

VV

Густав Олссон, Джангуидо Пиани

# Цифровые системы автоматизации и управления

1147067

Возвратите книгу не позже  
обозначенного здесь срока


Типография «Коллаж» тел. (0872) 35-26-10

Издание третье,  
переработанное и дополненное



Санкт-Петербург  
2001

681.32

К 681.326  
С 32.073.2  
055

Читальный зал  
научной литературы

Густав Олссон, Джангуидо Пиани  
Цифровые системы автоматизации и управления. — СПб.: Невский Диалект, 2001. — 557 с.: ил.

1992  
Книга посвящена задачам управления, реализуемым на базе цифровых систем и, в первую очередь, — в промышленных процессах. В то же время читатель найдет в тексте универсальные положения, применимые к управлению любой сложной системой. В общем виде рассматриваются практически все составляющие процесса проектирования систем управления на цифровых устройствах: от построения модели управляемого процесса, обработки сигналов оцифровки цифровых регуляторов до передачи информации между объектами и субъектами управления. Последнее понятие включает в себя человеко-машинный интерфейс, операционные системы, языки программирования реального времени и системную интеграцию.

Не претендуя на полноту охвата, книга дает "почувствовать" основные проблемы, возникающие при разработке и внедрении систем цифрового управления. Ее можно рассматривать как достаточно глубокое и подробное введение в предмет, и как серьезное методическое пособие, ориентированное на практические потребности.

Для инженеров — проектировщиков и эксплуатационников, программистов систем управления и/или систем реального времени, руководителей (менеджеров) проектов и студентов соответствующих специальностей.

1144067  
научная библиотека  
Санкт-Петербургского государственного университета

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, магнитную запись или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

© Г. Олссон, Дж. Пиани, 1992, 1993, 2001  
© "Невский Диалект" — издание на русском языке, 2001

3N 5-7940-0069-4

## Оглавление

Список сокращений	13
Предисловие авторов к русскому изданию	19
Предисловие к первому (английскому) изданию	22
Сведения об авторах	25
Предисловие переводчика	26
Предисловие редактора перевода	29
<b>1. Введение</b>	<b>31</b>
1.1. Роль вычислительной техники в управлении процессами	31
1.2. Исторический обзор	34
1.3. Понятие системы	37
1.4. Примеры типичных приложений цифрового управления	39
1.5. Руководство для читателя	41
<b>2. Особенности цифрового управления процессами</b>	<b>45</b>
2.1. Управление процессом в реальном времени	45
2.1.1. Пример — пресс для пластика	46
2.1.2. Управление на основе последовательного программирования	47
2.1.3. Управление на основе прерываний	49
2.2. Примеры задач управления процессами	51
2.2.1. Управление последовательностью событий и бинарное управление	52
2.2.2. Простой контур управления — регулятор температуры	53
2.2.3. Генерация опорного значения	54
2.2.4. Системы, содержащие несколько контуров управления	55
2.2.5. Взаимосвязанные системы	55
2.2.6. Критичные по времени процессы	56
2.2.7. Свойства процессов, усложняющие управление	56
2.3. Особенности систем цифрового управления	59
2.4. Модельные примеры	62
2.4.1. Модельный пример 1 — управление системой электропривода	63
2.4.2. Модельный пример 2 — биологическая очистка сточных вод (процесс активированного отстоя)	64
2.5. Заключение	66

<b>3. Описание и моделирование систем</b>	<b>67</b>
3.1. Модели, применяемые в управлении	68
3.1.1. Типы моделей	68
3.1.2. Масштаб времени динамических моделей	70
3.1.3. Моделирование динамических систем	71
3.1.4. Моделирование дискретных событий	72
3.2. Основы моделирования динамических систем	72
3.2.1. Механические системы	72
3.2.2. Электромагнитные цепи	75
3.2.3. Баланс массы	81
3.2.4. Уравнения сохранения энергии	85
3.3. Непрерывные модели динамических систем	86
3.3.1. Описание систем во временной и частотной областях – исторический обзор	86
3.3.2. Уравнения состояния	87
3.3.3. Описание линейной системы в пространстве состояний	89
3.3.4. Описание в виде отношений входных и выходных переменных	91
3.3.5. Область применения линейных моделей	94
3.3.6. Нелинейные системы	95
3.3.7. Численно моделирование динамических систем	97
3.4. Дискретные модели динамических систем	100
3.4.1. Описание в пространстве состояний	100
3.4.2. Отношения вход/выход и оператор сдвига	101
3.5. Управляемость, оценка и наблюдаемость	105
3.5.1. Управляемость	105
3.5.2. Оценка состояния на основе измерений	106
3.6. Системы с неопределенностью	110
3.6.1. Оценка состояния при стохастических возмущениях	111
3.6.2. Нечеткие системы	113
3.7. Комбинационные и последовательностные сети	115
3.8. Заключение	118
<b>4. Вход и выход физических процессов</b>	<b>121</b>
4.1. Компоненты интерфейса между процессом и управляющим компьютером	122
4.1.1. Датчики	122
4.1.2. Исполнительные устройства (механизмы)	123
4.1.3. Полоса пропускания и шум	124
4.1.4. Передача измерительных сигналов	125
4.2. Характеристики датчиков	125
4.2.1. Погрешность и точность	126

4.2.2. Динамические характеристики датчиков	128
4.2.3. Статические характеристики датчиков	129
4.2.4. Влияние нелинейности	130
4.2.5. Характеристики импедансов	130
4.2.6. Подбор входных и выходных импедансов	131
4.3. Бинарные и цифровые датчики	132
4.3.1. Датчики положения	133
4.3.2. Пороговые датчики	135
4.3.3. Индикаторы уровня	135
4.3.4. Цифровые и информационно-цифровые датчики	136
4.4. Аналоговые датчики	137
4.4.1. Датчики движения	137
4.4.2. Датчики силы, момента и давления	140
4.4.3. Датчики приближения	142
4.4.4. Датчики температуры	143
4.4.5. Измерение расхода	145
4.4.6. Химические и биохимические измерения	150
4.5. Согласование и передача сигналов	151
4.5.1. Согласование сигналов в цепях с операционными усилителями	151
4.5.2. Электрические проводники	153
4.5.3. Электрические помехи	156
4.5.4. Сигнальное заземление	160
4.5.5. Выбор носителя сигнала: напряжение или ток	162
4.5.6. Передача оптических сигналов	164
4.6. Бинарные (двухпозиционные) исполнительные механизмы	165
4.6.1. Управляемые выключатели	165
4.6.2. Отключение индуктивных нагрузок	167
4.7. Исполнительные механизмы с электроприводом	168
4.7.1. Усилители мощности	169
4.7.2. Управление позиционированием и скоростью приводов	179
4.7.3. Шаговые двигатели	172
4.7.4. Двигатели постоянного тока	173
4.7.5. Асинхронные и синхронные двигатели	174
4.8. Управляющие клапаны	175
4.9. Заключение	177
<b>5. Обработка сигналов</b>	<b>179</b>
5.1. Дискретизация аналоговых сигналов	179
5.1.1. Ввод аналоговых сигналов в компьютер	179
5.1.2. Мультиплексоры	180
5.1.3. Дискретизация сигналов	181
5.1.4. Определение интервала дискретизации	183

5.2. Преобразование аналоговых и цифровых сигналов .....	189
5.2.1. Цифро-аналоговое преобразование .....	189
5.2.2. Аналого-цифровое преобразование .....	190
5.3. Аналоговая фильтрация .....	194
5.3.1. Фильтры низкой частоты первого порядка .....	194
5.3.2. Фильтры низкой частоты высоких порядков .....	197
5.3.3. Фильтры высокой частоты .....	199
5.4. Цифровая фильтрация .....	202
5.4.1. Общая структура цифровых фильтров .....	202
5.4.2. Цифровые фильтры низкой частоты .....	202
5.4.3. Цифровые фильтры низкой частоты высоких порядков .....	207
5.4.4. Цифровые фильтры высокой частоты .....	209
5.5. Основы обработки измерительной информации .....	211
5.5.1. Достоверность исходных данных и аварийная сигнализация .....	212
5.5.2. Масштабирование и линеаризация .....	213
5.5.3. Другие операции обработки данных .....	213
5.5.4. Структура данных для обработки измерений .....	214
5.6. Заключение .....	215
<b>6. Структуры управления .....</b>	<b>217</b>
6.1. Аналоговые (непрерывные) и дискретные регуляторы .....	218
6.1.1. Квантование сигналов .....	218
6.1.2. Проектирование аналоговых и дискретных регуляторов .....	218
6.2. Релейное управление .....	219
6.3. Аналоговые регуляторы .....	221
6.3.1. Простые регуляторы .....	221
6.3.2. Упреждающее управление по опорному значению .....	222
6.3.3. Обобщенный регулятор .....	224
6.3.4. Упреждающее управление по изменению нагрузки и возмущению .....	227
6.3.5. Основные принципы разработки структур управления .....	230
6.4. Аналоговый ПИД-регулятор .....	232
6.4.1. Основное уравнение ПИД-регулятора .....	232
6.4.2. Дифференцирование измерительного сигнала .....	235
6.4.3. ПИД-регулятор как каскад регуляторов .....	236
6.4.4. ПИ <sup>2</sup> -регулятор .....	237
6.4.5. Другие виды параметризации ПИД-регулятора .....	237
6.5. Реализация ПИД-регулятора .....	238
6.5.1. Дискретная модель ПИД-регулятора .....	238
6.5.2. Определение частоты выборки в системах управления .....	241
6.5.3. Ограничение управляющего сигнала .....	242
6.5.4. Предотвращение интегрального насыщения .....	242
6.5.5. Плавный переход при изменении режима работы регулятора .....	246
6.5.6. Ограничение скорости изменения управляющего сигнала .....	247

6.5.7. Вычислительные особенности алгоритма ПИД-регулятора .....	248
6.5.8. Алгоритм ПИД-регулятора .....	249
6.5.9. Применение проблемно-ориентированного блочного языка .....	251
6.6. Управляющие структуры, основанные на ПИД-регуляторах .....	252
6.6.1. Каскадное управление .....	252
6.6.2. Селективное управление .....	254
6.7. Границы применения ПИД-регуляторов .....	255
6.7.1. Временные задержки .....	256
6.7.2. Системы со сложной динамикой .....	259
6.7.3. Предсказуемые изменения параметров — табличное управление усилением .....	259
6.7.4. Неизвестные изменения параметров — самоадаптирующееся управление .....	260
6.7.5. Системы с несколькими входами и выходами .....	261
6.8. Обобщенный линейный дискретный регулятор .....	261
6.8.1. Описание обобщенного регулятора с помощью оператора сдвига .....	262
6.8.2. Свойства обобщенного регулятора .....	263
6.8.3. Частные случаи обобщенного дискретного регулятора .....	266
6.8.4. Критерии качества дискретного регулятора .....	269
6.9. Реализация обобщенного дискретного регулятора .....	269
6.9.1. Пересчет параметров .....	270
6.9.2. Предотвращение интегрального насыщения обобщенного дискретного регулятора .....	270
6.9.3. Плавный переход от ручного управления к автоматическому .....	271
6.9.4. Вычислительные особенности алгоритма обобщенного регулятора .....	271
6.9.5. Алгоритм обобщенного регулятора .....	272
6.10. Обратная связь по переменным состояния .....	275
6.11. Заключение .....	277
<b>7. Комбинационное и последовательностное управление .....</b>	<b>279</b>
7.1. Основы теории переключательных схем .....	280
7.1.1. Обозначения .....	280
7.1.2. Основные логические элементы .....	280
7.1.3. Дополнительные элементы .....	283
7.1.4. Элементы с двумя устойчивыми состояниями (триггеры) .....	287
7.1.5. Реализация переключательных схем .....	288
7.2. Принципиальные схемы .....	290
7.2.1. Основные элементы .....	290
7.2.2. Последовательностные цепи .....	292
7.3. Программируемые логические контроллеры .....	294
7.3.1. Назначение и функции .....	294

7.3.2. Основные команды .....	296
7.3.3. Дополнительные команды ПЛК .....	299
7.3.4. Программирование ПЛК .....	299
7.4. Функциональные карты .....	300
7.4.1. Синтаксис функциональных карт .....	300
7.4.2. Реализация функциональных карт .....	305
7.4.3. Применение функциональных карт в промышленном управлении .....	306
7.5. Заключение .....	308
<b>8. Системные шины</b> .....	<b>311</b>
8.1. Переход от централизованной к распределенной архитектуре .....	311
8.2. Структура и принципы работы шин .....	315
8.2.1. Общие характеристики .....	315
8.2.2. Механические характеристики .....	317
8.2.3. Электронные схемы шинного интерфейса .....	319
8.2.4. Электрический интерфейс шины .....	324
8.2.5. Принципы работы шин .....	325
8.2.6. Синхронная передача данных .....	326
8.2.7. Асинхронная передача данных .....	327
8.2.8. Блочная передача .....	328
8.2.9. Обработка прерываний .....	328
8.2.10. Арбитраж шины .....	330
8.2.11. Подготовка шины к работе .....	331
8.3. Шина VMEbus (ANSI/VITA 1-1994) .....	332
8.3.1. Общие характеристики .....	332
8.3.2. Передача данных .....	333
8.3.3. Приоритеты прерываний .....	333
8.3.4. Арбитраж шины .....	334
8.3.5. Служебные сигналы .....	334
8.3.6. Расширения шины VMEbus .....	334
8.4. Другие стандарты шин .....	335
8.4.1. Шина компьютеров семейства IBM PC .....	335
8.4.2. Шина ISA .....	336
8.4.3. Шина EISA .....	336
8.4.4. Шина PCI .....	337
8.5. Заключение .....	337
<b>9. Цифровые коммуникации в управлении процессами</b> .....	<b>339</b>
9.1. Информация и коммуникации .....	340
9.1.1. Что такое информация? .....	340
9.1.2. Коммуникации .....	341

9.1.3. Модель процесса коммуникации .....	342
9.2. Модель взаимодействия открытых систем (ВОС) .....	344
9.2.1. Изменение требований к передаче данных .....	344
9.2.2. Основы взаимодействия открытых систем .....	345
9.2.3. Виртуальные устройства .....	350
9.3. Физические соединения — физический уровень модели ВОС .....	351
9.3.1. Основные количественные характеристики .....	351
9.3.2. Электрические проводники .....	354
9.3.3. Кодирование бит .....	355
9.3.4. Модуляция несущей .....	357
9.3.5. Синхронизация .....	359
9.3.6. Стандарты интерфейса EIA-232-D и RS .....	359
9.3.7. Многоточечный электрический интерфейс RS-485 .....	361
9.3.8. Оптическая передача данных .....	362
9.3.9. Радиопередача данных .....	365
9.4. Коммуникационные протоколы .....	366
9.4.1. Протоколы канального уровня .....	366
9.4.2. Виртуальные каналы и мультиплексирование .....	367
9.4.3. Обнаружение и исправление ошибок .....	368
9.4.4. Протоколы передачи символов .....	370
9.4.5. Бит-ориентированные протоколы. HDLC .....	370
9.4.6. Протокол телеметрии IEC-870 .....	372
9.4.7. Блок-ориентированные протоколы .....	373
9.4.8. Верхние уровни модели ВОС (уровни с 3-го по 7-й) .....	374
9.4.9. Протокол TCP/IP .....	375
9.5. Локальные сети .....	379
9.5.1. Сети передачи данных .....	379
9.5.2. Сетевые топологии .....	380
9.5.3. Управление доступом к среде .....	382
9.5.4. Метод доступа Ethernet (IEEE 802.3) .....	384
9.5.5. Маркерная шина (IEEE 802.4) .....	387
9.5.6. Маркерное кольцо (IEEE 802.5) .....	388
9.5.7. FDDI .....	389
9.5.8. Межсетевые устройства .....	390
9.6. Коммуникации в управлении техническими процессами .....	392
9.6.1. Иерархическая структура технических процессов .....	392
9.6.2. Сбор данных и потоки информации в управлении процессами .....	393
9.6.3. Протокол автоматизации производства (MAP) .....	398
9.6.4. Служба производственных сообщений .....	400
9.7. Шины локального управления (Fieldbus) .....	402
9.7.1. Решение для производственных коммуникаций нижнего уровня .....	402
9.7.2. Шина bitbus .....	403
9.7.3. Шина PROFIBUS .....	404
9.7.4. Будет ли создан стандарт Fieldbus? .....	406

9.8. Применение сетей общего пользования .....	406
9.8.1. Телефонная сеть и модемы .....	407
9.8.2. Цифровые сети .....	408
9.8.3. Цифровая сеть с комплексными услугами (ISDN) .....	411
9.8.4. Асинхронный режим передачи (ATM) .....	412
9.9. Заключение .....	413
<b>10. Программирование систем реального времени</b> .....	<b>415</b>
10.1. Общее понятие о процессах .....	416
10.1.1. Последовательное программирование и программирование задач реального времени .....	416
10.1.2. Программы и процессы .....	417
10.1.3. Параллельное программирование, мультипрограммирование и многозадачность .....	418
10.2. Управление системными ресурсами .....	419
10.2.1. Однопроцессорная и распределенная архитектуры .....	419
10.2.2. Функции операционных систем в среде реального времени .....	421
10.2.3. Распределенные операционные системы .....	422
10.2.4. Управление процессором и состоянием процесса .....	423
10.2.5. Стратегии выбора процесса .....	426
10.2.6. Управление оперативной памятью .....	427
10.3. Взаимные исключения и тупики .....	428
10.3.1. Защита ресурсов .....	428
10.3.2. Взаимное исключение .....	430
10.3.3. Тупики .....	433
10.4. Синхронизация процессов — семафоры и события .....	435
10.4.1. Семафоры .....	435
10.4.2. События .....	438
10.5. Обмен информацией между процессами .....	440
10.5.1. Общие области памяти .....	440
10.5.2. Почтовые ящики .....	440
10.5.3. Каналы .....	441
10.5.4. Удаленный вызов процедур .....	442
10.5.5. Сравнение методов синхронизации и обмена данными .....	443
10.6. Методы программирования в реальном времени .....	444
10.6.1. Что такое программа реального времени? .....	444
10.6.2. Среда программирования .....	445
10.6.3. Структура программы реального времени .....	446
10.6.4. Обработка прерываний и исключений .....	448
10.6.5. Программирование операций ожидания .....	450
10.6.6. Внутренние подпрограммы операционной системы .....	451
10.6.7. Приоритеты процессов и производительность системы .....	452

10.6.8. Тестирование и отладка .....	453
10.7. Языки программирования и операционные системы реального времени .....	455
10.7.1. Требования к языкам и операционным системам реального времени .....	455
10.7.2. Язык программирования ADA .....	456
10.7.3. Языки С и С++ .....	456
10.7.4. BASIC .....	457
10.7.5. FORTRAN .....	458
10.7.6. Pascal и Modula-2 .....	458
10.7.7. Операционная система UNIX .....	459
10.7.8. OSF/1 и DCE .....	460
10.7.9. MS-DOS, Windows и Windows NT .....	461
10.7.10. OS-9 .....	462
10.7.11. VAX/VMS .....	463
10.8. Заключение .....	464
<b>11. Человеко-машинный интерфейс</b> .....	<b>467</b>
11.1. Человеко-машинный интерфейс как элемент системы управления .....	467
11.2. Психологические модели .....	471
11.2.1. Физиология и познание .....	471
11.2.2. Модель человеческого поведения .....	472
11.2.3. Теория двухуровневой памяти .....	473
11.2.4. Ошибки .....	475
11.3. Человек в сложной системе .....	476
11.3.1. Мысленные модели сложных систем .....	476
11.3.2. Синтаксическая информация и семантические знания .....	479
11.3.3. Управление уровнем сложности системы .....	480
11.3.4. Интерфейс пользователя как средство работы со сложными системами .....	483
11.4. Оборудование для интерфейса пользователя .....	484
11.5. Проектирование интерфейса пользователя .....	487
11.5.1. Общие принципы .....	487
11.5.2. Применение естественного языка в интерфейсе .....	490
11.5.3. Кодирование .....	494
11.5.4. Отображение информации о процессе .....	496
11.5.5. Команды оператора .....	499
11.5.6. Меню .....	502
11.5.7. Оценка интерфейса пользователя .....	503
11.6. Графический интерфейс пользователя. Система X Window .....	504
11.7. Заключение .....	506

<b>12. Системная интеграция</b>	<b>509</b>
12.1. Структурирование систем управления процессами .....	509
12.2. Интеграция автоматизированных систем управления .....	511
12.2.1. Уровни интеграции .....	511
12.2.2. Монтажные стойки и шкафы .....	513
12.2.3. Проектирование интерфейсов .....	515
12.2.4. Выбор уровня интеграции .....	515
12.3. Надежность системы .....	516
12.3.1. Надежность оборудования .....	516
12.3.2. Модели для расчета надежности .....	517
12.3.3. Надежность систем управления процессами .....	518
12.3.4. Надежность программного обеспечения .....	520
12.4. Функции автоматизированных систем управления .....	522
12.4.1. Мониторинг .....	522
12.4.2. Управление .....	523
12.4.3. Автоматическое управление .....	523
12.4.4. SCADA .....	524
12.4.5. Применение базы данных процесса для мониторинга и управления .....	524
12.4.6. Производные величины .....	528
12.4.7. Доступ к базе данных процесса, запросы и протоколы .....	529
12.4.8. Операции управления, выполняемые с использованием базы данных .....	532
12.4.9. Расширенные языки для управления процессами .....	533
12.5. Внедрение проектов и управление качеством .....	533
12.5.1. Организация работы над проектом .....	535
12.5.2. Управление качеством как часть проектирования системы .....	535
12.5.3. Путь к автоматизированным заводам? .....	536
12.6. Заключение .....	538
 Приложение	
<b>Стандарты и организации по стандартизации</b>	<b>541</b>
 “Проблема 2000” и ее решение в России	<b>545</b>
 Список литературы	<b>549</b>

## Список сокращений

### Английские сокращения

ABS	— <i>Automatic Braking System</i> — автоматическая тормозная система
ACK	— <i>ACKnowledge</i> — положительное квитирование
ADC, A/C	— <i>Analog/Digital converter</i> — аналого-цифровой преобразователь
AI	— <i>Artificial Intelligence</i> — искусственный интеллект
AM	— <i>Amplitude Modulation</i> — амплитудная модуляция
ANSI	— <i>American National Standards Institute</i> — американский национальный институт стандартов
AR	— <i>AutoRegressive (digital filter)</i> — авторегрессионный фильтр
ARMA	— <i>AutoRegressive Moving Average (digital filter)</i> — авторегрессионный фильтр скользящего среднего
ASCII	— <i>American Standard Code for Information Interchange</i> — американский стандартный код для обмена информацией
ASK	— <i>Amplitude Shift Keying</i> — амплитудная манипуляция
ASN	— <i>Abstract Syntax Notation</i> — абстрактный синтаксис
ATM	— <i>Asynchronous Transfer Mode</i> — асинхронный режим передачи
BBM	— <i>Break-Before-Make (contact)</i> — разрыв перед замыканием, нормально разомкнутый (выключатель)
BER	— <i>Basic Encoding Rules</i> — основные правила кодирования
BiФ-L	— <i>Biphase-Level</i> — двухфазное кодирование
BMP	— <i>Basic Multilingual Plan</i> — название фирмы при университете Беркли
BRI	— <i>Basic Rate Interface</i> — интерфейс базового уровня
BSD	— <i>Berkeley Software Distribution</i>
CBR	— <i>Constant Bit Rate</i> — постоянная скорость передачи
CCITT	— <i>Comité Consultatif International de Télégraphie et de Téléphonie</i> — Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии, МККТТ; новое название — ITU ( <i>International Union</i> — Международный союз электросвязи, МЭС)
CD	— <i>Compact Disk</i> — компактный диск
CEN	— <i>Comité Européen de Normalisation</i> — Европейский комитет по стандартизации
CENELEC	— <i>Comité Européen de Normalisation Electrotechnique</i> — Европейский комитет по стандартизации в области электротехники
CIM	— <i>Computer Integrated Manufacturing</i> — автоматизированная система управления производством
CMOS	— <i>Complementary Metal-Oxide Semiconductor</i> — комплементарная структура металл-оксид-полупроводник
CPU	— <i>Central Processing Unit</i> — центральный процессор
CRC	— <i>Cyclic Redundancy Check</i> — циклический избыточный код
CSMA/CD	— <i>Carrier-Sensing Multiple Access / Collision Detection</i> — множественный доступ с прослушиванием несущей и обнаружением коллизий