



**УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

**И АВТОМАТИКА**

для мехатроники





# М И Р

# Мехатроники

Коллектив авторов  
под руководством  
Д. ШМИДА

## Управляющие системы и автоматика

Перевод с немецкого  
Л.Н. Казанцевой

ТЕХНОСФЕРА  
Москва  
2007

**Авторы: Дитмар Шмид, Альбрехт Бауман, Ханс Кауфман, Бернард Зиппель  
Руководство авторским коллективом: профессор Дитмар Шмид  
Управляющие системы и автоматика**

**Москва:  
Техносфера, 2007. – 584 с., ISBN 978-5-94836-152-9**

Перевод последнего, 10-го, немецкого издания.

В книге рассматривается комплекс аспектов, касающихся элементов механики, пневматики, гидравлики, электротехники, электроники, систем связи, компьютерной техники и составляющих новую актуальную область знаний – мекатронику. Представленный в книге материал максимально приближен к практике и будет полезен всем, кто только приступает к изучению техники управления и регулирования в сочетании с современной техникой связи и обработки информации, либо желает пополнить свои знания в этой области.

Книга адресована преподавателям и студентам технических вузов, а также практикующим инженерам и техникам, призванным решать разнообразные задачи управления и контроля на производстве.



©2005 (10th edition):  
Verlag EUROPA-LEHRMITTEL, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG,  
42781 Haan-Gruiten (Germany)  
©2007, ЗАО "РИЦ "Техносфера", перевод на русский язык,  
оригинал-макет, оформление

**ISBN 978-5-94836-152-9  
ISBN 3-8085-1010-2 (нем.)**

# Содержание

Предисловие к 10-му изданию .....	13
<b>ГЛАВА 1</b>	
<b>УПРАВЛЕНИЕ, РЕГУЛИРОВАНИЕ,</b>	
<b>ВЕДЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....</b>	
1.1. Управление и управляющие системы .....	15
1.1.1. Аналоговое, двоичное и цифровое управление .....	16
1.1.2. Комбинаторные системы управления и последовательное программное управление.....	18
1.1.3. Управление с программируемыми связями и система программного управления от ЗУ .....	20
1.2. Регулирование, регулирующие системы .....	21
1.3. Ведение производственного процесса .....	22
<b>ГЛАВА 2</b>	
<b>ОСНОВЫ ТЕХНИКИ УПРАВЛЕНИЯ .....</b>	
2.1. Механические управляющие системы .....	24
2.1.1. Общие сведения .....	24
2.1.2. Регулируемые передаточные механизмы .....	26
2.1.2.1. Ступенчатые передачи .....	26
2.1.2.2. Бесступенчатые передачи .....	27
2.1.3. Передачи неравномерного действия .....	31
2.1.4. Передача с прерывистым движением .....	34
2.2. Электрические системы управления.....	35
2.2.1. Конструкционные элементы электрических систем управления, действующих на основе контактов .....	36
2.2.2. Графическое представление электрических систем управления на основе контактов .....	55
2.2.3. Принципиальные схемы коммутации электрических систем управления с помощью контактов .....	56
2.2.4. Автоматическое программное управление.....	60
2.2.4.1. Диаграмма пути и диаграмма состояния.....	61
2.2.4.2. Функциональные схемы для автоматических систем программного управления.....	63
2.2.5. Электронные конструкционные элементы .....	68
2.2.6. Электрические исполнительные органы .....	74
2.2.6.1. Электромагниты и муфты .....	74
2.2.6.2. Трехфазные двигатели с питанием от сети (двигатели переменного тока) .....	75
2.2.6.3. Приводы трехфазного тока с электронным переключением .....	85
2.2.6.4. Приводы постоянного тока.....	91
2.2.6.5. Приводы с шаговыми электродвигателями .....	96
2.3. Пневматические системы управления .....	97
2.3.1. Общие сведения о пневматике .....	98
2.3.2. Конструктивное исполнение пневматической установки .....	99
2.3.3. Генерация сжатого воздуха.....	102
2.3.3.1. Компрессоры .....	102
2.3.3.2. Распределение сжатого воздуха.....	106

2.3.3.3. Подготовка сжатого воздуха .....	109
<b>2.3.4. Приводные элементы .....</b>	<b>110</b>
2.3.4.1. Пневматические двигатели .....	111
2.3.4.2. Приводы вращательного и поворотного типа .....	115
2.3.4.3. Пневматические цилиндры .....	115
2.3.4.4. Характеристические показатели цилиндров .....	120
<b>2.3.5. Вентили и основные системы управления.....</b>	<b>124</b>
2.3.5.1. Графическое изображение вентилей.....	124
2.3.5.2. Распределители .....	128
2.3.5.3. Регуляторы расхода .....	131
2.3.5.4. Запорные клапаны .....	133
2.3.5.5. Регуляторы давления и блокирующие вентили.....	136
<b>2.3.6. Топология переключательной схемы.....</b>	<b>137</b>
<b>2.3.7. Функциональные диаграммы .....</b>	<b>140</b>
2.3.7.1. Диаграмма пути перемещений .....	142
2.3.7.2. Диаграмма состояния .....	143
<b>2.3.8. Техника пропорционального регулирования .....</b>	<b>147</b>
2.3.8.1. Пропорциональные регуляторы давления .....	147
2.3.8.2.Пропорциональные распределители .....	148
<b>2.3.9. Примеры пневматических систем управления.....</b>	<b>151</b>
<b>2.3.10. Электропневматические системы управления .....</b>	<b>155</b>
<b>2.3.11. Гидропневматические системы управления.....</b>	<b>161</b>
<b>2.4. Гидравлические системы управления .....</b>	<b>165</b>
2.4.1. Общие сведения .....	165
2.4.2. Физические аспекты .....	165
2.4.2.1. Гидростатика .....	165
2.4.2.2. Гидродинамика.....	168
2.4.3. Гидравлические жидкости .....	169
2.4.4. Структура гидравлических систем управления.....	173
2.4.5. Гидравлические насосы.....	174
2.4.6. Гидроаккумуляторы .....	177
2.4.7. Приводные механизмы .....	180
2.4.8. Гидроаппараты .....	184
2.4.8.1. Регуляторы давления .....	185
2.4.8.2. Распределители .....	190
2.4.8.3. Запорные клапаны .....	192
2.4.8.4. Регуляторы расхода .....	193
2.4.8.5. Конструктивные исполнения аппаратов.....	197
2.4.8.6. Статические вентили .....	199
2.4.8.7. Вентильная техника пропорционального регулирования .....	200
2.4.8.8. Сервоклапаны .....	208
2.4.9. Примеры гидравлических систем управления .....	211
<b>2.5. Двоичные и цифровые системы управления .....</b>	<b>214</b>
2.5.1. Двоичный код .....	214
2.5.2. Двоично-десятичные коды .....	216
2.5.3. Двоичные логические связи .....	217
2.5.4. Алгебра переключательных схем .....	222
2.5.5. Комбинаторные системы управления .....	224
2.5.6. Упражнения по теме «комбинаторные системы управления» .....	227
2.5.7. Автоматизированные системы управления процессом .....	233
2.5.8. Цифровые запоминающие устройства .....	243



2.6. Опасности и меры защиты при работе с электрическими установками .....	250
2.7. Электромагнитная совместимость.....	253
2.8. Системы программного управления от ЗУ (SPS).....	256
2.8.1. Структура и принцип действия.....	256
2.8.2. Программирование .....	261
2.8.2.1. Языки программирования .....	261
2.8.2.2. Разработка программы.....	263
2.8.3. Основные функции .....	269
2.8.3.1. Двоичные логические функции .....	269
2.8.3.2. Функции памяти SR/RS .....	273
2.8.3.3. Анализ фронтов .....	275
2.8.4. Функции времени .....	277
2.8.5. Функции счета.....	279
2.8.6. Цифровые операции.....	280
2.8.7. Системы автоматического программного управления .....	285
2.8.7.1. Структурирование и представление.....	285
2.8.7.2. Пример программного управления последовательностью выполнения операций.....	288
2.8.7.3. Программирование на уровне цепочки шагов .....	292
2.8.7.4. Сигналы рабочих режимов.....	295
2.8.7.5. Функциональный модуль для рабочих режимов.....	297
2.8.7.6. Функциональный модуль последовательности выполнения шаговых операций .....	298
2.8.7.7. Функциональный модуль для вывода команд.....	299
2.8.8. Обработка аналоговых данных .....	300
2.8.9. Программирование со структурированным текстом (ST) .....	301
2.8.9.1. Цифровое регулирование .....	301
2.8.9.2. Двухпозиционный регулятор .....	303
2.8.9.3. Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулирующий модуль.....	306
2.8.10. Контроль и управление производственными процессами .....	308
2.8.11. Ускоренные процессы счета.....	310
<b>ГЛАВА 3</b>	
<b>ТЕХНИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАТЧИКОВ .....</b>	<b>312</b>
3.1. Аналоговые сенсоры .....	312
3.1.1. Датчики перемещения, угла поворота, расстояния и толщины .....	312
3.1.2. Датчики скорости .....	321
3.1.3. Тензометрические датчики, датчики силы, крутящего момента и сжатия .....	322
3.1.4. Датчики ускорения .....	326
3.1.5. Термодатчики .....	326
3.2. Двоичные сенсоры .....	329
3.3. Цифровые сенсоры.....	331
3.3.1. Инкрементные путевые датчики .....	332
3.3.2. Кодовые масштабы и преобразователи угла поворота в код .....	334
<b>ГЛАВА 4</b>	
<b>ТЕХНИКА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ .....</b>	<b>338</b>
4.1. Основные понятия .....	338
4.2. Режимы регулирования .....	340
4.3. Элементы контура регулирования .....	342
4.3.1. Пропорциональное звено без запаздывания (П-звено) .....	342

4.3.2. Пропорциональное звено с запаздыванием 1-го порядка (звено РТ <sub>1</sub> ) .....	344
4.3.3. Пропорциональное звено с запаздыванием 2-го порядка (звено РТ <sub>2</sub> ) и колебательное звено .....	346
4.3.4. Интегрирующее звено (И-звено) .....	349
4.3.5. Дифференцирующее звено (Д-звено) .....	350
4.3.6. Звено с запаздыванием (Т <sub>z</sub> -звено) .....	351
4.3.7. Взаимодействие нескольких элементов контура автоматического регулирования .....	353
<b>4.4. Регуляторы и контуры регулирования .....</b>	<b>355</b>
4.4.1. Переключающие регуляторы .....	355
4.4.2. Аналоговые регуляторы .....	356
4.4.3. Цифровые (программные) регуляторы.....	360
4.4.3.1. Аналого-цифровое преобразование и дискретизация сигналов .....	360
4.4.3.2. Алгоритм регулирования.....	362
4.4.4. Регулирование пропорциональных объектов .....	365
4.4.5. Регулирование интегральных объектов.....	367
4.4.6. Настройка регулятора.....	369
<b>4.5. Позиционное регулирование в станках с ЧПУ .....</b>	<b>371</b>
4.5.1. Каскадное регулирование.....	371
4.5.2. Предварительное задание скорости .....	373
4.5.3. Аналоговый и цифровой контуры регулирования чисел оборотов.....	374
<b>ГЛАВА 5</b>	
<b>ТЕХНИКА ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ (ЧПУ) .....</b>	<b>376</b>
<b>5.1. Станки и производственные системы с ЧПУ .....</b>	<b>376</b>
5.1.1. Инструменты и зажимные приспособления.....	378
5.1.1.1. Револьверные головки.....	378
5.1.1.2. Инструментальные магазины.....	379
5.1.1.3. Кодирование инструмента .....	381
5.1.1.4. Предварительная настройка инструмента .....	382
5.1.1.5. Зажимные механизмы.....	383
5.1.2. Гибкие производственные системы.....	384
<b>5.2. Числовое программное управление .....</b>	<b>388</b>
5.2.1. Введение и обзор .....	388
5.2.2. Интерполяция .....	390
5.2.3. Компенсация погрешностей .....	392
5.2.4. Управление движениями и проектирование траектории .....	393
5.2.5. Типовая концепция и преобразование координат.....	395
5.2.6. Связь .....	397
5.2.7. Системы координат и направления движений .....	398
5.2.8. Опорные точки, нулевые точки .....	400
5.2.8.1. Нулевые точки .....	401
5.2.8.2. Опорные точки .....	401
5.2.9. Органы управления и режимы работы .....	403
<b>ГЛАВА 6</b>	
<b>РОБОТОТЕХНИКА .....</b>	<b>407</b>
<b>6.1. Классификация роботов .....</b>	<b>408</b>
<b>6.2. Особенности кинематики .....</b>	<b>409</b>
<b>6.3. Приводы для роботов .....</b>	<b>413</b>
<b>6.4. Захваты .....</b>	<b>415</b>
<b>6.5. Программирование роботов .....</b>	<b>416</b>
6.5.1. Способы программирования.....	416



6.5.2. Системы координат .....	421
6.6. Управление роботами .....	424
6.6.1. Генерация движений .....	424
6.6.2. Положения осей .....	425
6.6.3. Интерполяция .....	426
6.6.4. Срезание углов и качание .....	427
6.6.5. Сенсоры для робототехнических систем .....	429
6.7. Защитные меры .....	433
<b>ГЛАВА 7</b>	
<b>МОНТАЖ И ДЕМОНТАЖ .....</b>	435
7.1. Общие сведения .....	435
7.2. Движение материалов .....	439
7.2.1. Хранение .....	439
7.2.2. Использование промежуточных накопителей .....	441
7.2.3. Бункеровка деталей .....	442
7.2.4. Магазинная загрузка деталей .....	443
7.2.5. Транспортные системы .....	445
7.3. Способы соединения в процессе монтажа .....	449
7.3.1. Крепление винтами .....	449
7.3.2. Стыкование методом пластической деформации .....	450
7.3.3. Склейивание и заделка уплотнением (герметизация) .....	451
7.3.4. Сварка и пайка .....	453
7.3.5. Сборка совмещением .....	455
7.3.6. Запрессовка .....	456
7.4. Монтажные площадки .....	457
7.4.1. Ручной монтаж .....	457
7.4.2. Автоматизированный монтаж .....	458
7.5. Организация процесса монтажа .....	460
7.5.1. Топология .....	460
7.5.2. Последовательное выполнение монтажных операций .....	460
<b>ГЛАВА 8</b>	
<b>МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА .....</b>	463
8.1. Качество как объект управления .....	463
8.1.1. Признаки качества .....	464
8.1.2. Дефекты .....	465
8.2. Цели менеджмента качества .....	466
8.3. Всеобщий менеджмент качества (TQM) .....	467
8.4. Круговая и пирамидальная модели управления качеством .....	468
8.5. Структура и элементы системы управления качеством .....	469
8.5.1. Организация структуры системы управления качеством .....	469
8.5.2. Составление планов и графиков .....	470
8.5.3. Стандарты ДИН ИСО 9000:2000 .....	470
8.5.4. Сертификация .....	473
8.6. Статистический контроль качества .....	474
8.6.1. Анализ процесса .....	474
8.6.2. Карточки текущего контроля качества .....	477
8.6.3. Функциональная пригодность машин и процессов .....	478
<b>ГЛАВА 9</b>	
<b>СОДЕРЖАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ В ИСПРАВНОСТИ .....</b>	480
9.1. Определение понятий .....	480
9.2. Уход и техническое обслуживание .....	485



9.3. Инспекционный контроль.....	492
9.4. Приведение оборудования в исправность .....	495
9.5. Пробный пуск .....	496
9.6. Поиск ошибок, сбоев и неисправностей .....	500
9.7. Ремонтные работы.....	500
<b>ГЛАВА 10</b>	
<b>БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ.....</b>	503
10.1. Задачи менеджмента .....	503
10.2. Управление процессом .....	504
10.3. Управление информацией о продукции .....	506
10.4. Методы создания технологических цепочек .....	508
10.5. Проектный менеджмент.....	511
10.6. Информационный менеджмент .....	513
10.7. Инструменты планирования .....	515
10.8. Модерация .....	523
10.9. Презентация.....	524
10.9.1. Содержание и визуальное представление.....	524
10.9.2. Презентационная графика с использованием PowerPoint .....	526
<b>ГЛАВА 11</b>	
<b>ОРГАНИЗАЦИЯ И ОХРАНА ТРУДА.....</b>	528
11.1. Человек как главная ценность .....	528
11.2. Организация рабочего места .....	529
11.3. Рабочие нагрузки.....	534
11.3.1. Нагрузки в зависимости от вида деятельности .....	534
11.3.2. Нагрузки в зависимости от организации труда.....	536
11.4. Европейские нормы эксплуатации машин и оборудования .....	539
11.4.1. Меры безопасности и охрана здоровья на производстве .....	541
11.4.2. Маркировка и руководство по эксплуатации .....	543
11.5. Европейские нормы безопасности .....	544
<b>ГЛАВА 12</b>	
<b>ИНФОРМАТИКА И ТЕХНИКА СВЯЗИ .....</b>	546
12.1. Компьютерная техника .....	546
12.1.1. Конструктивное исполнение ПК .....	546
12.1.2. Объектно-ориентированное программное обеспечение.....	550
12.1.3. Управление с помощью ПК .....	554
12.2. Техника связи .....	560
12.2.1. ISDN — интегральная цифровая сеть связи.....	561
12.2.2. Локальная связь .....	565
12.2.3. Интернет и Интранет .....	567
12.2.4. Локальные вычислительные сети (ЛВС).....	571
12.2.4.1. Локальная сеть Ethernet .....	573
12.2.4.2. Сети ATM .....	574
12.2.5. Магистральные системы .....	575
12.2.5.1. Шина CAN .....	575
12.2.5.2. Шины PROFIBUS, PROFIBUS-DP .....	577
12.2.5.3. Сопряжение между исполнительными органами и датчиками (AS-I) .....	578
12.2.5.4. Interbus-S .....	580
12.2.6. Последовательный интерфейс (V.24) .....	581
<b>ПАМЯТКА ПО ОХРАНЕ ТРУДА.....</b>	583