главах до промышленных машин и систем в последующих. Такое построение глав обеспечивает логическую последовательность изложения материала.
- Включены главы, описывающие работу и методы программирования программируемых логических контроллеров с полным рассмотрением новых языков программирования стандарта IEC 61131.

- В большинстве глав приведены концепции поиска неисправностей, касающиеся материалов данной главы
- В каждой главе рассматриваются примеры решения задач и приводятся поясняющие материал рисунки.
- Основные концепции и краткое содержание, приведенные в каждой главе помогают лучшему пониманию и запоминанию материала.
- В конце главы приводятся вопросы и задачи практического плана, представляющие собой короткие эссе; вопросы, требующие поиска материалов в Интернет, проблемы поиска неисправностей и расчетные задачи различных уровней трудности.
- В каждой главе приведены полезные ресурсы Интернета и адреса сети.
- Согласованное введение и рассмотрение материалов позволяет следовать при обучении принятой в книге последовательности глав; однако, автономный характер разделов каждой главы позволяет преподавателям корректировать последовательность глав, чтобы приспособить ее к собственной программе обучения.
- Глоссарий облегчает ознакомление с терминами, используемыми в книге.

## СОДЕРЖАНИЕ ГЛАВ

**Глава 1** содержит введение в предмет промышленной электроники и рассматривает краткую историю промышленной электроники. Определены термины «промышленная электроника», и классифицируются различные применения. Понятия представлены в виде *пирамиды обучения* так, чтобы студенты могли понять какие базовые знания необходимы для освоения каждой последующей области. Представлено также дерево технологий, чтобы студенты могли выявить связи между многочисленными ветвями промышленной электроники. Представлена также структура процесса поиска неисправностей в любой электронной системе, с рассмотрением методов, которые обеспечивают компетентный и эффективный процесс поиска неисправностей.

**Глава 2** представляет устройства самого низкого уровня, используемые в промышленном управлении, а именно переключатели, приводы и индикаторы. Переключатели классифицированы областям промышленного использования и по типу приведения в действие: ручному, механическому или с помощью слежения за параметрами производственного процесса. Всестороннее рассмотрены клапаны и сигнальные лампы. Кроме того, описываются управляющие реле, реле времени, пускатели для двигателей, стандартные схемы управления, включая двух- и трехпроводные схемы управления. Рассматриваются также релейные логические лестничные схемы с точки зрения их работы и достаточно сложного процесса разработки. Кроме того описываются коммутационные устройства, как бытовые, так и промышленные, которые традиционно занимают большой объем в любом курсе промышленной электроники .

**Глава 3** посвящена полупроводниковым устройствам, используемым в промышленном управлении, включая некоторые типы диодов, биполярных и полевых транзисторов и тиристоров. В дополнение к исследованию работы устройств, описаны и проанализированы многочисленные стандартные схемы, в которых эти устройства используются. Примерами здесь являются бесконтактные реле, схемы смещения усилителей, стабилизаторы напряжения, инверторы и ряд типов преобразователей постоянного напряжения в постоянное (конвертеров).

**В главе 4** всестороннее рассматриваются операционные усилители, обычно используемые в системах промышленного электронного управления. После краткой истории развития этой области, рассмотрены все принципиальные схемы (инвертирующие и неинвертирующие усилители, повторитель напряжения, суммирующий усилитель, дифференциальный усилитель, компараторы и оконные детекторы, активные фильтры, измерительные усилители, и усилители разности токов), а также многочисленные применения этих схем. Глава заканчивается с поиском неисправностей в устройствах и схемах на их основе.

**Глава 5** обеспечивает законченный краткий обзор ключевых полупроводниковых устройств, включая кремневые управляемые вентили (КУВ), симисторы и четыре других устройства тиристорного типа (диод Шокли — динистор, двунаправленный динистор — диак и два типа однопереходных транзисторов). Рассматривается работа и характеристики каждого устройства, включая описание его работы устройства в типовых схемах. Глава заканчивается обширным разделом поиска неисправностей, помогающим студентам освоить эффективную методику их поиска и устранения.

**Глава 6** обеспечивает всестороннее рассмотрение бесконтактных дискретных датчиков и устройств автоматизации. Описываются три главные категории — датчики приближения, фотоэлектрические датчики и системы технического зрения, с подкатегориями в каждой из этих областей. Рассмотрены как индуктивные, так и емкостные датчики приближения, четыре типа фотоэлектрических датчиков (с проходящим, отраженным и отраженным поляризованным лучом и с диффузным отражением). Описаны работа, параметры, и типичные применения для каждого датчика. Приводятся условные обозначения, используемые в промышленности для каждого устройства. Датчики разделены на контактные и бесконтактные, а затем для каждой группы описаны работа и критерии выбора датчиков. Кроме того, обсуждаются общие методы интерфейса между датчиками и промышленными контроллерами, также как и монтаж датчиков и схем управления. Исследованы два типа аналоговых датчиков расстояния, наряду с системами системы технического зрения и требованиями к освещению в этих системах. Глава 6 заканчивается поиском неисправностей в датчиках и системах на их основе.

**В главе 7** описываются аналоговые датчики и устройства управления процессом. Они предназначены для контроля и управления главными параметрами процесса, такими как температура, перемещения, давление, поток и уровень. Кроме того, в главе рассмотрены типичные выходные устройства, такие как нагревательные элементы и клапаны управления. Обсуждаются датчики и цепи передачи их сигналов,

различные типы сигналов управления, согласование и масштабирование сигналов и их калибровка. Другие датчики рассмотренные в этой главе: датчики позиции, плотности, вязкости и влажности. Конец главы посвящен поиску неисправностей в аналоговых датчиках и системах на их основе.

**Глава 8** посвящена всестороннему обсуждению проблем и стандартов безопасности, рабочим участкам с защитой персонала, использующим датчики присутствия, наряду с запорными устройствами. Освещены также вопросы разработки стратегии безопасности, проектирования систем безопасности и утверждения плана безопасности.

**Глава 9** это первая из трех глав посвященных электродвигателям. Она касается двигателей постоянного тока и системы управления ими и представляет магнитную теорию и таким понятиям для двигателей постоянного тока, как вращающему моменту, работа и мощность (в лошадиных силах). Описаны компоненты и следующие типы двигателей постоянного тока: с последовательным, параллельным и смешанным возбуждением и тяговые двигатели. Полностью рассмотрены работа, характеристики, средства управления скоростью и направлением вращения, установка и поиск неисправностей для каждого типа двигателей. В заключение описаны методы торможения.

**Глава 10** посвящена двигателям переменного тока и приводам с регулировкой скорости, а также компонентам и конструкции двигателей. Обсуждаются однофазные индукционные (с резистивным и емкостным запуском плюс неявно выраженный полюс) и трехфазные (с «беличьей клеткой», фазный ротором и синхронный) двигатели переменного тока. Напряжение, скорость и управление направлением вращения (порядком чередования фаз) трехфазных двигателей, наряду с расчетом типоразмеров пускателя для двигателя и чтением табличек на его корпусе. Рассматривается переменное напряжение, ШИМ, вектор потока и программируемые приводы двигателей.

**Глава 11** описывает двигатели специального назначения и устройства управления, используемые в промышленности, включая постоянные магниты и бесщеточные двигатели постоянного тока, шаговые двигатели, и сервомотора постоянного и переменного тока. Приводятся рабочие характеристики для каждого типа двигателей, наряду с характеристиками, которые делают двигатель уникальным. Глава заканчивается изучением кодеров и решающих устройств. Они используются в датчики обратной связи, чтобы передать данные о скорости и направлении вращения (циклическом сдвиге) обратно в систему управления.

**Глава 12** предлагает всестороннее обсуждение нового программируемого логического контроллера (PLC, ПЛК), соответствующего стандарту IEC 61131 и пяти языков, упомянутых в стандарте. Сравнивается стандарт на лестничные схемы с современными лестничными схемами программируемой логики, применяемыми в Соединенных Штатах. Для студентов, пока не знакомых с классом устройств ПЛК, рассказывается об основах программирования лестничных схем. Глава заканчивается всесторонним описанием ПЛК и методов программирования, связанных с языками функциональных блок-схем, структурированного текста и последовательных функциональных диаграмм (Sequential Function Chart – SFC), представляющими собой

новые языки описания алгоритмов. Перечень команд пятого языка, который не получил пока широкого распространения, приведен в сокращенном виде.

**В главе 13** рассказывается о встроенных микроконтроллерах. Сначала представлены такие функциональные блоки аппаратных средств устройства, как центральный процессор, память, схем ввода-вывода, логического управления, шины данных и управления. Потом рассматриваются вопросы программирования контроллера и методика работы с важной информацией, заключенной в справочных данных, а в конце главы обсуждаются применения микроконтроллера.

**В главе 14** описываются методы реализации обратной связи, включая характеристики процесса, типы контроллеров и управления, PID-регуляторы и методы настройки. Управление процессом описывается нематематическим способом, легко понятным каждому студенту. Математический аппарат и детальное рассмотрение используются только тогда, когда они совершенно необходимы для ясного изложения, при этом пояснения хорошо документированы. В конце главы обсуждаются методы настройки PID-регуляторов и логических контроллеров с нечеткой логикой.

**Глава 15** посвящена роботам и автоматизированным производственным участкам, на которых используются роботы, включая механизмы захвата, используемые для транспортировки деталей; расчет подъемной силы механизма захвата; контроллер сервомотора робота с обратной связью; и пневматические роботизированные устройства с разомкнутой обратной связью. Роботы исследуются с точки зрения конфигурации руки и используемых методов управления рабочей ячейкой: путем программирования или обучения. Процесс программирования освещен достаточно подробно, чтобы студенты смогли разработать проекты программ для роботов с сервомоторами и без них. В конце главы представлена система поиска неисправностей робота.

**В главе 16** описывается передача данных между интеллектуальными машинами. Представляется описание архитектуры сети предприятия и классификация сетевых средств связи. Поскольку этот учебник относится к промышленной электронике, оставшаяся часть главы посвящена цеховым сетям. Разделы включают цеховые сети типа Ethernet, ControlNet, DeviceNet, а также программы управления участками SERCOS, Profibus и FOUNDATION Fieldbus. Глава заканчивается рядом рекомендаций по поиску неисправностей в сетях.

Руководство для преподавателя имеет ответы и решения для вопросов и задач, помещенных в конце каждой главы, что облегчает использование учебника для многочисленных вариантов построения курса, и, кроме того, обширный банк задач.

Мы хотели бы поблагодарить следующих профессоров, которые просмотрели учебник и дали рекомендации по расстановке необходимых акцентов и изменениям:

Профессора Джона Андерсона	Университет Пурду
Профессора Али Ансари	Вирджиния Стате университети
Профессора Джеймса Финн	Колледж графства Миддлсекса
Профессора Джана Лугоуски	Университет Пурду



---

Профессора Дэн Лукаду	Новый Речной Семейства колледж
Профессора Билла Максвелла	Колледж Семейства Нашвилл Счета
Профессора Ченгганга Меи	Юго-восток Государственный университет Миссури
Профессор Дейва Сецера	Колледж Семейства графства Джонсона
Профессор Джеффри Е. Шорт, Р.Е.	Юго-западный Государственный университет Штата Оклахома
Профессор Ллойд Сталлкамп	Государственный университет штата Монтана-северный
Профессор Джозеф П. Срода, Р.Е.	Середина Состояния Технический колледж
Профессор ТайКван Янг	Центральный Вашингтонский университет

Кроме того, мы высоко оцениваем всеобщую поддержку многочисленных изготовителей компонентов, которые предоставили нам иллюстрации и изображения промышленных электронных систем и компонентов и сделали свои богатые информацией вебсайты доступными для наших студентов. Благодарим Эрика Блэка за его обзор и рецензию на содержание части, посвященной управлению процессом. Мы также благодарим студентов, которые обеспечили превосходную обратную связь по материалам учебника, проверенным в классах колледжа и в многочисленных учреждениях. В заключение, мы благодарим Чарльза Стюарта, Майду Боско, Элизабет Фаррелл и Алекса Волфа из Prentice Hall и Kelly Mulligan из Carlisle Publishers Services за их поддержку в создании этого учебника.

Джеймс А (james@rehg.org)  
Glenn J. Sartori (rg492@ sbcglobal.net)

---

# Введение

## в промышленную электронику

### Цель главы

*В главе 1 дан краткий обзор всех задач предмета промышленной электроники и общая теория поиска неисправностей, а также набор методов, используемых при поиске места неисправности в технологических установках и системах.*

После изучения материала этой главы вы сможете:

1. Описать главные изобретения и события за последние 200 лет, вызвавшие переход от ручного производства к автоматизированным средам, используемым в настоящее время.
2. Описать типы производственных систем, с которыми может быть связана работа инженеров и техников, работающих в области промышленной электроники и теории управления электронными системами.
3. Перечислить главные группы машин и систем, которые являются традиционными компонентами в автоматизированном производстве.
4. Использовать пирамиду технологии, чтобы составить план своей подготовки к практической работе в области промышленной электроники и автоматизации производства.
5. Перечислить, какими качествами должен обладать умелый наладчик, и рассказать об обычных заблуждениях, касающихся поиска неисправностей.
6. Создать блок-схему технологической системы.
7. Использовать блок-схему системы совместно с правилами потока сигнала и правилами заключения в скобки и информационной воронки, чтобы определить неисправный компонент или модуль, являющийся причиной неправильной работы системы.
8. Описать последовательность поиска неисправностей в системах.

9. Описать процесс идентификации проблемы множественных дефектов со связанными или несвязанными признаками.
10. Проверить на примерах схемных задач свое знание основных законов схемотехники и теорем, необходимых для понимания концепций, изложенных в тексте.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Каждая глава нашего учебника открывается разделом, в котором описываются профессиональные задачи, возникающие в связи с материалом, излагаемым в данной главе. Решение этих задач составляет предмет профессиональной деятельности различных специалистов, работающих в области промышленной электроники, и может определить вашу собственную карьеру в той или иной компании, работающей в данной области. В учебнике обсуждаются все специальности, встречающиеся в области промышленной электроники и автоматизации производства. В данном разделе будет рассказано, как вы могли бы выбрать себе специальность внутри этой широкой группы. Твердые знания в выбранной вами области техники или технологии вместе с информацией, изложенной в каждом из разделов нашего учебника, помогут вам занять высокое и прочное положение в соответствующих областях профессиональной деятельности. Например, вы сможете работать в сфере автоматизированного производства или в области проектирования технологических систем, в области анализа, проверки и поиска неисправностей; устанавливать и обслуживать технологические системы у заказчика или заниматься маркетингом и техническими продажами.

Вы могли бы стать специалистом по отдельным компонентам, например датчикам, или в области систем автоматизации в целом, освоить работу продавца, который компонует и устанавливает технологическую систему на площадях заказчика, проверяет ее и обучает правилам эксплуатации технический персонал фирмы-заказчика.

В каком бы государстве вы ни жили, к какой бы нации ни принадлежали, почти всегда рядом с вашим домом найдется промышленное производство, и, обладая нужной специальностью, вы сможете найти работу почти везде, где пожелаете. Промышленная электроника открывает вам путь к решению захватывающих проблем и разнообразной полезной деятельности на протяжении всей вашей жизни. Этот раздел даст вам обзор некоторых специальностей, связанных с промышленной электроникой.

Вот пример специфической задачи, которая может быть вам поручена, — введение в строй и техническая поддержка системы управления технологическим процессом, недавно установленной у заказчика. Предположим, что вы молодой специалист, работающий инженером по продаже техники в отделе Ваупп фирмы Emerson, представляющем изделия для управления процессом.

Как дипломированный специалист, только начинающий карьеру инженера по техническим продажам, вы пройдете программу обучения на производственной линии, выпускающей изделия, разработанные подразделением Ваупп и другими отделами фирмы Emerson.

Время обучения зависит от характера изделий, которые вы будете поддерживать, и размера компании, и может длиться от месяца до года. В ходе обучения вы получите возможность совместно с опытными инженерами по продаже техники ездить в командировки на фирмы-заказчики. Вы увидите, как инженеры анализируют потребности компании-заказчика в автоматизированных системах и затем создают план, позволяющий удовлетворить эту потребность с помощью аппаратных средств и программного обеспечения, имеющихся в распоряжении вашей фирмы.

Ваше первое поручение от Ваппа может заключаться, например, в том, чтобы обеспечить техническую поддержку выпуска продукции на предприятии, где была недавно установлена распределительная система управления (DCS) фирмы Emerson с программным обеспечением Дельта V. Ваша задача будет заключаться в том, чтобы в процессе работы помогать инженерам данного предприятия, если при эксплуатации аппаратных средств или программ они столкнутся с проблемами, которые не смогут решить. В начале эксплуатации системы вы можете по целой неделе в месяц тратить на решение возникающих проблем непосредственно на объекте, но потом значительную часть консультаций будете проводить уже по телефону.

Если же возникнет проблема, которую вы будете не в состоянии решить самостоятельно, вы сможете обратиться за помощью к опытным инженерам из Emerson, которые поедут вместе с вами к заказчику. Это — поистине увлекательная деятельность, которая позволит вам сделать блестящую карьеру, поскольку вы будете иметь возможность решать самые разнообразные проблемы управления во многих отраслях промышленности.

## 1.1. ВВЕДЕНИЕ

Как ясно из заголовка, этот учебник описывает электронные устройства, схемы и системы, которые управляют промышленным производством. Термин промышленный имеет широкое значение. Каждый продукт, предлагаемый потребителям, производится определенной областью промышленности, название которой соответствует товару. Например, продовольствие производится пищевой промышленностью; автомобили, фургоны и грузовики — автомобильной промышленностью; одежда — швейной промышленностью, а крупные бытовые приборы и мебель — промышленностью товаров длительного пользования. В каждой из этих отраслей производства используются технологические установки и системы. Хотя изделия, производимые в различных отраслях, существенно различаются, электронные устройства, схемы и системы, используемые для управления различными технологическими установками, зачастую очень похожи. Поэтому было бы неразумно писать учебник или создавать учебный курс для каждой из возможных технологических установок, используемых в промышленности. Целесообразнее изучить основные концепции и технологии, применяемые при создании таких установок. Именно это вы и можете сделать на базе данного учебника и соответствующего курса. Приведенная далее краткая хронология разработок в промышленной электронике даст вам представление об исторической перспективе развития этой области техники.

## 1.2. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

История промышленной электроники — это история промышленного развития. Начиная с разработки первой машины, люди пытались уменьшить бремя физических нагрузок рабочего, используя энергию разнообразных машин. Уже тысячи лет назад при пахоте использовались животные, при этом физические усилия частично заменялись управлением. Эволюционное развитие привело в середине 18 века к промышленной революции в Англии, когда для вращения и привода машин вместо энергии воды стала использоваться энергия паровых двигателей. Изменение произошло именно в 18 веке, поскольку к этому времени повышение производительности труда стало настоятельной потребностью.

Мировыми лидерами часто являются страны с высокими производственными возможностями. Благодаря изобилию своих природных ресурсов и постоянному появлению новых изобретений, Соединенные Штаты в середине 19 в. сменили Англию в качестве государства, лидирующего в промышленном производстве, и до настоящего времени остаются наиболее мощным производителем. В начале двадцатого столетия изобретение электродвигателей способствовало электрификации производства, которая привела к замене энергии пара и воды электроэнергией и вывела производительность труда на следующий уровень. Фабрики выросли в размерах, стали возможны более жесткие технологические допуски при изготовлении продукции, а применение сборочного конвейера для массового производства еще более увеличило производительность труда.

Ручная обработка была заменена машинной, рабочие стали иметь все меньше прямых контактов с производимыми товарами, и точность машины заменила умение мастера.

### 1.2.1. Управление с обратной связью

Управление с обратной связью — процесс, в котором технологическая установка автоматически измеряет параметры выходящей продукции и вносит исправления в процесс при неправильной работе, — было разработано после Первой мировой войны и усовершенствовано в ходе Второй мировой войны. Формирование технологии управления с обратной связью, разработанной для производства вооружений Второй мировой войны, привело к появлению нового термина — *промышленное управление*. Промышленное управление определило производственную систему, которая автоматически контролирует производство и совершает соответствующие корректирующие действия, если производственная система отклоняется от требуемых параметров. В следующем разделе приводится хронология значительных изобретений и событий в развитии производства от ручного труда до полностью автоматизированных промышленных систем.

## 1.2.2. Значительные события

Рассмотрим хронологию главных событий и изобретений, которые позволили промышленности перейти от ручного труда и управляемых вручную машин к полностью автоматизированным промышленным системам, используемым сегодня во всем мире. Этот перечень вкратце ознакомит вас с историей развития современной технологии, которая коренным образом изменила производство, что привело, в частности, и к созданию этой книги, рассказывающей о промышленной электронике.

- 1801 — Джозеф Жаккард (Joseph Jacquard) изобретает текстильную машину, которая управляется перфорированными картами.
- 1834 — Чарльз Баббаг (Charles Babbage) изобретает цифровую машину, которая позже становится механическим компьютером.
- 1890 — Никола Тесла (Nicola Tesla) демонстрирует дистанционное управление кораблем с использованием электронного управления.
- 1892 — В Соединенных Штатах Сeward Баббит (Seward Babbitt) разрабатывает моторизованный подъемный кран с механизмом захвата для удаления слитков из печи.
- 1904 — Сэр Джон Флеминг (John Fleming) демонстрирует вакуумный диод для преобразования переменного тока в постоянный.
- 1907 — Ли де Форест (Lee de Forest) изобретает вакуумный триод — усилительную электронную лампу.
- 1919 — За шестьдесят лет, с 1869 года, объем промышленного производства увеличился в тридцать три раза при увеличении человеческих трудовых ресурсов только в семь раз. Рабочих заменили промышленные машины.
- 1927 — В Калифорнии построен первый автоматически управляемый нефтепровод с электроприводом.
- 1928 — Электронные лампы используются для управления двигателями постоянного тока.
- 1930 — Компания A.O. Smith Electrical Products Company запускает первое полностью автоматизированное производство автомобильных рам, выпускающее одну раму каждые шесть секунд.
- 1938 — Уолтер Шоттки (Walter Schottky), уроженец Германии, изобретает полупроводниковый диод.
- 1941 — Появляется первый промышленный двигатель переменного тока с регулируемой скоростью вращения.
- 1945 — Разработан первый компьютер, получивший имя ENIAC.
- 1947 — Американские ученые Уильям Шокли (William Shockley), Уолтер Браттаин (Walter Brattain) и Джон Бардин (John Bardeen) изобретают транзистор.
- 1948 — Норберт Винер (Norbert Wiener), профессор Массачусетского Технологического Института (MIT), выпускает книгу «Кибернетика».
- 1954 — Джордж К. Девол (George C. Devol) разрабатывает первый программируемый робот и вводит термин *универсальная автоматизация*; Чепмен (Chapman),

- Фуллер (Fuller) и Пирсон (Pearson) из лабораторий Бэлла разрабатывают кремниевую фотогальваническую ячейку (фотоэлемент).
- 1956 — Джордж К. Девол и Джозеф Ф. Енгелбергер (Joseph F. Engelberger) создают первый действующий промышленный робот под названием Unimation.
- 1957 — Появляется первый промышленный полупроводниковый привод двигателя с регулируемой частотой вращения.
- 1958 — Керни (Keagney) и Трекер (Trecker) представляют станок, управляемый встроенным компьютером.
- 1960 — Разработаны лазеры для связи и для обработки материалов.
- 1961 — Первый робот Unimate используется для выгрузки кристаллов из установки для резки.
- 1968 — Отделением Oldmobile фирмы «Дженерал моторс» разработан программируемый логический контроллер.
- 1969 — Фирма Molins Machine в Англии применяет компьютеры для управления производственными процессами.
- 1970 — Фирма Franz Morat предлагает первую полностью автоматическую промышленную вязальную машину, управляемую компьютером.
- 1971 — Тэд Хофф (Ted Hoff) из компании Intel изобретает первый микропроцессор.
- 1973 — Ричард Хон (Richard Hohn) из Cincinnati Milacron Corporation изобретает первый коммерческий, управляемый компьютером промышленный робот, названный инструментом будущего (The Tomtomogow Tool — ТЗ).
- 1977 — ASEA Brown Boveri Robotics (ABB) Inc., европейская компания по производству роботов, предложила два типа промышленных роботов с микроконтроллерным управлением.
- 1978 — Компания Apple представляет Apple II, первый домашний микрокомпьютер для широкого использования.
- 1980 — В Японии, США и Великобритании вводится понятие автоматизированного интегрированного производства (СІМ)
- 1984 — Корпорация Adept представляет руку робота с непосредственным приводом.
- 1994 — Компания Intel представляет 64-разрядный микропроцессор.
- 1998 — Программируемые логические контроллеры tag-based начинают приспосабливаться для промышленного применения.
- 2000 — Сети устройств, подобные DevicNet, ControlNet, Foundation Field bus, Profibus и Ethernet/IP, широко применяются на производстве.
- 2001 — Все более широкое применение в автоматизации находят беспроводные сети.

Обзор почти 200-летней истории изобретений, открытий и разработок позволяет прийти к следующим важным выводам:

- промышленное управление развивается уже не одну сотню лет;
- достичь современного уровня развития промышленного управления и автоматизации можно было только на основе изобретений и разработок в области электроники и компьютерной техники;

- потребность в инженерах и техниках, обладающих знаниями в области промышленной электроники, существует уже в течение более чем пятидесяти лет и будет существовать в обозримом будущем.

Это развитие и рост промышленного управления привели к разработке широкого спектра производственных систем. В следующем разделе описываются различные производственные системы, для которых необходимо промышленное управление различных типов.

## 1.3. ТИПЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Когда вся производственная деятельность ограничивалась надомным трудом ремесленников, не существовало большого разнообразия в методах производства. В настоящее же время производство имеет много различных форм, которые могут быть объединены в пять групп: проектное, цеховое, серийное, на производственных линиях и непрерывное. При изучении промышленного управления полезно различать эти пять типов, потому что некоторые промышленные методы управления наиболее часто используются лишь для определенных групп производства. Например, роботы используются в серийном производстве с тяжелыми условиями труда и на производственных линиях, но вы почти никогда не найдете их в проектных производствах. Таким образом, понимание особенностей производственных систем позволяет разработать основные концепции использования промышленной электроники и промышленных средств управления.

### 1.3.1. Классификация производственных систем

Невозможно избежать совместного применения различных типов производства (проектное, цеховое, повторное, на линиях и непрерывное), и большинство компаний используют одновременно несколько типов производственных систем. Необходимо детальное изучение производственных операций, чтобы отнести производственную систему к одному из рассматриваемых типов. Приведенные далее описания каждой группы содержат основные характеристики, которые отличают одну группу от другой.

**Проектное производство** — изделия в этой категории сложны, имеют много частей, и наиболее часто это производство изделий одного типа. Например, проектные производственные системы используются, чтобы строить маслоочистительные заводы, большие офисные здания, круизные суда и большие самолеты. Производство и сборочные работы связаны с большой долей ручного труда, хотя машины используются при изготовлении компонентов проекта. Из-за размера и веса таких крупных изделий, как самолет или корабль, оборудование и компоненты перемещаются в помещенные сборки, а изделие остается на месте до окончания производства.

**Цеховое производство** — несложные изделия с немногими частями и небольшим объемом производства изготавливаются в цехах. По сравнению с компонентами



проектного производства, размер и вес деталей в цеховом производстве очень мал. Поэтому компоненты перемещаются между фиксированными промышленными рабочими участками и машинами для обработки материала. При производстве компонентов используется комбинация ручного труда и автоматизированной машинной обработки. В большинстве случаев низкий объем выпуска изделий не позволяет использовать промышленную автоматизацию и требует значительной доли ручного труда. Пример типичной цеховой работы — производство подшипников нестандартного размера для насосов.

**Серийное производство** — серийная производственная система имеет следующие характеристики: заказы на повторное изготовление приближаются к 100 процентам, многолетние контракты на изделия здесь обычны, а объем производства хотя и изменяется в относительно широких пределах, но остается обычно достаточно высоким. Поскольку заказы на изделия предсказуемы и распространяются на длительные периоды времени, в группе серийного производства часто используются автоматизированные процессы и специализированные приемы автоматизации. Некоторая доля ручного труда присутствует, но она обычно намного меньше, чем автоматизированная составляющая. Примеры изделий для этого типа производственной системы — такие детали для автомобильной промышленности, как водяные насосы, генераторы переменного тока и трансмиссии.

**Линии** — производственные линии имеют ряд отличительных характеристик: (1) требуемое время поставки заказчику часто короче, чем общее время производства изделия, (2) изделие имеет множество модификаций или моделей и (3) перечень необходимых подсистем может легко варьироваться по желанию заказчика. Автомобильная продукция является типичным примером применения производственных линий. Законченный автомобиль собирается всего за несколько часов, поскольку большинство деталей (то есть двигатель, сиденья и панель управления) собраны и готовы к размещению в автомобиле. Этот тип производственной системы может иметь большую долю ручного труда, частичную автоматизацию при производстве одних компонентов и полностью автоматизированный процесс без ручного труда при производстве других.

**Непрерывное производство** — под этим термином понимается производство, при котором поток изделий на выходе производственной системы практически не прерывается. Примеры изделий, производимых системами такого типа, — это завтраки из хлебных злаков, низкоалкогольные напитки, жидкости для полоскания рта и зубная паста. В системах этого типа на вход подается сырье, а с выхода поступает непрерывный поток готовых изделий. Система останавливается для переналадки на другое изделие или для очистки, а затем перезапускается. Этим методом часто производятся изделия постоянного спроса, которые потребители могут покупать, когда пожелают. Во всех предыдущих типах производства время, в течение которого заказчик согласен ждать заказа после его размещения, превышает время, необходимое для изготовления изделия. Следовательно, перед началом изготовления продукции на нее должен прийти надежный заказ. Для изделий, производимых в непрерывном процессе, ситуация совершенно иная. Поэтому изделия, производимые по этому методу, должны пользоваться устойчивым и предсказуемым спросом, быть готовы к продаже сразу после производства, иметь высокий объем производства и ограниченное количество вариантов. Производственные системы этого типа высоко автоматизированы при малой доле ручного труда.

Понимание особенностей описанных выше производственных систем и обсуждаемых в следующем разделе систем управляющей промышленной электроники позволяет выделить области и системы производства, в которых для работы и управления применяется промышленная электроника.

## 1.4. КЛАССИФИКАЦИЯ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Чтобы лучше понять содержание предмета, названного промышленной электроникой, вы должны уметь различать основные машины и подсистемы, используемые во всех производственных системах, и изучить их функции. Эти машины и системы можно разделить на следующие группы.

*Машины с ручным управлением* представляют собой большую группу машин, эксплуатируемых в ручном режиме и позволяющих осуществлять каждую операцию при производстве товара.

*Программируемые машины* — большая группа компьютерных машин с числовым программным управлением (ЧПУ). Они выполняют ряд задач по обработке материалов, таких, например, как обработка металлических деталей на металлорежущих станках или формовка пластмассовых деталей в автоматическом режиме при программном управлении.

*Роботы* — промышленные машины, которые можно запрограммировать и снабдить необходимыми инструментами для выполнения большого количества различных производственных задач, включая сварку, обработку материалов, окраску и перемещение деталей.

*Системы, перемещающие материалы*, — широкий диапазон систем, которые перемещают сырье и законченную продукцию в процессе производства, используя ряд автоматизированных технологий, включая ленточные и цепочечные конвейеры и автоматические управляемые транспортные средства.

*Системы, следящие за материалом*, — технологические системы, предназначенные для идентификации и представленные широким диапазоном систем, которые идентифицируют сырье и готовую продукцию в процессе производства с использованием штриховых кодов и других технологий идентификации и распознавания объектов.

*Системы хранения и поиска материалов* — автоматизированные системы, называемые автоматическими системами хранения и поиска (ASRS), сохраняют и отыскивают сырье, готовые детали и готовую продукцию. Размеры систем варьируются от моделей, представляющих собой скамью с размещением деталей сверху, имеющую менее 100 позиций хранения, до систем, которые занимают все склады и имеют тысячи различных поддонов для хранения.

*Гибкие производственные участки* — группа связанных машин, которые выполняют специфический процесс или шаг в большом производственном процессе.

Типичная гибкая производственная ячейка (FMC) представляет собой машину с ЧПУ, машину для какой-либо обработки материала и, возможно, робот.

*Жесткие автоматизированные машины* — большой класс специальных машин автоматизации, разработанных для конкретного производства и превращающих детали в готовые изделия с минимальным человеческим вмешательством.

*Гибкие производственные системы* — одна или несколько производственных машин, интегрированных в автоматическую систему обработки материалов. Работа управляется компьютером. Гибкой производственной системой (FMS) могла бы быть комбинация ЧПУ с системой обработки материалов.

*Системы с непрерывным процессом* — управляемые компьютером промышленные системы, используемые при производстве продовольствия и химической продукции, фармацевтики и бумажных изделий. Эти системы используют ряд технологий управления процессом.

Компании используют машины и системы описанных категорий, чтобы создавать серийные, линейные и непрерывные производственные системы, о которых мы говорили выше. Машины и системы в этих группах сформированы из сотен компонентов — от простых переключателей до сложных компьютеров. Чтобы устанавливать и программировать эти машины и системы и находить в них неисправности, инженеры и техники должны, прежде всего, понимать принцип работы используемых компонентов. Полное описание этих компонентов и является основной целью этого учебника.

### **1.4.1. Производственные системы и промышленная электроника/автоматизация**

Производственные системы и категории промышленной автоматизации объединены на графике рис. 1.1. Прежде чем двинуться дальше, как следует его изучите. Обратите внимание, что по горизонтальной оси отмечены типы машин и групп систем: от наименее сложных (ручные машины) слева и до наиболее сложных (системы непрерывного процесса) справа. Над горизонтальной осью во вертикали размещены названия производственных систем, для того чтобы соотнести типы промышленных машин и типы производства. Например, область повторного производства на графике начинается слева от программируемых машин и простирается до гибких производственных систем. Это показывает, что промышленные системы с повторным производством могли бы использовать для своего формирования любую из технологий: от программируемых машин до гибких производственных систем.

Рассмотрите и другие производственные системы, чтобы узнать наиболее часто используемые промышленные технологии.

На рис. 1.1 также показана степень автоматизации, присущая каждой представленной производственной системе. Затененная область для каждого типа производства показывает вероятную долю ручного труда. Например, при проектном производстве труд почти полностью ручной, в то время как непрерывное производство имеет самую низкую долю ручного труда. Автоматизированные части производственных систем используют аппаратные средства и программное обеспечение управляющих про-

мышленных технологий, перечисленные в нижней части рисунка. Следовательно, область графика справа от пунктирной линии, делящей каждое поле, показывает спрос на специалистов в промышленной электронике. Нетрудно видеть, что отрасли промышленности, использующие повторные и непрерывные производственные системы, нуждаются в инженерах и техниках данного профиля. Технологии, представленные в области справа от пунктирной линии, отражены и в пирамиде технологий, представленной на рис. 1.2.

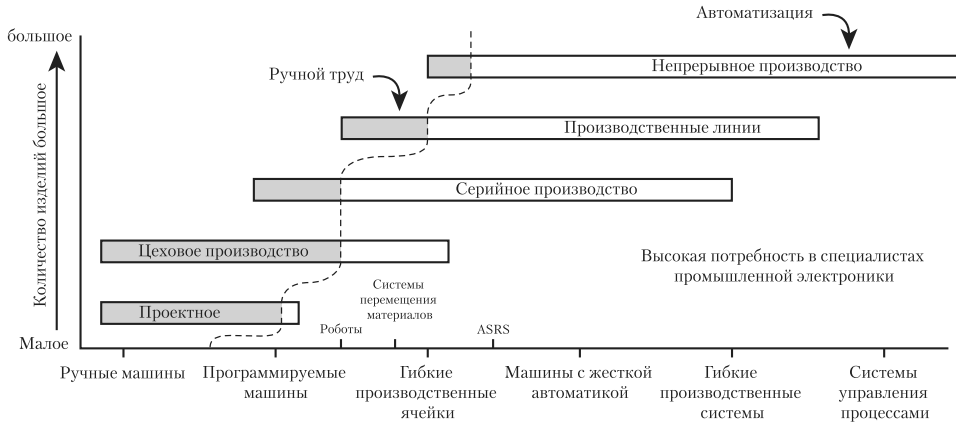


Рис. 1.1. Производственные системы и управляющая промышленная электроника

## 1.5. ПИРАМИДА И ДЕРЕВО ТЕХНОЛОГИЙ

Пирамида технологий на рис. 1.2 показывает набор областей знания, которыми должны владеть инженеры и техники, чтобы разрабатывать, создавать, проверять, программировать и эксплуатировать автоматизированные промышленные системы.

Рассмотрим подробно рис. 1.2, чтобы познакомиться с технологиями на каждом уровне пирамиды. Трех нижним уровням соответствуют устройства, которые используются при создании блоков для автоматизации производства. Эти устройства многообразны — от самых простых, таких как кнопка и переключатель, до таких сложных, как операционный усилитель. Переключатели, транзисторы, операционные усилители и коммутационные устройства переменного тока, показанные на первых трех уровнях, используются, чтобы создавать дискретные и аналоговые датчики на следующем уровне. Безопасность занимает уровень 5 — вследствие своего высокого приоритета в промышленности, так как понимание принципов обеспечения безопасности необходимо перед переходом к более высоким уровням. Датчики и двигатели располагаются на уровнях 4 и 6, а полупроводниковые компоненты для контроллеров на уровне 7. Уровень 8 выделен для процессов управления при разомкнутых и замкнутых цепях обратной связи и роботов, используемых в автоматизированных производствах, таких как компьютерные заводы с цифровым управлением и системы хранения распознавания и перемещения материалов и готовых изделий. Системы, расположенные на

уровне 8, создаются с использованием устройств и принципов, относящихся к семи нижним уровням. Верхний уровень, названный *сетями данных*, описывает, как информация от различных систем автоматизации производства передается между автоматизированными машинами и системами. Пирамида представляет нам полную картину технологий, связанных с управляющей промышленной электроникой, начиная с одиночных компонентов, подобных переключателям, и кончая полностью функциональными системами автоматизации.

Пирамида показывает также порядок, в котором эти технологии должны изучаться, начиная с нижнего уровня. Номера, заключенные в круглые скобки на каждом уровне, соответствуют главам, в которых рассматриваются данные темы в настоящем учебнике. Если изучать темы в указанном порядке, то вся информация, необходимая для освоения более высоких уровней, будет уже получена на более низких уровнях. Пирамида дает представление о карте и вехах пути, который необходимо пройти специалисту, начиная с базового уровня знаний в электронике, чтобы получить квалификацию, необходимую для работы с полностью автоматизированными системами, соответствующими верхней части пирамиды. Темы каждого следующего уровня на дереве технологий, приведенном на рис. 1.3, дают вам новый раздел знаний, необходимых для такой работы.

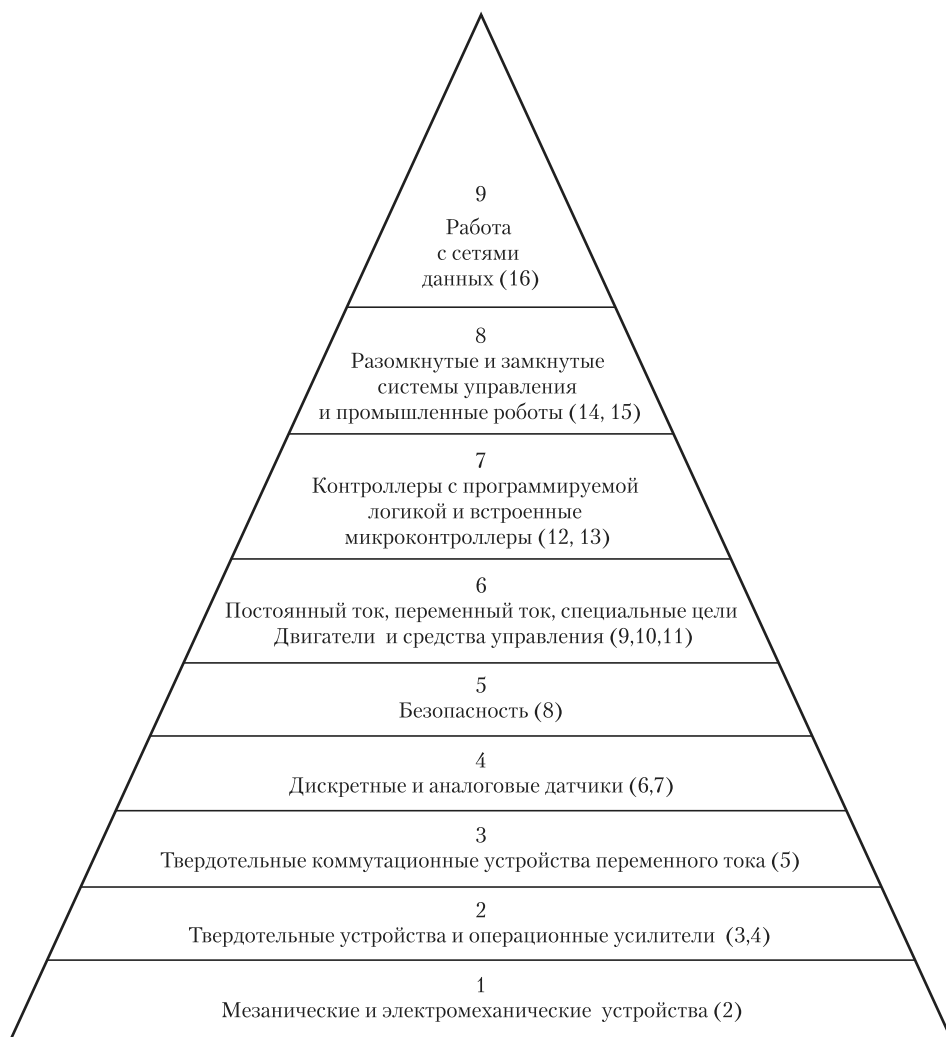
### 1.5.1. ДЕРЕВО ТЕХНОЛОГИЙ

Дерево технологий (см. рис. 1.3) представляет собой иерархический список устройств и программного обеспечения, которые используются в системах автоматизации, применяемых в различных отраслях промышленности. Дерево является своего рода кратким обзором разделов книги. Все упомянутые в нем элементы должны быть освоены инженерами и техниками, работающими с соответствующими системами промышленной электроники. Рассмотрим основные пункты на рис. 1.3.

Дерево основано на концепциях промышленного управления, потому что это основная функция промышленных электронных систем. Первые две основные ветви — машины с ручным управлением и машины с электронным управлением. Термин электронное управление применяется потому, что на самом низком уровне для управления производственным процессом используются простые переключатели и схемы релейной логики. На самом же высоком уровне системы автоматизации управляются сложными компьютерными сетями. В материалах учебника мы рассматриваем многие из элементов, включенных в ветвь дерева технологий, представляющую класс машин с электронным управлением. В подветвях этой ветви (входные устройства, выходные устройства, аппаратные средства контроллеров, программное обеспечение контроллеров и сетевая инфраструктура) представлены аппаратные средства и программное обеспечение, используемое для создания автоматизированных промышленных систем с электронным управлением. Каждая из пяти подветвей содержит ряд устройств или программных компонентов. Например, входные устройства, используемые в промышленном управлении, делятся на два типа: контактные и бесконтактные. Эти две категории делятся и далее; например, бесконтактные датчики включают в себя устройства дискретной и аналоговой группы. Хотя некоторые из терминов на этом рисунке пока вам незнакомы, они приведены заранее, чтобы вы могли видеть связь разделов учебника с областями знаний, необходимыми для работы в промышленной электронике.

Изучите все ветви дерева, чтобы познакомиться с терминами. Дерево и пирамида технологий связаны между собой, потому что все разделы, образующие ветви дерева, являются одновременно и элементами одного из уровней пирамиды.

Пирамида и дерево приведены здесь в качестве иллюстрации, чтобы дать вам общее представление о разделах промышленной электроники, рассматриваемых в следующих главах. Рекомендуется по мере изучения материала возвращаться к рис. 1.2 и 1.3, чтобы лучше представить себе весь объем знаний, используемых в промышленной электронике.



**Рис. 1.2.** *Пирамида технологий*

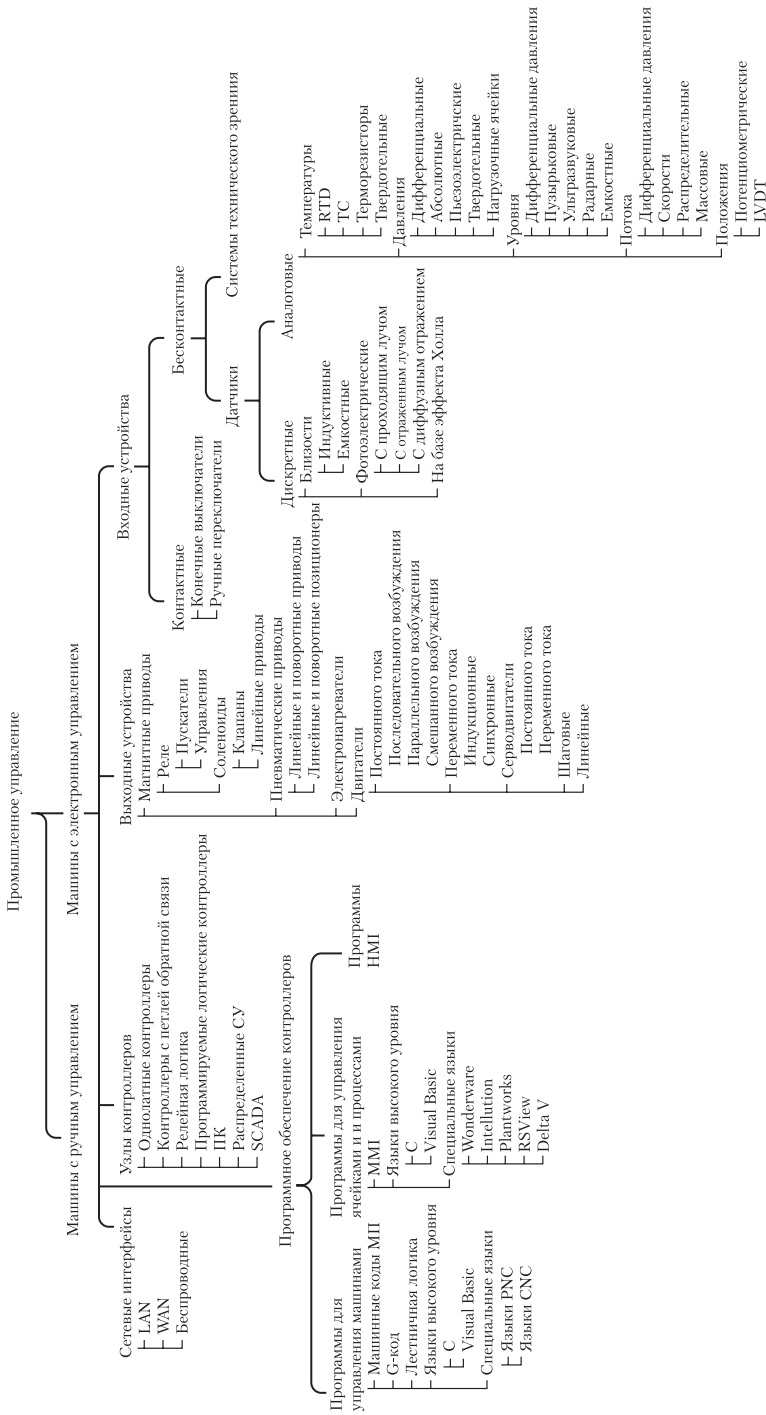


Рис. 1.3. Дерево технологий