


**практическое
руководство**

СБОР ДАННЫХ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ



**Джон Парк
Стив Маккей**



Серия

Безопасность и системы промышленной автоматизации.
Опыт практического применения

СБОР ДАННЫХ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Практическое руководство

Джон Парк
Стив Маккей

✦ Охватывает все аспекты систем сбора данных от определения параметров и разработки до программирования, установки и настройки

✦ Предоставляет как новичкам, так и опытным пользователям полную информацию об организации интерфейса между ПК и автономными приборами, предназначенными для регистрации реальных сигналов в лаборатории и на промышленном предприятии

✦ Обеспечивает всеобъемлющее описание компьютерных систем сбора данных и всю необходимую информацию для быстрой и эффективной разработки, установки, настройки и программирования систем сбора информации

✦ Рассматривает широко распространенный интерфейс IEEE-488



Опубликовано в оригинале под названием
**Practical Data Acquisition for
Instrumentation and Control Systems.**
Настоящий перевод публикуется по
договору с Elsevier.



ELSEVIER



Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems

John Park ASD, IDC Technologies, Perth, Australia

Steve Mackay CPEng, BSc(ElecEng), BSc(Hons), MBA, IDC Technologies, Perth, Australia



AMSTERDAM • BOSTON • HEIDELBERG • LONDON • NEW YORK • OXFORD
PARIS • SAN DIEGO • SAN FRANCISCO • SINGAPORE • SYDNEY • TOKYO

Newnes is an imprint of Elsevier





Серия

«Безопасность и системы промышленной автоматизации.
Опыт практического применения»

Сбор данных в системах контроля и управления

Практическое руководство

Джон Парк
Стив Маккей



ООО «Группа ИДТ»

Москва 2006



Серия

**«Безопасность и системы промышленной автоматизации.
Опыт практического применения»**

Редакционный совет серии:

Сорокин С.А., главный редактор журнала «Системы промышленной автоматизации»,

Синенко О.В., главный редактор журнала «Мир компьютерной автоматизации»,

Юркевич Е. В., главный редактор журнала «Надежность»,

Пугачев С.В., главный редактор журнала «Новости международной стандартизации МЭК и ИСО»

УДК 681.518.5

ББК 32.973

П-18

Перевод с английского Савельева В.В., Кузнецовой В.Ф.

Дж. Парк, С. Маккей

П-18 Сбор данных в системах контроля и управления. Практическое руководство: – М.: ООО «Группа ИДТ», 2006. – 504 с., илл., табл.

ISBN 5-94833-021-4

Книга охватывает все аспекты систем сбора данных от определения параметров и разработки до программирования, установки и настройки. Представлена полная информация об организации интерфейса между ПК и автономными приборами, предназначенными для регистрации реальных сигналов в лаборатории и на промышленном предприятии. Книга содержит всеобъемлющее описание компьютерных систем сбора данных и всю необходимую информацию для быстрой и эффективной разработки, установки, настройки и программирования систем сбора информации.

Книга будет полезна как для начинающих, так и для опытных пользователей.

УДК 681.518.5

ББК 32.973

Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель. При нарушении авторских прав применяются меры в соответствии с нормами Российского законодательства в области авторских прав.

Данное издание «Сбор данных в системах контроля и управления. Практическое руководство» Дж. Парка и С. Маккея публикуется по договоренности с Elsevier Science Ltd, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, OX5 1 GB, England

ISBN 0-7506-5796-0

ISBN 5-94833-021-4

© 2003, IDC Technologies. All rights reserved

© ООО «Группа «ИДТ», 2006

Содержание

1.	Введение	17
1.1	Определение понятия сбора данных и управления	17
1.2	Основы операции сбора данных	18
1.2.1	Датчики и источники сигналов	19
1.2.2	Соединительные провода и коммуникационные кабели	19
1.2.3	Преобразование сигналов	20
1.2.4	Аппаратное обеспечение сбора данных	21
1.2.5	Программное обеспечение систем сбора данных	22
1.2.6	Главный компьютер	23
1.3	Конфигурация систем сбора данных и управления	24
1.3.1	Сменные компьютерные платы ввода/вывода	25
1.3.2	Распределенный ввод/вывод	26
1.3.3	Автономные или распределенные регистраторы/контроллеры	27
1.3.4	Дистанционно программируемые приборы с интерфейсом IEEE-488 (GPIB)	30
2.	Аналоговые и цифровые сигналы	33
2.1	Классификация сигналов	33
2.1.1	Цифровые (двоичные) сигналы	34
2.1.2	Аналоговые сигналы	35
2.2	Датчики и источники сигнала	38
2.3	Характеристики преобразователей физических величин	39
2.4	Резистивные температурные датчики (РТД)	40
2.4.1	Характеристики РТД	40
2.4.2	Линейность резистивных термодатчиков	41
2.4.3	Схемы измерений температуры и анализ резистивных термодатчиков	42
2.5	Термисторы	45
2.6	Термопары	46
2.6.1	Компенсация холодных спаев	46
2.6.2	Изотермический блок и компенсационные кабели	48
2.6.3	Линеаризация термопар	48
2.6.4	Типы и стандарты термопар	49
2.6.5	Конструкция термопар	50
2.6.6	Погрешности измерений	51
2.6.7	Конфигурации соединительных проводов	52

2.7	Тензодатчики	53
2.8	Мосты Уитстона	54
2.8.1	Общие характеристики	54
2.8.2	Конфигурация четвертного моста	56
2.8.3	Конфигурация половинного моста	57
2.8.4	Конфигурация полного моста	58
2.8.5	Проводные соединения	58
2.8.6	Рассмотрение температурных проблем	61
2.8.7	Погрешности измерения	61
<hr/>		
3.	Преобразование сигналов	63
<hr/>		
3.1	Введение	63
3.2	Типы преобразования сигналов	64
3.2.1	Усиление	64
3.2.2	Электрическая развязка	65
3.2.3	Фильтрация	66
3.2.4	Линеаризация	72
3.3	Классы преобразования сигналов	72
3.3.1	Сменные платы преобразования сигналов	72
3.3.2	Прямое модульное подключение – двухпроводные передатчики	73
3.3.3	Распределенный ввод/вывод – цифровые передатчики	75
3.4	Соединительные провода и измерение сигналов	77
3.4.1	Заземленные источники сигналов	78
3.4.2	Плавающие источники сигналов	79
3.4.3	Однопроводное измерение сигналов	79
3.4.4	Дифференциальное измерение сигналов	80
3.4.5	Синфазные напряжения и коэффициент ослабления синфазного сигнала	80
3.4.6	Измерение сигналов заземленных источников	82
3.4.7	Контурь заземления	83
3.4.8	Электрическая развязка сигнальной схемы	83
3.4.9	Измерение сигналов незаземленных источников	85
3.4.10	Электрическая развязка системы	86
3.5	Электрические шумы и помехи	87
3.5.1	Определение электрических шумов и помех	87
3.5.2	Источники и типы шумов	87
3.6.	Минимизация шумов	93
3.6.1	Экранирование кабелей и заземление экранов	93
3.6.2	Заземление экранов кабелей	95
3.7	Экранированный кабель и кабель в виде витой пары	97
3.7.1	Кабели в виде витой пары	98
3.7.2	Коаксиальные кабели	99

4.	Работа ПК в режиме реального времени	101
	Введение	101
4.1	Операционные системы	101
4.1.1	DOS DOS DOS	102
4.1.2	Операционные системы Microsoft Windows 3.1, 95, 98, 2000 и NT	104
4.1.3	UNIX	108
4.2	Операция прерывания	108
4.2.1	Аппаратные прерывания	109
4.2.2	Немаскированные прерывания	109
4.2.3	Маскированные прерывания	110
4.2.4	Программируемые контроллеры прерываний	110
4.2.5	Инициализация контроллера прерываний	112
4.2.6	Устройства ввода/вывода, требующие обслуживания прерывания	112
4.2.7	Подпрограммы обработки прерываний	114
4.2.8	Разделение прерываний	115
4.3	Прямой доступ к памяти (ПДП)	115
4.3.1	Контроллеры ПДП	117
4.3.2	Инициализация ПДП контроллера	118
4.3.3	Устройства ввода/вывода, требующие ПДП	118
4.3.4	Сигнал окончания ПДП операций	120
4.3.5	Режимы ПДП	120
4.4	Повторные строковые команды (REP INSW)	123
4.5	Перенос данных с последовательным опросом	125
4.6	Скорость передачи данных (опрашиваемый ввод/вывод, ввод/вывод с помощью прерываний, ПДП)	139
4.7	Память	140
4.7.1	Базовая память	140
4.7.2	Система отображаемой памяти (EMS)	141
4.7.3	Расширенная память (XMS)	142
4.7.4	Модули расширения памяти	143
4.8	Стандартные шины расширения (шины IAS, EISA, PCI и PXI)	143
4.8.1	Шина ISA	143
4.8.2	Микроканальная шина	155
4.8.3	Шина EISA	156
4.8.4	Шины PCI, compactPCI и PXI	156
4.9	Последовательная передача информации	161
4.9.1	Стандартные настройки	161
4.9.2	Программируемые последовательные порты	162
4.10	Способы организации интерфейса ПК IBM	162
4.10.1	Аппаратное обеспечение	163
4.10.2	Декодирование адреса	165
4.10.3	Требования к синхронизации процессов	166

5.	Сменные платы сбора данных	169
5.1.	Введение	169
5.2.	Платы АЦП	170
5.2.1	Мультиплексоры	171
5.2.2	Усилитель входного сигнала	172
5.2.3	Массив коэффициентов усиления	174
5.2.4	Схемы выборки и хранения	175
5.2.5	Аналого-цифровые преобразователи	176
5.2.6	Буфер памяти (FIFO)	190
5.2.7	Схемы синхронизации	191
5.2.8	Интерфейс шины расширения	192
5.3.	Сравнение однопроводных и дифференциальных сигналов	193
5.3.1	Однопроводные входы	193
5.3.2	Псевдодифференциальное подключение	194
5.3.3	Дифференциальные входы	195
5.4.	Разрешение, динамический диапазон и точность плат аналого-цифрового преобразования	196
5.4.1	Динамический диапазон	196
5.4.2	Разрешение	197
5.4.3	Точность системы	198
5.5.	Частота выборки и теорема Найквиста	199
5.5.1	Теорема Найквиста	200
5.5.2	Наложение спектров	200
5.5.3	Предотвращение комбинационных частот	203
5.5.4	Практические примеры	205
5.6.	Методы дискретизации	208
5.6.1	Непрерывное сканирование каналов	208
5.6.2	Одновременная выборка	212
5.6.3	Пакетный режим	213
5.7.	Скорость и производительность	215
5.8.	Платы цифроаналоговых преобразований	216
5.8.1	Цифроаналоговые преобразователи	218
5.8.2	Параметры цифроаналоговых преобразователей	220
5.8.3	Функциональные характеристики плат АЦП	223
5.8.4	Буферная память (FIFO)	224
5.8.5	Схема синхронизации	224
5.8.6	Выходной буферный усилитель	225
5.8.7	Интерфейсная шина	225
5.9.	Цифровые платы ввода/вывода	226
5.10.	Подключение цифровых входов/выходов	228
5.10.1	Датчики переключений	228
5.10.2	Датчики переменного/постоянного напряжения	230
5.10.3	Подключение светодиодного индикатора	231
5.10.4	Подключение реле	231
5.11.	Платы счетчиков/таймеров	234

6.	Последовательная передача данных	241
<hr/>		
6.1	Определения и основные принципы	242
6.1.1	Режимы передачи – симплекс и дуплекс	243
6.1.2	Кодирование сообщений	244
6.1.3	Формат передаваемых данных	247
6.1.4	Скорость передачи данных	249
6.2	Стандартный интерфейс RS-232-C	250
6.2.1	Электрические характеристики сигнала	251
6.2.2	Механические характеристики интерфейса	254
6.2.3	Функциональное назначение линий интерфейса	256
6.2.4	Последовательность операций, производимых интерфейсом EIA-232	257
6.2.5	Примеры интерфейсов RS-232	259
6.2.6	Особенности стандартного интерфейса RS-232	260
6.3	Стандартный интерфейс RS-485	261
6.3.1	Репитеры интерфейса RS-485	263
6.4	Сравнение стандартов RS-232 и RS-485	263
6.5	Токовая петля 20 мА	264
6.6	Преобразователи последовательного интерфейса	265
6.7	Протоколы	266
6.7.1	Протоколы управления потоками	267
6.7.2	Протоколы, основанные на коде ASCII	267
6.8	Обнаружение ошибок	270
6.8.1	Контроль символов по избыточности	270
6.8.2	Контроль пакета по избыточности	270
6.8.3	Контроль с использованием циклического избыточного кода ..	271
6.9	Проверка и устранение неполадок канала последовательной передачи данных	271
6.9.1	Коммутационный бокс	273
6.9.2	Нуль-модем	273
6.9.3	Возвращающая заглушка	274
6.9.4	Анализатор протокола	274
6.9.5	ПК в качестве анализатора протокола	275
<hr/>		
7.	Распределенные и автономные регистраторы/контроллеры	277
<hr/>		
7.1	Введение	277
7.2	Принципы действия	277
7.2.1	Программирование и запись данных с помощью PCMCIA карт ..	278
7.2.2	Автономная работа	279
7.2.3	Прямое соединение с главным ПК	279
7.2.4	Удаленное подключение к главному ПК	282

7.3	Аппаратное обеспечение автономного регистратора/контроллера	283
7.3.1	Микропроцессоры	284
7.3.2	Память	285
7.3.3	Часы реального времени	286
7.4.3	Универсальный асинхронный приемопередатчик (UART)	287
7.3.5	Источник питания	288
7.3.6	Схема управления питанием	289
7.3.7	Аналоговые входы и цифровые каналы ввода/вывода	290
7.3.8	Расширительные модули	293
7.4	Аппаратный коммуникационный интерфейс	293
7.4.1	Интерфейс RS-232	293
7.4.2	Стандарт RS-485	295
7.4.3	Узкие места канала связи и производительность системы	295
7.4.4	Использование сети Ethernet для подключения регистраторов	297
7.5	Встроенные программы автономных регистраторов/контроллеров	298
7.6	Разработка программного обеспечения автономного регистратора/контроллера	298
7.6.1	Форматы команд на основе кода ASCII	300
7.6.2	Форматы данных на основе кода ASCII	301
7.6.3	Сообщения об ошибках	301
7.6.4	Системные команды	302
7.6.5	Канальные команды	302
7.6.6	Расписание (программа опроса каналов)	305
7.6.7	Аварийные сигналы	308
7.6.8	Запись и передача данных	309
7.7	Программное обеспечение главного компьютера	310
7.8	Рекомендации по использованию автономных регистраторов/контроллеров	311
7.9	Сравнение автономных регистраторов/контроллеров со встроенными системами	312
7.9.1	Достоинства	312
7.9.2	Недостатки	313
8.	Стандарт IEEE-488	314
8.1	Введение	314
8.2	Электрические и механические характеристики	316
8.3	Физическая конфигурация подключения	317
8.4	Типы устройств	318
8.5	Конфигурация шины	320
8.5.1	Линии данных	320
8.5.2	Линии управления интерфейсом	321
8.5.3	Линии квитирования	321

8.6	Квитирование в интерфейсе GPIB	322
8.7	Связь между устройствами	323
8.7.1	Адресация в интерфейсе GPIB	324
8.7.2	Отмена адресного обращения к устройству	325
8.7.3	Сообщение об окончании данных	325
8.7.4	Передача и прием данных	325
8.8	Интерфейс IEEE 488.2	326
8.8.1	Требования к контроллерам IEEE 488.2	326
8.8.2	Управляющие последовательности интерфейса IEEE 488.2	326
8.8.3	Протоколы интерфейса IEEE 488.2	328
8.8.4	Возможности приборного интерфейса	329
8.8.5	Модель передачи отчета о состоянии	330
8.8.6	Набор общих команд	331
8.9	Стандартные команды для программируемых измерительных приборов (SCPI)	332
8.9.1	Общие команды интерфейса IEEE 488.2, поддерживаемые SCPI	333
8.9.2	Команды, требуемые стандартом SCPI	333
8.9.3	Командная модель программирования SCPI прибора	334
8.9.4	Иерархическая структура команд SCPI	336
9.	Локальные сети Ethernet	338

9.1	Использование сети Ethernet в качестве полевых шин для сбора данных	338
9.2	Физический уровень	339
9.2.1	Система 10Base5	340
9.2.2	Система 10Base2	343
9.2.3	10BaseT	344
9.2.4	10BaseF	345
9.2.5	100BaseT (100BaseTX, T4, FX, T2)	346
9.3	Контроль над доступом к каналу передачи данных	348
9.4	Формат кадра протокола управления доступом к среде	352
9.5	Различие стандартов 802.3 и Ethernet	354
9.6	Уменьшение количества коллизий	354
9.7	Правила разработки сетей Ethernet	355
9.7.1	Длина сегмента кабеля	355
9.7.2	Максимальная длина кабеля трансивера	356
9.7.3	Правила расположения узлов	356
9.7.4	Максимальная длина передачи	356
9.7.5	Максимальный размер сети	357
9.7.6	Правила использования повторителей	357
9.7.7	Система заземления кабелей	357
9.8	Полевые шины	358

10.	Универсальная последовательная шина (USB)	362
10.1	Введение	362
10.2	Общая структура USB шины	363
10.2.1	Топология	363
10.2.2	Главные хабы	364
10.2.3	Разъемы	365
10.2.4	Кабели для низкой и высокой скоростей передачи данных	366
10.2.5	Внешние хабы	367
10.2.6	USB устройства	367
10.2.7	Аппаратное обеспечение и драйвер контроллера главного хаба	368
10.2.8	USB драйвер	369
10.2.9	Драйверы устройств	369
10.2.10	Поток данных	369
10.3	Физический уровень	371
10.3.1	Разъемы	371
10.3.2	Кабели	372
10.3.3	Передача сигналов	373
10.3.4	Система NRZI и битовое заполнение	374
10.3.5	Распределение питания	375
10.4	Уровень передачи данных	375
10.4.1	Типы передачи данных	376
10.4.2	Пакеты и фреймы	378
10.5	Уровень приложения (уровень пользователя)	378
10.6	Заключение	379
10.6.1	Благодарность	379
11.	Специальные технологии	381
11.1	Замкнутые и разомкнутые контуры управления	381
11.1.1	Определения	381
11.1.2	Замкнутая система контроля уровня жидкости	382
11.1.3	Пропорциональный интегрально-дифференциальный алгоритм управления	383
11.1.4	Переходная характеристика – реакция на ступеньку	384
11.1.5	Зона нечувствительности	386
11.1.6	Ограничение выходного уровня	386
11.1.7	Ручное управление – плавная передача	386
11.2	Регистрация быстропротекающих переходных процессов	386
11.2.1	Работа аналого-цифровой платы и требования к памяти	387
11.2.2	Режимы запуска (пред- и послезапуск)	387
11.2.3	Источник и уровень сигнала запуска	388

12. PCMCIA карты	389
Введение	389
12.1 История	390
12.2 Возможности PC Card	391
12.2.1 Размеры и универсальность	391
12.2.2 16-разрядные карты	391
12.2.3 Прямой доступ к памяти (ПДП)	391
12.2.4 Многофункциональность и прозрачность по отношению к компьютеру	392
12.2.5 Низкое напряжение	392
12.2.6 Функция plug and play	392
12.2.7 Выполнение на месте	393
12.2.8 Проблемы	393
12.3 Устройства на основе PC Card	393
12.3.1 Карты памяти	393
12.3.2 Приводы дисков	393
12.3.3 Пейджеры	394
12.3.4 Локальные сети	394
12.3.5 Модемы	394
12.3.6 Сотовый телефон	394
12.3.7 Платы сбора данных	395
12.3.8 Цифровой мультиметр	395
12.3.9 Системы GPRS	395
12.3.10 Карманный органайзер	395
12.3.11 Автономные устройства	396
12.3.12 Полноразмерные компьютеры	396
12.4 Конструкция	396
12.4.1 Размеры и типы	396
12.4.2 Удлиненные PC Card	397
12.5 Аппаратное обеспечение	397
12.5.1 Потребляемая энергия	398
12.5.2 Назначение контактов	398
12.5.3 Карты, служащие только памятью	398
12.5.4 Карты ввода/вывода	398
12.5.5 Карты ввода/вывода с ПДП	399
12.5.6 Интерфейс ATA (АТ подключение)	401
12.5.7 Интерфейс AIMS (массовая память с автоиндексацией)	401
12.6 Программная поддержка PC Card	402
12.6.1 Окружение PC Card	403
12.7 Поддерживающее программное обеспечение и активизаторы PC Card	403
12.8 Будущее PC Card	404
12.8.1 Перечень журналов и адрес ассоциации PCMCIA	404
12.8.2 Международная ассоциация по картам памяти для персональных компьютеров	404

Приложение А. Глоссарий	405
Приложение Б. Спецификации шины компьютера IBM PC	424
Б.1 Аппаратные прерывания	424
Б.2 Каналы ПДП	425
Б.3 Каналы ПДП ИС 8237	426
Регенерация (AT) 08F	426
Б.4 Контроллер прерываний 8259	427
Б.5 Счетчик/таймер 8253/8254	428
Б.6 Информация о сигналах шины	438
Б.7 Размеры плат	441
Б.8 Стандартный интерфейс Centronics	442
Приложение В. Описание ИС программируемого периферийного интерфейса 8255	444
В.1 DIOCTRL – управляющий регистр ИС 8255	446
Режим конфигурации, разряд 7	446
В.2 DIOA – порт А ИС 8255 (смещение 0, чтение/запись)	448
В.3 DIOB – порт В ИС 8255 (смещение 1, чтение/запись)	448
В.4 DIOC – порт С ИС 8255 (смещение 2, чтение/запись)	449
В.5 Режим 0: простой ввод/вывод	451
В.6 Программирование режима 0	451
В.7 Режим 1: стробируемый ввод/вывод	452
В.8 Программирование режима 1	452
В.9 Режим 2: стробируемая двунаправленная шина ввода/вывода	455
В.10 Программирование режима 2	456
В.11 Однобитовая установка/сброс	458
В.12 Программирование смешанного режима	459
В.13 Временные диаграммы режимов 1 и 2 ИС 8255	459
Приложение Г. Описание ИС таймера-счетчика 8254	461
Г.1 Архитектура ИС 8254	461
Регистр счетчика (CR)	463
Счетный элемент (CE)	463
Выходная защелка (OL)	463

Г.2	Регистры ИС 8254	463
	Управляющий регистр TCCTRL таймера/счетчика (смещение 3, только запись)	464
	Режим конфигурации	465
	Команда обратного чтения	466
	Команда на фиксацию счетчика	466
	ТС0 — таймер/счетчик 0 (смещение 0, чтение/запись)	466
	ТС1 — таймер/счетчик 1 (смещение 1, чтение/запись)	467
	ТС2 — таймер/счетчик 2 (смещение 2, чтение/запись)	467
Г.3	Программирование счетчика	468
	Формат передачи данных	468
	Вход тактовых импульсов	469
	Стробирующий вход	469
Г.4	Операции чтения	469
	Операция простого чтения	469
	Команда фиксации счета	469
	Команда обратного чтения	470
	Фиксация нескольких счетчиков	471
	Информация о состоянии счетчика	471
	Защелкивание состояния и текущего счета	472
Г.5	Описание режимов работы счетчика	472
	Режим 0: прерывание по конечному счету	472
	Режим 1: аппаратно перезапускаемый одновибратор	473
	Режим 2: генератор с регулируемой частотой	473
	Режим 3: генератор прямоугольного сигнала	474
	Режим 4: программное стробирование	475
	Режим 5: аппаратно запускаемый импульс	476
Г.6	Обработка прерываний	477
<hr/>		
	Приложение Д. Таблицы термопар	478
	Термопара типа В	478
	Термопара типа ВР	479
	Термопара типа ВN	479
	Термопара типа Е	480
	Термопара типа J	481
	Термопара типа JP	481
	Термопара типа JN	482
	Термопара типа К	482
	Термопара типа КР	483
	Термопара типа KN	484
	Термопара типа R	485
	Термопара типа S	486
	Термопара типа Т	487
	Термопара типа ТР	488
	Термопара типа TN	489

Приложение Е. Системы счисления	490
Е.1 Введение	490
Е.2 Обобщенная система счисления	490
Е.3 Двоичные числа	491
Е.3.1 Преобразование между десятичными и двоичными числами ..	492
Е.4 Шестнадцатеричные числа	493
Е.4.1 Преобразование между двоичными и шестнадцатеричными числами	494
Е.5 Восьмеричная система счисления	495
Е.6 Двоично-десятичное кодирование (BCD)	496
Е.7 Двоично-восьмеричные системы	496
Е.8 Внутреннее представление информации	497
Е.8.1 Числовые данные	497
Е.8.2 Буквенно-цифровое представление данных	498
Е.9 Двоичная арифметика	498
Предметный указатель	500

Введение

В 1981 году, когда компания IBM выпустила свой первый персональный компьютер, или ПК (именно под этим названием он стал широко известен), его конструкция в виде открытой системы способствовала созданию независимыми разработчиками большого количества дополнительных совместимых компонентов. Кроме того, конструкция в виде открытой системы обеспечила быстрое распространение на мировом рынке IBM-совместимых ПК, что привело к стремительному росту быстродействия и производительности персональных компьютеров благодаря соперничеству конкурентов на рынке.

Этот процесс, сопровождаемый существенным падением цены и быстрым расширением возможностей программного обеспечения, использующего возросшую мощность процессора, привел к тому, что персональный компьютер стал в настоящее время наиболее широко применяемой платформой для обработки цифровых сигналов, обработки изображений, сбора данных, технологического контроля и осуществления коммуникаций. Во многих случаях применения, особенно для сбора данных и технологического контроля, мощность и гибкость ПК позволяют конфигурировать их различным образом, когда каждая конфигурация обладает своими собственными явными преимуществами. Ключом к эффективному использованию персонального компьютера является тщательное согласование конкретных требований к определенной задаче сбора данных и имеющегося в наличии аппаратного и программного обеспечения.

Эта глава рассматривает фундаментальные концепции построения систем сбора данных и управления, а также различные конфигурации систем, использующих персональные компьютеры.

1.1 Определение понятия сбора данных и управления

Сбор данных является процессом, в ходе которого физические явления реального мира трансформируются в электрические сигналы, которые изменяются и преобразуются в цифровой формат, подходящий для обработки, анализа и сохранения компьютером.

В большинстве случаев система сбора данных (система СДА) предназначена не только для сбора данных, но и для осуществления действий с ними.

Поэтому, определяя системы СДА, полезно расширить это определение и включить в него аспекты управления всей системой. Управление представляет собой процесс, с помощью которого цифровые сигналы управления аппаратного обеспечения системы выдаются в формате, подходящем для использования такими устройствами, как исполнительные механизмы и реле. Затем эти устройства управляют системой или процессом. При ссылке на систему как на систему сбора данных или систему СДА следует учитывать возможность того, что она включает в себя и функции управления.

1.2 Основы операции сбора данных

Система сбора данных и управления, построенная с учетом мощности и гибкости персональных компьютеров, может состоять из большого количества разнообразных компонентов, образующих аппаратное обеспечение и произведенных различными изготовителями оборудования. Задача разработчика системы состоит именно в объединении этих отдельных компонентов в завершенную работающую систему.

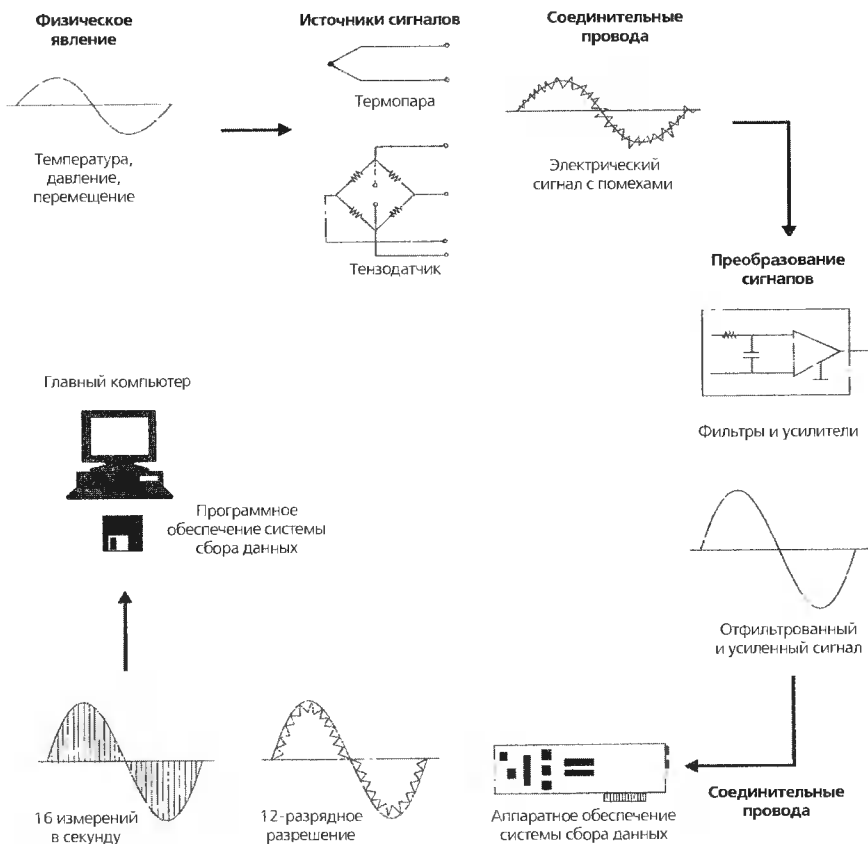


Рисунок 1.1

Функциональная схема системы сбора данных, основанной на персональном компьютере

Основными элементами системы сбора данных, как показано на рисунке 1, являются:

- Датчики и источники сигналов
- Соединительные провода
- Преобразователи сигналов
- Аппаратное обеспечение сбора данных
- Персональный компьютер (с операционной системой)
- Программное обеспечение сбора данных

Для обеспечения точности измерений и сбора данных, связанных с контролируемым процессом или физическим явлением, важен каждый элемент всей системы и эти элементы будут обсуждаться в следующих разделах.

1.2.1 Датчики и источники сигналов

Датчики и источники сигналов обеспечивают фактический интерфейс между реальным миром и системой сбора данных путем преобразования физических явлений в электрические сигналы, которые могут быть приняты аппаратным обеспечением систем формирования сигналов и/или сбора данных.

Имеющиеся датчики могут измерять почти любые физические величины и обеспечивать соответствующий электрический выход. Например, термопары, резистивные температурные датчики (ТС), термисторы и датчики на интегральных схемах преобразуют температуру в аналоговый сигнал, тогда как измерители потока генерируют последовательности цифровых импульсов, частота которых зависит от скорости потока.

Тензодатчики и датчики давления измеряют, соответственно, силу и давление. Имеются и другие типы датчиков, предназначенные для измерения линейного и углового смещения, скорости и ускорения, интенсивности света, химических свойств (например, концентрации CO, pH), напряжения, электрического тока, сопротивления или параметров импульсов. В каждом случае создаваемые электрические сигналы пропорциональны измеряемой физической величине в соответствии с некоторым определенным соотношением.

1.2.2 Соединительные провода и коммуникационные кабели

Соединительные провода необходимы для физического соединения датчиков и источников сигналов с аппаратным обеспечением систем преобразования сигналов и/или сбора данных. Если аппаратное обеспечение таких систем удалено от персонального компьютера, то соединительные провода обеспечивают физическую связь между этими элементами аппаратного обеспечения и главным компьютером. Если физической связью является коммуникационный интерфейс RS-232 или RS-485, то такой тип связи называется кабельным коммуникационным соединением.

Поскольку соединительные провода и коммуникационные кабели физически часто представляют собой самый большой компонент полной системы, они наиболее восприимчивы к воздействиям внешних помех, особенно в жестких промышленных условиях. Для снижения воздействия шумов особенно важным являются правильное заземление и экранирование проводов и коммуникационных кабелей. Этому пассивному компоненту системы сбора данных и управления часто не уделяют должного внимания как важному интегральному компоненту, что приводит к тому, что система, являющаяся надежной, становится неточной или ненадежной из-за неправильных методов прокладки проводов.

1.2.3 Преобразование сигналов

Электрические сигналы, создаваемые датчиками, часто нуждаются в преобразовании в форму, воспринимаемую аппаратным обеспечением системы сбора данных, особенно это относится к аналого-цифровому преобразованию (АЦП), когда данные, содержащиеся в сигнале, преобразуются в требуемый цифровой формат. Кроме того, для правильной и точной работы многие преобразователи требуют того или иного возбуждения или наличия моста.

Основными задачами, решаемыми при преобразовании сигналов, являются:

- Фильтрация
- Усиление
- Линеаризация
- Электрическая развязка
- Возбуждение

Фильтрация

В условиях наличия помех очень малым сигналам, получаемым от таких датчиков, как термодары и тензодатчик (порядка милливольт), очень трудно выживать без искажения данных. Если помеха имеет тот же порядок величины или даже больше, чем принимаемый сигнал, то ее необходимо отфильтровать. Устройства преобразования сигналов часто содержат фильтры нижних частот, предназначенные для устранения высокочастотных шумов, наличие которых может привести к получению неточных данных.

Усиление

После фильтрации принимаемого входного сигнала его следует усилить для увеличения точности измерений. Максимальная точность получается путем усиления входного сигнала до такой степени, чтобы наибольший размах напряжения входного сигнала был равен входному диапазону аналого-цифрового преобразователя системы сбора данных.

Размещение усилителя физически как можно ближе к датчику снижает воздействие помех на сигнальные линии между преобразователем и аппаратурой сбора данных.

Линеаризация

Многие датчики, такие, как термопары, проявляют нелинейную связь с физической величиной, для измерения которой они используются. Метод линеаризации этих входных сигналов в разных устройствах преобразования сигналов различен. Например, в случае термопар некоторые системы настраивают устройство преобразования сигналов в соответствии с используемым типом термопары, обеспечивая аппаратуре возможность в то же время усиливать и линеаризовать сигнал.

Более дешевый, простой и гибкий метод реализуется устройствами обработки сигналов, которые выполняют линеаризацию входного сигнала с помощью программного обеспечения.

Электрическая развязка

Устройство преобразования сигналов может также использоваться для обеспечения электрической развязки сигналов датчиков от компьютера, когда возможно возникновение переходных процессов, связанных с образованием высокого напряжения в контролируемой системе либо из-за электростатического разряда, либо вследствие электрического повреждения. Электрическая развязка защищает дорогостоящее компьютерное оборудование от повреждения, а операторов компьютера – от поражения электрическим током. Кроме того, в случаях, когда имеются высокие уровни синфазного напряжения или когда требуются крайне низкие токи утечки синфазных сигналов, например, в медицинской практике, электрическая развязка позволяет производить измерения точно и безопасно.

Возбуждение

Устройства преобразования сигналов обеспечивают также возбуждение для некоторых преобразователей. Например, для тензодатчиков, термисторов и резистивных термодачиков требуются внешние сигналы возбуждения в виде тока или напряжения.

1.2.4 Аппаратное обеспечение сбора данных

Аппаратное обеспечение сбора данных (СДА) и управления может быть определено как компонент полной системы сбора данных и управления, который выполняет любую из следующих функций:

- Ввод, обработка и преобразование в цифровую форму (с помощью АЦП) тех аналоговых сигналов, которые связаны с измеряемой системой или процессом, с последующей передачей данных в компьютер для отображения, хранения и анализа
- Ввод цифровых сигналов, содержащих информацию о системе или процессе
- Обработка, преобразование в аналоговую форму (с помощью цифро-аналогового преобразователя ЦАП) цифровых сигналов от компьютера

и использование аналоговых сигналов для управления системой или процессом

- Вывод цифровых управляющих сигналов

Для сбора данных имеется самое разнообразное аппаратное обеспечение от самых разных изготовителей. Наиболее распространенным элементом аппаратного обеспечения СДА являются сменные платы аппаратного расширения, которые подключаются непосредственно к шине компьютера. К другим типам аппаратного обеспечения СДА относятся автономные программируемые регистраторы и контроллеры, которые могут контролироваться, управляться и настраиваться с помощью компьютера через интерфейс RS-232, хотя при этом они могут работать и независимо от компьютера.

Другим часто используемым элементом аппаратного обеспечения СДА, особенно при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также в условиях испытаний является удаленное автономное устройство, которое может конфигурироваться и управляться компьютером через коммуникационный интерфейс IEEE-488. Некоторые из наиболее часто используемых конфигураций систем СДА рассматриваются ниже, в разделе **Конфигурация систем сбора данных и управления**

1.2.5 Программное обеспечение систем сбора данных

Аппаратура сбора данных не работает без программного обеспечения, поскольку именно программное обеспечение позволяет создать полную систему, которая производит сбор, анализ, отображение данных и управление.

Прикладное программное обеспечение работает на компьютере в операционной системе, которая может быть однозадачной (типа DOS) или многозадачной (типа Windows, Unix, OS2), позволяющей одновременно работать нескольким прикладным программам.

Прикладное программное обеспечение может быть полноэкранным интерактивной панелью, узкоспециализированной программой управления вводом/выводом, регистратором данных, обработчиком коммуникационной информации или комбинацией всего этого.

Что касается программного обеспечения, необходимого для работы аппаратуры, то имеются три варианта:

- Непосредственное программирование регистров аппаратуры сбора данных
- Использование низкоуровневого программного драйвера, который обычно поставляется с аппаратным обеспечением и предназначен для разработки прикладного программного обеспечения с учетом конкретных задач
- Использование имеющегося в наличии программного обеспечения – это может быть прикладное программное обеспечение, поставляемое вместе с аппаратурой и которое выполняет все задания, требуемые для конкретного применения, пакеты программ третьей стороны, такие, как LabVIEW и Labtech Notebook, которые обеспечивают гра-

фический интерфейс для программирования задач, требуемых от определенного компонента аппаратного обеспечения, а также средства для анализа и визуализации полученных данных.

1.2.6 Главный компьютер

Персональный компьютер, используемый в системе сбора данных, во многом определяет скорость, с которой данные могут непрерывно и точно собираться, обрабатываться и сохраняться в каждом конкретном случае. Если высокоскоростной сбор данных осуществляется с помощью сменной платы, то пропускная способность, обеспечиваемая архитектурами такой шины, как PCI, выше пропускной способности стандартной шины ISA или EISA персонального компьютера.

В зависимости от конкретного случая, быстродействие процессора, время доступа к жесткому диску, емкость диска и используемые типы передачи данных – все может оказывать воздействие на скорость, с которой компьютер способен непрерывно получать данные. Например, все персональные компьютеры способны передавать данные при программируемом вводе/выводе и использовании прерываний. Использование прямого доступа к памяти (ПДП), который специализированное аппаратное обеспечение применяет для передачи данных непосредственно в память компьютера, существенно повышает пропускную способность системы и разгружает процессор компьютера для выполнения других задач. Если требуется ПДП или передача данных с использованием прерываний, то сменная плата сбора данных должна обеспечивать эти типы передачи.

При обычной работе информация, полученная платой сбора данных или другим аппаратным обеспечением СДА (например, регистратором данных), сохраняются непосредственно в памяти системы. Если полученный объем данных превышает емкость памяти системы, то данные в любой момент времени могут быть переданы на постоянное хранение на жесткий диск. Скорость, с которой данные передаются на постоянное хранение, не воздействует на полную пропускную способность системы сбора данных.

Если требуется получить и сохранить большое количество данных с высокой скоростью, то для непрерывного сохранения данных на жестком диске может быть использована прямая запись. Используется резидентная программа (TSR), обеспечивающая непрерывную передачу информации, получаемой платой сбора данных и временно содержащейся в памяти системы, на жесткий диск. Ограничивающими факторами при потоковом процессе могут быть время доступа к жесткому диску и его емкость. Если емкости жесткого диска достаточно для хранения информации, то на рабочие характеристики системы может влиять объем непрерывного (нефрагментированного) свободного пространства диска, доступного для хранения данных, поскольку максимальная скорость, с которой данные могут переноситься на диск, снижается с увеличением его фрагментации.

Если требуется обработка получаемых данных в режиме реального времени, то на первый план выходят рабочие характеристики процессора компьютера. Минимальным требованием для обработки высокочастотных сигналов, собираемых с использованием быстродействующей платы выборки, является наличие 32-разрядного процессора с сопроцессором или в ином случае – со специализированным сменным процессором. Низкочастотные сигналы, при регистрации которых каждую секунду обрабатываются только несколько выборок, со всей очевидностью не потребуют того же уровня мощности процессора для обработки сигнала. В этом случае будет достаточно использовать простейший персональный компьютер. Понятно, что требования к рабочим характеристикам главного компьютера должны соответствовать конкретному случаю применения. С учетом всех требований к системе сбора данных выбор компьютера всегда является компромиссом между стоимостью и теми текущими и будущими требованиями, которым он должен удовлетворять.

Еще одной характеристикой персонального компьютера, которую следует рассмотреть, является тип используемой операционной системы.

Это может быть однозадачная (например, MS-DOS) или многозадачная (например, Windows-2000) операционная система. Хотя многозадачный характер Windows обеспечивает значительные преимущества в большинстве случаев применения, использование этой операционной системы при сборе данных не столь предпочтительно. Например, методы, применяемые в Windows для управления памятью, могут создать трудности при использовании ПДП. Кроме того, задержки обработки прерываний, вызываемые многозадачным характером Windows, могут привести к проблемам при использовании передачи данных, управляемой прерыванием. Поэтому необходимо самым тщательным образом подойти к рассмотрению операционной системы и ее рабочих характеристик с учетом типа аппаратного обеспечения сбора данных и методов передачи информации, особенно в тех случаях, когда требуется высокоскоростная передача данных.

1.3 Конфигурация систем сбора данных и управления

Во многих случаях, особенно при сборе данных и управлении процессом, производительность и гибкость персонального компьютера позволяют конфигурировать системы СДА различными способами, каждый из которых обладает своими собственными явными преимуществами. Ключом к эффективному использованию персонального компьютера является тщательное соответствие между конкретными требованиями к определенной задаче сбора данных и имеющимся в распоряжении пользователя аппаратным и программным обеспечением.

Выбор аппаратного обеспечения и конфигурации системы во многом определяется условиями, в которых будет работать система (например, в исследовательской лаборатории, на заводе или в удаленных полевых условиях).

Ключевыми факторами являются: необходимое количество датчиков и приводов, их физическое расположение относительно главного компьютера, тип требуемой обработки сигналов и жесткость условий окружающей среды.

Можно указать несколько наиболее общих конфигураций систем:

- Сменные компьютерные платы ввода/вывода
- Распределенные устройства ввода/вывода
- Автономные или распределенные регистраторы и контроллеры
- Приборы с интерфейсом IEEE-488

1.3.1 Сменные компьютерные платы ввода/вывода

Сменные платы ввода/вывода, подключаемые непосредственно к шине расширения компьютера, обычно являются компактными и обеспечивают самый быстрый способ сбора данных в память компьютера и/или изменения вывода. Наряду с этими достоинствами сменные платы часто являются самой дешевой альтернативой полной системе сбора данных и управления и поэтому являются часто используемым элементом аппаратного обеспечения СДА.

Как показано на рисунке 1.2, примерами сменных плат ввода/вывода являются платы аналого-цифровых преобразователей с несколькими аналоговыми входами, платы цифроаналоговых преобразователей с несколь-

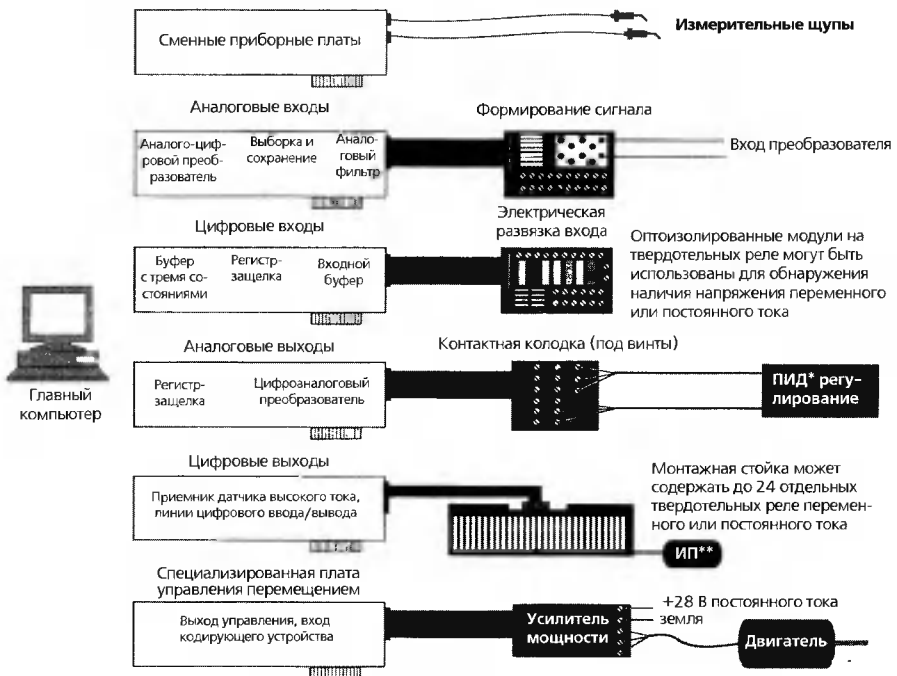


Рисунок 1.2
Пример компьютерных сменных плат ввода/вывода

* ПИД – пропорционально-интегрально-дифференциальное регулирование;

** ИП – источник питания

кими аналоговыми выходами, платы цифрового ввода/вывода, платы счетчика/таймера, специализированные платы контроллеров (такие, как контроллеры шаговых двигателей/сервомоторов) или специализированные приборные платы (такие, как цифровые осциллографы).

Многофункциональные платы СДА, содержащие аналого-цифровые преобразователи (АЦП), цифроаналоговые преобразователи (ЦАП), цифровые порты ввода/вывода и схемы счетчика/таймера, выполняют все функции аналогичных отдельных специализированных плат. В зависимости от количества аналоговых и цифровых входов/выходов, требуемых для каждого конкретного случая, многофункциональные платы предлагают наиболее эффективное по затратам и гибкое решение для систем СДА.

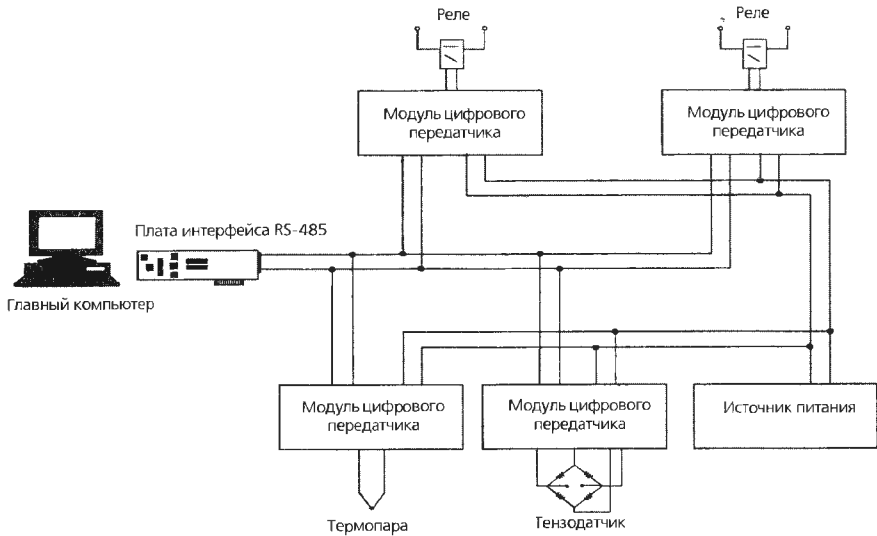
Сменные платы расширения обычно используются в тех случаях, когда компьютер располагается вблизи измерительных датчиков или управляемых приводов. В противном случае они могут быть сопряжены с удаленно расположенными преобразователями или приводами через модули преобразования сигналов, известные как двухпроводные передатчики. Такая конфигурация системы рассматривается в следующем разделе, посвященном распределенному вводу/выводу.

1.3.2 Распределенный ввод/вывод

Часто датчики должны располагаться удаленно по отношению к компьютеру, в котором производится обработка и хранение данных. Особенно это относится к промышленным условиям, когда датчики и исполнительные механизмы могут находиться в неблагоприятных условиях и на большом пространстве с расстояниями, достигающими до сотен метров. В условиях наличия помех очень малые сигналы, получаемые от таких датчиков, как термопары и тензодатчики (имеющие величину в несколько милливольт), очень трудно передать на столь большие расстояния, особенно в необработанной форме, не поставив под угрозу качество данных, поступающих от датчика.

Альтернативой прокладке длинных и, возможно, дорогостоящих кабелей является использование распределенного ввода/вывода, который обеспечивается в форме модулей формирования сигналов, расположенных удаленно, вблизи датчиков, с которыми они сопряжены. Для каждого используемого датчика требуется один модуль, что позволяет реализовывать высокую степень модульности (от одной точки до сотен точек в одном местоположении). Хотя это может существенно увеличить затраты на системы с большим количеством регистрируемых точек, выгода, достигаемая с точки зрения качества сигналов и точности, может стоить того.

Одним из наиболее часто реализуемых видов распределенного ввода/вывода является цифровой передатчик. Это программируемое устройство выполняет все требуемые функции по преобразованию сигналов (усиление, фильтрация, электрическая развязка и т.д.), содержит микроконтроллер и аналого-цифровой преобразователь для выполнения цифрового преобразо-

**Рисунок 1.3**

Распределенный ввод/вывод – модули цифрового передатчика

вания сигнала внутри самого модуля. Преобразованные данные передаются в компьютер через коммуникационные интерфейсы RS-232 или RS-485. Использование многоточечных сетей с интерфейсом RS-485, как показано на рисунке 1.3, сокращает количество прокладываемых кабелей, поскольку каждый модуль формирования сигналов использует одну и ту же кабельную пару. При применении многоточечных сетей с интерфейсом RS-485 возможно подключение до 32 модулей, осуществляющих передачу информации на расстояние до 10 км. Однако, поскольку было создано немного компьютеров, поддерживающих стандарт RS-485, для реализации коммуникаций между компьютером и удаленными модулями требуется преобразователь интерфейсов RS-232/RS-485.

1.3.3. Автономные или распределенные регистраторы/контроллеры

Использование автономных регистраторов/контроллеров, наряду с преимуществами программирования модулей преобразования сигналов и с возможностью дистанционного принятия решений, повышает надежность системы. Это объясняется тем фактом, что, будучи единожды запрограммированным, автономный регистратор может продолжать работать, даже если главный компьютер неисправен или не подключен. Фактически автономные регистраторы/контроллеры специально спроектированы так, чтобы работать независимо от главного компьютера. Это делает их особенно полезными для тех случаев, когда блок должен быть расположен удаленно, или в особо жестких условиях (например, удаленно расположенная метео-

рологическая станция), или когда не допускается непрерывное соединение с компьютером (например, при контролировании температуры в грузовике-рефрижераторе).

Автономные регистраторы/контроллеры являются программируемыми, производительными и гибкими устройствами, легко сопрягаемыми с широким набором датчиков, а также обеспечивающими цифровые входы и управляющие выходы для управления процессом.

Автономные регистраторы/контроллеры и устройства регистрации данных программируются либо с помощью последовательного коммуникационного интерфейса, либо путем применения портативных и многократно используемых карт РСМСІА. Размером с кредитную карточку, карта РСМСІА особенно полезна в тех случаях, когда автономный регистратор/контроллер расположен удаленно, но при этом требуется интерфейсное соединение с компьютером. Эта ситуация показана на рисунке 1.4.

Для прямого соединения компьютера и автономного регистратора/контроллера наиболее часто применяется последовательный интерфейс RS-232. Он позволяет выполнять программирование и регистрацию данных на расстояниях до 50 метров, как показано на рисунке 1.5. Если автономный блок должен быть расположен удаленно, то в этой точке можно использовать портативный персональный компьютер или осуществить связь по телефонной или радиокommunikационной сети, используя модемы. Эта ситуация продемонстрирована на рисунке 1.6.

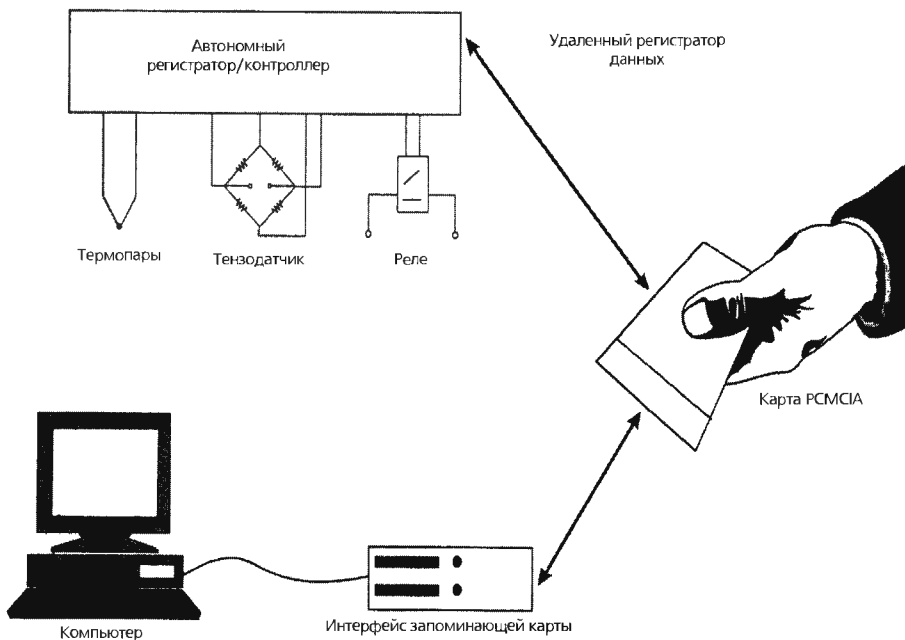


Рисунок 1.4

Использование карт РСМСІА для программирования и записи данных с помощью автономного регистратора/контроллера

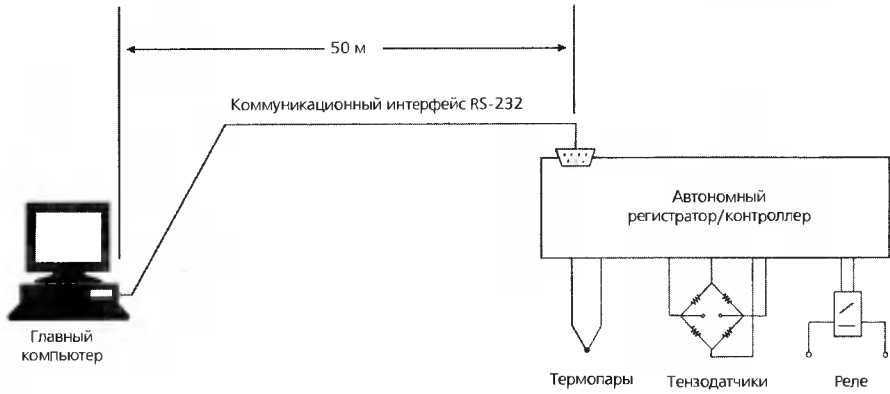


Рисунок 1.5
Прямое подключение к автономному регистратору/контроллеру через последовательный интерфейс RS-232

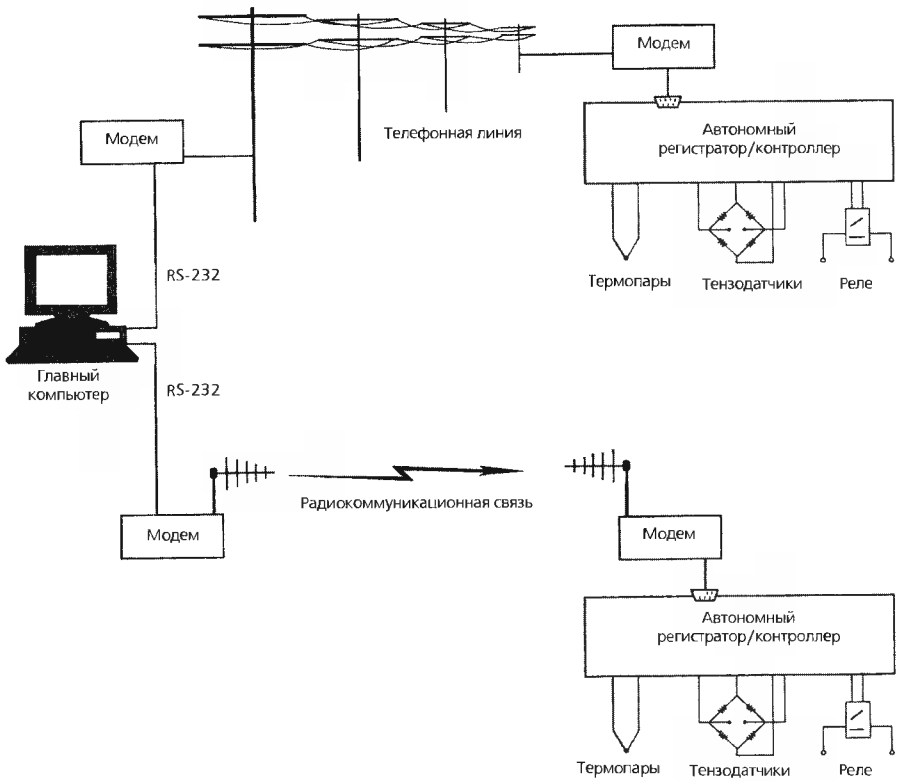


Рисунок 1.6
Дистанционное подключение к автономному регистратору/контроллеру через телефонную или радиокommунuкационную сеть

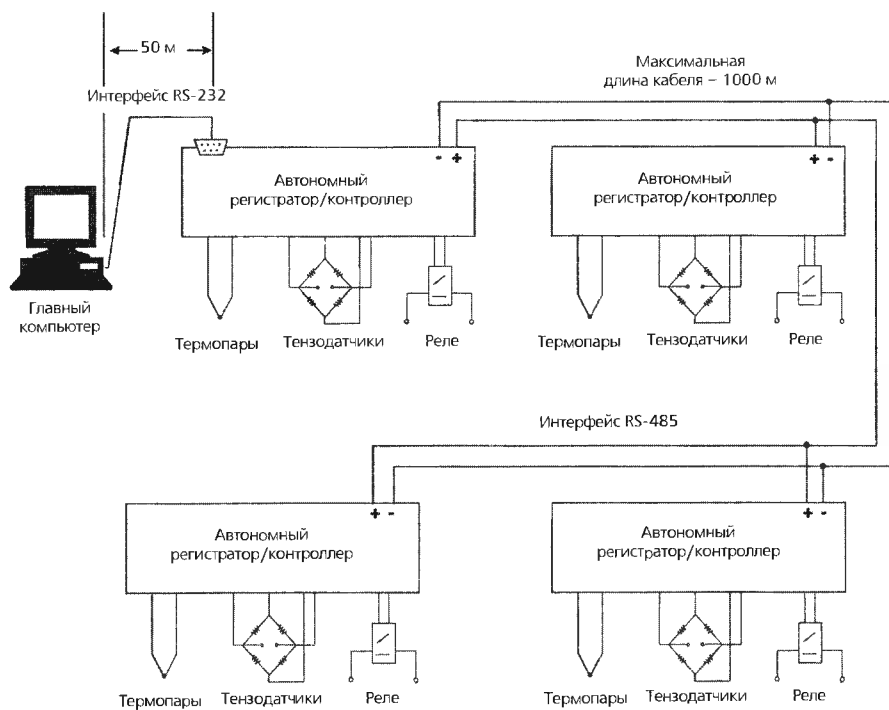


Рисунок 1.7
Распределенная сеть регистраторов/контроллеров

Если в каком-либо конкретном случае требуется более одного регистратора/контроллера, то каждый блок является элементом многоточечной сети RS-485. Сигнальный блок, считающийся главным, может быть подключен непосредственно к главному компьютеру через последовательный интерфейс RS-232 так, как показано на рисунке 1.7, что позволит избежать использования согласующей интерфейсной карты RS-232/RS-485.

Для программирования или регистрации данных от каждого регистратора/контроллера доступны те же самые методы – либо через последовательную коммуникационную сеть, либо путем использования портативных и многоразовых запоминающих карт.

1.3.4 Дистанционно программируемые приборы с интерфейсом IEEE-488 (GPIB)

Коммуникационный стандарт, известный сейчас как GPIB (интерфейсная шина общего назначения), был первоначально разработан компанией Hewlett-Packard в 1965 году как цифровой интерфейс для взаимного соединения и управления своими программируемыми измерительными приборами.

Называемая первоначально интерфейсной шиной Hewlett-Packard (HP-IB), она отличалась своей скоростью, гибкостью и полезностью при соединении приборов в лабораторных условиях. Это обусловило ее очень широкое распространение и привело, наконец, к принятию этой шины в качестве мирового стандарта (IEEE-488). С тех пор она претерпевала улучшения в виде (IEEE-488.2) и SCPI (стандартные команды для программируемых измерительных приборов) и позволяет стандартизовать коммуникации и работу приборов и их контроллеров.

С учетом необходимости сбора данных от нескольких различных автономных приборов в лабораторных условиях, универсальная информационная шина является быстродействующим параллельным интерфейсом, который позволяет одновременное подключение до 15 устройств или приборов к короткой общей параллельной шине передачи информации. Наиболее общая конфигурация требует контроллера универсальной информационной шины, обычно в виде сменной платы на компьютере, которая производит обращение к каждому устройству на шине и инициирует устройства, осуществляющие связь друг с другом. Максимальные скорость передачи информации, длина кабеля и кабельное расстояние между каждым устройством, подключенным к универсальной информационной шине, зависят от скорости и производительности контроллера шины и типа используемого кабеля. Типичные скорости передачи порядка 1 Мбайт/с, максимальная длина кабеля при такой скорости передачи данных равна 20 м. Это делает удаленные инструменты, соединенные универсальной информационной

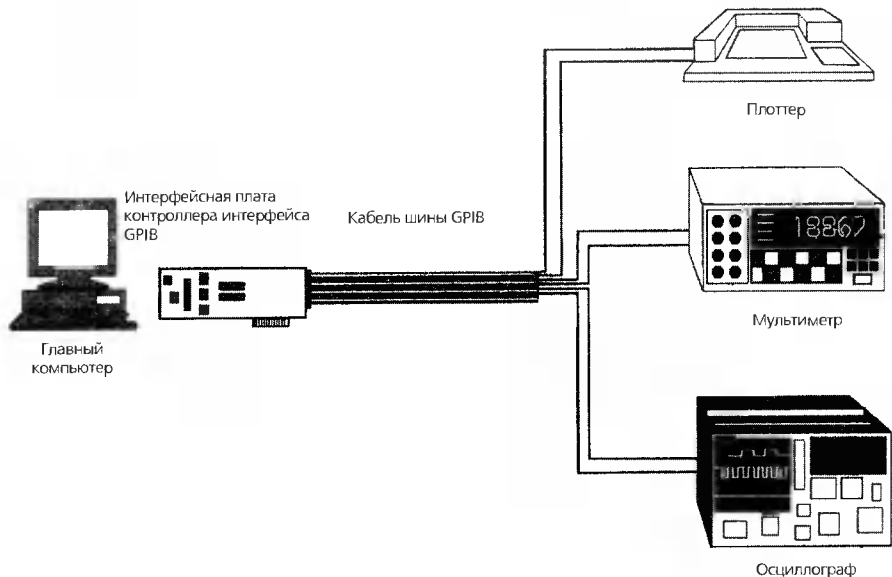


Рисунок 1.8

Типовая конфигурация системы с интерфейсом GPIB

шиной, наиболее подходящими для исследовательских лабораторий или промышленных испытательных условий.

На рынке имеются тысячи лабораторных и промышленных инструментов, совместимых с универсальной информационной шиной, такие, как регистраторы данных и самописцы, цифровые вольтметры и осциллографы, подходящие для широкого диапазона применений и произведенные многочисленными изготовителями. Типовая конфигурация системы представлена на рисунке 1.8.

2

Аналоговые и цифровые сигналы

2.1 Классификация сигналов

В реальном мире физические явления, такие, как температура и давление, изменяются по законам природы и проявляют свойства, которые непрерывно изменяются во времени, поэтому все они являются аналоговыми сигналами.

Датчики превращают параметры физических явлений в электрические сигналы, такие, как напряжение и ток, используемые для обработки сигналов и измерений внутри систем СДА. Хотя выходной сигнал датчиков в виде напряжения или тока имеет некоторую непосредственную связь с физическими явлениями, для измерения которых они предназначены, не всегда ясно, в каком виде эта информация содержится в выходном сигнале. Например, в случае измерителя потока выходным сигналом является последовательность цифровых импульсов, частота которых пропорциональна скорости потока. В то время как изменения скорости потока жидкости могут происходить во времени очень медленно, выходной сигнал является последовательностью цифровых импульсов, которые могут очень быстро изменяться во времени в зависимости от скорости потока, а не от скорости изменения самой скорости потока. Это показано на рисунке 2.1.

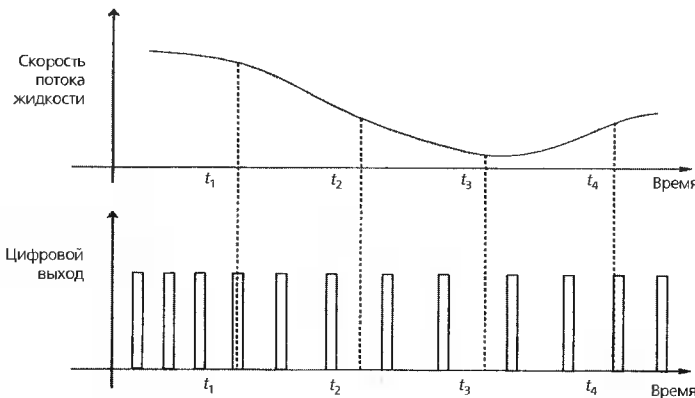


Рисунок 2.1

Скорость потока жидкости и знак на выходе преобразователя измерителя потока

Это приводит нас к необходимости классификации сигналов в системах СДА, поскольку именно информация, содержащаяся в сигнале, определяет эту классификацию, а следовательно, метод измерения сигнала и/или тип аппаратного обеспечения, требуемого для создания этого сигнала. Классификация сигналов, которые могут встречаться в системах сбора данных и управления, приводится в последующих разделах.

2.1.1 Цифровые (двоичные) сигналы

Цифровой (или двоичный) сигнал может иметь только два возможных заданных уровня или состояния – состояние «включено», в котором сигнал находится на своем наивысшем уровне, и состояние «выключено», в котором сигнал находится на своем самом низшем уровне. Это показано на рисунке 2.2.

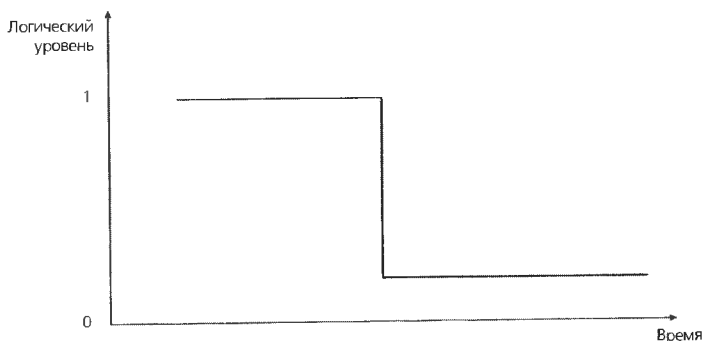


Рисунок 2.2
Двоичный цифровой сигнал

Например, выходной сигнал переключателя на транзисторно-транзисторной логике ТТЛ может иметь только два состояния – напряжение в состоянии «включено» составляет 5 В, а в состоянии «выключено» – 0 В. Устройства управления типа реле и индикаторы, такие, как светоизлучающие диоды, требуют для управления цифровые сигналы, подобные тем, которые обеспечиваются на цифровых платах ввода/вывода.

Последовательности цифровых импульсов

Последовательность цифровых импульсов является специальным типом цифрового сигнала, содержащим набор импульсов, показанный на рисунке 2.3. Подобно всем цифровым сигналам, цифровой импульс может иметь только два определенных уровня или состояния. Он определяется как импульс, потому что остается в промежуточном состоянии в течение короткого времени. Положительный импульс – это такой импульс, который производит переход из своего самого низкого в самое высокое логическое состоя-

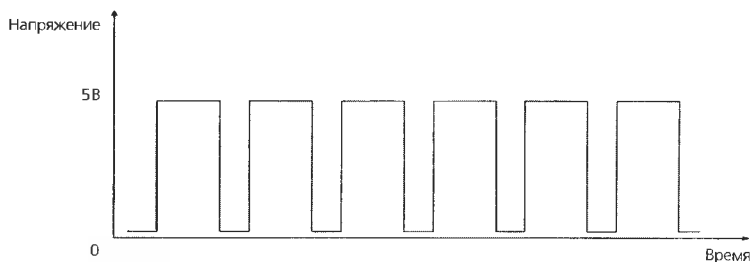


Рисунок 2.3
Последовательность цифровых импульсов

ние, остается в высоком состоянии в течение некоторого времени, а затем возвращается в низкое состояние. Отрицательный импульс – это такой импульс, который производит переход из своего высокого в низкое логическое состояние, остается в нем в течение некоторого времени, а затем возвращается в высокое состояние. Информация, передаваемая последовательностью цифровых импульсов, содержится в количестве генерируемых импульсов, скорости, с которой генерируются импульсы, и/или в интервале времени между импульсами.

Примером последовательности цифровых импульсов являются выходные сигналы измерителя потока или оптического кодирующего устройства, установленного на вращающемся валу. Возможна ситуация, когда от системы СДА требуется вывод последовательности цифровых импульсов в качестве части процесса управления. Например, шаговый двигатель требует подачи цифровых импульсов для управления скоростью и положением. Хотя практически входные и выходные последовательности цифровых импульсов могут быть созданы или измерены с помощью цифровых плат ввода/вывода, более эффективными для выполнения этих функций являются платы ввода/вывода счетчика/таймера.

2.1.2 Аналоговые сигналы

Аналоговые сигналы содержат информацию в виде изменения величины сигнала во времени. Соответствующая информация, содержащаяся в сигнале, зависит от того, медленно или быстро изменяется величина аналогового сигнала во времени или от того, рассматривается ли сигнал во временной или частотной области.

Аналоговый сигнал постоянного тока

Аналоговыми сигналами постоянного тока являются статические или медленно изменяющиеся сигналы. Информация, передаваемая этим типом сигнала, содержится в уровне или амплитуде сигнала в данный момент времени, а не в том, как этот уровень изменяется во времени. Это показано на рисунке 2.4.

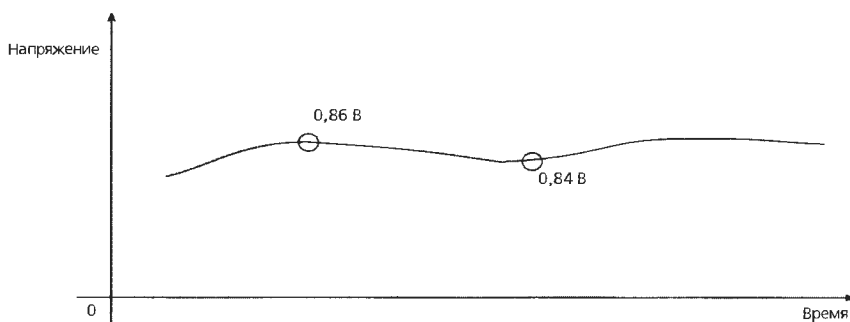


Рисунок 2.4
Аналоговый сигнал постоянного тока

Поскольку синхронизация при измерениях статических сигналов не является критической величиной, для преобразования уровня сигнала в цифровую форму с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), с целью последующей обработки компьютером, потребуется только аппаратное обеспечение СДА. Этот класс сигналов могут измерять низкоскоростные платы аналого-цифрового преобразования. Контроль температуры и давления является двумя типичными примерами регистрации медленно изменяющихся аналоговых сигналов, для которых система СДА измеряет и отображает отдельное значение, показывающее величину сигнала в данный момент времени. Такие сигналы могут быть использованы в качестве входной информации для цифровых дисплеев и датчиков или могут быть преобразованы для обеспечения индикации управляющего действия (например, включения нагревателя или открывания клапана), требуемого для определенного процесса.

Например, такое управляющее устройство, как привод клапана, требует только медленно изменяющегося аналогового сигнала; величина сигнала в данный момент времени определяется заданным управляющим параметром. От аппаратного обеспечения СДА, способного выполнить эту задачу, потребуется только преобразовать цифровой управляющий параметр в аналоговую форму с помощью цифроаналогового преобразователя (ЦАП) в требуемый момент времени. Эту функцию может выполнить низкоскоростная плата цифроаналогового преобразования общего назначения.

Наиболее важными параметрами, требующими рассмотрения для низкоскоростных плат аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования, являются точность и разрешение, с которыми медленно изменяющийся сигнал может быть, соответственно, измерен или выведен.

Аналоговые сигналы переменного тока

Информация, передаваемая в аналоговых сигналах переменного тока, содержится не только в уровне или амплитуде сигнала в данный момент времени, но также в том, как амплитуда изменяется во времени. Форма сигнала, его наклон в данный момент времени, частота и расположение пиков мо-

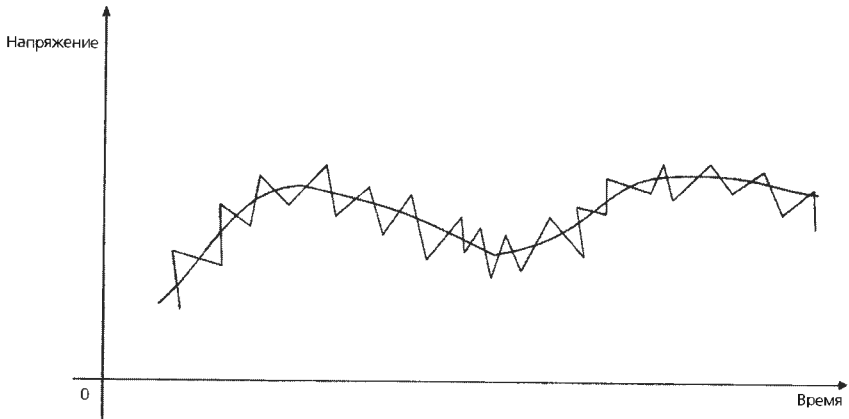


Рисунок 2.5
Аналоговый сигнал переменного тока

гут дать информацию о самом сигнале. Аналоговый сигнал переменного тока показан на рисунке 2.5.

Так как аналоговый сигнал переменного тока очень быстро изменяется во времени, синхронизация при измерениях этого типа сигнала может быть критической величиной. Поэтому наряду с преобразованием амплитуды сигнала в цифровую форму, подходящую для обработки компьютером с помощью АЦП, от аппаратного обеспечения СДА потребуется также обеспечение достаточно близких друг от друга измерений для точного воспроизведения формы, а значит, и информации, содержащейся в сигнале. Далее информация, извлеченная из сигнала, может изменяться в зависимости от того, когда измерение сигнала было начато и закончено. В аппаратном обеспечении СДА, применяемом для измерения этих сигналов, потребуется наличие АЦП, тактового генератора, обеспечивающего частоту аналого-цифровых преобразований, и триггер для начала и/или остановки измерений в нужный момент времени в соответствии с некоторым внешним событием или условием таким образом, чтобы выделить соответствующую часть сигнала. Эти функции могут быть выполнены быстродействующей платой аналого-цифрового преобразования.

Поскольку все изменяющиеся во времени сигналы могут быть представлены суммированием ряда синусоидальных сигналов, имеющих различные амплитуды и частоты, то другой полезный способ извлечения информации о сигнале связан с частотным спектром сигнала. Этот спектр показывает амплитуды и частоты каждой из синусоидальных компонент, составляющих сигнал, а не связанные со временем характеристики сигнала (т.е. форму, наклон в данный момент времени и т.д.). Это иллюстрирует рисунок 2.6.

Анализ спектра сигнала позволяет упростить обнаружение и извлечение требуемой информации путем фильтрации нежелательных шумовых компонент, имеющих частоты, которые намного выше частоты требуемого сигнала.

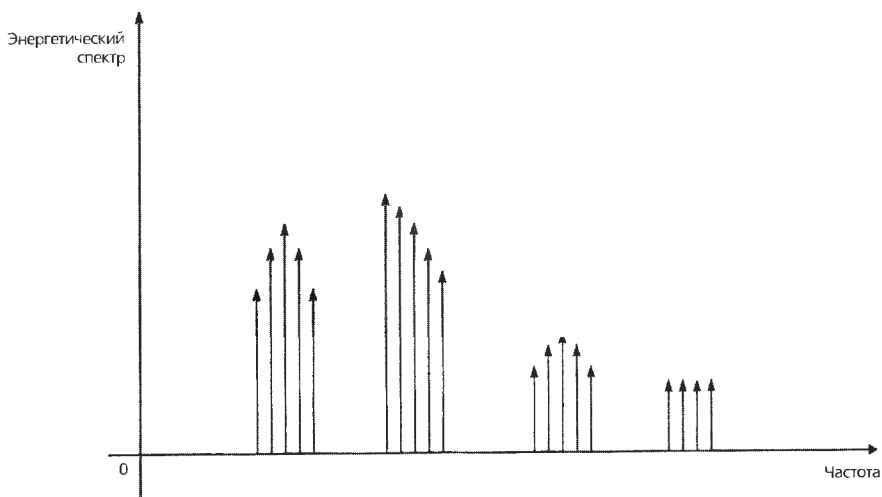


Рисунок 2.6
Спектральный состав аналогового сигнала переменного тока

ла. Цифровая обработка сигнала (ЦОС), необходимая для преобразования сигнала, измеренного во времени, в частотную информацию, и возможность проведения анализа по частотному спектру могут быть реализованы с помощью программного или специального аппаратного обеспечения.

2.2 Датчики и источники сигнала

Датчик является устройством, которое преобразует одну форму энергии или одну физическую величину в другую в соответствии с некоторым определенным соотношением. Если преобразователь является воспринимающим элементом, который непосредственно реагирует на измеряемую физическую величину и образует часть системы контроля или управления, то преобразователь часто называют датчиком.

В системах сбора данных датчики воспринимают физические явления и создают электрические сигналы, которые могут быть приняты системой. Например, термопары, резистивные термодатчики, термисторы и датчики на интегральных схемах преобразуют температуру в аналоговое напряжение, тогда как преобразователи, связанные с потоком, создают последовательности цифровых импульсов, частота которых зависит от скорости потока.

Существуют две конкретные категории преобразователей физических величин:

- Активные преобразователи, преобразующие неэлектрическую энергию в электрический выходной сигнал. Им не требуется внешнее возбуждение для работы. Примером активных преобразователей являются термопары

- Пассивные преобразователи, изменяющие электрическую характеристику схемы, такую, как сопротивление, индуктивность или емкость, в соответствии с изменениями измеряемой физической величины. Тензодатчики (изменение сопротивления при механическом напряжении) и измерительный преобразователь линейных перемещений (изменение индуктивности при перемещении) являются двумя примерами таких преобразователей. Для обнаружения таких изменений пассивные устройства требуют внешнего возбуждения.

2.3 Характеристики преобразователей физических величин

Преобразователи классифицируются в зависимости от измеряемой ими физической величины (например, температуры, силы и т.д.).

Помимо очевидного выбора типа преобразователя, требуемого для измерения определенной физической величины, и любых иных рассмотрений, связанных, например, со стоимостью, наиболее важными характеристиками при определении применимости преобразователя для данного случая являются:

- Точность
- Чувствительность
- Повторяемость
- Диапазон

Точность

Если производится измерение параметра какого-либо процесса, то необходимо знать точность полученных показаний и сохранение этой точности для всего диапазона измерений или же отсутствие этого сохранения. Точность преобразователя показывает то, насколько измерение близко к действительному значению измеряемой величины. Точность описывает максимальную погрешность, которую можно ожидать от измерения, выполненного в любой точке в пределах рабочего диапазона преобразователя. Изготовители обычно указывают точность преобразователя в виде процентной погрешности в рабочем диапазоне преобразователя, например, $\pm 1\%$ в диапазоне от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ или в виде допустимого значения (т.е. $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) в рабочем диапазоне преобразователя.

Чувствительность

Чувствительность определяется как величина изменения выходного сигнала преобразователя при определенном изменении входной измеряемой переменной величины. Высокочувствительные устройства, такие, как термисторы, могут изменять сопротивление до 5% на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, тогда как устройства с низкой чувствительностью, такие, как термопары, могут создавать выходное напряжение, которое изменяется только на 5 мкВ на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Повторяемость

Если производятся два или более измерений переменной величины, находящейся в идентичном состоянии, то повторяемость преобразователя показывает, насколько близкими будут повторные измерения. Способность создавать почти идентичные выходные реакции на один и тот же физический вход в течение всего срока службы является показателем надежности преобразователя и бывает обычно связана с его стоимостью.

Диапазон

Обычно преобразователь создается для работы в пределах определенного диапазона. Диапазон определяется как минимальное и максимальное измеряемые значения переменной величины, между которыми соблюдаются все другие указанные характеристики преобразователя (например, чувствительность, точность и т.д.). Например, термопара сможет хорошо работать вне своего указанного рабочего диапазона от 0 °С до 500 °С, однако ее чувствительность вне этого диапазона может быть слишком мала для того, чтобы обеспечивать точные или повторяемые измерения.

На точность, чувствительность и повторяемость выполненных измерений влияют несколько факторов.

В процессе измерения физической величины преобразователь некоторым образом нарушает контролируруемую систему. В качестве примера можно указать на то, что преобразователь, измеряющий температуру, понижает температуру контролируемой системы, поскольку в процессе измерения энергия используется и на нагревание его собственной массы.

Преобразователи чувствительны к нежелательным помехам, как, например, магнитный звукосниматель проигрывателя чувствителен к переменному магнитному полю сетевого трансформатора (возникает фон сети переменного тока).

Некоторые преобразователи подвергаются воздействию сигналов возбуждения, которые изменяют их реакцию на измеряемую входную физическую величину. Например, ток, проходящий через резистивный термодатчик, может привести к саморазогреву устройства, при этом изменится его сопротивление.

2.4 Резистивные температурные датчики (РТД)

2.4.1 Характеристики РТД

Резистивные термодатчики (РТД) являются датчиками температуры, изготовленными обычно из чистого (или слегка легированного) металла, сопротивление которого увеличивается при повышении температуры (положительный температурный коэффициент сопротивления).

В большинстве случаев устройство РТД основано на использовании намотанного провода или металлической пленки. Устройства с намотанным проводом – это, по существу, длинный провод, намотанный на нейтраль-

ный сердечник и размещенный в защитном экране. РТД, основанные на металлической пленке, – это устройства, в которых резистивный элемент нанесен на керамической подложке в виде зигзагообразной металлической дорожки толщиной несколько микрон. Лазерная подгонка металлической дорожки позволяет точно задавать сопротивление. Обеспечиваемое этой конструкцией существенное уменьшение размера при более высоком сопротивлении создает намного меньшую тепловую инерцию, что приводит к более быстрому реагированию датчика и к хорошей чувствительности. Стоимость этих устройств обычно ниже стоимости резистивных термодатчиков, основанных на намотанном проводе.

Наиболее распространенный РТД состоит из платиновой пленки РТ100 (стандарт DIN 43760) с номинальным сопротивлением $100 \text{ Ом} \pm 0,1 \text{ Ом}$ при 0°C . Использование платины в резистивных термодатчиках обусловлено ее стабильностью в широком диапазоне температур (от -270°C до 650°C) и близкой к линейной характеристикой зависимости сопротивления от температуры. Для измерения очень высоких температур иногда используется вольфрам. Выпускаются также высокоомные (1000 Ом) никелевые РТД. Если элемент РТД не поврежден механически (при этом также изменяется сопротивление проводника) и не загрязнен примесями, то подобные устройства работают стабильно в течение большого периода времени, отличаются надежностью и точностью.

2.4.2 Линейность резистивных термодатчиков

По сравнению с другими устройствами, служащими для измерения температуры, такими, как термопары и термисторы, изменение сопротивления РТД при изменении температуры является относительно линейным в широком температурном диапазоне и в пределах рабочего диапазона температур проявляет очень слабое искривление. Хотя более точное соотношение может быть вычислено путем подгонки кривой (для чего часто используются многочленные уравнения Каллендера-Ван Дусена (Callendar-Van-Dussen)), но этого обычно не требуется. Поскольку погрешность, получаемая при аппроксимации соотношения между сопротивлением и температурой как линейного, незначительна, изготовители обычно определяют температурный коэффициент РТД, известный как коэффициент альфа (α), с помощью выражения:

$$\text{Коэффициент альфа } (\alpha) = \frac{R_{100} - R_0}{100 \times R_0} \text{ Ом/Ом/}^\circ\text{C},$$

где:

R_0 – сопротивление при 0°C

R_{100} – сопротивление при 100°C

Здесь представлено изменение сопротивления РТД в диапазоне от 0°C до 100°C , деленное на сопротивление при 0°C и деленное на 100°C .

Из выражения для коэффициента альфа (α) легко вывести, что сопротивление R_T резистивного термодатчика при температуре T может быть определено как:

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T),$$

где:

R_0 – сопротивление при 0°C .

Например, термодатчик РТ100 (стандарт DIN 43760) с номинальным сопротивлением $100 \text{ Ом} \pm 0,1 \text{ Ом}$ при 0°C имеет коэффициент альфа (α), равный $0,00385 \text{ Ом/Ом/}^\circ\text{C}$. Следовательно, сопротивление этого РТД при 100°C будет составлять $138,5 \text{ Ом}$.

2.4.3 Схемы измерений температуры и анализ резистивных термодатчиков

Измерение при двухпроводном подключении РТД

Поскольку РТД является пассивным резистивным устройством, то для создания измеряемого напряжения ему требуется ток возбуждения. На рисунке 2.7 показано двухпроводное подключение РТД, возбуждаемого источником постоянного тока $I_{\text{ВЗ}}$ и соединенного с измерительным устройством.

Любое сопротивление $R_{\text{П}}$ соединительных проводов между измерительным устройством и РТД будет приводить к падению напряжения на них, равному ($R_{\text{П}} \times I_{\text{ВЗ}}$) вольт. Падение напряжения на соединительных проводах будет добавляться к падению напряжения на РТД, и, в зависимости от величины сопротивления соединительных проводов по сравнению с сопро-

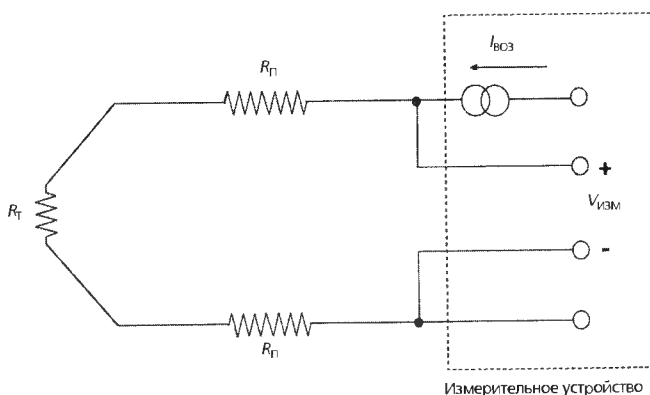


Рисунок 2.7

Схема измерения температуры при двухпроводном подключении РТД

тивлением РТД, это может привести к существенной погрешности в вычисляемой температуре.

Рассмотрим пример, когда сопротивление каждого соединительного провода составляет 0,5 Ом. Для РТД, имеющего сопротивление 100 Ом и коэффициент альфа (α), равный 0,385 Ом/°С, сопротивление соединительных проводов соответствует погрешности в определении температуры, равной 2,6 °С (1,0 Ом / 0,385 Ом / °С).

Это указывает на то, что если измерение напряжения производится с помощью тех же двух соединительных проводов, по которым идет ток возбуждения, то сопротивление РТД должно быть достаточно большим или же сопротивление соединительных проводов должно быть достаточно малым, чтобы падение напряжения на соединительных проводах было пренебрежимо малым. Обычно, в случае использования РТД с сопротивлением 100 Ом, это соблюдается при длине соединительных проводов не больше нескольких метров (< 3).

Измерение при четырехпроводном подключении РТД

Четырехпроводная схема подключения РТД, показанная на рисунке 2.8, предлагает лучший метод возбуждения и измерения, особенно в случаях, когда длина соединительных проводов больше нескольких метров.

РТД имеют обычно четыре (4) вывода — два токовых вывода для обеспечения устройства током возбуждения и два вывода напряжения для измерения создаваемого напряжения. Эта конфигурация устраняет падение напряжения, вызываемое током возбуждения на сопротивлениях соединительных проводов ($R_{П1}$ и $R_{П4}$). Так как по сопротивлениям проводов вывода напряжения ($R_{П2}$ и $R_{П3}$) протекает пренебрежимо малый ток, то измеряется только падение напряжения на сопротивлении R_T резистивного термодатчика.

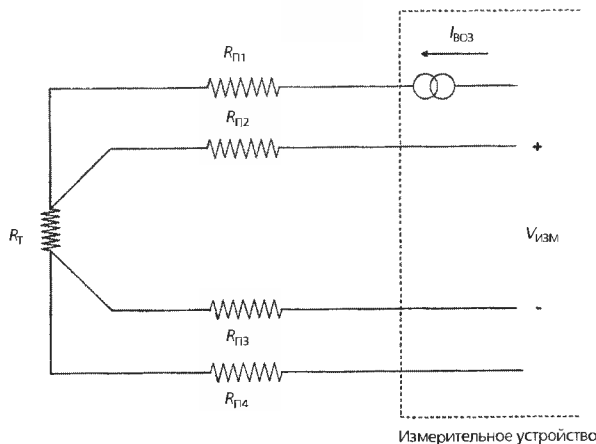


Рисунок 2.8

Схема измерения температуры при четырехпроводном подключении РТД

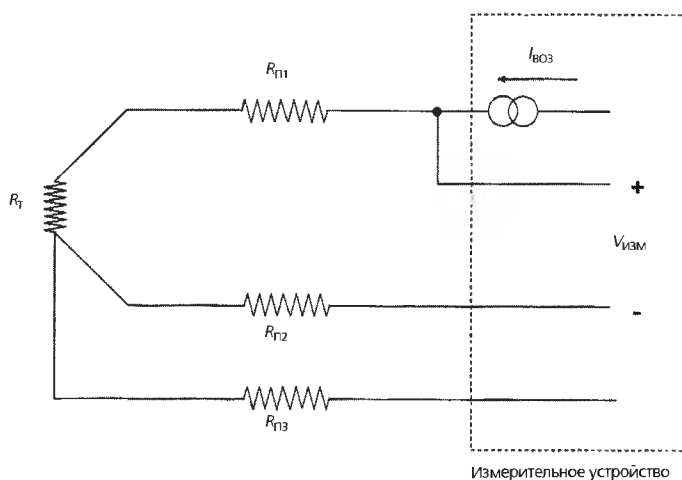
**Рисунок 2.9**

Схема измерения температуры при трехпроводном подключении РТД

Измерение при трехпроводном подключении РТД

Снижение стоимости измерительной системы возможно при исключении одного из соединительных проводов. В трехпроводной конфигурации, показанной на рисунке 2.9, только один провод $R_{П1}$ добавляет погрешность в измеряемое напряжение резистивного термодатчика.

Саморазогрев термодатчика

Другим следствием токового возбуждения резистивного термодатчика является то, что его внутренний разогрев устройства может оказывать воздействие на точность выполняемых измерений реальной температуры. Степень саморазогрева зависит от среды, в которой используется РТД, и обычно определяется как прирост температуры на каждый мВт мощности, рассеиваемой в данной среде (т.е. в неподвижном воздухе).

Для РТД датчика РТ100 коэффициент саморазогрева составляет $0,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{мВт}$ в неподвижном воздухе, хотя эта величина будет меняться в зависимости от конструкции корпуса РТД и его тепловых свойств. При токе возбуждения, равном $0,75 \text{ мА}$, мощность, рассеиваемая датчиком, составляет 56 мкВт [$(0,75 \times 10^{-3})^2 \times 100$], что соответствует подъему температуры устройства из-за саморазогрева на $0,011 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($56 \text{ мкВт} \times 0,2$).

Неточности в измерении температуры из-за проблем саморазогрева могут быть существенно снижены одним из следующих способов:

- Минимизации мощности возбуждения
- Возбуждения РТД только во время выполнения измерения
- Калибровки стационарных погрешностей.

2.5 Термисторы

Наиболее дешевую возможность измерения температуры обеспечивает термистор, который является теплочувствительным полупроводниковым резистором, изготовленным из окислов различных металлов. Тип и состав используемых полупроводниковых окислов (марганца, никеля, кобальта и т.д.) зависят от величины сопротивления и требуемого температурного коэффициента.

Наиболее часто используемые термисторные устройства обладают отрицательным температурным коэффициентом и высокой степенью чувствительности к небольшим изменениям температуры, обычно она составляет $4\% / ^\circ\text{C}$.

Точность термисторов обычно в десятки раз выше, чем точность термодатчиков, но термисторы не столь точны, как резистивные термодатчики. Термисторы являются нелинейными устройствами и особенно полезны в диапазонах температур от $-80\text{ }^\circ\text{C}$ до $250\text{ }^\circ\text{C}$. С учетом этого для уменьшения некоторых ограничений, вызываемых нелинейностями термисторов, могут использоваться современные системы, основанные на микропроцессорах (либо персональные компьютеры, либо автономные регистраторы данных), моделирующие нелинейность с помощью квадратных уравнений.

Термисторы имеют высокое сопротивление, обычно 3 кОм , 5 кОм , 6 кОм и 10 кОм при $25\text{ }^\circ\text{C}$, хотя существуют термисторы и с более низкими значениями сопротивления – порядка 100 Ом . Высокое сопротивление термистора означает, что сопротивление соединительных проводов, используемых для возбуждения термисторов, обычно пренебрежимо мало, и поэтому для проведения измерений можно использовать только двухпроводные схемы.

Одной из привлекательных черт термисторов является наличие множества разнообразных, легко изготавливаемых форм в виде шайб, дисков, стержней и щупов. Их малый размер означает, что они обладают быстрым тепловым реагированием, но могут быть очень хрупкими по сравнению с резистивными термодатчиками, отличающимися большей надежностью.

Хотя уже отмечалось, что токи возбуждения для РТД могут вызывать в них проблемы, связанные с саморазогревом, это еще в большей степени относится к термисторам из-за более высоких значений сопротивлений этих устройств.

Проблемы саморазогрева могут быть существенно снижены посредством:

- Минимизации мощности возбуждения
- Возбуждения РТД только во время выполнения измерения
- Калибровки стационарных погрешностей. Некоторые авторитетные источники утверждают, что подъем температуры в $^\circ\text{C}$ из-за саморазогрева может быть вычислен путем деления предполагаемого внутреннего рассеяния мощности на 8 мВт .

2.6 Термопары

Термопара – это два провода из разных металлов, которые электрически соединены на одном конце (рабочий горячий спай) и термически соединены на другом конце (свободный холодный спай). Это показано на рисунке 2.10.

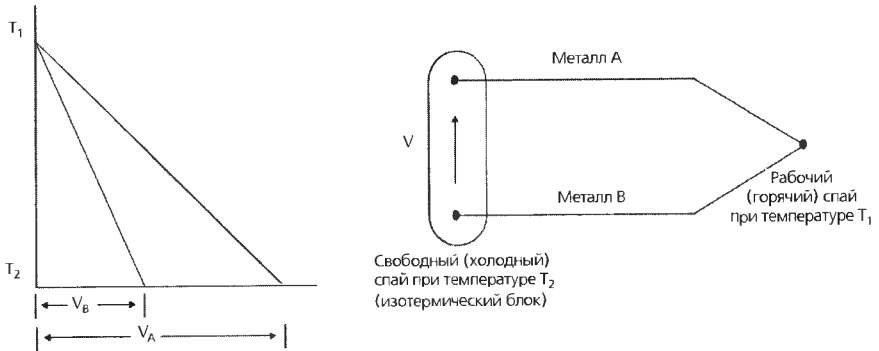


Рисунок 2.10
Измерение температуры с помощью термопары

Действие термопары основано на том принципе, что градиент температуры в электрических проводниках создает напряжение в области градиента.

Различные проводники будут создавать различные напряжения при одном и том же градиенте температуры. Следовательно, небольшое напряжение, равное разности между напряжениями, генерируемыми тепловым градиентом в каждом из проводов ($V = V_A - V_B$), может быть измерено на холодном спае.

Отметим, что это напряжение создается градиентом температуры вдоль проводов, а не самим спаем. Поскольку проводники являются однородными вдоль своей длины, на выходное напряжение воздействует только разность температур между рабочим (горячим) спаем и свободным (холодным) спаем, а не распределение температуры вдоль проводника между ними.

2.6.1 Компенсация холодных спаев

Расчеты, определяющие температуру, соответствующую данному измеренному напряжению термопары, предполагают, что это напряжение соответствует градиенту температуры, который отнесен к 0°C . Понятно, что это не относится к случаю, когда холодному спаю разрешено следовать за температурой окружающей среды.

Если колебания температуры среды, окружающей холодный спай, будут вызывать существенные погрешности в расчете температуры на основе выходного напряжения термопары, то можно использовать один из двух методов компенсации холодных спаев.

Следует удерживать холодный спай при известной постоянной температуре, такой, как температура в ледяной ванночке ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Именно отсюда и возникло первоначально название «холодный спай».

Следует измерять температуру холодного спаев и добавлять напряжение на холодном спае. Напряжение на холодном спае равно напряжению, которое будет создано той же самой термопарой, если ее горячий спай будет находиться при температуре окружающей среды, а ее холодный спай – при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Очевидно, что проще реализовать второй вариант, именно он привел к конструированию многих схем компенсации холодных спаев. Необходимая коррекция напряжения может быть выполнена с помощью как программного, так и аппаратного обеспечения либо при использовании комбинации обоих способов.

Компенсация с помощью аппаратного обеспечения

Компенсация с помощью аппаратного обеспечения требует наличия специализированной схемы для создания напряжения компенсации в соответствии с температурой изотермического блока и добавления этого напряжения к напряжению, измеренному на горячем спае. Так как зависимость напряжения от температуры у разных термопар различна, каждый тип термопар должен иметь отдельную схему компенсации, которая функционирует в требуемом рабочем диапазоне окружающих температур. Это делает схему компенсации для термопар с помощью аппаратного обеспечения сложной и дорогостоящей, а также по своей природе склонной к собственным погрешностям.

Компенсация с помощью программного обеспечения

Компенсация с помощью программного обеспечения требует использования только дополнительного измерительного прибора с непосредственным отсчетом показаний в виде температурного датчика типа термистора или кремниевого датчика, необходимого для измерения температуры изотермического блока холодного спаев. При этом программное обеспечение используется для расчета эквивалентного напряжения холодного спаев с помощью многочленных уравнений или справочных таблиц для термопары используемого типа. Будучи один раз вычисленным, это значение добавляется затем к измеренному выходному напряжению термопары. Результирующее напряжение преобразуется обратно в температуру, представляющую действительную температуру термопары.

Примечание: Не всегда случается так, что изменения окружающей температуры ведут к существенным погрешностям в определении температуры термопары, что демонстрируется нижеприведенным примером.

Пример: Рассмотрим термопару S-типа, используемую для измерения температур порядка 1500 °С в печи. Окружающая температура холодного спае составляет 25 °С ± 15 °С. Так как чувствительность термопары при 1500 °С составляет 12 мкВ/°С, а изменение на холодном спае от 10 °С до 40 °С создает изменение в 180 мкВ в суммарном выходном напряжении, то эквивалентное изменение температуры на горячем спае равно 15 °С. Это указывает на самое большое значение погрешности, равное 1% от 1500 °С в диапазоне рабочих температур холодного спае. В этом случае можно проигнорировать погрешность, создаваемую изменениями температуры холодного спае.

2.6.2 Изотермический блок и компенсационные кабели

Очень часто термопары находятся на существенном расстоянии от точек измерения, особенно те термопары, которые используются для промышленного применения, что требует удлинения проводов и наличия разъемов. Стандартные медные провода и разъемы не могут быть использованы для удлинений, так как в этом случае создаются нежелательные термопары. Следует применять провода и разъемы, сделанные из того же материала, что и термопара. Использование удлинительных кабелей, изготовленных из аналогичных, но менее чистых, чем сама термопара, металлов, является экономичным способом удлинения цепи термопары.

Этот провод, хоть и является существенно более дешевым, предназначен для ограниченного диапазона температур, обычно это от 0 °С до 100 °С, и поэтому не должен применяться там, где температуры превышают этот диапазон.

Если используются встроенные разъемы, то они тоже должны быть изготовлены из того же материала, что и термопары. Производятся разъемы с цветной кодировкой и поляризованные разъемы (для предотвращения обратного подключения сплава).

Холодные спаи поддерживаются при одной и той же температуре с помощью «изотермического блока» – физического устройства, которое обеспечивает хорошую тепловую проводимость между концами кабелей термопар. Рекомендуется защищать изотермический блок от быстрых изменений окружающей температуры.

2.6.3 Линеаризация термопар

В дополнение к необходимости компенсации холодных спаев термопары отличаются также высокой нелинейностью и поэтому нуждаются в линеаризации. Например, термопара J-типа имеет тепловой коэффициент, равный 22 мкВ на 1 °С при -200 °С, но составляющий уже 64 мкВ на 1 °С при 750 °С.

В большинстве случаев используется форма линеаризации, основанная на программном обеспечении. Наиболее часто применяются два метода линеаризации:

Справочные таблицы: При использовании этого метода в памяти системы хранится таблица температур для всех возможных измеренных напряжений, и соответствующую температуру получают путем выполнения операции индексирования. Это очень быстрый метод, но требующий больших объемов памяти. В этом случае трудно также манипулировать с компенсацией холодных спаев.

Многочленная компенсация: При применении этого метода для получения значения температуры в зависимости от напряжения используют многочленные аппроксимации. Число используемых членов многочлена зависит от диапазона температуры и от типа термопары. Например, термопары J-типа могут аппроксимироваться многочленом пятого порядка с точностью до $0,1^\circ$ в диапазоне от 0 до 760°C , а термопара F-типа требует аппроксимации уравнением девятого порядка для получения точности, равной только $0,5^\circ\text{C}$.

Для широких диапазонов температур часто используют несколько многочленов более низкого порядка, применяемых к отдельным участкам диапазона. Например, имеются драйверы плат, работающих с термопарами, которые для преобразования напряжения в температуру используют три многочлена восьмого порядка. Диапазон действия каждого уравнения оптимизирован для конкретного типа термопар. Помимо этого, используется многочлен второго порядка для преобразования температуры холодного спая в напряжение термопары, обеспечивающей компенсацию.

Возможно использование многочлена только второго порядка, поскольку температура измерительного блока изменяется от 0° до 70°C .

2.6.4 Типы и стандарты термопар

Стандарты на термопары распространяются на такие характеристики, как зависимость напряжения от температуры, цветовые коды, пределы погрешностей и состав стандартных термопар. Имеются пять широко используемых стандартов для термопар: NBS/ANSI (американский), BS (британский), DIN (немецкий), JIS (японский) и NF (французский) стандарты.

В промышленности широко используются восемь типов термопар. Они подразделяются на две основные группы: термопары из неблагородных металлов (J, K, N, E и T типы) и термопары из благородных металлов (типы R, S и B). Их состав и диапазон рабочих температур, согласно стандарту NBS, представлены в таблице 2.1.

Помимо этого, имеются несколько высокотемпературных термопар, основанных на вольфраме (G, C и D типы), которые позволяют измерять температуру в диапазоне от 0°C до 2320°C . Поскольку эти термопары не соответствуют какому-либо из официальных стандартов, для обеспечения правильного использования термопар необходимо обращаться к спецификациям изготовителей.

Таблица 2.1
Спецификации на термопары (стандарт NBS)

Тип	Положительные температуры	Отрицательные температуры	Диапазон температур, °C
B	Pt, 30% Rh	Pt, 6% Rh	от +300 до 1700
C	W, 5% Re	W, 26% Re	от 0 до 2320
D	W, 3% Re	W, 25% Re	от 0 до 2320
E	Ni, 10% Cr	Cu, 45% Ni	от -200 до 900
G	W	W, 26% Re	от 0 до 2320
J	Fe	Cu, 45% Ni	от -200 до 750
K	Ni, 10% Cr	Ni, 2% Mn, 2% Al	от -200 до 1250
N	Ni, 14% Cr, 1% Si	Ni, 4% Si, 0,1% Mg	от -200 до 1350
R	Pt, 13% Rh	Pt	от 0 до 1450
S	Pt, 10% Rh	Pt	от 0 до 1450
T	Cu	Cu, 45% Ni	от -200 до 350

2.6.5 Конструкция термопар

Помимо типа термопары, другим показателем, важным для рабочих характеристик, является конструкция термопары. Имеются три основных вида конструкции, которые показаны на рисунке 2.11.

Термопара с открытым спаем типа «бусинка» (рисунок 2.11 (а)) имеет спай, на который воздействует окружающий воздух. Термопары с открытыми спаями (рисунок 2.11 (б)) используются обычно для измерения темпе-

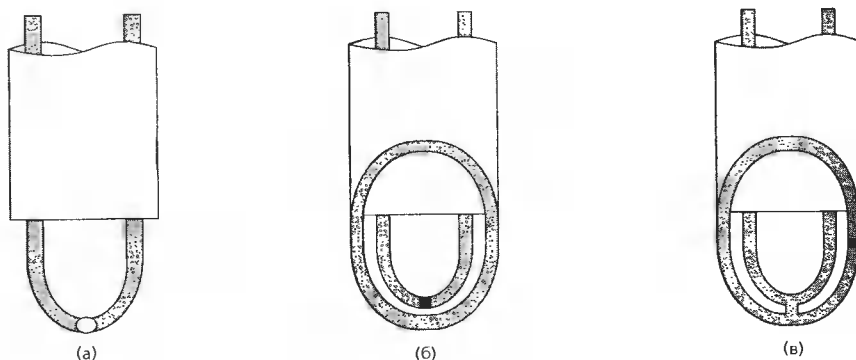


Рисунок 2.11
Конструкции термопар

ратуры газа, поскольку они характеризуются крайне быстрым реагированием.

В термопарах с незаземленным спаем (рисунок 2.11 (в)) спай защищен проводящей оболочкой. Эта оболочка электрически изолирована от самой термопары. Такая конструкция особенно полезна при наличии высоких уровней электрических помех. Термопара с незаземленным спаем имеет недостаток, связанный с большим временем реагирования, обычно составляющим порядка нескольких секунд. Могут также возникнуть проблемы из-за теплового шунтирования, приводящего к тому, что спай будет находиться при температуре, отличающейся от температуры оболочки.

В термопарах с заземленным спаем спай также защищен проводящей оболочкой, которая электрически связана со спаем. Эта конструкция имеет то преимущество, что время реагирования у нее меньше, чем у термопар с незаземленным спаем, минимизированы эффекты теплового шунтирования, при этом сохраняется хорошая помехоустойчивость. Недостатком являются проблемы, связанные с чувствительностью к паразитным контурам заземления, которые особенно сложно решаются из-за низких напряжений термопар.

2.6.6 Погрешности измерений

При проведении измерений температуры с помощью термопар в дополнение к любым погрешностям, которые связаны с точностью измерительного оборудования, возможно наличие нескольких дополнительных источников погрешностей.

К этим источникам относятся:

- Изотермические характеристики холодного спая и точность датчика температуры холодного спая – это наиболее существенные источники погрешностей. Градиенты температуры между датчиком температуры и клеммами, к которым присоединяются термопары, приводят к погрешностям величины разности температур. К этому добавляется величина любых собственных неточностей датчика температуры, используемого для измерения окружающей температуры.
- Наведенные электрические помехи. Из-за низких уровней напряжения термопар, обычно порядка мкВ/°С, измерения температуры с помощью термопар являются чувствительными к воздействию помех. Это особенно проявляется при использовании термопар с длинными соединительными проводами. Воздействие помех может быть снижено путем усиления низкоуровневых напряжений термопар как можно ближе к источнику, а при невозможности этого – путем использования витых экранированных кабелей.
- Качество проводов термопары. Если в процессе изготовления термопары возникают неоднородности, то качество проводов термопары и ее стандартные характеристики, связанные с соотношением напряжения и температуры, могут измениться.

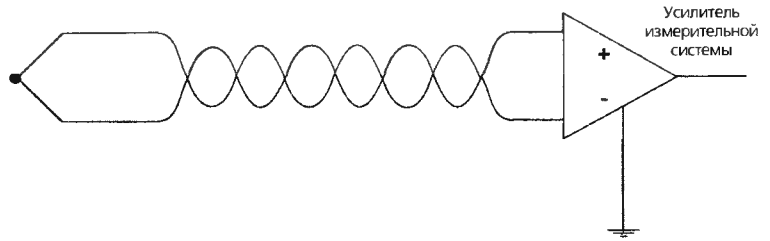


Рисунок 2.12
Термопара без экрана

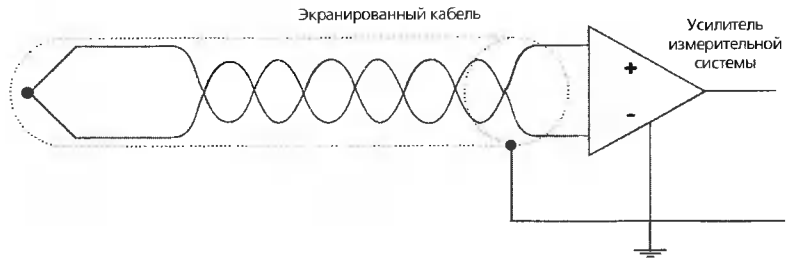


Рисунок 2.13
Термопара с оболочкой и незаземленным спаем

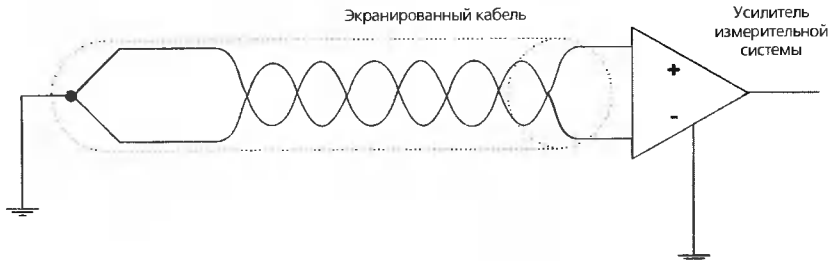


Рисунок 2.14
Термопара с оболочкой и заземленным спаем

- Ошибки при линеаризации, поскольку многочлены аппроксимируют только действительное выходное напряжение термопары.

2.6.7 Конфигурации соединительных проводов

Так как уровни напряжения термопар очень малы, обычно порядка $\text{мкВ}/^\circ\text{C}$, то измерения температуры с помощью термопар чувствительны к воздействию помех. На представленных рисунках показаны три конфигурации проводов.

Помимо высказанных выше рекомендаций по поводу соединительных проводов, важно рассмотреть изоляцию и защиту от перенапряжения в цепи измерения, особенно для защиты от накопления заряда и других переходных процессов, связанных с перенапряжением на длинных кабелях термопар.

2.7 Тензодатчики

Тензодатчики, или датчики деформации, являются устройствами, наиболее часто применяемыми для измерения силы или чаще – деформации, возникающей в результате действия силы. Наиболее распространенный вид тензодатчика – резистивный тензодатчик, жестко связанный с поверхностью исследуемого объекта и состоящий из резистивного материала. Обычно это металлическая пленка толщиной несколько микрон, нанесенная на подложку из полиэстера. Типичный тензодатчик показан на рисунке 2.15.

Работа тензодатчика основана на том принципе, что при деформации длина, площадь поперечного сечения и проводимость металлической пленки изменяются, приводя к изменению сопротивления проводника. При креплении к проверяемому блоку с помощью какого-либо клеящего вещества тензодатчик подвергается той же самой деформации, что и блок. Величина деформации может быть измерена путем регистрации изменения сопротивления. Если изменение длины тензодатчика мало, то связь между сопротивлением и деформацией является линейной.

Отношение процентного изменения сопротивления к процентному изменению длины известно как «коэффициент тензочувствительности» (КТ) и является мерой чувствительности тензодатчика.

$$КТ = \frac{\Delta R/R_0}{\Delta L/L_0} = 1 + 2s + \frac{\Delta \rho/\rho}{\Delta L/L_0},$$

- где
 R_0 – сопротивление в омах
 ρ – удельное сопротивление в омах на метр
 L_0 – длина в метрах
 $\Delta R/R_0$ – относительное изменение сопротивления
 s – коэффициент Пуассона
 $\Delta L/L_0$ – относительное изменение длины
 $\Delta \rho/\rho$ – относительное удельного сопротивления

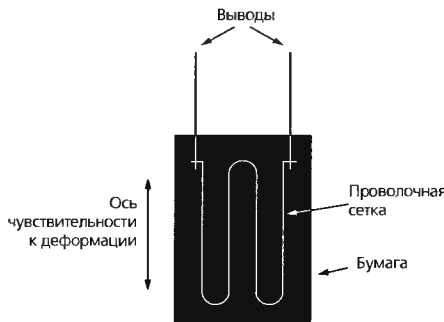


Рисунок 2.15
 Наклеиваемый резистивный тензодатчик

Коэффициент тензочувствительности, указываемый изготовителями для определенного тензодатчика, находится обычно в диапазоне от 2 до 4 для тензодатчиков с металлической фольгой и номинальным сопротивлением 120 Ом, 350 Ом и 1 кОм. Таким образом, если тензодатчик на 350 Ом с коэффициентом тензочувствительности, равным 2,0, при растяжении удлиняется на 1%, то его сопротивление изменится на 2%, или на 0,57 Ом.

2.8 Мосты Уитстона

2.8.1 Общие характеристики

Благодаря своей чувствительности схема моста Уитстона обычно используется для измерения малых изменений электрического сопротивления, особенно в случае применения тензодатчиков. Эта схема содержит четыре резистивных элемента и может возбуждаться источником напряжения или тока. Стандартная конфигурация моста Уитстона показана на рисунке 2.16.

Можно показать, что при возбуждении моста напряжением $V_{\text{ВОЗ}}$, выходное напряжение дается уравнением:

$$\frac{V_0}{V_{\text{ВОЗ}}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

Если отношение сопротивлений R_1 к R_2 равно отношению сопротивлений R_3 к R_4 , то измеренное выходное напряжение составит 0 В, и о мосте говорят, что он *уравновешен*.

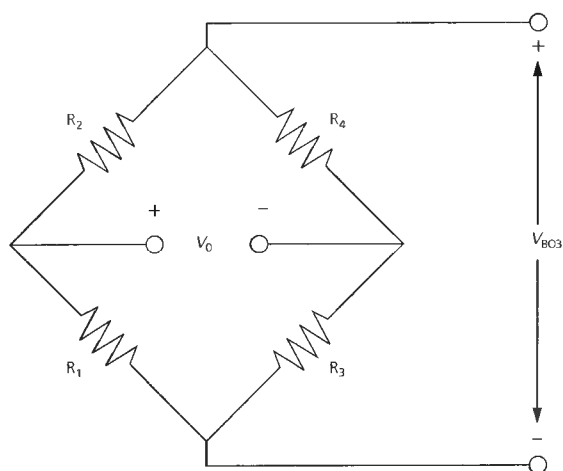


Рисунок 2.16

Стандартная конфигурация моста Уитстона

Если резистивный элемент изменяет свое сопротивление в ответ на изменение измеряемого физического параметра (например, в случае применения тензодатчика), то он называется активным элементом, тогда как остальные резисторы получают название дополнительных резисторов. Если резистор R_1 является активным элементом, то увеличение сопротивления активного элемента R_1 повышает выходное напряжение. Снижение этого сопротивления будет уменьшать напряжение, появляющееся на выходе. И наоборот, если резистор R_2 является активным элементом, то увеличение его сопротивления приведет к снижению напряжения, появляющегося на выходе, тогда как снижение этого сопротивления приведет к повышению выходного напряжения.

Можно показать, что если одно из сопротивлений моста является активным элементом, у которого номинальное сопротивление (R_0) точно соответствует каждому из остальных комплектующих резисторов (т.е. $R_0 = R_2 = R_3 = R_4$), то для малых изменений сопротивления активного элемента (ΔR) отношение выходного напряжения к входному напряжению дается соотношением:

$$\frac{V_0}{V_{\text{ввз}}} = \frac{\Delta R}{R_0}$$

Это уравнение остается действительным независимо от того, какое из плеч моста содержит активный элемент.

Далее можно показать, что если имеется (N) плеч моста, которые содержат активный элемент, то для малого и равного изменения сопротивления активного элемента ΔR отношение выходного напряжения к входному напряжению дается соотношением:

$$\frac{V_0}{V_{\text{ввз}}} = \frac{N}{4} \times \frac{\Delta R}{R_0}$$

Это уравнение действительно только в том случае, когда чувствительность соседних активных элементов моста (т.е. R_1 и R_2 , R_3 и R_4 , R_1 и R_3 или R_2 и R_4) к изменениям измеряемого физического параметра имеет противоположную полярность. Это означает, что если резисторы R_1 и R_2 являются активными элементами, то при инкрементном изменении измеряемого физического параметра сопротивление резистора R_1 повышается на ΔR , а сопротивление резистора R_2 уменьшается на ΔR . Если значения сопротивлений активных элементов возрастают на одну и ту же величину, то сопротивление в обоих плечах будет теоретически оставаться тем же самым, отношение их сопротивлений будет тоже оставаться таким же, и их воздействия будут взаимоуничтожаться.

Вышеприведенное уравнение показывает, что мост Уитстона является схемой, чувствительность выходного напряжения которой пропорциональна напряжению возбуждения и количеству активных элементов моста. Чем

ближе соответствие между дополнительными сопротивлениями и активными резистивными элементами, тем меньше будет неуравновешенное выходное напряжение по сравнению с входным напряжением возбуждения. Кроме того, полярность выходного напряжения зависит от расположения активных элементов в схеме моста и от того, возрастает или уменьшается сопротивление этих активных элементов при увеличении измеряемого физического параметра.

В следующих разделах обсуждаются конфигурации четвертного, половинного и полного моста, в которых тензодатчики являются активными элементами.

2.8.2 Конфигурация четвертного моста

Если в мосте Уитстона активным является только один из четырех резисторов, как показано на рисунке 2.17, то такая схема известна как четвертной мост.

В этой конфигурации повышение сопротивления активного сопротивления тензодатчика R_{T1} приводит к увеличению выходного напряжения, тогда как снижение этого сопротивления приводит к уменьшению напряжения на выходе. Следовательно, для конфигурации четвертного моста полярность выходного напряжения и то, увеличивается или уменьшается выходное напряжение при увеличении деформации, зависят от положения тензодатчика в схеме моста и от повышения или понижения сопротивления тензодатчика при увеличении деформации.

Если дополнительные резисторы точно соответствуют друг другу ($R_2 = R_3 = R_4$) и номинальное сопротивление тензодатчика выбирается равным этим величинам, тогда из предыдущих уравнений может быть получено,

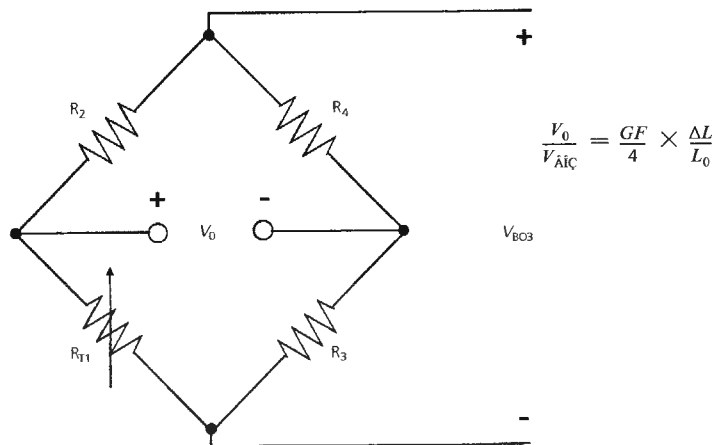


Рисунок 2.17
Схема четвертного моста

что для малого изменения активного сопротивления ΔR микродеформация ($\mu E = \Delta L/L_0 \times 10^6$) тензодатчика описывается выражением:

$$\mu E = \frac{4V_0}{V_{\text{в03}} \times KT} \times 10^6,$$

где:

μE – микродеформация ($\Delta L/L_0 \times 10^6$)

KT – коэффициент тензочувствительности

V_0 – разбалансированное выходное напряжение

$V_{\text{в03}}$ – напряжение возбуждения

ΔL – изменение длины

L_0 – недеформированная длина

Это уравнение предполагает, что отклонение сопротивления тензодатчика от его номинального значения является очень малым по сравнению с номинальной величиной сопротивления.

2.8.3 Конфигурация половинного моста

Как уже было показано, чувствительность схемы четвертного моста можно повысить путем замены одного или нескольких дополнительных резисторов на другие активные элементы. Добавление второго тензодатчика, подвергаемого той же самой деформации, как показано на рисунке 2.18, удвоит выходное напряжение моста. Эта схема известна как половинный мост.

Примечание: Размещение идентичного тензодатчика на той же самой стороне моста не окажет воздействия на выходное напряжение. Так как изменение сопротивления в соседних плечах будет теоретически оставаться тем же самым, отношение сопротивлений будет тоже оставаться таким же, а их воздействия будут взаимоуничтожаться.

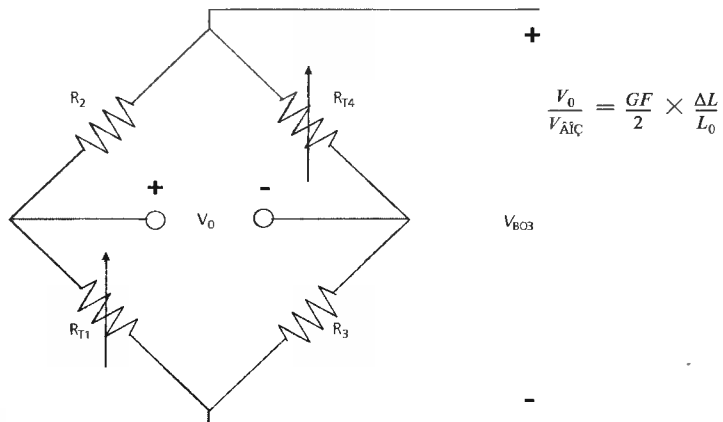


Рисунок 2.18
Схема половинного моста

2.8.4 Конфигурация полного моста

В обстоятельствах, когда возможно размещение тензодатчиков, имеющих равные и противоположные деформации (например, на противоположных сторонах изгибающейся балки), можно сделать активными все плечи моста и получить в четыре раза большую чувствительность. Эта конфигурация, показанная на рисунке 2.19, называется полным мостом.

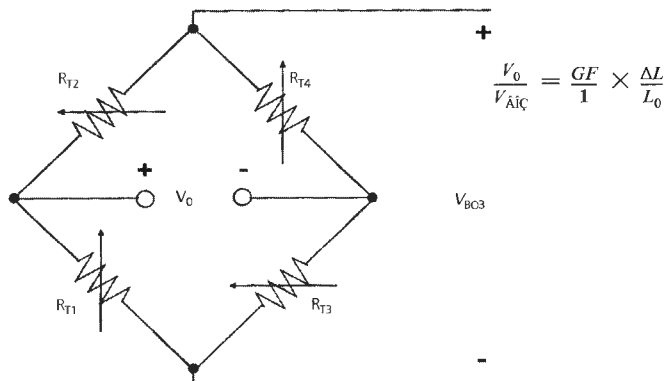


Рисунок 2.19
Схема полного моста

2.8.5 Проводные соединения

При наличии выбора для возбуждения схемы моста в виде напряжения или тока устройство формирования сигналов, используемое для измерения выходного напряжения моста Уитстона, часто само содержит два точно уравновешенных компенсационных резистора. Это создает гибкость при конфигурировании схем четвертного, половинного или полного моста, но требует от пользователя добавления активного элемента (элементов) и необходимых соответствующих компенсационных резисторов. Любые компенсационные резисторы, добавляемые пользователем и являющиеся внешними по отношению к устройству формирования сигналов, должны быть аккуратно подобраны, иметь высокую точность и стабильность, особенно в отношении температуры.

Поскольку чувствительность выходного напряжения на выходе моста Уитстона пропорциональна входному напряжению возбуждения, то возможна ситуация, когда падение напряжения на кабеле и сопротивлении разъема может снизить напряжение возбуждения в схеме моста и привести к неточностям в измеряемом выходном напряжении. Рассмотрим трехпроводную конфигурацию половинного моста, представленную на рисунке 2.20.

Для показанной трехпроводной конфигурации подключения половинного моста сопротивления соединительных проводов $R_{\text{П1}}$ и $R_{\text{П2}}$ находятся в

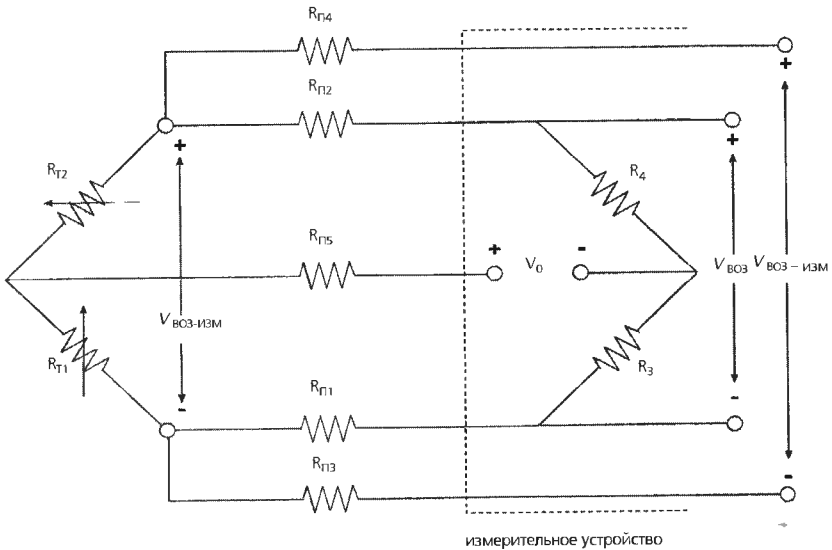


Рисунок 2.20
Трехпроводное подключение половинного моста

противоположных плечах и поэтому оказывают малое воздействие на уравновешивание моста. Однако они действительно воздействуют в некоторой степени на эффективное напряжение возбуждения $V_{ЭФФ-ВОЗ}$. Если номинальное сопротивление тензодатчика составляет 120 Ом, а сопротивление провода – 1 Ом, то эффективное напряжение возбуждения $V_{ЭФФ-ВОЗ}$ дается выражением:

$$V_{ЭФФ.ВОЗ} = \frac{120}{121} \times V_{ВОЗ} = 0,992V_{ВОЗ}$$

Следовательно, измеренное напряжение возбуждения $V_{ВОЗ-ИЗМ}$ должно быть на 0,8% выше, чем эффективное напряжение возбуждения. Эта погрешность в 0,8% должна рассматриваться в контексте с типичной неопределенностью коэффициента тензочувствительности в $\pm 1\%$.

Если сопротивление соединительных проводов намного больше (особенно при использовании длинных кабелей) по сравнению с сопротивлением активных элементов, то для устранения этой погрешности должна быть использована пятипроводная конфигурация, показанная на рисунке 2.21. В этой конфигурации два провода используются для обеспечения полной схемы моста током или напряжением возбуждения, тогда как два отдельных провода применяются для измерения эффективного напряжения возбуждения. Падение напряжения, вызванное сопротивлением резисторов ($R_{Г1}$ и $R_{Г2}$), будет по-прежнему приводить к снижению эффективного напряжения возбуждения на ту же самую величину, что и в случае трехпроводной конфигурации половинного моста. Однако, поскольку по проводам

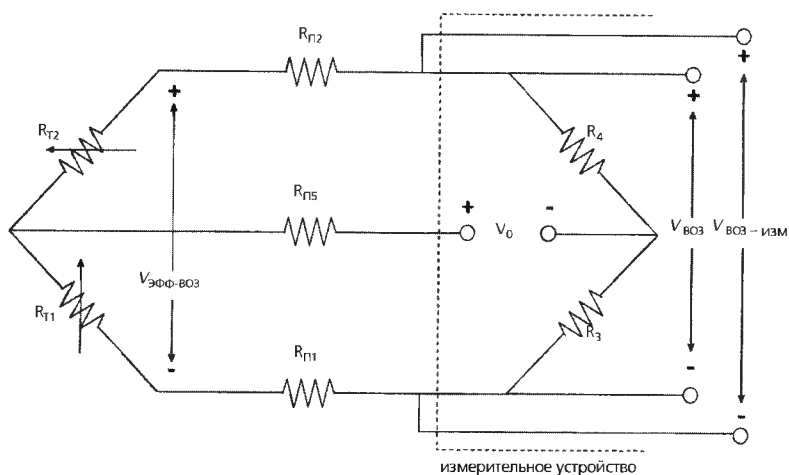


Рисунок 2.21

Пятипроводное подключение половинного моста

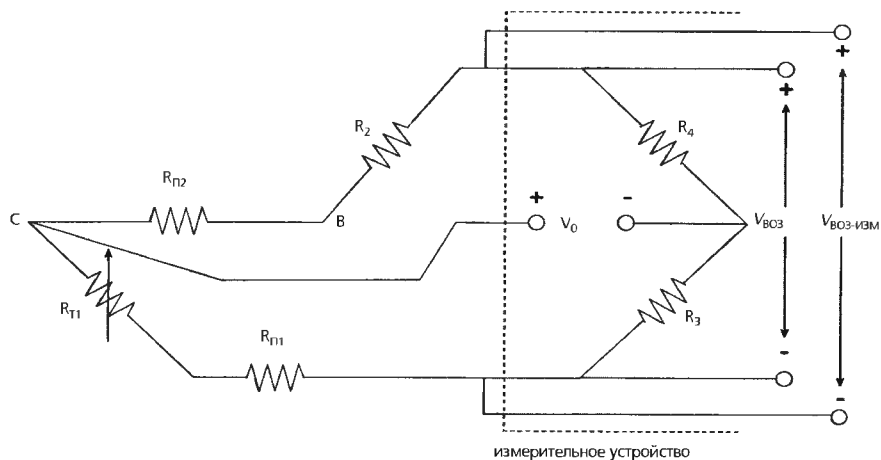


Рисунок 2.22

Трехпроводное подключение четвертного моста

с сопротивлением ($R_{П3}$ и $R_{П4}$) протекают пренебрежимо малые токи, эффективное напряжение возбуждения может быть измерено точно ($V_{Воз-изм}$).

При использовании трехпроводной конфигурации четвертного моста, показанной на рисунке 2.22, как единственный активный элемент, так и соответствующий дополнительный резистор должны быть внешними по отношению к устройству формирования сигналов.

В этой конфигурации сопротивления соединительных проводов ($R_{П1}$ и $R_{П2}$) находятся в противоположных плечах левой стороны моста и поэтому

оказывают небольшое воздействие на уравновешенность моста. Предположим, что сопротивления соединительных проводов ($R_{П1}$ и $R_{П2}$) несущественны по сравнению с номинальным сопротивлением тензодатчика (т.е. $V_{ЭФФ.ВОЗ.} = V_{ВОЗ.}$), тогда использование третьего провода гарантирует, что несбалансированное выходное напряжение V_0 будет правильно измерено между точками A и C моста. Если используются только два провода, тогда напряжение V_0 будет измерено как разность потенциалов между точками A и B , а оба сопротивления проводов ($R_{П1}$ и $R_{П2}$) будут включены последовательно относительно тензодатчика. Поэтому при использовании двухпроводного метода изменения сопротивления резисторов $R_{П1}$ и $R_{П2}$, связанные с температурой, будут неразличимы с изменениями сопротивления резистора $R_{Т1}$, вызванными деформацией.

Если сопротивления соединительных проводов ($R_{П1}$ и $R_{П2}$) велики по сравнению с величиной номинального сопротивления тензодатчика, то погрешность в величине эффективного напряжения возбуждения будет такой же, как и в случае трехпроводной схемы подключения половинного моста. В этой ситуации следует применять пятипроводную схему подключения четвертого моста.

2.8.6 Рассмотрение температурных проблем

Изменение сопротивления тензодатчика может быть вызвано изменением механического напряжения, приложенного к устройству, а также колебаниями температуры.

Обычно изменения сопротивления тензодатчиков на основе металлической фольги, связанные с температурой и деформацией, составляют соответственно $0,015\% / ^\circ\text{C}$ и $0,0002\% / \text{мкЕ}$. Для тензодатчика с такими характеристиками изменение температуры на один градус будет вызывать погрешность в величине эффективной деформации около 75 мкЕ .

Использование второго тензодатчика (ненапряженного) для коррекции температуры в том же плече моста дает существенное снижение погрешностей, связанных с изменениями температуры. Это вызвано тем, что изменение сопротивления из-за температуры одинаково для каждого из тензодатчиков, и поэтому имеет место эффект взаимокompенсации.

2.8.7 Погрешности измерения

При измерении деформации с помощью моста Уитстона имеются несколько источников погрешностей. К ним относятся:

Неопределенность в величине коэффициента тензочувствительности (обычно 1%).

Нелинейность моста. Уравнения, полученные в вышеприведенных разделах, предполагают, что изменение сопротивления тензодатчика очень мало по сравнению с его номинальным сопротивлением. Погрешность, возникающая при разбалансе в 10000 мкЕ , составляет приблизительно 1% .

Она может быть снижена путем моделирования нелинейности тензодатчика путем использования в программном обеспечении подходящего многочлена.

Соответствие между компенсационными резисторами и тензодатчиком. Если сопротивление компенсационного резистора в плече тензодатчика отличается на 1%, то погрешность составляет 0,5%.

Погрешности измерения, вызванные точностью, разрешением измерительного устройства и сопротивлением соединительных проводов

Температурные эффекты. Сопротивление как тензодатчика, так и компенсационных резисторов изменяется при отклонениях от температуры, при которой калибруется мост. Этот эффект существенно снижается путем включения ненапряженного тензометра в то же самое плечо моста.

Саморазогрев тензодатчиков. Саморазогрев может быть существенно снижен путем подачи питания на мост только на время проведения измерений.

Преобразование сигналов

3.1 Введение

Системы сбора данных (СДА), основанные на персональных компьютерах со сменными платами, используются во многих различных случаях. Обычно сменные платы общего назначения СДА применяются для измерения аналоговых и цифровых входных и выходных напряжений.

Как уже было показано, сигналы от большинства преобразователей должны быть определенным образом преобразованы перед тем, как плата СДА или измерительная система смогут точно принять измеряемый сигнал. «Преобразование сигналов» является термином, используемым обычно для описания предварительной обработки данных, которая необходима для преобразования электрических сигналов, получаемых от преобразователей, в сигналы, которые смогут принять сменные платы СДА или другая аппаратура сбора данных.

Кроме того, для работы многих преобразователей требуются токи или напряжения возбуждения, дополнительные резисторы моста Уитстона и линеаризация, обеспечивающие точное измерение сигнала. Поэтому большинство систем СДА, основанных на персональных компьютерах, включают в себя различные устройства преобразования сигналов.

Базовыми функциями, выполняемыми устройствами преобразования сигналов, являются:

- Усиление
- Электрическая развязка
- Фильтрация
- Возбуждение
- Линеаризация

Тип требуемого устройства преобразования сигналов и способ, каким образом оно сопрягается внутри системы СДА, во многом зависят от типа и количества преобразователей, от требований к их возбуждению и заземлению, а также, что не менее важно, от того, насколько далеко располагаются преобразователи от персонального компьютера, который должен собирать, анализировать и сохранять данные, содержащиеся в сигналах преобразователей.

Функции преобразования сигналов реализуются с помощью различных устройств, охватывающих широкий спектр цен, рабочих характеристик, модульности построения и простоту их применения.

В этой главе рассматриваются несколько часто используемых конфигураций аппаратного обеспечения, используемого при интеграции устройств преобразования сигналов в систему СДА, а также общие функции, которые должны выполняться этими устройствами.

3.2 Типы преобразования сигналов

3.2.1 Усиление

Усиление является одной из основных задач, производимой аппаратурой преобразования сигналов. При этом обеспечиваются две важных функции:

- Увеличение точности измерения сигнала
- Увеличение отношения сигнал/шум (SNR)

Усиление главным образом используется для увеличения точности измерения сигналов. Рассмотрим низкоуровневый сигнал порядка долей милливольт, подаваемый на 12-разрядный АЦП с полной шкалой 10 В. В данном случае будет иметь место потеря точности измерений, поскольку разрешение ЦАП составляет всего 2,44 мВ (15,2 мкВ при 16-разрядном преобразовании). Наибольшая точность может быть достигнута путем усиления входного сигнала, когда размах входного напряжения будет равен максимальному входному диапазону ЦАП.

Еще одной важной функцией усиления является увеличение отношения SNR. В тех случаях, когда датчики находятся далеко от платы приемника, а сигнал при этом передается в условиях электрических помех, то на низкоуровневый сигнал эти помехи могут оказывать значительное влияние. Если низкоуровневые сигналы, после того как они будут переданы через окружение с большими помехами, усилить на плате приемника, то шумы, воздействующие на сигнал, будут усилены точно так же, как и измеряемый сигнал. Если амплитуда шумов сравнима с амплитудой измеряемого сигнала (т.е. отношение SNR невелико), то измеряемые сигналы будут потеряны в шумах, что в конечном итоге приведет к значительным неточностям измерений.

Усиление низкоуровневых сигналов до того, как они будут переданы через систему, подверженную воздействию помех, увеличит уровень сигнала прежде, чем на него начнут действовать шумы, что приведет к увеличению отношения SNR сигнала при том же уровне помех. Рассмотрим, для примера, термопару J-типа, выходной сигнал которой имеет очень низкий уровень и температурный коэффициент составляет 50 мкВ/°С. Если провода термопары имеют длину около 10 м и на них воздействуют значительные электрические помехи, то в этой ситуации амплитуда помех, создаваемых в проводах термопары, может составлять порядка 200 мкВ. В данной ситу-

ации ошибка измерений, вызываемая наличием помех, соответствует $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если же рядом с термопарой расположить усилитель, обеспечивающий усиление сигнала в 500 раз, то температурный коэффициент станет приблизительно равным $25\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$. При более высоком уровне сигнала помеха величиной 200 мкВ, наведенная на 10-метровый кабель, будет приводить к гораздо меньшей ошибке, составляющей при измерении температуры всего доли градуса Цельсия.

3.2.2 Электрическая развязка

Электрически развязанный преобразователь передает сигнал от источника к измерительному устройству без гальванического или физического соединения. К наиболее распространенным методам развязки цепей относятся оптоэлектронная, магнитная или емкостная развязка. Оптоэлектронная развязка используется главным образом при передаче цифровых сигналов. Магнитная и емкостная развязки используются при передаче аналоговых сигналов. При этом сигнал модулируется, чтобы преобразовать величину напряжения в частоту, и модулированный сигнал передается через трансформатор или конденсатор без непосредственного физического соединения, после чего он снова преобразуется в напряжение.

Электрическая развязка выполняет несколько важных функций. Во-первых, развязка обеспечивает важную функцию защиты, предохраняя как дорогостоящее компьютерное оборудование и платы сбора данных, так и операторов от высоковольтных импульсов, которые могут быть вызваны разрядами статического электричества, молнией или сбоями в работе высоковольтного оборудования. Хотя устройства развязки сигнала обеспечивают эффективную физическую защиту компьютерного оборудования и плат сбора данных от напряжения до 1500 В, обычно на входах устройств преобразования сигналов предусматривается отдельная защита от перенапряжения, предотвращающая повреждение этого оборудования. В медицинских приборах развязка предотвращает возможность появления потенциально опасного напряжения или тока на датчиках, присоединенных или имплантированных в тело пациента.

Другой важной функцией электрической развязки является обеспечение того, чтобы паразитные контуры с замыканием через землю или синфазное напряжение не влияли на точность измерения сигналов. Паразитные заземляющие цепи, вызванные разностью потенциалов между землей источника сигнала и основной землей измерительного прибора, могут приводить к неточностям при измерении сигнала или в случае больших токов могут испортить устройства сбора информации. Использование развязанных модулей преобразования сигналов позволяет устранить паразитные заземляющие контуры и обеспечить точность при измерении сигналов.

Позже будет показано, что синфазными сигналами являются такие сигналы, величина которых одинакова на каждом из входов измерительной системы. Они могут вызываться разностями потенциалов между землями

источника сигнала и измерительной системы (т.е. паразитный контур с замыканием через землю) или являются неотъемлемой частью процесса измерений (например, измерение температуры устройства, находящегося под высоким потенциалом относительно земли).

3.2.3 Фильтрация

Фильтрация удаляет нежелательные помехи при измерении сигналов перед их усилением и передачей на аналого-цифровой преобразователь. В программируемых модулях преобразования сигналов интегрирующие аналого-цифровые преобразователи производят множество действий, направленных на усреднение (фильтрацию) любой периодической помехи, появляющейся на входе. В качестве альтернативы цифровой фильтрации периодических помех, таких, как помехи от электрической сети, может быть использовано усреднение с помощью программного обеспечения. Этот метод предполагает выполнение намного большего количества измерений, чем обычно требуется для измерения необходимого сигнала, и дальнейшее их усреднение для получения единственного измерения. Если выборки усредняются за период сигнала помехи, то этот сигнал будет усреднен до нуля.

Если отсутствуют другие варианты фильтрации, то самым дешевым вариантом является имеющийся в аппаратуре аналоговый фильтр. Существуют два типа аналоговых фильтров, а именно: пассивные фильтры, которые используют только пассивные компоненты (такие, как конденсаторы и резисторы), и активные фильтры, которые применяют операционные усилители.

В идеале фильтры должны устранять все сигналы на частотах, находящихся вне указанного диапазона частот, обеспечивая очень резкое разграничение между проходящими частотами и фильтруемыми частотами. Большинство практических фильтров не являются идеальными и обычно не устраняют все нежелательные сигналы вне указанного диапазона частот.

Общими параметрами фильтров являются:

- **Частота среза**

Это частота, при которой фильтр начинает действовать. Это может быть частота среза высоких или низких частот, которая обычно определяется как частота, при которой нормированное усиление падает на 3 дБ ниже единицы.

- **Спад**

Это наклон графика зависимости амплитуды сигнала от частоты в области частоты среза. Эта характеристика отличает идеальный фильтр от практического (неидеального) фильтра. Спад измеряется обычно по логарифмической шкале в единицах децибел (дБ).

- **Показатель качества «Q» (добротность)**

Этот параметр является регулируемой характеристикой настроенного фильтра и определяет коэффициент передачи фильтра на его резонансной частоте, а также спад коэффициента передачи на любой стороне от резонансной частоты.

Чаще используются активные фильтры, поскольку они обеспечивают более крутой спад и лучшую стабильность. Такие фильтры описаны ниже.

Фильтр нижних частот

Фильтры нижних частот пропускают низкочастотные компоненты сигнала и отфильтровывают высокочастотные компоненты, которые находятся выше указанной частоты. Схема активного фильтра нижних частот показана на рисунке 3.1.

Характеристика передачи идеального фильтра нижних частот показана на рисунке 3.2.

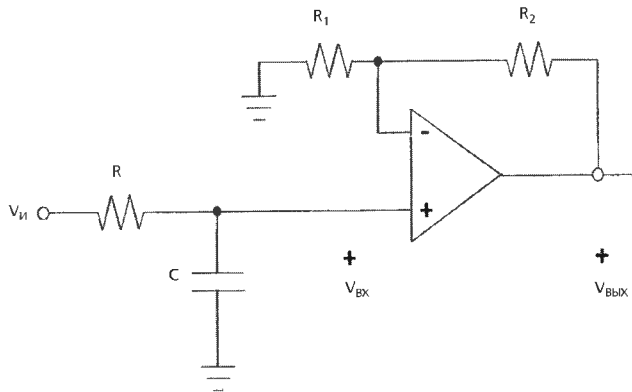


Рисунок 3.1

Активный фильтр нижних частот

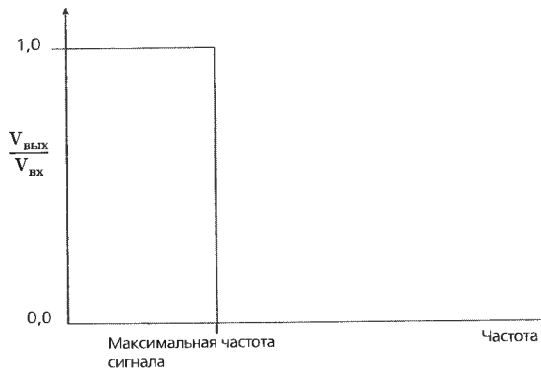
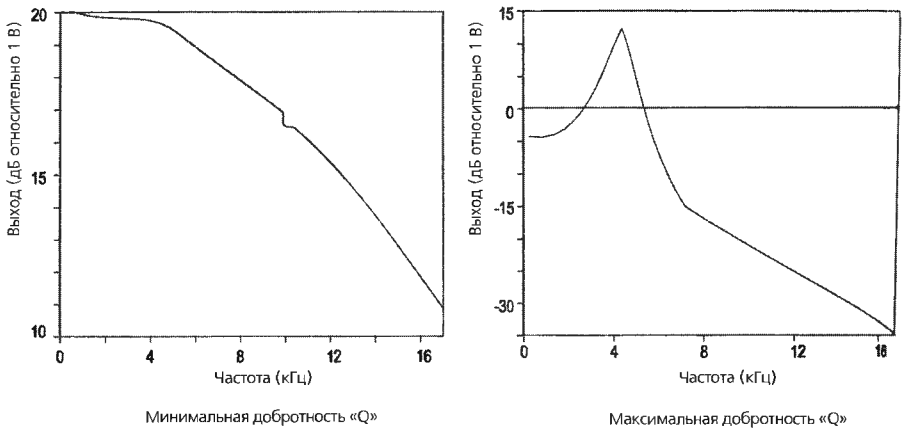


Рисунок 3.2

Характеристика передачи идеального фильтра низких частот

**Рисунок 3.3**

Характеристика передачи реального активного фильтра низких частот

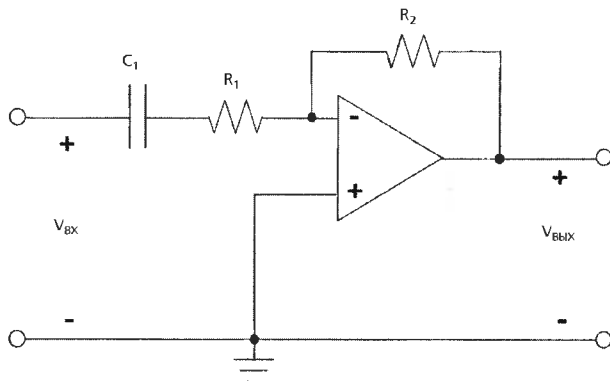
Характеристики передачи практического фильтра для минимальной и максимальной добротности « Q » показаны на рисунке 3.3.

Фильтр верхних частот

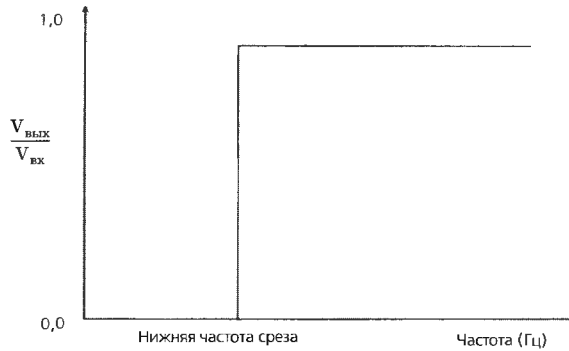
Фильтры верхних частот пропускают высокочастотные сигналы и отфильтровывают низкие частоты, начиная с определенной низкой частоты. Схема активного фильтра верхних частот показана на рисунке 3.4.

Характеристика передачи идеального фильтра верхних частот показана на рисунке 3.5.

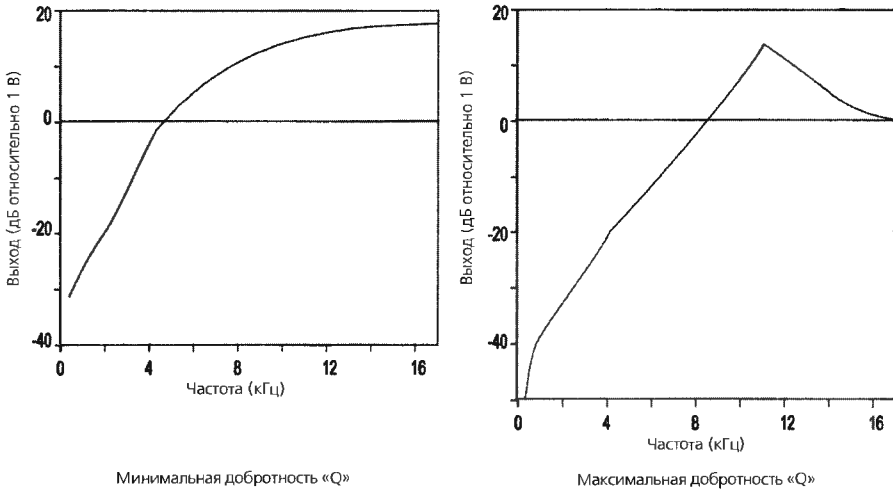
Характеристика передачи реального фильтра для минимальной и максимальной добротности « Q » показана на рисунке 3.6.

**Рисунок 3.4**

Активный фильтр верхних частот

**Рисунок 3.5**

Характеристика передачи идеального фильтра верхних частот

**Рисунок 3.6**

Характеристика передачи реального активного фильтра верхних частот

Полосовой (избирательный) фильтр

Полосовые фильтры пропускают только частоты, лежащие внутри определенного диапазона, который указывается нижней и верхней частотами среза.

Этот фильтр известен также как избирательный фильтр. Он объединяет фильтры нижних и верхних частот, расположенные последовательно, и каждый из фильтров настроен соответственно на нижнюю и верхнюю частоты среза. Идеальная характеристика передачи активного полосового фильтра показана на рисунке 3.7.

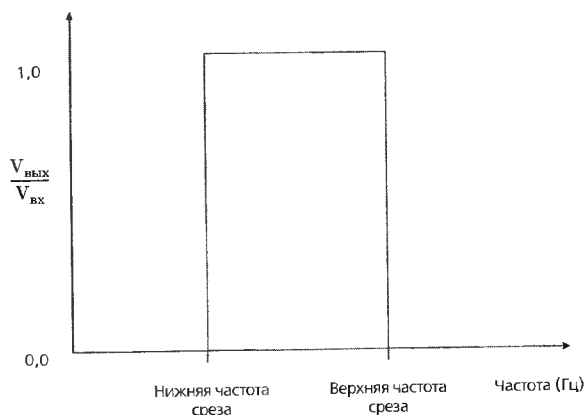


Рисунок 3.7
Характеристика передачи идеального полосового фильтра

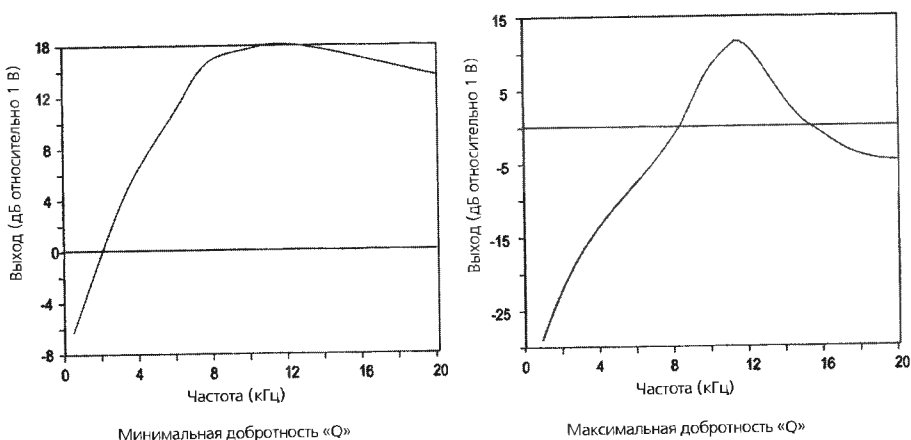


Рисунок 3.8
Характеристика передачи реального активного полосового фильтра

Характеристики передачи практического фильтра для минимальной и максимальной добротности «Q» показаны на рисунке 3.8.

Узкополосные (режекторные) фильтры

Узкополосные (режекторные) фильтры пропускают только определенный диапазон частот, указанный верхней и нижней частотой пропускания. Режекторные фильтры объединяют фильтры верхних и нижних частот, расположенные параллельно, каждый из которых настроен соответственно на нижнюю и верхнюю частоты среза. Идеальная характеристика передачи активного режекторного фильтра показана на рисунке 3.9.

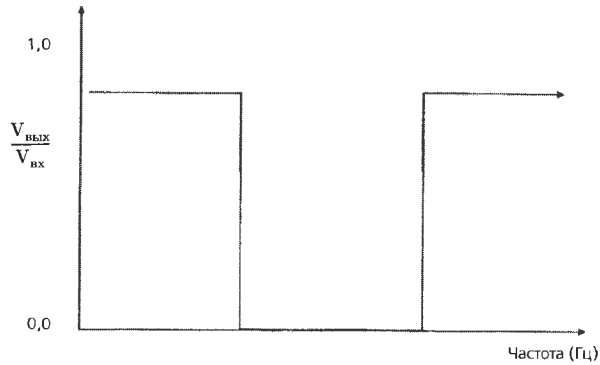


Рисунок 3.9
Характеристика передачи идеального режекторного фильтра

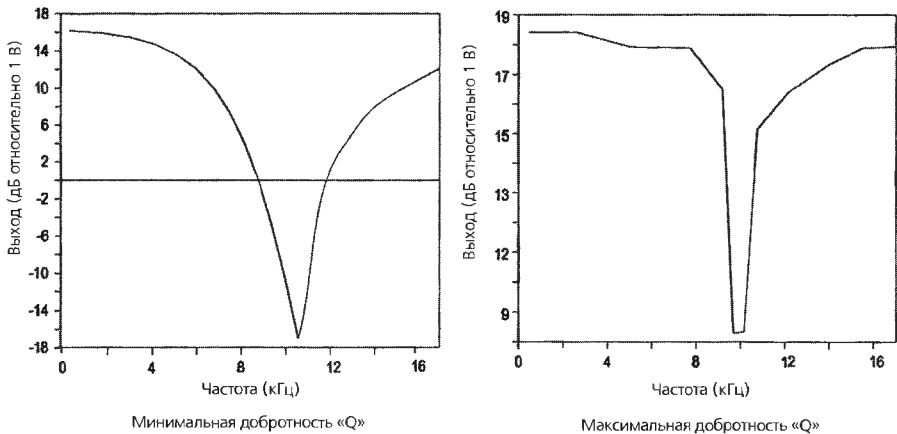


Рисунок 3.10
Характеристика передачи реального активного режекторного фильтра

Характеристики передачи реального фильтра для минимальной и максимальной добротности « Q » показаны на рисунке 3.10.

Фильтр Баттерворта

Фильтр Баттерворта обеспечивает более высокую степень фильтрации нижних частот, так как он содержит два и более каскадов фильтров нижних частот. Количество каскадов « n » фильтра определяет крутизну спада на частоте среза. Двухкаскадный фильтр этого типа известен как фильтр Баттерворта второго порядка, он показан на рисунке 3.11.

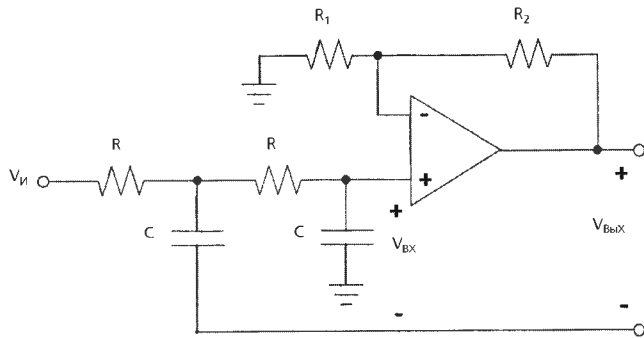


Рисунок 3.11
Двухкаскадный фильтр Баттерворта

Фильтр Баттерворта четвертого порядка будет иметь две секции, показанные на рисунке 3.11, которые включены последовательно.

3.2.4 Линеаризация

Как уже было показано, выходные сигналы от таких датчиков, как термопары, за пределами заданного входного диапазона проявляют нелинейную связь с измеряемым явлением. Обычно линеаризацию этих сигналов выполняет программное обеспечение аппаратуры сбора данных. Однако если нелинейное соотношение предсказуемо и повторяемо, то эта задача может быть выполнена с помощью программирования аппаратуры преобразования сигналов. Для этого обычно требуется, чтобы используемая аппаратура была запрограммирована на определенный тип датчика, но после завершения измерений возвращаемые в главный персональный компьютер или сохраняемые как часть процесса данные относились непосредственно к измеряемому явлению (например, температуре).

3.3 Классы преобразования сигналов

Устройства преобразования сигналов, производимые многими изготовителями оборудования, выпускаются самых разных типов, определяемых ценой, рабочими характеристиками, реализацией модульности и простотой применения. Тип аппаратного обеспечения преобразования сигналов должен соответствовать конкретному случаю применения. Ниже обсуждаются основные виды такого оборудования.

3.3.1 Сменные платы преобразования сигналов

К этому типу аппаратного обеспечения преобразования сигналов обычно относятся специализированные сменные платы сбора данных, причем устройство преобразования сигналов содержится на самой плате. Этот случай иллюстрирует рисунок 3.12.

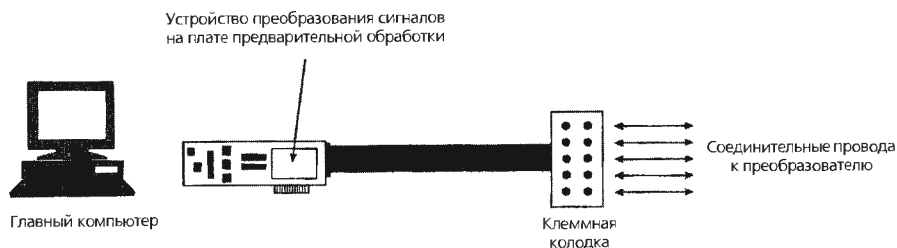


Рисунок 3.12

Преобразование сигналов производится на сменной плате СДА

Каждая плата предназначена для одного типа преобразований; платы, ориентированные на работу с термопарами, служат для сопряжения с термопарами; платы, ориентированные на тензодатчики, — для сопряжения с тензодатчиками и т.д. Обычно эти платы используются для небольших специализированных систем сбора данных, которые имеют ограниченное количество преобразователей, расположенных недалеко от главного компьютера.

3.3.2 Прямое модульное подключение — двухпроводные передатчики

Двухпроводные передатчики — это двухпортовые модули преобразования сигналов, на входной порт которых поступает непреобразованный сигнал, а с выходного порта снимается преобразованный сигнал. Для каждого типа преобразователя (или исполнительного устройства) требуется отдельный модуль. Эти модули преобразования сигналов не являются программируемыми устройствами и не выполняют аналого-цифровое преобразование на плате. Вместо этого преобразованный аналоговый сигнал передается по двум линиям на плату сбора данных главного персонального компьютера либо в виде напряжения, либо после преобразования в виде стандартного сигнала токовой петли (420 мА), отсюда и название этих устройств — двухпроводные передатчики. Упрощенная функциональная блок-схема типового модуля преобразования сигналов двухпроводного передатчика показана на рисунке 3.13.

Напряжения на выходе (± 10 В или $0 - 10$ В), совместимые с однопроводными входами большинства плат сбора данных, позволяют легко сопрягать эти передатчики с платами сбора данных, которые созданы с применением самых современных технологий. Однако из-за падения напряжения, которое может происходить на сигнальных линиях, и из-за воздействий помех, наводки которых пропорциональны длине линий передач, выходные напряжения должны использоваться только в случаях использования коротких линий передач.

Токовые сигналы обладают существенно большей устойчивостью к помехам и могут передаваться на расстояния до нескольких сотен метров (вплоть до 1000 метров) на приемник, который преобразует токи обратно в на-

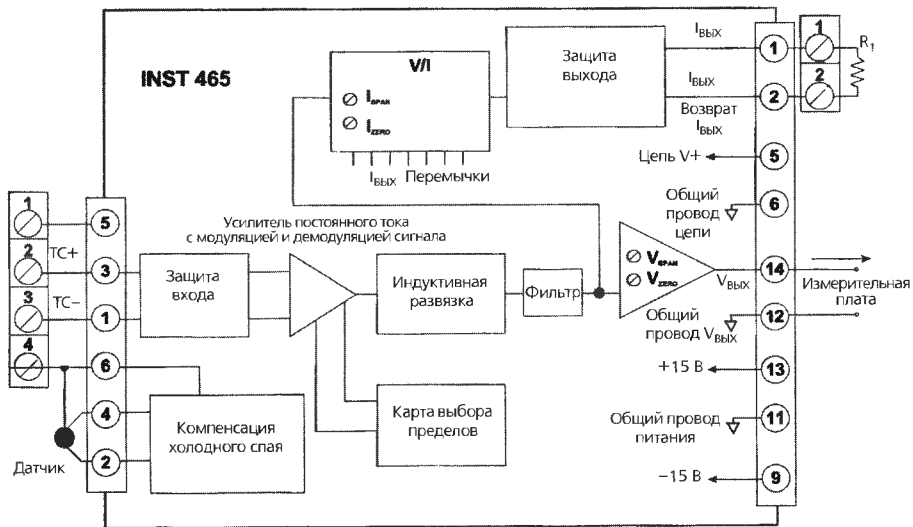


Рисунок 3.13

Функциональная блок-схема преобразования сигналов двухпроводного передатчика модуля

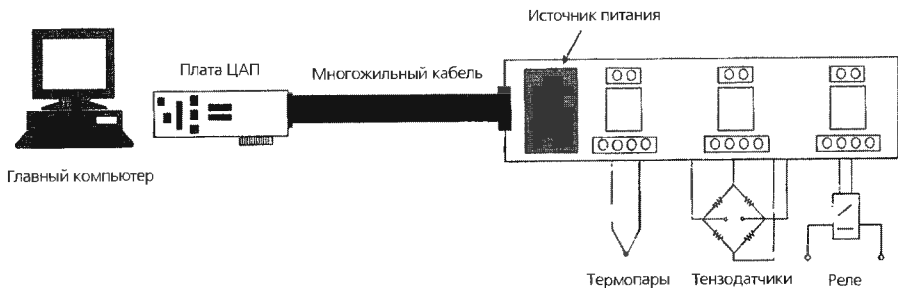


Рисунок 3.14

Модульное устройство преобразования сигналов, устанавливаемое на плате

пряжение, необходимое для выполнения аналого-цифрового преобразования на персональном компьютере. В принципе приемник является резистором с номиналом порядка 500 Ом, обеспечивающим полную шкалу 10 В ($500 \text{ Ом} \times 20 \text{ мА}$). Для токовой петли каждого отдельного датчика используется отдельная пара проводов, в результате чего в персональный компьютер поступает много пар кабелей. Для работы схем требуется источник питания (от 15 до 40В), способный приводить в действие столько токовых петель, сколько имеется модулей.

Поскольку отдельные модули преобразования сигналов требуют внешнего питания, то их обычно проектируют так, чтобы устанавливать на монтажной плате с имеющимся на ней источником питания, как показано на рисунке 3.14.

Для каждого кабельного соединения между монтажной платой и вводом/выводом сменной платы сбора данных на плате используется отдельный разъем. В качестве кабелей обычно используются многожильные провода в виде витой пары. Это позволяет обеспечивать сопряжение большого количества разных преобразователей со сменными платами сбора данных, но не облегчает реализацию распределенного ввода/вывода.

3.3.3 Распределенный ввод/вывод – цифровые передатчики

Часто датчики должны располагаться вдали от персонального компьютера, в котором производятся обработка и аналого-цифровое преобразование данных. Это особенно справедливо для промышленной среды, когда такие датчики, как термодатчики и тензодатчики, располагаются в жестких окружающих условиях на большой территории, на расстояниях до сотен метров. В условиях помех очень малые сигналы (порядка нескольких милливольт), получаемые от таких датчиков, как термодатчики и тензодатчики, очень трудно передать на такие большие расстояния, особенно в необработанном виде, не ставя под угрозу качество данных.

Альтернативой передаче данных по длинным (и, возможно, дорогостоящим) проводам непосредственно от датчиков или от модулей двухпроводных передатчиков является использование распределенного ввода/вывода. Распределенный ввод/вывод производится модулями преобразования сигналов, которые расположены удаленно от главного компьютера, вблизи датчиков, с которыми они сопряжены. Для каждого используемого датчика требуется один модуль, позволяющий реализовывать высокие степени модульности (от одного до сотен модулей на одном месте). Хотя это может привести к существенному удорожанию систем с большим количеством точек сбора данных, выгоды, связанные с качеством сигналов и их точностью, стоят этого.

Одной из наиболее часто реализуемых форм распределенного ввода/вывода являются цифровые передатчики. Эти программируемые устройства выполняют все функции простых модулей преобразования сигналов (двухпроводных передатчиков), но содержат также микроконтроллер и аналого-цифровой преобразователь для осуществления цифрового преобразования сигнала в самом модуле. Преобразованные данные передаются в компьютер по коммуникационным интерфейсам RS-232 или RS-485. Упрощенная функциональная блок-схема типового цифрового передатчика представлена на рисунке 3.15.

Использование многоточечных сетей с интерфейсом RS-485 существенно уменьшает количество требуемого кабеля, так как каждый модуль преобразования сигналов использует одну и ту же кабельную пару. Однако при этом для обеспечения коммуникации между компьютером и удаленными модулями преобразования сигналов требуется преобразователь RS-232/RS-485.

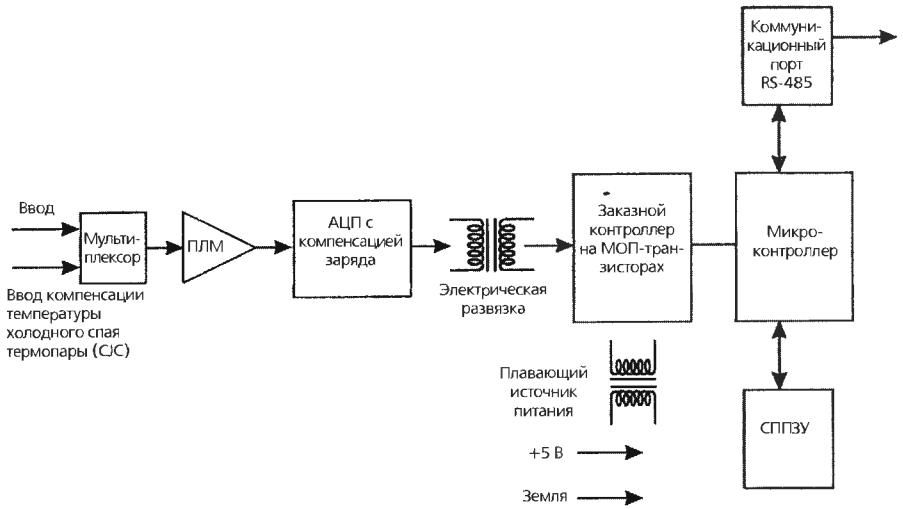


Рисунок 3.15

Функциональная блок-схема модуля преобразования сигналов цифрового передатчика

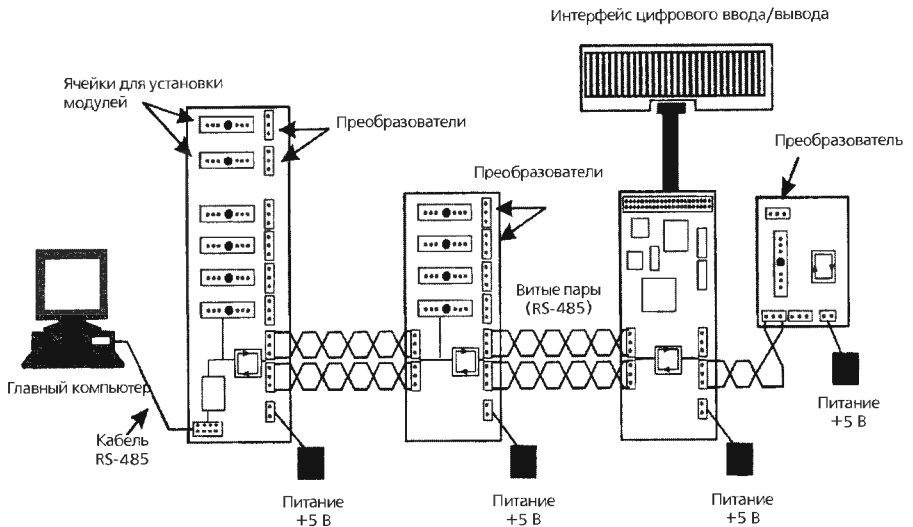


Рисунок 3.16

Сеть преобразования сигналов с распределенным вводом/выводом, использующая модули цифрового передатчика, устанавливаемые на плате

Имеются цифровые передатчики, которые обеспечивают два варианта конфигурации системы с распределенным вводом/выводом. В первой конфигурации системы, показанной на рисунке 3.16, модули цифрового передатчика изготовлены так, чтобы их можно было вставлять в монтажную плату с возможностью использования внешнего источника питания.

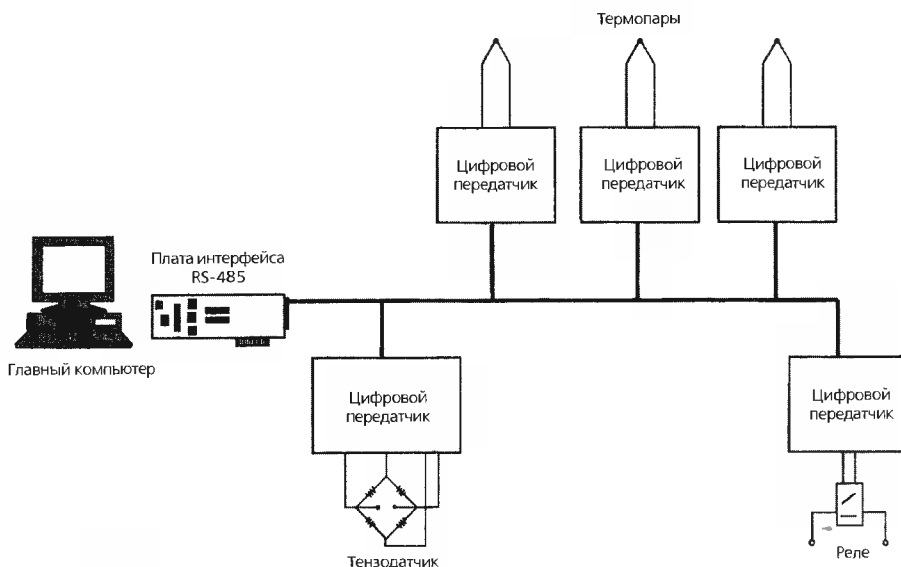


Рисунок 3.17

Сеть преобразования сигналов с распределенным вводом/выводом, использующая отдельные модули цифровых передатчиков

Вторая конфигурация системы с распределенным вводом/выводом, представленная на рисунке 3.17, использует отдельные модули цифровых передатчиков. Отдельные модули могут легко ставиться друг на друга в случае, когда в одном месте располагаются несколько преобразователей, а могут, если это требуется, размещаться индивидуально.

Подобно другим модулям преобразования сигналов, эти устройства требуют внешнего источника питания. Источник питания должен располагаться так, чтобы питать столько модулей преобразования сигналов, сколько позволяет его номинальная мощность.

3.4 Соединительные провода и измерение сигналов

При измерении аналоговых сигналов от датчиков, к сожалению, часто бывает непросто соединить проводами датчик с устройством преобразования сигнала или с платой сбора данных, или соединить устройства преобразования сигналов с самой платой сбора данных.

Устройства преобразования сигналов и платы сбора данных обычно поддерживают разные способы измерения входных сигналов. При определении проводных соединений и конфигурации аналогового входа, которая будет обеспечивать точные, свободные от помех, измерения, следует провести тщательное рассмотрение не только типа сигнала, создаваемого датчиком, но также и природы источника сигналов.

Наиболее общей формой электрического сигнала, обеспечиваемого датчиками или устройствами преобразования сигналов, является напряжение. В определенных ситуациях, когда выходной сигнал от устройства преобразования сигналов должен быть передан на большие расстояния или является особенно чувствительным к помехам, сигнал напряжения может быть преобразован в токовый или частотный сигнал. Однако в большинстве случаев перед выполнением измерения сигнал преобразуется обратно в напряжение. Поэтому необходимо понимать, что является источником сигнала напряжения, и знать различные методы проведения измерений сигналов напряжения.

Имеются две категории источников сигналов напряжения:

- Заземленные источники сигналов
- Плавающие (незаземленные) источники сигналов

Большинство типов устройств преобразования сигналов и плат сбора данных позволяют производить три типа измерений:

- Однопроводные измерения
- Дифференциальные измерения
- Псевдодифференциальные измерения

Поскольку для определения наилучшего метода измерения аналоговых сигналов необходимо понимание типов источников питания и измерительных систем, именно этим темам посвящены следующие разделы.

3.4.1 Заземленные источники сигналов

По определению напряжение означает наличие разности потенциалов между двумя точками. В заземленных источниках сигналов один из сигнальных выводов имеет соединение с заземлением системы, как показано на рисунке 3.18. Это теоретически означает потенциал земли, хотя заземление системы не обязательно находится под потенциалом земли. Выход напряжения источника сигнала является разностью потенциалов между заземлением системы и положительным выводом источника.

Обычным примером заземленного источника является прибор, который соединен через сетевую вилку с заземлением здания.

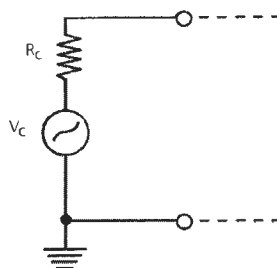


Рисунок 3.18
Заземленный источник сигналов

3.4.2 Плавающие источники сигналов

Плавающие, или незаземленные, источники сигналов, как показано на рисунке 3.19, не имеют соединения ни одного из выводов источника сигналов с землей системы. Это означает, что источник сигналов не соединен ни с какой абсолютной базой. Разность потенциалов, которую может иметь каждая из сигнальных линий по отношению к земле системы или к потенциалу земли между сигнальными линиями, никаким образом не создает напряжения.

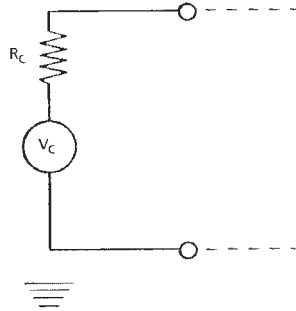


Рисунок 3.19
Незаземленный источник сигналов

Примерами плавающих источников сигналов являются трансформаторы, развязывающие усилители, батареи и приборы, работающие от батарей.

3.4.3 Однопроводное измерение сигналов

Измерительная система, имеющая базовое заземление, как показано на рисунке 3.20, — это система, в которой измерение напряжения выполняется относительно «земли». Этот тип измерений известен как однопроводный, поскольку для определения напряжения сигнала, при условии наличия базового заземления, требуется только одна сигнальная линия.

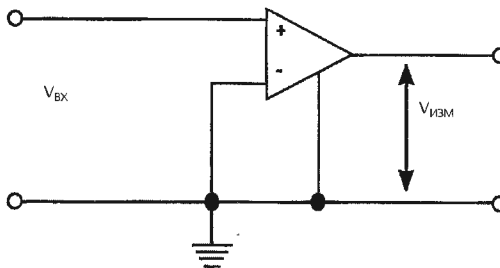


Рисунок 3.20
Однопроводное измерение

3.4.4 Дифференциальное измерение сигналов

Схема дифференциальных измерений, показанная на рисунке 3.21, не имеет соединения ни одного своего входа с фиксированной базой, такой, как земля, или с заземлением системы.

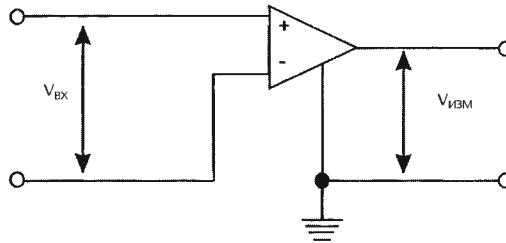


Рисунок 3.21
Дифференциальное измерение

3.4.5 Синфазные напряжения и коэффициент ослабления синфазного сигнала

Синфазные напряжения

В идеале схема для дифференциальных измерений измеряет только разность потенциалов между положительной и отрицательной клеммами. Если сигнал источника измеряется с использованием дифференциальных входов и имеется напряжение относительно земли измерительной системы, т.е. присутствующее на обеих входных линиях, то это напряжение называется синфазным напряжением. Это продемонстрировано на рисунке 3.22.

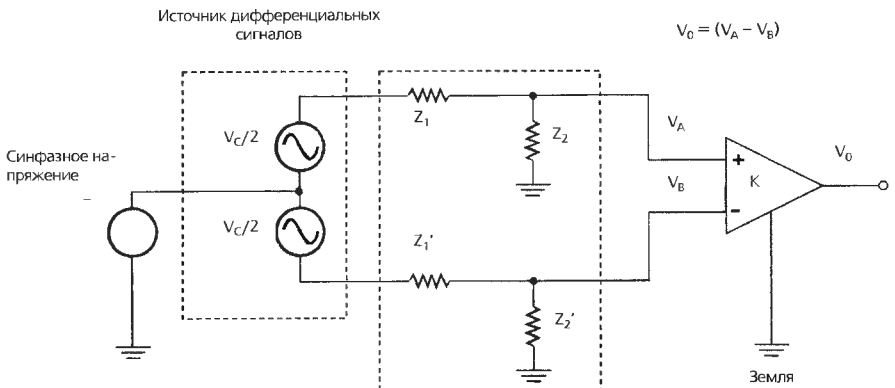


Рисунок 3.22
Синфазные напряжения

Синфазное напряжение $V_{\text{СИН}}$ может быть рассчитано из следующего соотношения:

$$V_{\text{СИН}} = \frac{(V_A + V_B)}{2},$$

где:

V_A – напряжение на неинвертирующем входе измерительной системы относительно земли инструментального усилителя;

V_B – напряжение на инвертирующем входе измерительной системы относительно земли инструментального усилителя.

Примером синфазного напряжения является выход схемы моста, в которой малый дифференциальный сигнал накладывается на намного большее синфазное напряжение, создаваемое возбуждением схемы моста.

Коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС)

Идеальный дифференциальный усилитель будет полностью подавлять любые синфазные напряжения, присутствующие на его входах, и усиливать только разность потенциалов между входами. Однако практически эти устройства не полностью подавляют синфазные напряжения. Коэффициент ослабления синфазного сигнала определяет способность дифференциального усилителя подавлять сигналы на входе, которые являются общими для обоих входов.

Коэффициент ослабления синфазного сигнала определяется как отношение величины синфазного сигнала, присутствующего на входе усилителя, и сигнала, создаваемого этим напряжением на выходе усилителя, что описывается следующим уравнением:

$$\text{КОСС} = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{\text{СИН}}}{V_{\text{ВЫХ}}} \right)$$

Это отношение, выраженное обычно в дБ, может использоваться для вычисления погрешности измерения величины выходного напряжения, которая будет наблюдаться из-за синфазного напряжения, появляющегося на входе. Чем выше КОСС, тем лучше осуществляется подавление синфазных сигналов и тем точнее выходной сигнал, обусловленный измеряемым дифференциальным сигналом. Обычно в хорошо спроектированной системе можно ожидать КОСС порядка 60 – 80 дБ.

Пределы синфазного напряжения на входе

На практике измерительные системы имеют еще одно ограничение, связанное с наличием максимального и минимального входного синфазного напряжения, допустимого на каждом входе по отношению к земле измерительной системы. Подача синфазных напряжений на любой вход, которые выходят за пределы входного диапазона, приведет к погрешностям измерения или, в наихудшем случае, к возможному повреждению измерительной схемы.

3.4.6 Измерение сигналов заземленных источников

Дифференциальное измерение сигналов заземленного источника

Лучше всего измерять сигналы в системе с заземленным источником с помощью дифференциальной или псевдодифференциальной измерительной схемы, представленной на рисунке 3.23. В этой конфигурации любая раз-

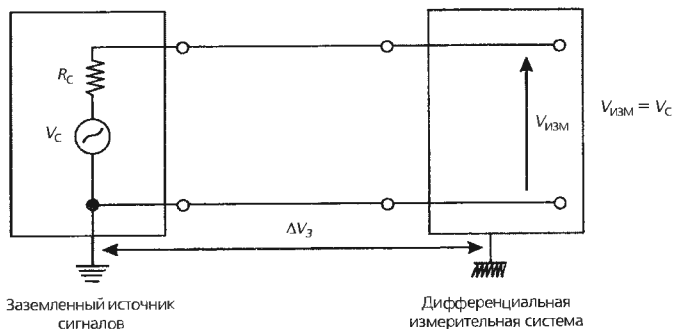


Рисунок 3.23

Дифференциальное измерение сигналов заземленного источника

ность потенциалов (ΔV_3) между базовыми землями источника и измерительной системой является для измерительной системы синфазным напряжением. Измеренное дифференциальное напряжение определяется как:

$$V_{\text{ИЗМ}} = (V_C + \Delta V_3) \Delta V_3 = V_C$$

Однопроводное измерение сигналов заземленного источника

Если для измерения в системе с заземленным источником сигналов используется однопроводная измерительная система, показанная на рисунке 3.24, то во время измерения могут возникнуть проблемы. В этой конфигурации

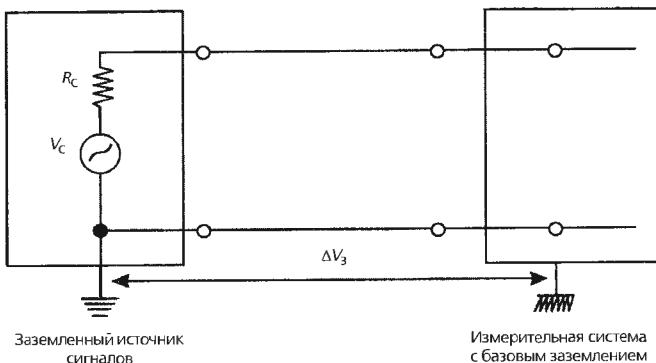


Рисунок 3.24

Однопроводное измерение сигналов заземленного источника

любая разность потенциалов (ΔV_3) между землей источника сигналов и землей измерительной системы добавляется к напряжению источника сигнала как часть результата измерения. Измеренное напряжение определяется как:

$$V_{\text{изм}} = V_c + \Delta V_3$$

Если уровни напряжения измеряемых сигналов достаточно высоки по сравнению с разностью потенциалов относительно базовой земли, а соединительные провода между источником сигналов и измерительной системой имеют низкое сопротивление, то неточности при измерении напряжения сигнала могут быть приемлемыми.

3.4.7 Контурь заземления

Классическая проблема контура заземления возникает по той причине, что действительное заземление не обязательно имеет один и тот же потенциал в различных местах. Если концы провода заземлены в разных точках, то разность потенциалов между ними (которая может изменяться от микровольт до многих вольт) может вызвать существенные токи, называемые паразитными токами заземления, протекающие по проводу. Кроме того, эта разность потенциалов не обязательно будет иметь уровень постоянного тока. Помимо введения погрешностей, связанных со смещением в виде постоянного тока, токи в контуре заземления содержат такие компоненты переменного тока, как наводки переменного тока (50 – 60 Гц), и являются постоянным источником помех. Это особенно справедливо в случаях, когда многочисленные точки заземления в системе, разделенные большими расстояниями, соединяются с землей питания переменного тока или когда величина уровня сигнала в аналоговых схемах низка по сравнению с уровнем помех.

Если для соединения заземлений используются сигнальные линии, то токи заземления будут протекать с непредсказуемыми результатами. Возможно, более серьезной проблемой, связанной с паразитными контурами заземления, является неопределенность площади токовой петли, которая может связывать магнитные поля и наводить другие нежелательные напряжения помех в сигнальных проводниках.

3.4.8 Электрическая развязка сигнальной схемы

Если требуется, чтобы сигнальный проводник был заземлен на обоих концах, а также необходима дополнительная помехоустойчивость системы, то контур заземления должен быть разорван путем электрической развязки источника сигналов от измерительного оборудования. Развязка, осуществляемая путем использования трансформаторов, оптоэлектронных пар и дросселей синфазных напряжений, представлена на рисунках 3.25, 3.26 и 3.27 соответственно.

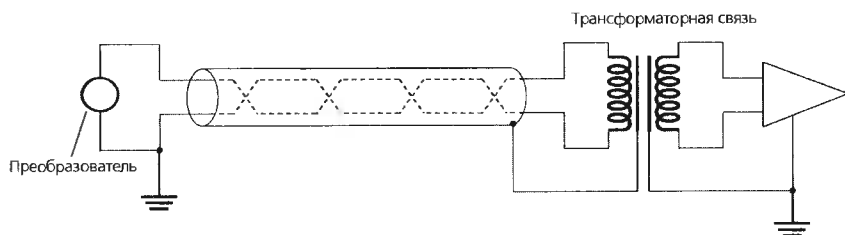


Рисунок 3.25

Электрическая развязка контура заземления с помощью трансформатора

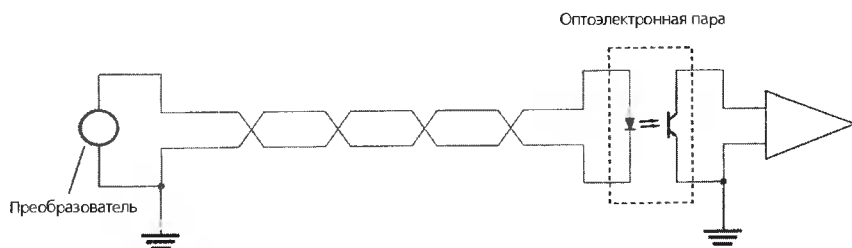


Рисунок 3.26

Электрическая развязка контура заземления с помощью оптоэлектронной пары

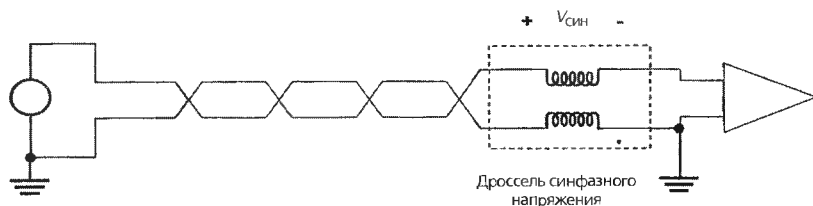


Рисунок 3.27

Дроссельная развязка синфазного напряжения контура заземления

Если для развязки источника сигналов от измерительной системы используется трансформатор, то синфазное напряжение появляется между обмотками трансформатора, а не на входе измерительной системы. Помеховая связь между схемами очень мала и зависит от паразитной емкости, существующей между обмотками трансформатора. Недостатками применения трансформаторов являются их очень большие размеры и высокая стоимость, особенно в случаях, когда требуется изолировать несколько сигнальных схем. Кроме того, трансформаторы имеют ограниченную частотную характеристику и не обеспечивают передачи постоянного тока от источника сигналов к измерительной системе.

Оптоэлектронная развязка, представленная на рисунке 3.26, обычно используется для цифровых сигналов из-за нелинейной передачи оптронной парой аналоговых сигналов.

Если трансформатор включен в качестве дросселя синфазного напряжения, как показано на рисунке 3.27, то передаются постоянный ток и дифференциальные аналоговые сигналы, тогда как переменные синфазные сигналы подавляются. Синфазное напряжение помехи падает на обмотках дросселя. Одним важным преимуществом этого типа схемы электрической развязки является то, что многочисленные сигнальные цепи могут быть намотаны на общий сердечник без возникновения связей.

3.4.9 Измерение сигналов незаземленных источников

Сигналы незаземленных или плавающих источников могут измеряться с помощью следующих методов: однопроводного, псевдодифференциального или дифференциального.

Дифференциальные измерения сигналов незаземленных источников

При использовании дифференциальной схемы для измерения сигнала напряжения от незаземленного источника следует уделять внимание тому, чтобы уровень синфазного напряжения сигнала относительно земли измерительной системы не превышал допустимые пределы входного синфазного напряжения измерительного устройства.

Кроме того, если для входных токов смещения инструментального усилителя отсутствует обратный путь к земле измерительной системы, то прохождение этих токов через импеданс источника, а также зарядка паразитных емкостей могут заставить уровень напряжения источника сместиться за пределы допустимого диапазона напряжений входного каскада измерительной системы. Это особенно справедливо при высоком импедансе источника. Степень смещения напряжения источника зависит от величины входных токов смещения и разбаланса системы.

Сбалансированная измерительная система отвечает следующим критериям:

- Входные импедансы по отношению к земле для каждого входа инструментального усилителя равны
- Импедансы каждого сигнального кабеля по отношению к земле равны
- Импедансы каждого провода источника сигнала по отношению к земле равны

Повышенная помехоустойчивость достигается также путем использования сбалансированной системы, поскольку наведенные шумовые напряжения, появляющиеся на сигнальных проводах, равны и должны быть устранены при выполнении измерения дифференциальным усилителем.

Резисторы смещения, включенные между каждым входом и базовой землей измерительной системы, показанные на рисунке 3.28, обеспечива-

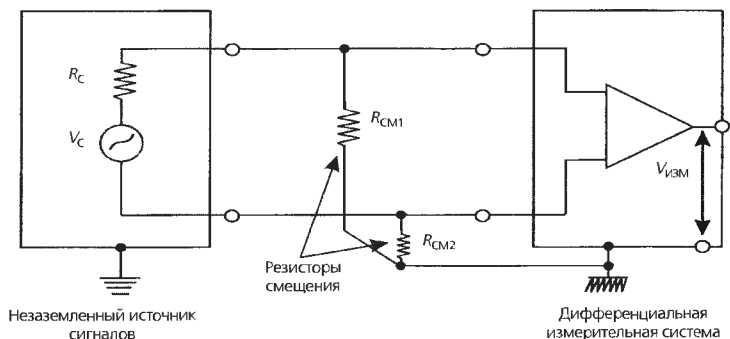


Рисунок 3.28

Дифференциальное измерение сигналов незаземленного источника

ют путь прохождения постоянного тока смещения с входов инструментального усилителя до базовой земли.

Если сигнал содержит компоненты переменного и постоянного токов (т.е. связан с постоянным током) и источник сигналов имеет низкий импеданс, то требуется включение только одного резистора смещения между отрицательным входом и базовой землей. Если же импеданс источника относительно высок по сравнению с входным импедансом инструментального усилителя, то разбаланс, вызванный использованием одного резистора смещения, может привести к ошибочным результатам. Следовательно, для источника с высоким импедансом следует использовать два входных резистора смещения.

Для входных сигналов, которые не содержат компоненту постоянного тока (т.е. связаны с переменным током), требуются оба резистора смещения.

Резисторы смещения должны быть достаточно большими, чтобы источник мог смещаться относительно земли измерительной системы и не нагружать источник сигналов (т.е. быть намного больше, чем импеданс источника), но при этом достаточно малыми, чтобы сохранять напряжение на каждом входе в пределах допустимого диапазона синфазного напряжения входного каскада измерительной системы. Для источников с малым импедансом, таких, как термопары, или при подключении выходов модулей преобразования сигналов к платам сбора данных обычно используются резисторы смещения в диапазоне от 10 кОм до 100 кОм.

3.4.10 Электрическая развязка системы

Для измерения сигналов, которые содержат большие синфазные напряжения, используются специальное аппаратное обеспечение и методы измерения. Обычно это предусматривает электрическую развязку измерительной системы от базовой земли, чтобы сигнальные линии, такие, как усилители, используемые в качестве измерительной базы, стали плавающей точкой.

Электрическая развязка системы может быть проведена следующими способами:

- Использование развязывающих трансформаторов для подавления синфазных напряжений, появляющихся на сигнальных линиях
- Использование развязывающих усилителей для развязки входных сигналов от базовой земли измерительной системы
- Постоянная изоляция от земли измерительной системы с помощью развязывающих трансформаторов
- Временная изоляция от базовой земли измерительной системы с помощью цифрового коммутатора на время выполнения измерения входного сигнала

3.5 Электрические шумы и помехи

3.5.1 Определение электрических шумов и помех

Шумы по определению являются нежелательными электрическими сигналами в схеме. Помеха – это нежелательное воздействие шумов. Если напряжение шумов вызывает неправильное функционирование схемы или если его относительная величина имеет тот же порядок, что и полезный электрический сигнал, то это шумовое напряжение является помехой.

Сами шумы не могут быть устранены полностью, они могут быть только уменьшены по величине до того уровня, когда они перестанут создавать помеху. Это особенно важно для систем сбора данных, в которых уровни аналоговых сигналов от преобразователей, измеряющих физическую величину, могут быть очень малыми. Во многих случаях ситуация дополнительно осложняется физической длиной кабеля, по которому должны передаваться эти сигналы, а именно воздействием, которое могут оказывать шумы на эти протяженные цепи.

3.5.2 Источники и типы шумов

Перед рассмотрением требований к экранированию и прокладке кабелей для систем сбора данных важно понимать природу и источник помех, вызванных проникновением шумов в системы сбора данных.

Рисунок 3.29 иллюстрирует наличие трех компонент, которые необходимо рассматривать при анализе любых наведенных помех:



Рисунок 3.29

Передача шума от источника шума к приемнику

- Источник шумов (силовые кабели переменного тока, высокое переменное напряжение или ток, коммутационные элементы)
- Канал распространения (общий импеданс, емкость, взаимоиנדукция)
- Приемник (схема, которая восприимчива к наведенным помехам)

Гальваническая связь

Гальваническая связь имеет место в тех случаях, когда две или большее количество цепей совместно используют общую цепь возврата сигнала (общий провод). В таких случаях возвратный ток из одной цепи, протекающий через конечный импеданс общей цепи возврата сигнала, приводит к изменениям потенциала земли, сказывающимся на других цепях. На рисунке 3.30

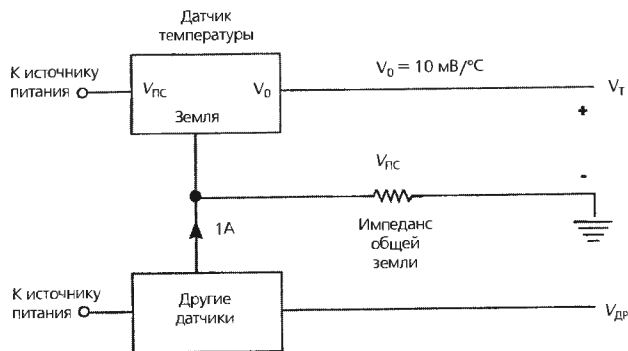


Рисунок 3.30

Соединения с последовательным заземлением, приводящие к гальванической связи

показана схема последовательного соединения с землей, приводящая к возникновению гальванической связи. Если сопротивление общего провода возврата сигнала составляет 0,1 Ом, а ток возврата всех других цепей равен 1 А, то напряжение, измеряемое на датчике температуры (V_T), будет изменяться на $0,1 \text{ Ом} \times 1 \text{ А} = 100 \text{ мВ}$, что соответствует погрешности в 10 градусов в измеренном значении температуры.

Емкостная связь

Вблизи источников изменяющегося напряжения существуют электрические поля. Емкостной связью является передача внешних шумов через взаимные и паразитные емкости, существующие между источником шумов и приемником. Емкостную связь называют иногда электростатической связью, хотя это не совсем правильное употребление термина, поскольку электрические поля не являются статическими. Поскольку кабели относятся к самым длинным элементам схем, то лучше всего пояснить емкостную связь рассмотрением сигнальной цепи, соединяющей источник сигналов с измерительной системой парой длинных проводников, передающих сигналы.

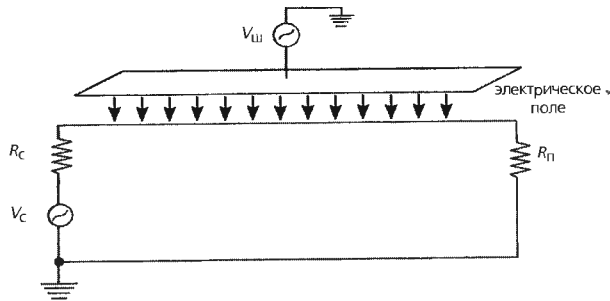


Рисунок 3.31
Физическое представление влияния электрического поля на сигнальную цепь

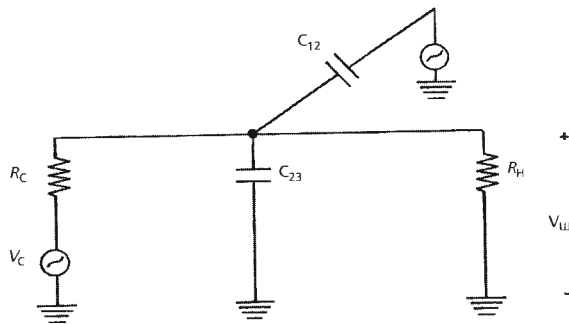


Рисунок 3.32
Эквивалентная схема проникновения электрического поля в сигнальную цепь

Рисунок 3.31 дает физическое представление о влиянии электрического поля на образование шумов в сигнальной цепи.

На рисунке 3.32 представлена эквивалентная схема предыдущей системы.

Если сопротивление источника сигнала (R_C) намного меньше, чем сопротивление нагрузки (R_H), а также намного меньше импеданса паразитных емкостей (C_{12} и C_{23}) (т.е. $R_C \ll 1/j\omega[C_{12} + C_{23}]$), тогда $V_{ш} = j\omega R_C C_{12} V_{ш}$.

Предыдущее уравнение четко показывает, что напряжение шумов, обусловленных емкостными связями, прямо пропорционально частоте и амплитуде внешнего источника шумов, сопротивлению сигнальной цепи относительно земли (в данном случае обозначено как R_C) и взаимной емкости между ними.

Если сопротивление источника сигнала сравнимо по величине с сопротивлением нагрузки, а их суммарное сопротивление относительно земли намного больше, чем импеданс паразитных емкостей (C_{12} и C_{2G}) (т.е. $R_S \ll 1/j\omega[C_{12} + C_{2G}]$), то может быть показано, что напряжение шумов, создаваемое емкостными связями, не зависит от частоты источника шумов и существенно больше, чем в случае, когда то же самое сопротивление относительно мало.

Это уравнение показывает, что напряжение шумов, обусловленных емкостными связями, не зависит от частоты источника шума и имеет существенно большую величину, чем в случае, когда сопротивление источника относительно мало.

Если амплитуду и частоту источника шумов изменить невозможно, то единственным средством снижения емкостного проникновения шумов в сигнальную цепь является уменьшение эквивалентного сопротивления сигнальной цепи относительно земли или снижение взаимной паразитной емкости. Взаимная паразитная емкость может быть уменьшена путем увеличения относительного расстояния между сигнальными проводниками и источником шума, а также правильной ориентацией проводников или экранированием.

Индуктивная связь

Связь, обусловленная магнитным полем, или индуктивная связь, является механизмом, посредством которого изменяющиеся во времени магнитные поля, создаваемые изменяющимися токами источника шумов, влияют на токовые цепи принимающих схем. Рисунок 3.33 дает физическое представление индуктивной связи между источником шумов и сигнальной цепью.

Закон Ленца утверждает, что напряжение $V_{ш}$, наведенное в замкнутом контуре сигнальной цепи с площадью A , пропорционально скорости изменения магнитного поля, связанного с контуром, плотности потока (B) магнитного поля и площади контура. Этот закон выражается формулой:

$$V_n = 2fBA \cos \phi (10^{-4}),$$

где:

f – частота синусоидально изменяющейся плотности потока

B – среднеквадратичное значение плотности потока (гаусс)

A – площадь контура сигнальной цепи (m^2)

ϕ – угол между плотностью потока (B) и плоскостью контура

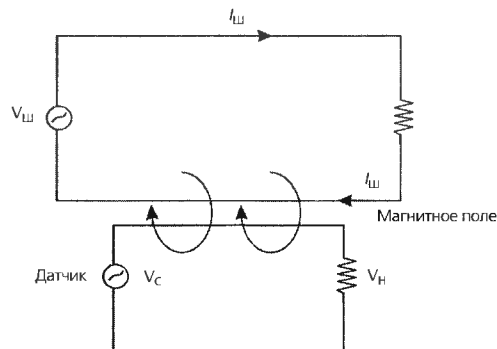


Рисунок 3.33

Физическое представление индуктивной связи между источником шумов и сигнальной цепью

Это уравнение показывает, что напряжение шумов может быть снижено путем уменьшения B , A или $\cos \phi$. Плотность потока (B) может быть уменьшена путем увеличения расстояния до источника поля или, если поле создано токами, протекающими через соседние пары проводов, путем скручивания этих проводов для уменьшения до нуля суммарного действия магнитного поля, или же путем изменения его направления.

Площадь контура сигнальной цепи (A) может быть уменьшена путем размещения сигнальных проводов принимающей цепи ближе друг к другу. Например, рассмотрим сигнальную цепь, в которой провода имеют длину 1 метр, располагаются на расстоянии 1 сантиметра друг от друга и находятся в магнитном поле в 10 гаусс с частотой 60 Гц, которое является типичным для вентиляторов, силовых обмоток и трансформаторов. Максимальное напряжение, наводимое в проводах, наблюдается при $\phi = 0^\circ$.

$$V_{\text{ш}} = (2\pi \times 60) (1) (1 \times 10^{-2}) (10^{-4}) = 3,7 \text{ мВ}$$

Если расстояние между проводами сокращается до 1 мм, то напряжение шумов снижается десятикратно — до 0,37 мВ.

$\cos \phi$ — это член выражения, который может быть уменьшен путем правильной ориентации проводов сигнальной цепи в магнитном поле. Например, если бы сигнальные провода были перпендикулярны к магнитному полю ($\phi = 90^\circ$), то наведенное напряжение могло быть снижено до нуля, хотя практически это невозможно. Прокладка сигнальных проводов вместе с кабелем, являющимся источником шумового тока, приведет к максимальному наведенному шумовому напряжению.

На рисунке 3.34 показана эквивалентная схема образования индуктивной связи между источником шумов и сигнальной цепью. Через взаимную индуктивность (M) $V_{\text{ш}}$ дается соотношение:

$$V_{\text{ш}} = 2\pi f M I_{\text{ш}},$$

где:

$I_{\text{ш}}$ — среднеквадратичное значение синусоидального тока в шумовой цепи, а f — его частота. Взаимная индуктивность (M) прямо пропорциональна площади (A) токового контура сигнальной цепи и плотности потока (B).

Физическая геометрия токового контура, принимающего сигналы помех, особенно его площадь, является ключом к пониманию того, почему он восприимчив к магнитным полям, и как минимизировать это воздействие магнитного поля. Кабели представляют собой самый большой токовый контур. Действие магнитной связи лучше всего можно продемонстрировать рассмотрением цепи, показанной на рисунке 3.34, в которой токовый контур сигнального кабеля связан с синусоидально изменяющимся магнитным полем, имеющим амплитуду плотности потока $B\phi$.

В идеальном случае единственным напряжением, появляющимся на нагрузке, должно быть напряжение сигнала источника V_C . Однако магнитное

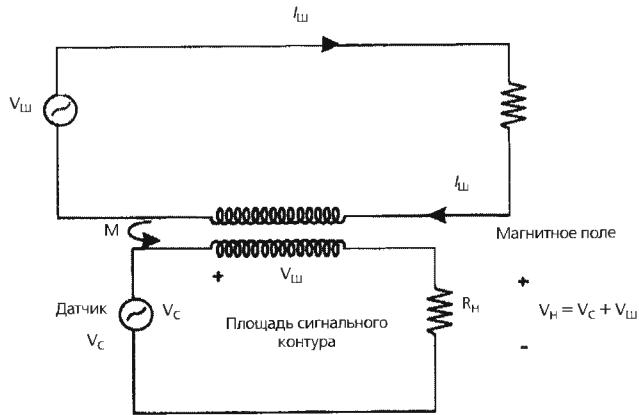


Рисунок 3.34

Эквивалентная модель цепи магнитной связи между источником шума и сигнальной цепью

поле наводит напряжение в контуре, который включен последовательно с сигнальной цепью приемника. Напряжение, создаваемое на нагрузке, является суммой напряжения источника и напряжения помех, созданного магнитным полем ($V_{ш}$).

Скручивание изолированных проводников контура вместе, как показано на рисунке 3.35, может существенно снизить величину магнитной связи, действующей на сигнальные линии.

Теперь напряжение, наведенное в каждой секции контура, имеет чередующиеся фазы; его величина уменьшается путем сокращения площади каждого скрученного контура (т.е. $1/4$). При условии наличия четного числа скруток сигнальных проводников напряжения, связанные с магнитным полем, будут уничтожаться, и на нагрузке останется только напряжение полезного сигнала.

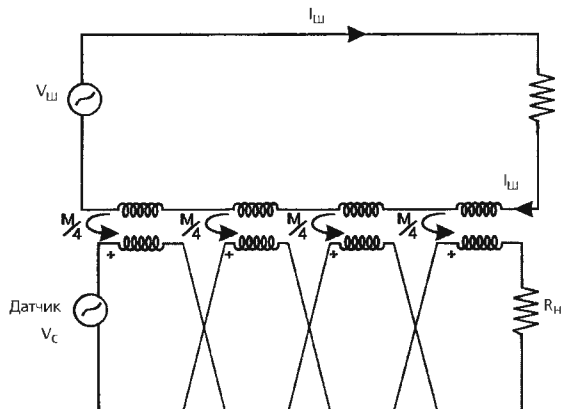


Рисунок 3.35

Снижение индуктивной связи путем скручивания проводов

3.6. Минимизация шумов

3.6.1 Экранирование кабелей и заземление экранов

Воздействие шумов, вызванное емкостной связью, может быть существенно снижено путем использования цилиндрического металлического экрана, помещенного вокруг проводника, несущего сигнал. Рассмотрим эквивалентную цепь, представленную на рисунке 3.36, в которой сигнальные проводники полностью закрыты незаземленным экраном.

Необходимо отметить, что поскольку сигнальные проводники полностью закрыты, то паразитная емкость между сигнальными проводниками и землей отсутствует.

Если сопротивление источника (R_C) намного меньше, чем сопротивление нагрузки (R_H), а также намного меньше импеданса паразитной емкости между экраном и сигнальным проводником (C_{2C}) (т.е. $R_C \ll 1/j\omega C_{2C}$), то можно показать, что шумовое напряжение, обусловленное емкостной связью с сигнальной шиной, равно:

$$V_{ш} = j\omega R_C C_{2C} V_{шс}$$

Если экран заземлен (т.е. $V_{шс} = 0$), тогда шумовое напряжение, наведенное в сигнальном проводнике, будет также равно нулю.

В большинстве случаев полное окружение проводников, несущих сигналы, непрактично, так как проводники будут выступать за экран. Кроме того, в случае плетеного экрана будет существовать небольшая паразитная емкость, вызванная отверстиями в плетении.

Если сигнальные проводники выступают за экран, то также будет существовать емкостная связь между сигнальным проводником и источни-

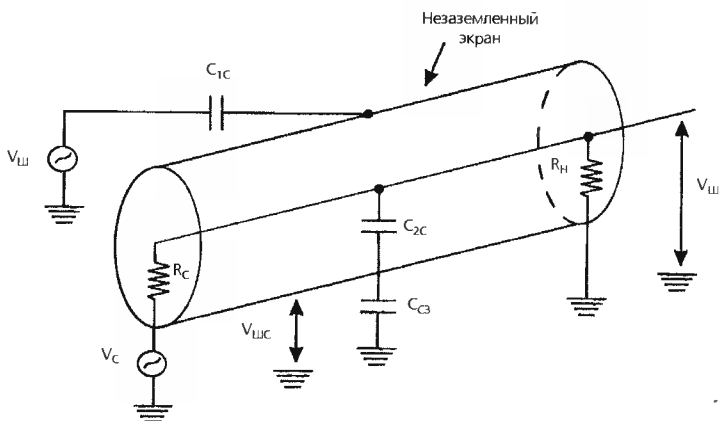


Рисунок 3.36

Эквивалентное представление сигнальной цепи, полностью окруженной емкостным экраном

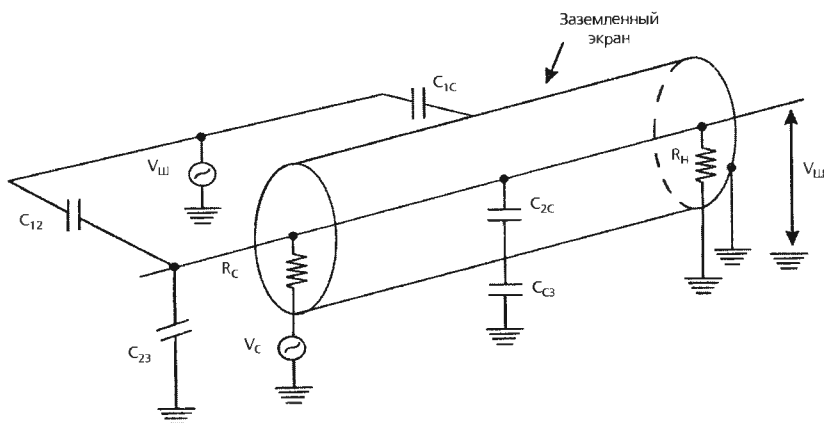


Рисунок 3.37

Эквивалентная схема практической цепи, в которой емкостный экран не полностью окружает сигнальные провода

ком шумов (C_{12}), а также между проводниками и землей (C_{23}), хотя она будет существенно меньшей. Это представлено на рисунке 3.37.

Если сопротивление источника сигнала (R_C) намного меньше, чем сопротивление нагрузки (R_H), а также намного меньше импеданса паразитных емкостей (C_{12} и C_{23}) (т.е. $R_C \ll 1 / j\omega [C_{12} + C_{23} + C_{2C}]$), то шумовое напряжение, наведенное внешним источником шумов на сигнальном проводнике, определяется выражением:

$$V_{ш} = j\omega R_C C_{12} V_{ш}$$

Это такое же выражение, что и для неэкранированного проводника, однако из-за наличия экрана взаимная паразитная емкость C_{12} будет в этом случае намного меньше.

Величина емкости C_{12} зависит от длины сигнального проводника, выходящего за границы экрана.

Емкостное экранирование работает таким образом, что обеспечивается обход или другой путь для пропускания наведенных шумовых токов таким образом, что они не проходят по сигнальным цепям.

Правила экранирования являются следующими:

- Чтобы экран был эффективным, он должен быть хорошо заземлен, а длина проводников, выходящих за границы экрана, – минимальна. На краях экран должен быть непрерывным
- Экраны индивидуально экранированных жил в одном и том же кабеле должны быть электрически изолированы друг от друга, но должны обеспечивать непрерывность каждой линии с помощью клеммных соединений

3.6.2 Заземление экранов кабелей

Для достижения максимальной эффективности емкостного экранирования необходимо уделить также внимание количеству и расположению точек заземления экранов. Подобно тому как заземление сигнальных линий на обоих концах цепи может вызывать протекание существенных паразитных токов заземления, то же самое действительно и для экранов кабелей. Например, наличие разности потенциалов только в 1 В между землями на концах цепи будет возбуждать в токовом контуре ток в 2 А, если ее сопротивление составляет 0,5 Ом. Если ток существенен и контур, созданный заземлением экрана, имеет большую площадь, то токи в экране могут индуктивно вызывать неравные напряжения в сигнальных кабелях и быть источником помех. Если возможно, то следует заземлять экраны только на одном конце.

Размещение точек заземления экранов зависит от заземления источника сигналов и от типа используемой измерительной системы. Рисунок 3.38 показывает предпочтительный вариант заземления экранов при измерении сигналов незаземленного источника с помощью измерительной системы, в которой сигнальные линии соотносятся с общим проводом усилителя. Предполагается, что общий провод усилителя, хотя обычно и соединен с землей, может иметь относительно земли потенциал (ΔV_3). Напряжение ΔV_3 представляет собой разность потенциалов относительно земли. Эквивалентная схема для этой системы показывает, что в данной конфигурации ни одно из шумовых напряжений (ΔV_3 или ΔV_3) не появляется на входе усилителя. Если экран заземлен в точке В, тогда шумовое напряжение на входах усилителя будет напряжением, создаваемым на емкости C_2 в виде части напряжения делителя, образованного с емкостью C_1 .

Если для измерения сигнала заземленного источника используется незаземленная (дифференциальная) измерительная система, то предпочтительным является экранирование кабеля, показанное на рисунке 3.39. Напряже-

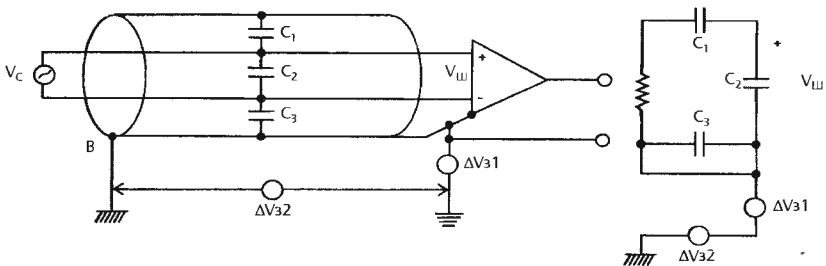
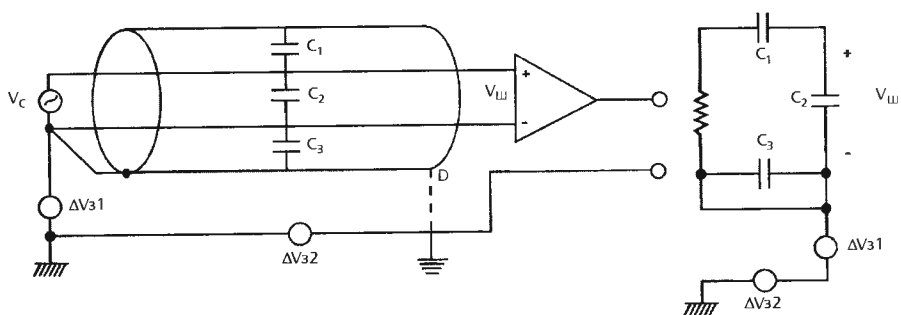
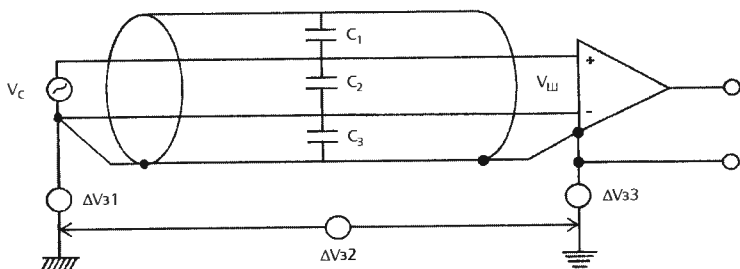


Рисунок 3.38

Заземление экрана при измерении сигнала незаземленного источника с помощью заземленной измерительной системы

**Рисунок 3.39**

Заземление экрана при измерении сигнала заземленного источника с помощью незаземленной измерительной системы

**Рисунок 3.40**

Предпочтительный вариант заземления экрана при измерении сигнала заземленного источника с помощью заземленной измерительной системы

ние ΔV_{31} представляет собой превышение потенциала общего провода источника сигнала над потенциалом земли.

Эквивалентная схема для этой измерительной системы опять показывает, что шумовое напряжение, появляющееся на входах усилителя, равно нулю. Если экран заземлен на другом конце кабеля в точке D, тогда шумовое напряжение на входах усилителя будет напряжением на емкости C_2 , являющейся частью напряжения делителя, образованного с емкостью C_1 .

Если требуется, чтобы сигнальная цепь была заземлена на обоих концах, то величина шумов в цепи будет определяться разностью потенциалов точек заземления и восприимчивостью контура заземления к индуктивной связи.

Предпочтительная конфигурация заземления экрана для случая, когда другой вариант невозможен, показана на рисунке 3.40; в этой конфигурации часть тока контура заземления отводится через экран с более низким импедансом.

Разбиение контура заземления на сигнальные линии путем использования трансформаторов или оптоэлектронных пар может обеспечить дополнительное снижение шумов.

Правила заземления экрана являются следующими:

- Если возможно, экраны кабелей должны быть заземлены только на одном конце
- Если источник не заземлен, а усилитель сигналов заземлен, то экран на входе должен быть всегда соединен с общим проводом усилителя, даже если эта точка не находится под потенциалом земли
- Если источник заземлен, а усилитель сигналов не заземлен, то экран на входе должен быть соединен с общим проводом источника, даже если эта точка не находится под потенциалом земли

Заземление экрана дает дополнительные выгоды, такие, как обеспечение пути для высокочастотных токов и препятствование накопления статического заряда путем создания пути для разряда на землю.

3.7 Экранированный кабель и кабель в виде витой пары

Кабели с медными проводниками и изоляцией из пластика являются по-прежнему самым распространенным и надежным выбором для электрических соединений. Это неудивительно, поскольку они сочетают в себе хорошие электрические характеристики, имеют низкую стоимость, обладают механической гибкостью, отличаются простотой установки и разделки. Алюминиевые проводники в кабелях для сбора данных используются редко из-за их высокого сопротивления и других физических ограничений.

Сопротивление кабеля зависит от площади поперечного сечения проводника (выражаемой обычно в мм^2) и от длины кабеля. Чем толще проводник, тем меньше сопротивление, меньше падение напряжения сигнала и выше ток, который может передаваться без избыточного нагрева провода.

Падение напряжения сигнала $V_{\text{пад}} = I(R + (2\pi fL - 1/2\pi fC))$ зависит от следующих факторов:

- Частоты сигнала
- Тока в проводе, который зависит от входного импеданса приемника
- Сопротивления провода, которое зависит от его сечения и длины

Для напряжений постоянного тока и низкочастотных сигналов сопротивление проводника является единственным и главным предметом беспокойства. Падение напряжения на кабеле влияет на величину напряжения сигнала на принимающем конце. При наличии шумов оно влияет на соотношение сигнал/шум, а следовательно, и на качество принимаемого сигнала.

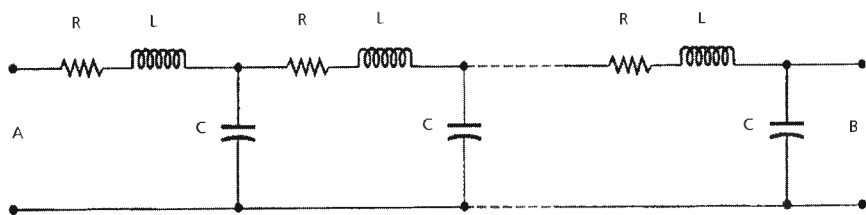


Рисунок 3.41
Основные параметры кабеля

По мере повышения частоты (или скорости передачи данных) становятся важными и другие характеристики кабеля, такие, как емкость и последовательная индуктивность. Индуктивность и емкость являются показателями, которые зависят от конструкции кабеля и от типа изоляционного материала.

Сопротивление, индуктивность и емкость распределяются вдоль длины кабеля. При высоких частотах они объединяются и действуют как фильтр нижних частот. Упрощенная эквивалентная электрическая схема провода, представленная на рисунке 3.41, показывает эти электрические параметры, распределенные вдоль длины кабеля. Необходимо отметить, однако, что для включения в рассмотрение незначительного коэффициента проводимости (величины, обратной сопротивлению), действующей параллельно по сечению кабеля, потребуется более сложная модель.

Для получения оптимальных рабочих характеристик следует использовать кабель подходящего типа и размера. Для большинства случаев применимы следующие общие правила:

- **Низкие скорости передачи данных:** следует использовать низкочастотные кабели (например, кабели в виде витой пары)
- **Высокие скорости передачи данных:** следует использовать высокочастотные кабели (например, коаксиальные кабели, оптоволокно, хотя имеется несколько новых типов кабелей в виде витых пар, которые обладают очень хорошими высокочастотными рабочими характеристиками)
- **Окружающая среда с высоким уровнем шумов:** следует использовать медные или волоконно-оптические кабели

3.7.1 Кабели в виде витой пары

Для осуществления передачи данных наиболее экономичным решением являются кабели в виде витой пары (дифференциальная система). Они позволяют реализовывать скорости передачи до 100 Мбит в секунду по коммуникационным линиям длиной вплоть до 300 м (и даже на большие расстояния в случае более низких скоростей передачи данных). Некоторые новые типы

кабелей в виде витой пары (например, Twisted Pair) подходят для использования при скоростях передачи данных до 100 Мбит в секунду. Кабели в виде витой пары могут быть как экранированными (ЭВП), так и неэкранированными (НВП).

Кабели в виде витой пары делаются из двух идентичных изолированных проводников, которые перевиваются вдоль всей длины определенное количество раз на каждом метре кабеля, обычно 40 витков на метр (12 витков на фут). Провода перевиваются для снижения влияния электромагнитной и электростатической индукции. Для уменьшения шумов, вызванных индуктивностью, вокруг проводов часто размещают экран заземления, а изолирующая оболочка из поливинилхлорида обеспечивает механическую защиту кабеля. Поскольку площадь поперечного сечения проводника влияет на потери на внутреннем сопротивлении, то для длинных расстояний рекомендуется использовать проводники большего сечения. Емкость кабеля в виде витой пары низка, она находится в пределах от 15 до 50 пФ/м, что позволяет реализовать подходящую ширину полосы пропускания и скорость нарастания.

Для полностью дуплексных систем, использующих сбалансированную дифференциальную передачу, требуется применять два комплекта экранированных проводников в виде витой пары в одном кабеле при наличии как индивидуальных, так и общих экранов.

3.7.2 Коаксиальные кабели

Коаксиальные кабели используются в тех случаях, когда требуются высокие скорости передачи данных, вплоть до 10 Мбит в секунду, или необходима передача высокочастотных аналоговых сигналов на большие расстояния.

Коаксиальные кабели более дорогостоящи, чем кабели в виде витой пары. Они состоят из центрального проводника, проходящего внутри окружающего соосного цилиндра. Этот окружающий цилиндр изготовлен из проводящего материала и для гибкости имеет плетеную структуру. Изолирующий материал, разделяющий два проводника, влияет на емкость кабеля и, следовательно, на скорость распространения сигналов. Обычно кабель покрывают изолирующей оболочкой из поливинилхлорида, а иногда предусматривают и дополнительный экран.

Промышленно производятся несколько типов стандартных коаксиальных кабелей; каждый из них имеет определенные электрические и механические характеристики, которые необходимо выбирать с учетом различных случаев применения.

Основными параметрами кабеля являются:

- Характеристический импеданс кабеля
- Сопротивление при постоянном токе
- Пропускная способность

- Ширина полосы пропускания
- Тип экранирования
- Механические характеристики (такие, как гибкость)

Концевую заделку коаксиальных кабелей проводить намного сложнее, чем многожильных кабелей или кабелей в виде витой пары. Также труднее выполнять их сращивания и Т-образные разветвления. Для хорошей заделки коаксиальных кабелей требуются специальные приспособления и наконечники. Концы кабелей должны заделываться в концевые кабельные разъемы, предотвращающие отражение сигналов от концов кабеля. Иногда коаксиальные кабели заказывают заданной длины с заранее установленными концевыми кабельными разъемами.

Работа ПК в режиме реального времени

Введение

Ключом к эффективному использованию ПК в процессах сбора данных и управления является четкая формулировка требований к имеющемуся аппаратному и программному обеспечению.

Персональный компьютер состоит из следующих основных компонентов:

- Системный блок (ЦП, память, контроллер прерываний, контроллер ПДП, источник питания)
- Устройства ввода/вывода (приводы жесткого диска и дискеты, клавиатура, мышь, дисплей, СОМ-порт(ы), привод CD-диска)
- Аппаратная BIOS (базовая система ввода/вывода)
- Операционная система (WIN 95, 98, 2000, NT)

В этой главе рассматриваются некоторые важные особенности ПК и их связь с системами сбора данных, описываемыми в других разделах этой книги. Охватываются следующие темы:

- Выполнение прерываний
- Операция прямого доступа в память (ПДП)
- Скорость передачи данных (ввод/вывод по запросу, прерывание, ПДП, команды повторных операций)
- Типы памяти (базовая память, дополнительная память, расширенная память)
- Шины PCI, CompactPCI, ISA и EISA
- Интерфейсы компьютерной шины
- Шина CompactPCI

4.1 Операционные системы

Операционная система является программой, ответственной за управление всеми компьютерными ресурсами (включая аппаратное и программное обеспечение), выполнение команд и контроль над выполнением программ. Она обеспечивает интерфейс между прикладными программами и аппарат-

ным обеспечением конкретной системы. Операционная система осуществляет связь с дисководами, дисплеем и принтером и обычно состоит из небольшой машинозависимой программы, дополненной стандартным интерпретатором команд.

Языки программирования, такие, как Бейсик или Си, взаимодействуют с аппаратным обеспечением компьютера через операционную систему. Операционная система представляет платформу на том уровне, который меньше зависит от компьютерного «железа» и обеспечивает удобство для разработки программного обеспечения. В настоящее время распространены две операционные системы – DOS и UNIX, каждая из которых имеет как свои достоинства, так и недостатки.

4.1.1 DOS DOS DOS

DOS является 16-разрядной операционной системой, первоначально разработанной в 1980 году для микропроцессора 8088 компании Intel, использованного в персональном компьютере IBM. Когда IBM разработала IBM PC, она использовала новый 16-разрядный микропроцессор Intel, для которого потребовалась новая операционная система. IBM заключила контракт на разработку операционной системы с корпорацией Microsoft во главе с Биллом Гейтсом (Bill Gates). Его команда приобрела программу, называемую QDOS («Быстрая и «глучная» операционная система»), в компании Seattle Computer Products, и, взяв за основу эту программу, она разработала операционную систему, называемую MS-DOS.

Структура DOS

DOS состоит из нескольких основных компонентов, каждый из которых в пределах операционной системы выполняет определенную задачу. Тремя наиболее важными компонентами являются: DOS-BIOS, ядро DOS и процессор команд.

DOS-BIOS

DOS-BIOS хранится в системном файле, который встречается с разными именами – IBMBIO.COM, IBMIO.SYS или IO.SYS. Компонент DOS-BIOS содержит драйвера клавиатуры, дисплея, принтера, последовательных интерфейсов, часов реального времени, приводов гибкого и жесткого дисков. Если DOS хочет обеспечить связь с одним из этих устройств, то она обращается к конкретному драйверу DOS-BIOS. DOS-BIOS является наиболее зависимым от аппаратного обеспечения компонентом операционной системы и является разной для разных компьютеров.

Ядро DOS

Ядро DOS, хранящееся в файле IBMDOS.COM или MSDOS.SYS, обычно скрыто от пользователя. Оно содержит подпрограммы доступа к файлам, вводимые и выводимые символы и т.п. Эти подпрограммы работают неза-

висимо от аппаратного обеспечения и используют DOS-BIOS драйвера для клавиатуры, дисплея и доступа к дискам.

Прикладные программы могут иметь доступ к функциям ядра, а также к функциям DOS-BIOS. Доступ к функциям осуществляется с помощью механизма программных прерываний, а для передачи номера функции и других прикладных параметров используются регистры микропроцессора.

Процессор команд

В отличие от ядра и DOD-BIOS процессор команд находится в DOS файле `COMMAN.COM`. Процессор команд выводит на экране символ приглашения к вводу (т.е. `C:\>`), воспринимает ввод, производимый пользователем, и управляет выполнением введенной команды. Многие пользователи неправильно считают, что процессор команд и является фактически операционной системой. По сути, это только одна из специализированных программ, работающих под управлением DOS.

Процессор команд, в компьютерной технологии иногда называемый ядром, фактически состоит из трех модулей – резидентного, транзитного и инициализирующего.

Резидентный модуль, или та часть, которая постоянно находится в памяти компьютера, содержит различные подпрограммы, называемые обработчиками критических ошибок. Эти подпрограммы позволяют компьютеру реагировать на различные события, такие, как нажатие пользователем сочетаний клавиш `<CTRL> <C>` или `<CTRL> <BREAK>`, или на ошибки, возникающие при обращении к внешним устройствам (например, к приводам дисков).

Транзитный модуль содержит код, обеспечивающий вывод приглашения на экран, считывание осуществляемого пользователем ввода с помощью клавиатуры и выполнение введенной команды. Название этого модуля происходит от того факта, что область памяти, где он находится, является незащищенной и в некоторых обстоятельствах может быть переписана.

По окончании выполнения программы управление возвращается к резидентному модулю процессора команд. Он выполняет подпрограмму подсчета контрольной суммы, чтобы определить, не переписала ли прикладная программа транзитный модуль, и в случае необходимости вновь загружает транзитный модуль.

Инициализирующий модуль загружается во время начальной загрузки системы и инициализирует работу DOS. Когда процесс инициализации завершен, занимаемая им область памяти может быть использована другой программой. Команды, выполняемые транзитным модулем процессора команд, можно подразделить на три группы – внутренние команды, внешние команды и пакетные файлы.

Внутренние команды содержатся в резидентном модуле процессора команд. Примером внутренних команд являются команды `DIR`, `COPY` и `RENAME`.

Внешние команды должны загружаться в память с дискеты или жесткого диска по мере необходимости. Примером внешних команд являются команды **FORMAT** и **CHKDSK**.

Пакетные файлы являются текстовыми файлами, содержащими набор команд **DOS**. При запуске пакетного файла специальный интерпретатор, содержащийся в транзитном модуле процессора команд, выполняет команды пакетного файла. Команды пакетного файла выполняются точно так же, как если пользователь ввел бы их с помощью клавиатуры. Важным примером пакетного файла является файл **AUTOEXEC.BAT**, который выполняется сразу же после первой загрузки **DOS**.

DOS драйверы устройств

Драйверы устройств являются программными модулями, которые отвечают за управление и связь с аппаратным обеспечением компьютера. Они представляют самый нижний уровень операционной системы и обеспечивают работу всех других уровней независимо от аппаратного обеспечения. Подобный принцип удобен при адаптации операционной системы к различным компьютерам, поскольку при этом требуется изменять только драйверы устройств.

В первых операционных системах драйверы устройств входили в состав кода системы. Это означало, что изменение или модернизация этих подпрограмм, вызванные появлением нового аппаратного обеспечения, были очень трудными, а порой и невозможными. Операционная система **DOS** версии 2.0 ввела концепцию гибкого использования драйверов устройств и обеспечила пользователю возможность адаптацию к **DOS** даже самого экзотического аппаратного обеспечения.

Поскольку передача информации между **DOS** и драйвером устройства основана на относительно простой функции вызовов и структуре данных, программист на языке ассемблера может разработать драйвер для любого устройства, чтобы обеспечить его работу с **DOS**.

Во время процесса загрузки **DOS** стандартный дисплей, принтер и драйверы остальных устройств последовательно переносятся в память. Если пользователь захочет установить свой собственный драйвер, то он должен информировать об этом **DOS**, используя файл **CONFIG.SYS**. Этот текстовый файл содержит информацию, которая необходима **DOS** для конфигурации всей системы. Содержимое файла **CONFIG.SYS** считывается и оценивается во время процесса загрузки после подключения стандартных драйверов. Если **DOS** находит в файле **CONFIG.SYS** команду **DEVICE**, то это означает, что должен быть подключен новый драйвер.

4.1.2 Операционные системы Microsoft Windows 3.1, 95, 98, 2000 и NT

Операционная система **MS Windows 3.1** была расширением **DOS**, которая поддерживала как многозадачность, так и графический интерфейс пользователя. Ее графический интерфейс пользователя (**GUI**) был символьным

интерфейсом, в котором делались попытки улучшить удобство общения между человеком и компьютером. Способность операционной системы Windows работать с несколькими приложениями одновременно (многозадачность) и возможность переноса информации между приложениями обеспечили ей преимущество во многих применениях.

С появлением операционной системы Windows, обладающей графическим интерфейсом, переход происходил от системы Windows 3.1 к системам Windows 95, NT, 98 и теперь 2000. Это было решением корпорации Microsoft отойти от операционной системы ПК DOS. Причем на это было несколько причин. DOS имела множество проблем, самой сложной из которых было распределение памяти. Используя операционные системы Windows 95 и 98, Microsoft небольшими шажками далеко увела операционную систему ПК от DOS. Операционные системы WIN 2000 и NT вовсе не используют DOS. Эти операционные системы имеют одну главную проблему, связанную с получением данных, и это вопрос синхронизации. Графические интерфейсы операционных систем WIN 95 и старше не считают первостепенной задачей связь компьютера с периферией. Система Windows считает операционную систему наиболее важной частью компьютера. Компьютеры под управлением операционных систем WIN 95 и более младших версий действительно поддерживают многозадачность, и каждое открытое окно считается виртуальным компьютером в компьютере. Даже те приложения, которые пользователь не видит, т.е. идущие в фоновом режиме, считаются виртуальными компьютерами. Это означает, что если операционная система, фоновая программа или исполняемое приложение требуют обслуживания, то операционная система решает, что обслуживать. И только потому, что работает программа сбора информации, не означает, что она будет иметь высокий приоритет. Следовательно, при использовании этих операционных систем не может быть гарантирована синхронизация работы компьютера с внешними устройствами.

Из-за существования этой проблемы пользователи и разработчики, занимающиеся сбором данных, часто искали операционную систему, которая обеспечивала бы быстрый доступ к системе сбора данных. Некоторые остановились на DOS, а другие стали пробовать систему UNIX. Проблема с этими операционными системами заключается в том, что у каждой из них имеются свои недостатки. DOS уже устарела, и ее никто не поддерживает, включая Microsoft. Использование UNIX ограничено имеющимся программным обеспечением и отсутствием хорошего графического интерфейса. Но все может измениться с приходом системы Linux. Лучшее, что можно сделать, — это не использовать продукты Windows, когда важна задача синхронизации, особенно в тех случаях, когда компьютер используется для управления критических процессов, происходящих в реальном времени, или в качестве альтернативы удалить из компьютера все, за исключением программы сбора данных. Однако даже это не гарантирует корректной синхронизации.

Ниже перечислены некоторые достоинства операционных систем Microsoft Windows:

- Стандартный графический интерфейс пользователя для всех приложений
- Естественный пользовательский интерфейс, который легко изучить и применять
- Прикладные программы, независящие от устройств системы
- Поддержка многозадачности
- Поддержка динамического обмена данными
- Управление виртуальной памятью

Многозадачность

Под многозадачностью понимается способность операционной системы работать с несколькими прикладными программами одновременно. Используя Microsoft Windows, вы можете выполнять две или больше прикладных программ одновременно. Каждое приложение имеет свое собственное окно, позволяющее пользователю переключаться между приложениями.

Графический интерфейс пользователя

Графический интерфейс пользователя позволяет пользователю запускать прикладные программы простым выбором графического символа (иконки), представляющего данное приложение. Иконки являются небольшими изображениями, которые используются для обозначения файлов, программ или утилит.

Графический интерфейс пользователя очень важен для компьютерных систем, поскольку он обеспечивает интерфейс в виде символов, предоставляя пользователю визуальный (графический) контроль над выполнением программ. Он также обеспечивает общий интерфейс компьютера с пользователем для работы со всеми программами и делает более простым изучение новых прикладных программ. В то же время графический интерфейс пользователя обеспечивает разработчиков визуальными инструментами для разработки программ с интерфейсом пользователя.

Графический интерфейс пользователя имеет несколько преимуществ, влияющих на использование прикладных программ:

- Связь между прикладной программой и пользователем осуществляется в естественной форме с использованием символов, что близко напоминает процесс мышления человека
- Более быструю связь между пользователем и компьютером, поскольку пользователю не требуется вводить названия программ
- Быстрый процесс изучения программы, поскольку общение с компьютером с помощью символов является более естественным
- Программы могут быть более мощными. В обычной программе сложные операции, которые обычно трудны для пользователя и очень часто опускаются разработчиками, теперь становятся более простыми

Из-за этих достоинств большинство разработчиков программного обеспечения считают, что графические интерфейсы пользователя будут основными видами интерфейсов прикладных программ будущего. Однако графический интерфейс пользователя имеет и некоторые недостатки, относящиеся к современному аппаратному и программному обеспечению:

- Требуемые объем памяти и дисковое пространство, необходимые для поддержания работы графической оболочки, много больше, чем необходимо для обычных (текстовых) оболочек
- Для поддержки работы графической оболочки требуются более высокие скорости обработки, поскольку производится перемещение больших объемов информации, особенно с жесткого диска на дисплей
- Поскольку аппаратное обеспечение должно быть более быстрым, следовательно, значительно возрастает его стоимость
- Объем программного обеспечения графических оболочек также очень велик

Виртуальные приборы

Графический интерфейс пользователя операционной системы Microsoft Windows обеспечивает идеальную среду для виртуальных приборов. В сочетании с цифровыми и аналоговыми платами контроля и управления виртуальные приборы позволяют пользователю проводить эксперименты, собирать данные и графически отображать результаты на экране в режиме реального времени.

Виртуальные приборы могут разрабатываться профессиональными разработчиками программного обеспечения или менее опытными пользователями с помощью соответствующих пакетов программ. В продаже имеются специализированные пакеты программ, позволяющие пользователю производить редактирование, управление и решение задач по логистике. Пользователь может перемещать иконки, соответствующие функциональным блокам, из библиотек программ на рабочую панель и получать из них необходимую блок-схему.

Экранные редакторы позволяют пользователю настраивать цветные графические окна, например инструментальные и управляющие панели и схемы. По завершении создания необходимой панели пользователь просто связывает функциональные иконки с ее графическим выходом, производимым в режиме реального времени. Типичным примером виртуального прибора является осциллограф с дисплеем на ЭЛТ и со всеми регулировками, смоделированными на экране, а также с вводом сигнала, обеспечиваемым платой преобразования аналогового сигнала в цифровой.

Виртуальная память

Операционная система MS Windows обеспечивает прикладной программе доступ к объему памяти, большему, чем его реально имеется. Доступ к этой виртуальной памяти производится с помощью специального пространства,

зарезервированного на жестком диске и эмулирующего физическую память. Windows может также работать с памятью для прикладных программ, организуемой на динамической основе путем использования файлов подкачки.

4.1.3 UNIX

Операционная система UNIX, первоначально разработанная компанией AT&T Laboratories в конце 1960-х годов, является мощной многопользовательской и многозадачной операционной системой. UNIX имеется почти для всех компьютеров, которые содержат достаточно реальной памяти и быстрый жесткий диск.

Командный процессор UNIX

Аналогично процессору команд DOS программный командный процессор UNIX обрабатывает команды, вводимые пользователем в инструкции (синтаксической конструкции) системы. Название «командный процессор» реально описывает его назначение (т.е. агент, стоящий между командным процессором системы и внешним миром) и обеспечивает надежный пользовательский интерфейс для работы с операционной системой.

Обычно команды являются разделяемыми программами, которые командный процессор находит и выполняет в ответ на введенные инструкции. Но командный процессор является фактически гораздо более мощным и полезным, чем простое средство передачи команд системе на выполнение.

Файловая система UNIX

Файловая система UNIX основана на иерархической структуре, в которой файлы располагаются в каталогах, которые сами являются файлами, находящимися внутри других каталогов. Эта структура является древовидной, в которой все ветви дерева имеют происхождение в корневом каталоге.

В отличие от DOS в операционной системе UNIX все аппаратное и программное обеспечение описывается и ведет себя как файлы. Весь ввод и вывод производится путем чтения и записи файлов, поскольку все периферийные устройства, даже терминал пользователя, являются файлами файловой системы. Эта философия означает, что единый и однородный интерфейс обеспечивает всю передачу информации между программой и периферийными устройствами.

4.2 Операция прерывания

Прерывания являются тем механизмом, посредством которого ЦП компьютера может обслужить такое важное событие, как нажатие кнопки или поступление символа на СОМ порт, именно в тот момент, когда это произойдет.

Прерывание является расширением не шины, а процессорной платы.

В ПК могут иметь место три группы прерываний:

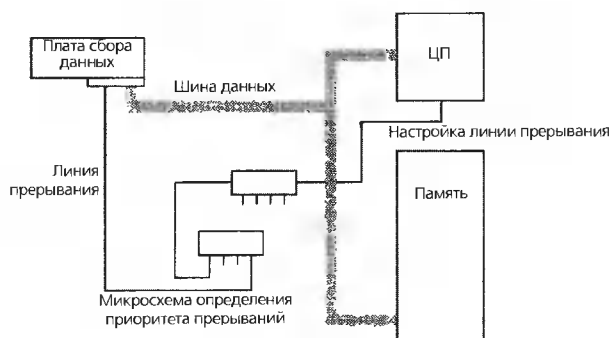


Рисунок 4.1
Выработка прерываний (IRQ)

Аппаратные прерывания

Эти прерывания обычно генерируются электрическими устройствами ввода/вывода, которые требуют внимания от ЦП.

Программные прерывания

Имеются 256 возможных типов прерываний, которые может вырабатывать программное обеспечение.

Процессорные прерывания

В ЦП исключительные ситуации создаются, когда программное обеспечение выполняет незаконную операцию (например, деление на ноль).

В следующих разделах будут рассмотрены аппаратные прерывания более подробно, поскольку именно посредством этих механизмов платы расширения передают информацию в память ПК.

4.2.1 Аппаратные прерывания

Имеются два типа аппаратных прерываний, немаскированные (NMI) и маскированные прерывания (INTR), поступающие соответственно на входные контакты NMI и INTR ЦП.

4.2.2 Немаскированные прерывания

Поскольку маскирование прерываний NMI невозможно производить в ЦП, то для включения и выключения маскирования NMI логика системной платы использует регистр порта ввода/вывода (A0h).

Вход прерывания ЦП NMI чувствителен к перепаду (фронту) импульса, причем прерывание обеспечивает переход линии из низкого состояния в высокое. Это прерывание используется для указания процессору на возникновение серьезных ситуаций, таких, как ошибки четности RAM или неисправности питания.

NMI прерывания могут также возникать, когда сигнал шины расширения /IOCHK (проверка канала ввода/вывода) становится низким, 3-й бит порта 61h очищен и NMI прерывания обеспечиваются портом A0h. Сигнал/IOCHK используется устройствами ввода/вывода для указания того, что на плате расширения возникла серьезная ошибка, например ошибка проверки четности памяти или неустранимая неисправность аппаратуры.

Когда ЦП принимает сигнал прерывания NMI, он автоматически начинает выполнять код, задаваемый вектором прерывания 2 (т.е. вырабатывается тип прерывания 2).

4.2.3 Маскированные прерывания

ЦП узнает о маскированном прерывании аппаратного обеспечения, когда сигнал INTR переходит из низкого состояния в высокое при разрешенном прерывании. INTR прерывания включаются/отключаются путем установки/сброса бита IF флага включения прерывания в регистре FLAGS ЦП.

4.2.4 Программируемые контроллеры прерываний

Поскольку имеется только одна линия аппаратного маскированного прерывания (INTR) и множество устройств ввода/вывода, которые должны информировать ЦП о том, что их необходимо обслужить (путем генерирования прерываний), то при наличии нескольких прерываний необходим способ организации приоритетов в структуре прерывания ПК. Эта задача выполняется программируемым контроллером прерываний (PIC) типа 8259A, который принимает запросы на прерывания от устройств ввода/вывода, определяет их приоритеты, сохраняет их и генерирует запрос на прерывание (INTR) в ЦП.

Компьютеры PC/XT имеют только один контроллер PIC 8259A с прерываниями IRQ0 – IRQ7, а компьютеры 80286/80386-й и 486-й серий имеют два контроллера 8259A. Выход второго (подчиненного контроллера) 8259A соединен непосредственно с каналом IRQ2 главного контроллера.

Запросы на аппаратное прерывание устройствами ввода/вывода производятся по линиям прерываний IRQ (15..14), IRQ (12..9), IRQ (7..3). Прерывания IRQ 0, 1, 2, 8 и 13 используются системной платой и не присутствуют в шине расширения. Список стандартных и обычных назначений прерываний приводится ниже в таблице 4.1.

Контроллер прерываний 8259A характеризуется следующими особенностями:

- Входы IRQ имеют приоритеты, причем вход с меньшим номером входа имеет больший приоритет. Когда подчиненный контроллер включается последовательно с прерыванием IRQ2 главного контроллера системы типа PC/AT, то прерывания IRQ0 и IRQ1 имеют более высокий приоритет, чем прерывания подчиненного контроллера (IRQ8-IRQ15). Однако прерывания IRQ3-IRQ7 имеют более низкий приоритет, чем прерывания подчиненного контроллера IRQ8-IRQ15

Таблица 4.1

Номер прерывания	Типовой вектор прерывания	Стандартное устройство	Наличие в шине ISA
IRQ0	8 (8h)	Системный таймер	Нет
IRQ1	9 (9h)	Клавиатура	Нет
IRQ2	10 (Ah)	Перенаправление к IRQ9	Так же, как и IRQ9
IRQ8	112 (70h)	Часы реального времени	Нет
IRQ9	113 (71h)	Адаптер дисплея (VGA) Сетевая карта	Да
IRQ10	114 (72h)	Свободно	Да
IRQ11	115 (73h)	Свободно	Да
IRQ12	116 (74h)	Свободно	Да
IRQ13	117 (75h)	Математический сопроцессор	Нет
IRQ14	118 (76h)	Контроллер жесткого диска	Да
IRQ15	119 (77h)	Свободно	Да
IRQ3	11 (Bh)	Последовательный порт 2 (и/или 4)	Да
IRQ4	12 (Ch)	Последовательный порт 1 (и/или 3)	Да
IRQ5	13 (Dh)	Параллельный порт 2	Да
IRQ6	14 (Eh)	Контроллер гибкого диска	Да
IRQ7	15 (Fh)	Параллельный порт 1	Да

- Поскольку прерывания **IRQ2** на платах расширения нет, то любые запросы по линии **IRQ2** (с плат расширения, первоначально разработанных для использования на компьютерах **XT**), очевидно, передаются системной платой на **IRQ9**
- Прерывания могут индивидуально маскироваться (включаться или выключаться). Маскирование производится записью в регистр оперативных команд модуля прерываний (**OCW1**) – один бит, описывающий статус прерывания для восьми **IRQ** входов
- Контроллер автоматически передает вектор прерывания в ЦП во время циклов **INTA** (см. на странице 74 описание обработки прерываний для устройств ввода/вывода). Главный контроллер прерываний может генерировать векторы прерываний от **08h** до **00h**, в то время как подчиненный контроллер (если он имеется) генерирует прерывания с векторами от **70h** до **77h**, см. таблицу 4.1

- Контроллер автоматически отслеживает, какие прерывания обслуживаются ЦП, чтобы предотвратить многократную обработку одного и того же прерывания
- С помощью регистра команд инициализации (ICW) срабатывание входов прерываний можно настроить либо на чувствительность к фронту (обычная настройка) импульса, либо на чувствительность к уровню сигнала

4.2.5 Инициализация контроллера прерываний

Прежде чем прерывания могут быть корректно обработаны, необходимо произвести следующие действия:

Инициализацию 'таблицы векторов прерывания', расположенной в первых 1024 (1 К) байтах памяти системы и содержащей адреса служебных подпрограмм обработки для каждого из 256 прерываний. Каждый 4-рядный адрес состоит из ссылки на инструкцию (IP) и сегмента кода (SC). По большей части инициализация осуществляется с помощью BIOS или DOS и является частью процедур загрузки и запуска операционной системы. Инициализацию контроллера (контроллеров) прерываний 8259A. Их инициализация производится BIOS и является частью загрузки системы.

Включение системных прерываний INTR путем установки бита флага IF, включающего прерывания, в регистре FLAG.

4.2.6 Устройства ввода/вывода, требующие обслуживания прерывания

Когда устройство ввода/вывода выдает запрос на прерывание, происходит заданная последовательность событий, которая направляет ЦП на выполнение подпрограммы обслуживания прерывания (ISR), которая будет обслуживать этот конкретный запрос.

Примем, что инициализация любой системы или удаленного устройства ввода/вывода, которая необходима для правильной обработки запросов на прерывание, была уже корректно произведена.

Выполняется следующая последовательность действий:

- Устройство ввода/вывода активизирует запрос на прерывание путем перевода линий IRQx из состояния низкого уровня в состояние высокого уровня. Этот сигнал обычно «фиксируется» на высоком уровне с помощью триггера-защелки на линии запроса устройства ввода/вывода и остается высоким до тех пор, пока фиксирующий триггер не будет сброшен, а признание не будет подтверждено (тем самым позволяя дальнейшие прерывания). Эти последние задачи производятся подпрограммой обслуживания прерывания (описание подпрограмм обслуживания прерываний см. на странице 75)
- Контроллер прерываний принимает запрос на прерывание IRQx и определяет его приоритет по отношению к другим запросам, которые могут поступать или являются отложенными. Затем по сигнальной

линии INTR контроллер прерываний посылает запрос на прерывание в ЦП, что производится при выполнении следующих условий:

- Это единственный запрос на прерывание.
- Выполняется прерывание с меньшим приоритетом.
- Несколько прерываний находятся в очереди, но это прерывание имеет наивысший приоритет.
- Если в ЦП обработка прерываний включена, то он подтверждает запрос на прерывание путем выдачи на контроллер прерывания двух импульсов INTA. Первый задает в контроллере уровни приоритета, а второй запрашивает 8-разрядный указатель, называемый «типом прерывания»
- Контроллер прерываний выставляет на шине данных ЦП 8-разрядный тип прерывания. Этот байт типа прерывания является средством, посредством которого ЦП знает, где искать адрес подпрограммы обслуживания прерывания, которая будет обрабатывать запрос устройства ввода/вывода

Он используется для указания на «таблицу векторов прерывания», расположенную в самых первых 1024 (1 К) байтов системной памяти. Каждый из 256 элементов таблицы (по 4 байта каждый) содержит адреса сегментов памяти всех ISR.

ЦП умножает тип прерывания на 4, чтобы определить сдвиг для таблицы векторов прерывания, в которой располагается адрес соответствующей подпрограммы обработки (ISR). Таким образом, для прерываний типа S адрес начальной служебной подпрограммы, которую необходимо выполнить, будет 20h (32-й байт).

- ЦП сохраняет информацию, необходимую для того, чтобы после завершения ISR текущая программа возобновила работу со следующей инструкции.

Он делает это путем сохранения в стеке указателя на текущий сегмент кода (CS:IP) и системных регистров FLAGS.

Важно отметить, что в этот момент также сбрасывается бит флага включения прерывания IF регистра FLAGS ЦП, исключая дальнейшие прерывания.

И, наконец, ЦП производит выборку значений нужного указателя инструкции (IP) и сегмента кода (CS) из таблицы векторов прерываний и переходит к этому адресу.

Необходимо также подчеркнуть, что ЦП считает, что выбираемый адрес является фактически начальным адресом ISR. Если это не так, то ЦП все равно начинает работу с этого адреса и, вероятно, никогда не возвратится, приводя при появлении прерывания к «зависанию» выполнения программы или, что еще хуже, к неправильной работе, которая может привести к опасным ситуациям. Вследствие возможных тяжелых последствий такой ошибки важно корректно инициализировать подпрограмму обработки прерываний в соответствии с поступающими запросами (описание процесса инициализации прерываний см. на странице 74).

4.2.7 Подпрограммы обработки прерываний

Помимо функций, которые должны быть выполнены подпрограммой обработки прерываний (ISR), и причин ее затребования, сначала необходимо рассмотреть несколько других моментов и очень важных задач, выполняемых подпрограммой обработки запроса.

Эти задачи перечислены ниже:

- Содержимое любых регистров ЦП, которые могут использоваться ISR (регистры, которые могла использовать прерванная программа), должно быть сохранено путем помещения их текущих значений в стек. Необходимо сохранять только те регистры, значения которых будут изменяться, хотя практика надежного программирования рекомендует сохранять содержимое всех регистров (необходимо помнить, что регистры CS, IP и FLAGS автоматически сохраняются ЦП)
- Поскольку бит IF флага включения прерывания в регистре FLAGS был сброшен и прерывания для ЦП были отключены, то должно быть принято решение, установить ли этот флаг и вновь включить обработку прерываний INTR. Если это так, то прерывание более высокого уровня может прекратить выполнение текущего ISR. Хотя именно это и может требоваться, но последствия этого разрешения должны быть рассмотрены очень внимательно

Необходимо отметить, что, даже когда запросы на прерывание от главного контроллера прерываний в ЦП отключены, прерывания могут быть приняты другим контроллером (контроллерами) и будут ожидать обслуживания.

Фиксация уровня запроса на прерывание в схеме обслуживания запросов от устройств ввода/вывода должна быть сброшена, чтобы обеспечить прием следующих запросов с этого же устройства.

Обычной практикой является (но сильно зависящей от устройства платы расширения) сброс фиксатора запроса на прерывание, оставляющий линию IRQ отключенной или в состоянии большого сопротивления (схема с тремя состояниями).

Когда линии сигнала IRQ_x не используются, то для их перевода в 5-вольтовый логический уровень (высокий) на системной плате применяются съемные резисторы, а если эти резисторы не применяются, то из состояния с высоким сопротивлением линия гарантированно переводится в высокое состояние через 500 нс. Это означает, что подпрограммы обработки прерывания должны сбрасывать фиксаторы прерываний устройств ввода/вывода по крайней мере за 500 нс до выдачи контроллеру прерываний команды на окончание прерывания (EOI) (см. ниже).

Это условие должно строго соблюдаться, чтобы избежать возможности непредвиденного перехода линии IRQ от низкого состояния к высокому при высокоомном выходе и к ложному появлению прерывания на сигнальной линии IRQ.

- Команда EOI должна быть передана на главный контроллер прерываний, чтобы повторно включить прерывания на той же самой линии IRQ. Если прерывание произошло на одной из линий IRQ8 – IRQ15 подчиненного контроллера прерываний, то команду EOI необходимо также послать на этот контроллер
- По завершении подпрограммы ISR во все регистры, сохраненные в стеке в начале выполнения ISR, возвращается их исходное содержимое
- Самой последней инструкцией, выполняемой подпрограммой обработки прерываний, является IRET (возврат от прерывания). Эта инструкция сигнализирует ЦП, что подпрограмма завершена. После выполнения этой команды ЦП извлекает из стека первоначальные значения регистров CS, IP и FLAGS и начинает выполнение прерванной программы с адреса CS:IP

В этот момент ЦП находится точно в том же состоянии, в котором он находился до подтверждения поступления прерывания. Это позволяет программе (или, возможно, прерыванию с меньшим приоритетом), которая выполнялась до вызова ISR, продолжить выполнение со следующей инструкции.

Восстановление регистра FLAGS автоматически повторно включает обработку прерываний ЦП.

4.2.8 Разделение прерываний

Как уже было показано, запрос на прерывание от устройства ввода/вывода фиксирует высокий уровень линии IRQ_x, выставленный до тех пор, пока его не сбросит ISR. Это с большой вероятностью предотвращает одновременное использование одной линии прерывания несколькими устройствами ввода/вывода.

Однако вполне возможно то, что несколько устройств будут использовать одну линию запроса на прерывание IRQ_x, если будет гарантировано, что каждое устройство не будет производить запрос по линии прерывания, когда она занята другим устройством. Это достигается использованием формирователей сигнала IRQ линий с выходами, имеющими три состояния. Если IRQ линия расширительной платы отключена, то выход формирователя имеет большое сопротивление. Для перевода IRQ_x сигнальных линий в высокий логический уровень (5 В), когда они не задействованы, используются съемные резисторы системной платы.

Если устройства ввода/вывода используют одну IRQ линию, то служебная подпрограмма обработки прерываний должна определить устройство, являющееся источником прерывания.

4.3 Прямой доступ к памяти (ПДП)

Во многих интерфейсных применениях, связанных с вводом/выводом, и особенно в системах сбора данных, часто необходимо передавать данные от другого интерфейса со скоростями, превышающими скорости, обеспечиваемые использованием простых программных циклов ввода/вывода.

Управляемая микропроцессором передача информации в пределах ПК (с помощью команд портов IN и OUT) требует значительного количества времени ЦП и производится с сильно заниженной скоростью. Продолжая эту тему, во время программно управляемых операций ввода/вывода ЦП не может производить никакую другую обработку.

Как использование прерываний сможет помочь ЦП выполнять некоторые параллельные задачи, поскольку существуют некоторые приложения, в которых требуемые скорости и переносимый объем информации слишком велики?

Вот пример двух подобных типичных приложений:

- Перенос видеоинформации из памяти к видеоадаптеру
- Перенос информации от удаленного устройства ввода/вывода (плата сбора данных) в память компьютера

Прямой доступ к памяти (ПДП) увеличивает максимальную скорость передачи данных и позволяет процессору выполнять параллельную задачу. В отличие от программного или управляемого с помощью прерываний ввода/вывода, при которых информация передается с помощью операций микропроцессора и его внутренних регистров, ПДП (как и предполагает его название) позволяет переносить данные напрямую между устройством ввода/вывода и памятью (возможно также использование ПДП и при переносе информации из памяти в память).

Какой бы ЦП ни использовался, он должен поддерживать режим ПДП, позволяющий определить необходимость ПДП, прекратить контроль над шинами адреса и данных, а также управлять линиями, необходимыми для чтения и записи информации в память. Кроме того, ЦП должен информировать устройство ввода/вывода, которое требует ПДП переноса данных, когда он снова возьмет контроль над шинами адреса и данных и над управляющими линиями ввода/вывода.

Кроме того, для реализации операций ввода/вывода с использованием ПДП необходим отдельный контроллер ПДП.



Рисунок 4.2
Операции ПДП

4.3.1 Контроллеры ПДП

В компьютерах PC/XT использовался один контроллер ПДП – микросхема Intel 8237-5, – имеющий 4 канала (Ch0 – Ch3). Компьютер PC/AT имеет две микросхемы контроллера ПДП, включенные последовательно, аналогично использованию микросхем контроллера прерываний 8259A. Дополнительными каналами ПДП (Ch5 – Ch7) являются 16-разрядные каналы. Стандартное использование канала ПДП показано в таблице 4.2

Таблица 4.2

Канал ПДП	Стандартное устройство	Адрес страничного регистра ввода/вывода
DRQ0	Свободен	87h
DRQ1	Синхронное управление передачей данных	83h
DRQ2	Привод гибкого диска	81h
DRQ3	Свободен	82h
DRQ4	Используется для каскадного включения контроллера 1	-
DRQ5	Свободен	8Bh
DRQ6	Свободен	89h
DRQ7	Свободен	8Ah

Контроллер ПДП типа 8237-5 состоит из следующих элементов:

- Двухбайтный адресный регистр, содержащий начальный адрес памяти, с которого должны считываться данные
- Двухбайтный адресный регистр, содержащий текущий адрес, куда должны записываться данные
- Двухбайтный регистр счетчика, который содержит суммарное количество записываемых байтов/слов
- Двухбайтный регистр счетчика, который содержит текущее количество байтов/слов каждого канала
- Управляющие линии, которые обеспечивают чтение/запись информации в/из памяти.

Поскольку каждое устройство поддерживает только 16-разрядную адресацию (ограничивая доступ 64 килобайтами памяти), то каждый канал ПДП имеет связанный с системной памятью ввода/вывода «страничный регистр», обеспечивающий дополнительные 4 старшие адресные линии, необходимые для обращения к полному 20-разрядному адресному пространству системы (1 МБ).

4.3.2 Инициализация ПДП контроллера

До того как произойдет операция ПДП, ПДП контроллер необходимо инициализировать.

Должны быть выполнены следующие пункты процедуры инициализации:

- Выбор вида операции ПДП контроллера – чтение или запись в память
- Задание типа ПДП переноса данных. Возможны четыре режима ПДП передачи данных:
 - Режим одной передачи
DRQx сигнал должен быть задан для каждого передаваемого байта/ слова.
 - Режим блочной передачи
Один сигнал DRQx запроса на ПДП инициирует передачу блока данных.
 - Режим запроса передачи данных
Данные переносятся до тех пор, пока задается DRQx сигнал запроса на ПДП и пока не был достигнут конечный отсчет.
 - Каскадный режим
Все каналы ПДП запрограммированы на работу в режиме одной передачи.
- Суммарное количество байтов, которое должно быть передано, загружается в соответствующий регистр-счетчик байтов/слов. Затем автоматически инициализируется регистр-счетчик текущего количества байтов/слов
- Адрес в памяти, откуда будет прочитан/записан первый байт данных, загружается в регистр начального адреса памяти. Регистр текущего адреса памяти инициализируется автоматически
- Записывается 4-разрядный страничный регистр, соответствующий четырем старшим битам 20-разрядного адреса, используя адреса порта ввода/вывода ПК
- Должны быть заданы приоритеты канала ПДП. Когда ПК загружается, ROM BIOS устанавливает приоритеты таким образом, чтобы канал с наименьшим номером имел наивысший приоритет
- Должны быть включены ПДП контроллеры используемых каналов. Для включаемых каналов должны быть сброшены биты регистра маски канала

4.3.3 Устройства ввода/вывода, требующие ПДП

Предполагая, что контроллер ПДП был инициализирован, стандартная операция, когда устройство ввода/вывода запрашивает ПДП переноса данных по одному из каналов ПДП контроллера, является следующей:

- Устройство ввода/вывода запрашивает ПДП передачу по конкретному каналу путем перевода DRQx (запрос ПДП) сигнала из низкого состояния в высокое. Запрашивающее устройство должно удерживать свою

линию в высоком состоянии до тех пор, пока ПДП контроллер не прореагирует на нее выдачей сигнала на соответствующей линии /DAK

- Приоритет DMA запроса определяется ПДП контроллером 8237, и если он является наивысшим, то контроллер выдает ЦП сигнал HOLD, требующий, чтобы ЦП прекратил контроль над шиной и перевел шины адреса, данных и управления в высокое состояние
- После перевода шин адреса, данных и управления в высокое состояние, ЦП выдает контроллеру сигнал HOLD ПДП
- Когда ПДП контроллер обнаружит появление сигнала HOLD, он выдает сигнал AEN и подтверждает запрос на ПДП путем выдачи соответствующего сигнала низкого уровня DACKx запрашивающему устройству ввода/вывода. Этот сигнал обычно используется для выбора микросхемы устройства ввода/вывода и подключения ее к шине
- Контроллер ПДП активизирует 16 нижних адресных линий SA [15..0] шины ISA и выдает адрес, содержащийся в адресном регистре текущего канала. Верхние адресные линии активизируются соответствующим страничным регистром ПДП канала

Для цикла записи этот адрес представляет адрес назначения в памяти для данных, обеспечиваемых устройством ввода/вывода. Контроллер ПДП сначала выдает шинный сигнал /IORC, чтобы побудить устройство ввода/вывода выставить данные на шину. Затем выдается сигнал /MWTC низкого уровня, заставляющий память зафиксировать данные по заднему фронту.

На протяжении всего этого цикла управляющие сигналы шины /IOWC и /MRDC остаются неактивными (высокий уровень).

- Затем контроллер ПДП производит следующие действия:
 - уменьшает на единицу содержимое счетчика-регистра количества передаваемых байт/слов соответствующего канала;
 - увеличивает на единицу содержимое регистра текущего адреса того же канала;
 - выдает сигнал устройству ввода/вывода по соответствующей линии DACKx.
- Когда ПДП контроллер выдает устройству ввода/вывода сигнал /DACKx, он переводит DRQx линию в неактивное состояние (низкий уровень).
- Обнаружив на линии DRQx низкий сигнал, контроллер ПДП выдает сигнал HOLD низкого уровня. ЦП реагирует на это, выдавая на контроллер ПДП сигнал HLDA, таким образом, указывая на готовность вновь взять управление шиной.

Почти аналогично производится цикл ПДП чтения из памяти. Разница заключается в том, что линии /IORC и /MWTC являются неактивными, выдача сигнала /MRDC заставляет память выставлять данные на шину, а выдача сигнала /IOWC заставляет устройство ввода/вывода зафиксировать данные по его заднему фронту.

4.3.4 Сигнал окончания ПДП операций

Сигнал окончания ПДП операций (Т/С) является двунаправленным сигналом системной платы, который может передаваться в одном из двух режимов, зависящем от программирования ПЛП контроллеров.

В режиме вывода системная плата выдает сигнал Т/С, чтобы указать на то, что текущий счетчик байтов/слов канала ПДП прокрутился от 0h до FFFFh при последнем уменьшении его содержимого на единицу во время цикла ПДП чтения из памяти или записи в память.

Сигнал Т/С выдается только тогда, когда выдан также сигнал /DACKx соответствующего канала. Таким образом, аппаратное обеспечение устройства ввода/вывода может использоваться для определения того, что сигнал Т/С был выдан из-за завершения инициированной им ПДП передачи данных, а не другим каналом другого устройства ввода/вывода.

В режиме ввода устройство ввода/вывода может использовать сигнал Т/С для прекращения ПДП передачи информации. Сигнал выдается системной платой при появлении сигнала /IORS или /IOWC.

При выдаче сигнала Т/С ПДП передача данных прекращается.

Если канал запрограммирован на автоматическую инициализацию, тогда производится следующее:

- Передача начинается с адреса, обнаруженного в регистре начального адреса (он переносится в регистр текущего адреса)
- В регистр-счетчик текущего байта/слова заносится значение, содержащееся в регистре-счетчике полного количества байтов/слов

Функция автоматической инициализации обеспечивает автоматическую установку ПДП контроллера и прием следующих ПДП запросов после завершения предыдущей ПДП передачи данных.

4.3.5 Режимы ПДП

Циклы ПДП работают в режиме одной передачи, поскольку запрос на ПДП инициализирует один цикл ПДП, в котором производится одна передача данных. ПДП обеспечивает прямую передачу данных от устройств ввода/вывода к устройствам памяти и наоборот (а также из памяти в память) без вовлечения ЦП. Это делает возможным перенос огромного количества данных в память или из памяти в фоновом режиме и с высокой скоростью.

Система ПДП основывается на ПДП контроллерах типа 8237. Контроллер 2 обеспечивает ПДП каналы 5, 6 и 7, а также каскадирование входа для контроллера 1.

Микросхема 8237 поддерживает только 16-разрядную адресацию (ограничивая доступ 64 килобайтами памяти). Каждый канал ПДП имеет на основной плате связанный с ним страничный регистр, обеспечивающий дополнительные адреса, которые позволяют осуществлять доступ с помощью ПДП к 16 МБ памяти. Это означает, что если с помощью ПДП переносится информация объемом больше 64 кБ, то после передачи каждого 64-килобайт-

ного блока страничный регистр должен перепрограммироваться и должен запускаться ПДП перенос нового блока. Если данные поступают с платы расширения, работающей в реальном режиме времени, с большой скоростью, то это может привести к паузам при ПДП переносе данных.

Для снятия этого ограничения можно использовать следующие способы:

Двухканальный режим ПДП, работающий без пауз

В конце первого 64-килобайтного блока данных плата сразу же переключается на второй канал ПДП и переносит по нему второй блок данных. Основная программа подготавливает первый канал ПДП к следующему (третьему) 64-килобайтному блоку. Когда передача второго блока будет завершена, плата сразу же возвращается к первому каналу ПДП и продолжает перенос данных, что позволяет программе снова подготовить второй канал ПДП. Эта процедура, напоминающая пинг-понг, продолжает заполнение памяти до тех пор, пока все данные не будут перенесены. Этот способ называется двухканальным режимом ПДП, работающим без пауз. Его достоинством является то, что он может обеспечить виртуальный доступ к 16 МБ памяти. Этот режим работает без вмешательства программы, если устройство ПДП обеспечивает выдачу сигнала по окончании передачи, но он использует два из шести имеющихся каналов ПДП.

ПДП с циклическим буфером

В памяти можно создать некий буфер (до 64 кБ), а контроллер ПДП запрограммировать на перенос данных в буфер. Контроллер программирует

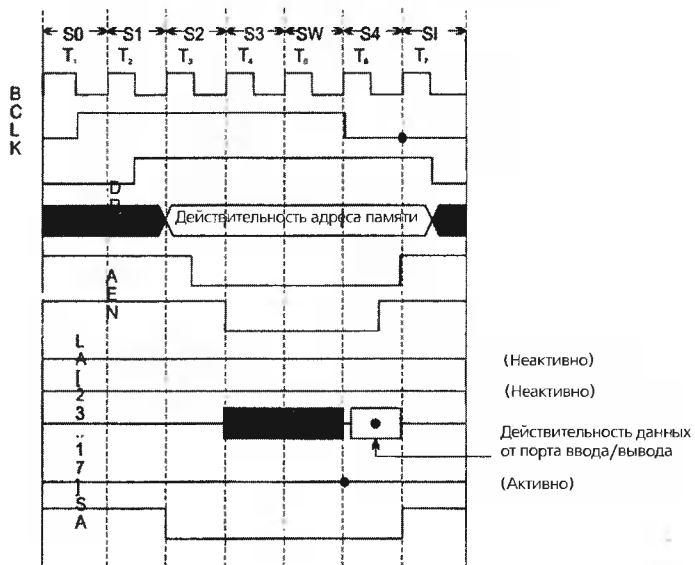


Рисунок 4.3

Временная диаграмма ПДП цикла записи в память или чтения с устройства ввода/вывода

ся на автоматическую инициализацию таким образом, что, когда он достигнет конца буфера, он сразу же возвращается к началу буфера. Программа основного компьютера должна обработать или перенести данные из буфера до того, как следующий цикл переписет данные предыдущего цикла. Этот режим называется ПДП с циклическим буфером. Достоинством такого режима является то, что его проще реализовать, он использует меньше памяти и позволяет обрабатывать данные во время переноса. Однако обычно это требует значительного программного вмешательства в процесс.

Обычный режим ПДП, использующий стек FIFO

Устройство ПДП использует один канал ПДП, но имеет на плате кэш-память, достаточно большую, чтобы хранить данные, пока контроллер ПДП перепрограммируется на возврат к начальному адресу следующего 64-килобайтного блока. Что касается главного ПК, то этот режим является обычным ПДП переносом данных. Он обеспечивает ПДП без пауз, используя всего один канал и без дополнительного аппаратного обеспечения на плате расширения. Главная система ПДП должна работать достаточно быстро, чтобы быть способной переносить не только данные, которые накапливаются в кэш-памяти, пока перепрограммируется канал ПДП, но и последующие данные, поступающие в кэш-память. Этот процесс может полностью работать в фоновом режиме, если плата вырабатывает сигнал об окончании счета.

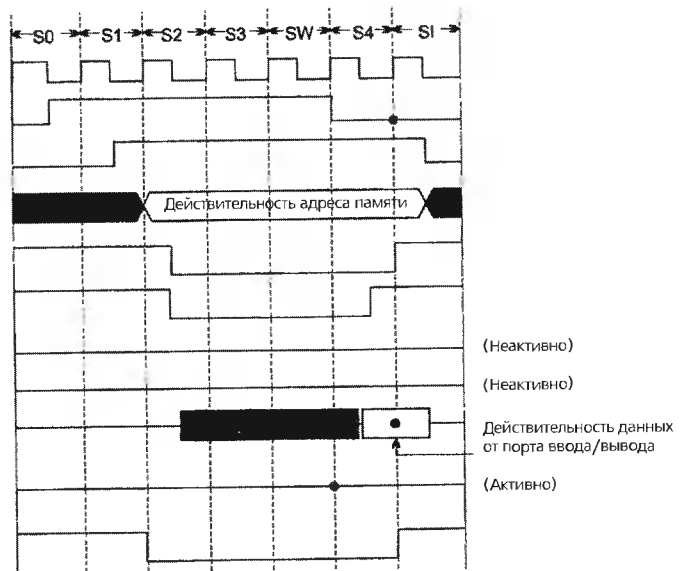


Рисунок 4.4

Временная диаграмма ПДП цикла записи сигнала ввода/вывода или чтения из памяти

Временная очередность операции ПДП является следующей:

- ПДП устройство запрашивает разрешение на перенос данных путем перевода сигнала DRQ (запрос на ПДП) в высокое состояние. Это побуждает контроллер ПДП произвести запрос шины. Он посылает в ЦП сигнал HOLD, который заставляет ЦП перевести в состояние с высоким сопротивлением шины адреса, данных и состояния и выдать сигнал HLDA. Когда контроллер ПДП обнаруживает, что ЦП выставил сигнал HLDA, он выдает сигнал AEN и подтверждает запрос на ПДП путем перевода линии /DAK этого канала в низкое состояние и активизирует адресную шину ISA, линию чтения/записи в соответствии с показанными ниже диаграммами выполнения операции ПДП
- Для цикла записи в память или чтения сигнала ввода/вывода, как показано на рисунке 4.15, 16 нижних адресных шин SA[15..0] активизируются контроллером ПДП с помощью регистра текущего адреса данного канала. Верхние адресные линии активизируются страничным регистром канала ПДП. Этот адрес является адресом назначения данных в памяти. После выдачи сигнала /DAK (который обычно использует устройство ПДП в качестве сигнала выбора микросхемы) контроллер активизирует сигнал /IORC и затем сигнал /MWTC (/SWTC). Сигнал /IORC побуждает устройство ввода/вывода выставить данные на шине данных, а сигнал /MWTC заставляет память зафиксировать данные по его заднему фронту. На протяжении всего цикла два других управляющих сигнала /IOWC и /MRDC остаются неактивными (высокое состояние)

Для некоторых компьютеров временные соотношения для тактовой частоты шины BCLK будут другими, если циклы ПДП запускаются S тактовыми, а не T тактовыми сигналами. Некоторые компьютеры не допускают в цикле состояния ожидания, в то время как другие компьютеры используют механизм ожидания состояния точно так же, как ЦП инициализирует шинные циклы. Обычно цикл ПДП завершается через семь тактов BCLK, хотя это также может различаться. На некоторых компьютерах первые четыре канала ПДП могут поддерживать только 8-разрядную передачу.

4.4 Повторные строковые команды (REP INSW)

Вы можете знать, что компьютеры XT использовали процедуру ПДП для переноса данных с жесткого диска, в то время как компьютеры AT ее уже не применяют. Скорости переноса данных с диска у AT много выше (более 500 кБ/с для стандартной интерфейсной шины), чем у XT. Возникает вопрос: как может быть в компьютере AT достигнута такая высокая скорость переноса данных без использования процедуры ПДП?

Ответ можно найти в новых инструкциях, добавленных в процессорах Intel 80286 (и в последующих моделях). К ним относятся инструкции

повторного ввода и вывода строк. В процессорах 8088/8086 повторные инструкции применяются к перемещаемым и обрабатываемым строковым переменным в памяти, но не к адресам памяти из адресного пространства устройств ввода/вывода (строки являются непрерывной последовательностью байтов). Последующие процессоры расширили действие этой команды на адреса ввода/вывода, с которых поступает информация платы сбора данных.

Чтобы получить последовательность выборок данных с платы, программа инициализирует регистр счетчика, устанавливает адресный регистр места в памяти и повторно выполняет команду ввода строки (REP INSW), давая адрес ввода/вывода регистра данных платы. Эта команда автоматически считывает полученное значение, сохраняет его в том месте памяти, которое указано адресным регистром, увеличивает содержимое этого регистра на единицу, уменьшает на единицу счетчик и продолжает перенос полученных данных до тех пор, пока счетчик не достигнет нуля. Этот метод имеет явные преимущества, хотя плата сбора данных должна удовлетворять некоторым требованиям:

К достоинствам этого способа относятся:

- Очень высокая скорость (немного превышающая скорость ЦДП, поскольку нет дополнительных данных, связанных с одновыборочной природой ПК ЦДП)
- Очень простое программирование
- Отсутствие необходимости в использовании аппаратных методов

Предъявляемые требования:

- Поскольку ПК просто считывает блок преобразованных выборок, плата должна содержать внутренний или внешний тактовый генератор и преобразовывать все измерения без вмешательства программы, а также вместительный буфер выборок, предназначенный для хранения выборок, готовых для действия команды REP INSW
- Плата должна иметь флаг состояния, указывающий состояние «буфер заполнен на половину» или «буфер заполнен почти полностью», чтобы программа могла выполнять цикл REP INSW. Если этот флаг будет способен произвести запрос на прерывание, то сбор информации может производиться в фоновом режиме, в противном случае программа должна будет опрашивать состояние флага через определенные промежутки времени, на предмет готовности данных для передачи

Имеется 32-разрядная версия повторной строкой команды, но, поскольку ширина шины ввода/вывода данных ISA составляет 16 разрядов, то это не обеспечивает дополнительного преимущества над 16-разрядной командой. Это преимущество могут использовать 32-разрядные шины (EISA, VL и PCI).

4.5 Перенос данных с последовательным опросом

Термин «перенос данных с последовательным опросом» описывает передачу данных к/от ЦП, которая инициируется командой ЦП. К этому типу относятся чтение и запись в память и порты ввода/вывода.

Перенос данных может быть двух типов: 8-разрядный и 16-разрядный, каждый из которых производится по своему временному алгоритму. Для обратной совместимости 16-разрядных команд с 8-разрядными, если они выполняются ЦП, а плата расширения не указывает, что она является 16-разрядным устройством (имеющим сигнал /M16 или /IO16), системная плата производит трансляцию шины данных. 16-разрядная операция преобразуется в две 8-разрядные операции, и выполняются два 8-разрядных цикла вместо одного 16-разрядного.

Процессоры типов 80286, 80386 и 80486 имеют машинный цикл, состоящий из двух тактов или состояний. Они называются T_S – такт передачи и T_C – такт выполнения команды. Машинный цикл может быть удлинен с помощью дополнительных тактов команд (T_C), когда процессор находится в состоянии выполнения команды, путем активизации его входа /READY. На шине ISA это достигается с помощью сигнала CHRDY и дополнительных тактов T_C , называемых также тактами ожидания (на временных диаграммах обозначаются как T_W и T_{AW}).

Системная плата, чтобы обеспечить синхронизацию процессов, добавляет такты ожидания, которые могут также добавляться и убираться платами расширения. Как и ВСКЛ, тактовая частота ввода/вывода обычно меньше частоты ЦП, а системная плата удлиняет периоды машинных тактов в машинных циклах, которые должны действовать на шине ввода/вывода. Например, если тактовая частота ЦП составляет 400 МГц, а тактовая частота ввода/вывода составляет 100 МГц, то каждый такт T цикла ввода/вывода будет увеличиваться в четыре раза по сравнению с частотой ЦП. В этом примере шинный цикл является для устройства ввода/вывода тем же самым, чем ЦП является для системы, работающей на частоте 100 МГц.

В следующих разделах описываются реальные временные диаграммы сигналов на шине для различных типов шинных циклов.

К ним относятся:

- Чтение из памяти: перенос данных из устройства памяти в ЦП
- Запись в память: перенос данных из ЦП в устройство памяти
- Чтение сигналов ввода/вывода: перенос данных от устройства ввода/вывода в ЦП
- Запись сигналов ввода/вывода: перенос данных от ЦП к устройству ввода/вывода
- ПДП запись сигналов ввода/вывода: перенос данных от устройства памяти к устройству ввода/вывода
- ПДП чтение сигналов ввода/вывода: перенос данных от устройства ввода/вывода к устройству памяти

Циклы чтения из памяти/записи в память в основном аналогичны, поэтому обсуждаются вместе, как и циклы чтения или записи сигналов с устройства ввода/вывода и два различных направления циклов ПДП.

Следующим типом циклов на системной плате является цикл подтверждения прерывания. Он не присутствует на плате расширения и, следовательно, не имеет никакого отношения к разработке платы расширения.

И, наконец, на шине могут быть циклы, выполняемые устройством управления передачей данных по шине.

Временное распределение этих циклов, очевидно, зависит от устройства управления передачей данных по шине, но инициация и завершение (т.е. шинный арбитраж) циклов устройства управления передачи привязаны к временным спецификациям ИС. Этот вопрос здесь обсуждаться не будет, но основные идеи были изложены в предыдущем разделе, описывающем шинные сигналы.

На приведенных ниже временных диаграммах точки используются для указания выборок, а затененные области указывают безразличные состояния.

Циклы чтения и записи в память

На трех показанных ниже временных диаграммах приводятся примеры 8-разрядного доступа к памяти:

- Стандартный 6-тактовый (BCLK) цикл
- Цикл, удлиняемый расширительной платой (до 7 тактов) с помощью сигнала CHRDY
- Цикл, укорачиваемый расширительной платой до трех тактов с помощью сигнала /NWS

Поскольку механизм действия всех описываемых здесь циклов шины ввода/вывода почти аналогичен, то приводимое ниже первое описание применимо ко всем из них; приведенные дальше описания отдельных циклов сосредоточиваются на дополнительных деталях, а также на их отличиях от основного цикла.

Стандартный 6-тактовый 8-разрядный доступ к памяти

На рисунке 4.5 показан цикл XT-совместимого компьютера, который по умолчанию используется для доступа ввода/вывода к памяти при отсутствии вмешательства со стороны платы расширения. Он состоит из такта T_S , такта передачи, за которым следуют четыре такта ожидания, вставляемые системной платой, а затем следует такт выполнения команды (T_C).

В стандартном цикле работы с памятью сигнал \overline{BALE} активизируется во второй половине T_S . Он указывает на действительность адреса, выставленного фиксируемыми адресными линиями $LA[23..17]$, и его задний фронт может использоваться для фиксации этих адресов, если они требуются платой расширения в оставшейся части цикла.

Необходимо отметить, что линии LA[23..17] являются действительными до начала машинного цикла и становятся недействительными в последней половине такта, следующим за T_S . Это позволяет установить их до начала следующего машинного цикла и называется конвейерной обработкой адресов (на шине EISA все адресные линии от A2 до A32 являются фиксируемыми, что позволяет более гибко укорачивать цикл работы шины). Необходимо сравнить эти линии с адресными линиями SA[19..0], которые становятся действительными как раз перед началом второго машинного такта и остаются действительными на протяжении всей оставшейся части машинного цикла (немного переходя в следующий). Адресные линии используются для декодирования адреса (адресов) устройства (устройств) на плате расширения.

Сигналы команд чтения или записи (/SMRDC, /SMWTC, /MRDC или /MWTC) становятся активными (низкое состояние) как раз после второй половины второго машинного такта – T_2 . Это указывает плате расширения на то, что в цикле записи она может зафиксировать данные на линиях дан-

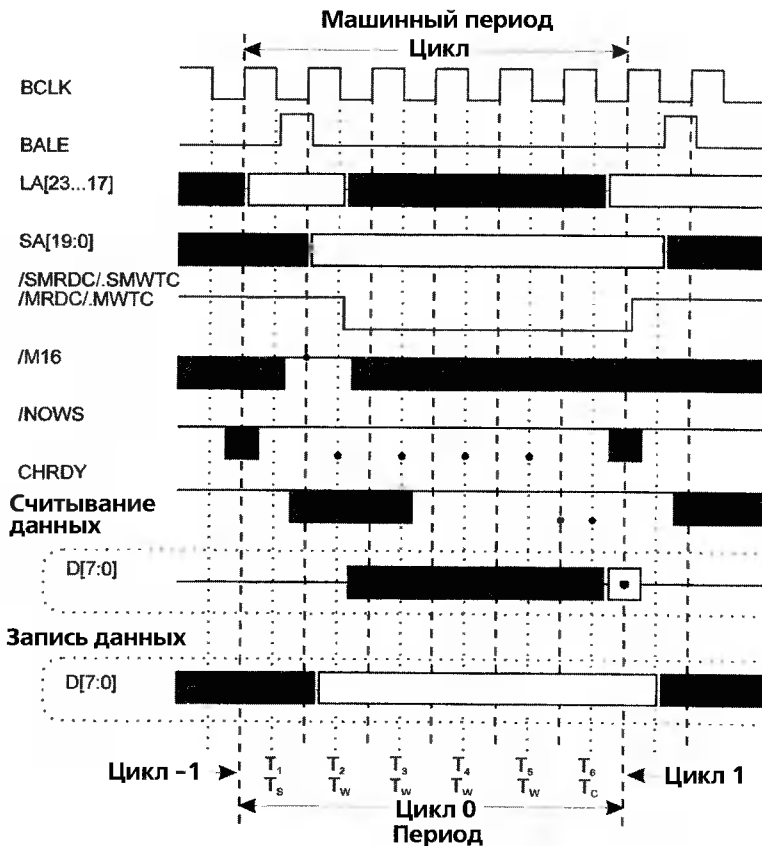


Рисунок 4.5
 Временная диаграмма стандартного 6-тактового 8-разрядного доступа к памяти

ных (необходимо отметить, что записываемые с ЦП данные действительно в течение первой половины T_2 , до того, как сигнал команды станет активным) или что она может активизировать линии данных в цикле чтения. ЦП фиксирует считываемые данные по заднему фронту сигнала считывания (/SMRDC, /MRDC), в то время как плата-адаптер должна зафиксировать данные ЦП по заднему фронту сигнала записи (/SMWTC, /MWTC). Это происходит в конце такта T_S .

Сигнал /M16 считывается в конце такта T_S . Поскольку он является неактивным (высокое состояние), то выполняется 8-разрядный цикл с 6 тактами ожидания.

Сигнал /NOWS считывается по заднему фронту сигнала BCLK, который действует в течение тактов ожидания $T_2 - T_5$ и остается действующим, если сигнал команды (линия чтения или записи) остается активным. Поскольку он является неактивным (высокое состояние) в каждом такте ожидания, то системная плата будет вставлять следующий такт ожидания до тех пор, пока не будут вставлены заданные по умолчанию такты (четыре) ожидания. Если сигнал /NOWS станет активным в любой из моментов выборки, то оставшееся количество ожиданий будет выброшено, и начнет действовать такт T_C , завершая цикл.

Выборка сигнала CHRDY начинается в конце последнего (по умолчанию) такта ожидания – T_5 . Поскольку он неактивен (высокое состояние), такты ожидания больше не добавляются, и цикл завершается тактом T_C .

Расширенный 7-тактный 8-разрядный доступ к памяти

8-разрядный машинный цикл с дополнительными тактами ожидания почти аналогичен стандартному циклу, показанному выше на рисунке 4.5. Сигнал CHRDY активизируется и удерживается платой расширения где-то во время цикла до начала такта T_C . Системная плата начинает производить выборку сигнала CHRDY дважды за каждый машинный такт, начиная с последнего (по умолчанию) состояния ожидания (T_5 на рисунке 4.6). Поскольку плата обнаруживает активный сигнал (низкое состояние), то она выполняет следующий такт ожидания (T_6), во время которого продолжает производить выборку сигналов /NOWS и CHRDY. Поскольку в конце такта T_6 сигнал CHRDY становится неактивным, то машинный цикл завершается тактом T_C .

Дополнительный такт ожидания удлиняет шинный цикл на один шинный период, что может позволить более медленным устройствам успевать работать с шиной. Если устройству ввода/вывода, работающему с шиной, требуется больше времени, то сигнал CHRDY может удерживаться в низком состоянии до тех пор, пока не завершится требуемый цикл. Максимально рекомендуемой длительностью сигнала CHRDY является 2,5 мкс.

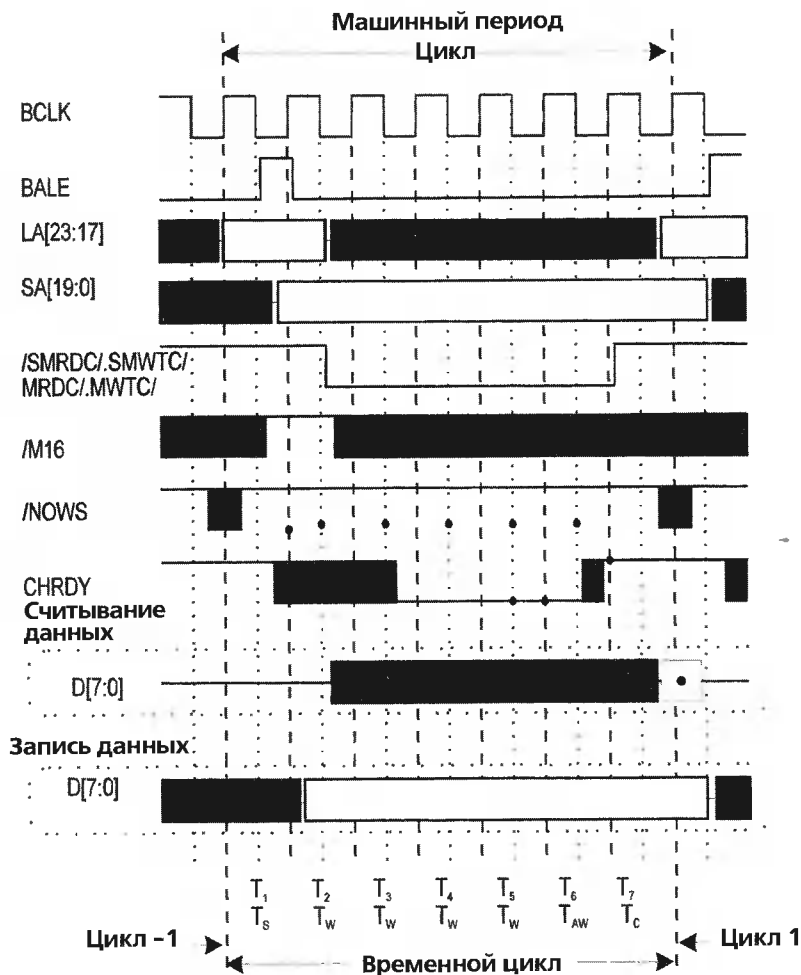


Рисунок 4.6

Временная диаграмма расширенного 7-тактового 8-разрядного цикла доступа к памяти

Укороченный 3-тактный 8-разрядный доступ к памяти

Укороченный 8-разрядный машинный цикл также почти аналогичен стандартному циклу. Выборка линии /NOWS производится в середине машинных тактов по заднему фронту импульса BCLK. На рисунке 4.7 показано, что системная плата обнаруживает в середине такта T₃ выставленный сигнал /NOWS (низкий уровень) и активный сигнал команды. Такт T₃ должен быть тактом ожидания, но, поскольку сигнал /NOWS активизирован, системная плата немедленно завершает машинный цикл переходом к такту T_C.

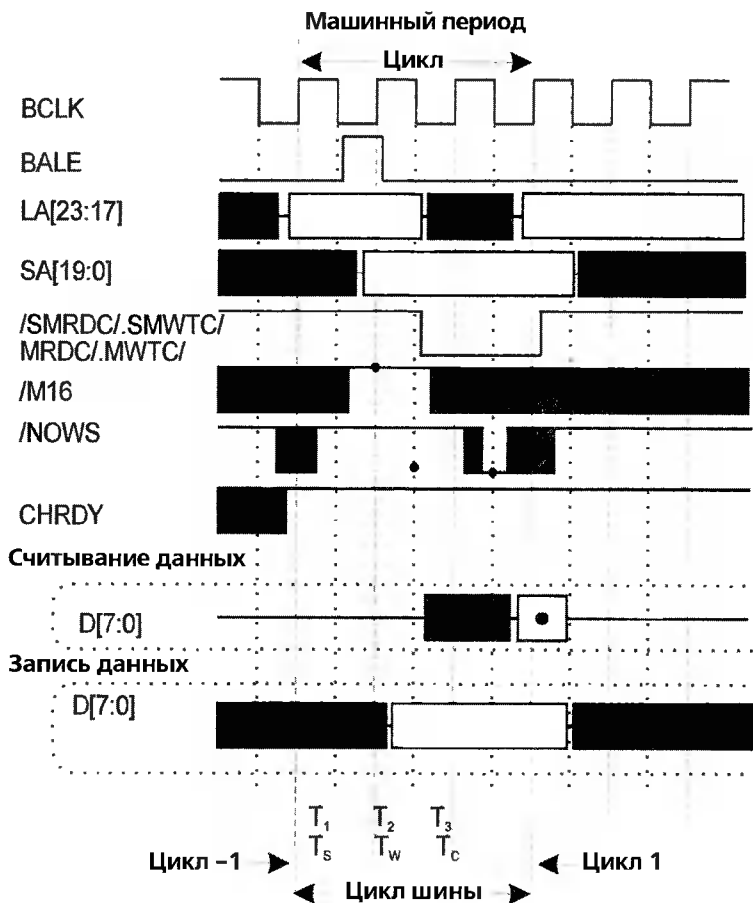


Рисунок 4.7

Временная диаграмма укороченного 3-тактового 8-разрядного цикла доступа к памяти

Сигнал /NOWS может быть выдан в любое время шинного цикла, чтобы указать на то, что дальнейшие такты ожидания не требуются. Если плата расширения активизировала сигнал /NOWS до середины T_2 , то 2-тактовый цикл не будет генерироваться, поскольку в 8-разрядных циклах сигнал команды после середины такта T_2 не является активным.

Три следующие временные диаграммы показывают примеры 16-разрядного доступа к памяти:

- Стандартный 3-тактовый цикл (рисунок 4.8)
- Цикл, удлиненный платой расширения (до 6 тактов) сигналом CHRDY (рисунок 4.9)
- Цикл, укороченный платой расширения до двух тактов с помощью сигнала /NOWS (рисунок 4.10)

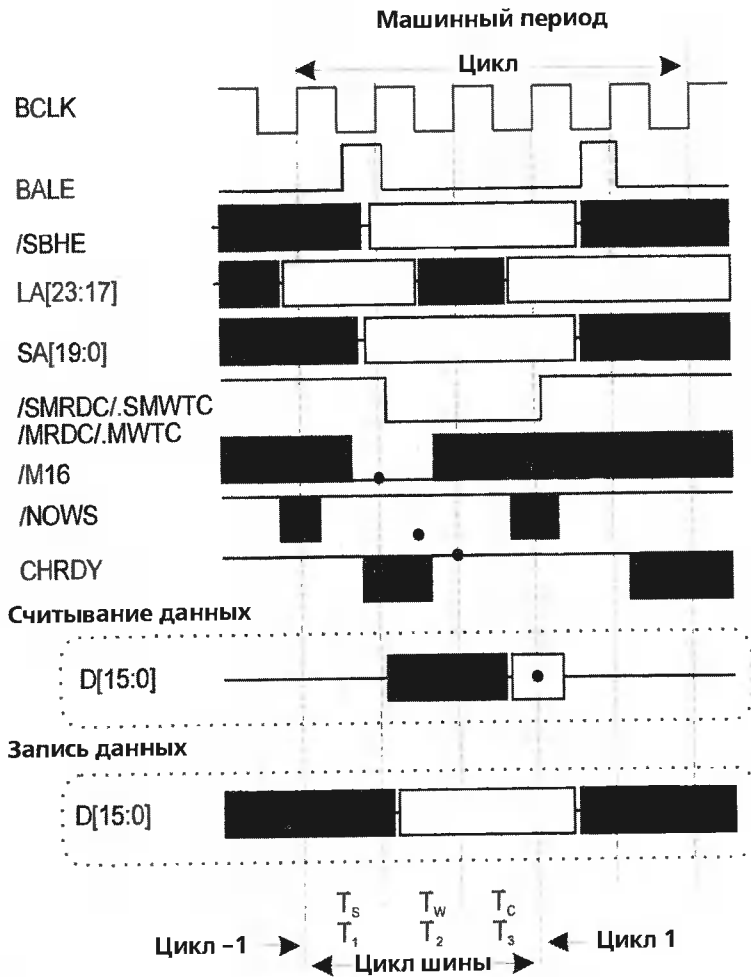


Рисунок 4.8
 Временная диаграмма стандартного 3-тактового 16-разрядного цикла доступа к памяти

Если плата расширения сигнализирует, что она является 16-разрядным устройством памяти — выставлением сигнала /M16 (который считывается в начале такта T_2), то системная плата выполняет стандартный 3-тактовый 16-разрядный цикл доступа к памяти. Временная диаграмма фактически аналогична диаграмме стандартного 8-разрядного цикла работы с памятью. Отличия следующие: представляет интерес сигнал /SBHE, который остается активным в конце такта T_1 ; команда чтения или записи становится активной после начала такта T_2 , а не во второй его половине, и данные теперь переносятся по всем 16 линиям данных.

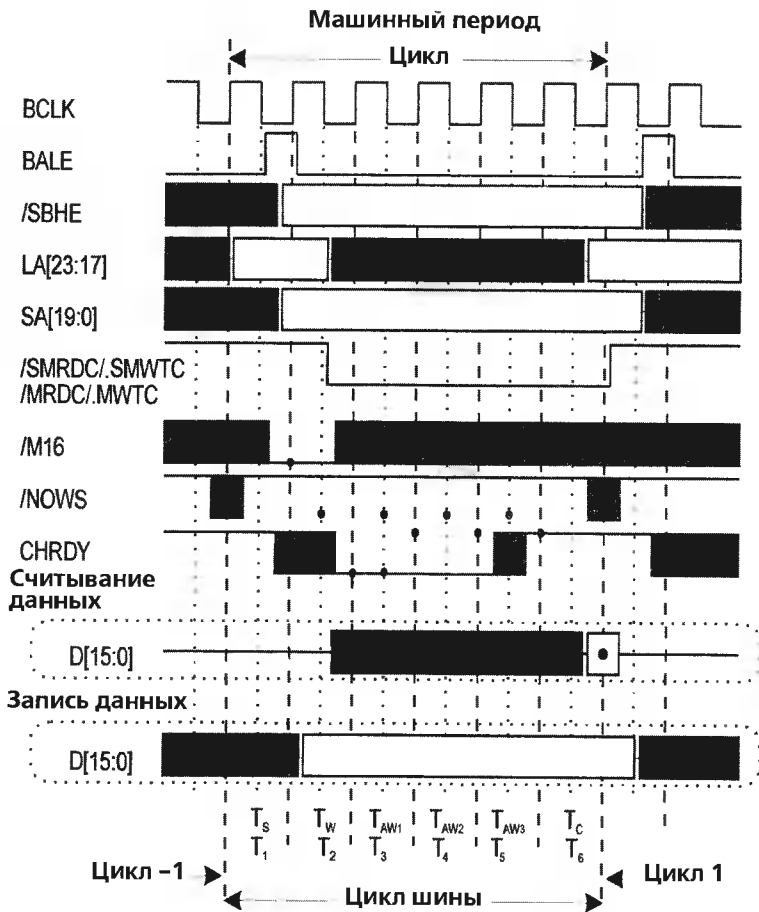


Рисунок 4.9

Временная диаграмма расширенного 6-тактового 16-разрядного цикла доступа к памяти

Сигналы /NOWS и CHRDY считываются в те же самые времена, что и при 8-разрядном цикле, здесь они являются неактивными и не влияют на цикл шины.

Расширенный 6-тактовый 16-разрядный доступ к памяти

Если времена доступа и установки подключенного 16-разрядного шинного устройства памяти больше, чем предусмотрено по умолчанию 3-тактовым шинным периодом, то после активизации шины /M16 цикл шины можно удлинить с помощью активизации сигнала CHRDY.

Системная плата обнаруживает активизированный сигнал /M16 в конце T_S и начинает выполнять стандартный 3-тактовый 16-разрядный доступ к памяти. Однако в конце такта T₂ она обнаруживает активизированный сигнал CHRDY, в результате чего она включает дополнительный такт ожида-

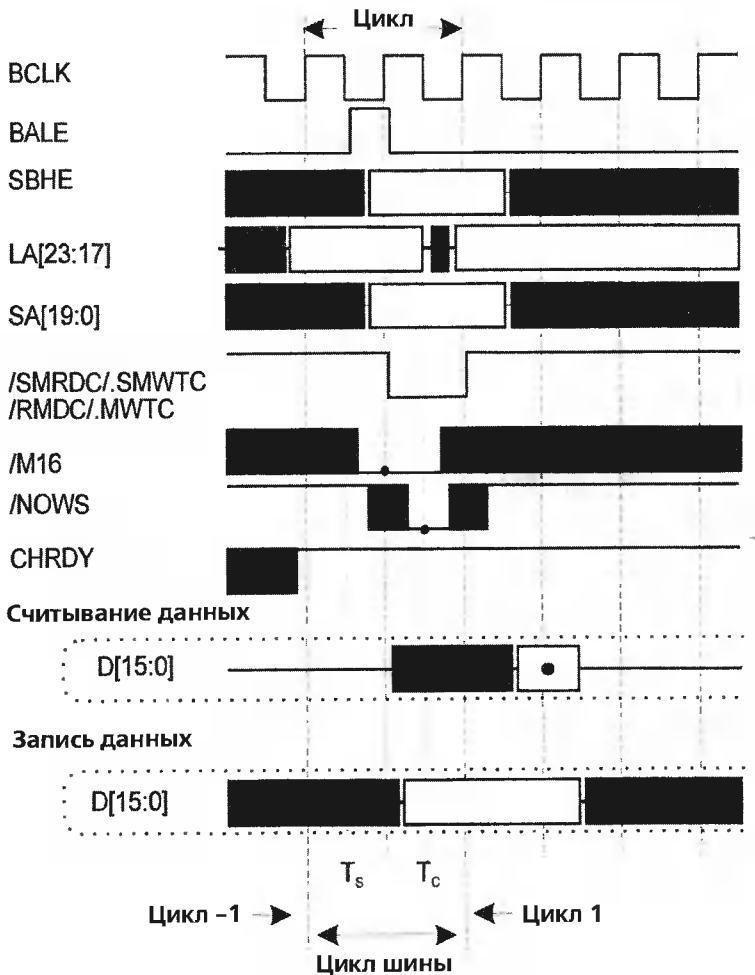


Рисунок 4.10

Временная диаграмма укороченного 2-тактового 16-разрядного цикла доступа к памяти

ния (на диаграмме T_{AW}). В конце этого дополнительного такта плата ожидает прекращения действия сигнала **CHRDY**, но, поскольку сигнал все еще активен, добавляется еще один такт ожидания. Когда сигнал **CHRDY** станет неактивным (здесь в конце такта T_{AW3}), шинный цикл завершается тактом T_c .

Укороченный 2-тактовый 16-разрядный доступ к памяти

Если устройство памяти способно передавать данные быстрее, чем в используемый по умолчанию период трех тактов, то после выдачи сигналов **/M16** и **/NOWS** цикл можно выполнить за два такта.

Как и прежде, системная плата обнаруживает активный сигнал **/M16** в конце такта T_s , поэтому она начинает выполнять стандартную процедуру

3-тактового 16-разрядного доступа к памяти. Однако на половине такта T_2 (который должен быть тактом ожидания) она обнаруживает активизированный сигнал $/N\text{OWS}$, в результате чего система преобразует такт ожидания в такт T_C и завершает цикл шины.

Циклы чтения и записи данных ввода/вывода

Три следующих диаграммы показывают примеры реализации 8-разрядного доступа к данным ввода/вывода:

- Стандартный 6-тактный цикл (рисунок 4.11)
- Цикл, удлинённый платой расширения (до семи тактов) с помощью сигнала CHRDY (рисунок 4.12)
- Цикл, укороченный платой расширения (до трех тактов) с помощью сигнала $/N\text{OWS}$ (рисунок 4.13)

8-разрядные циклы ввода/вывода активизируются, когда процессор выполняет 8-разрядные команды IN и OUT , а 16-разрядные циклы запуска-

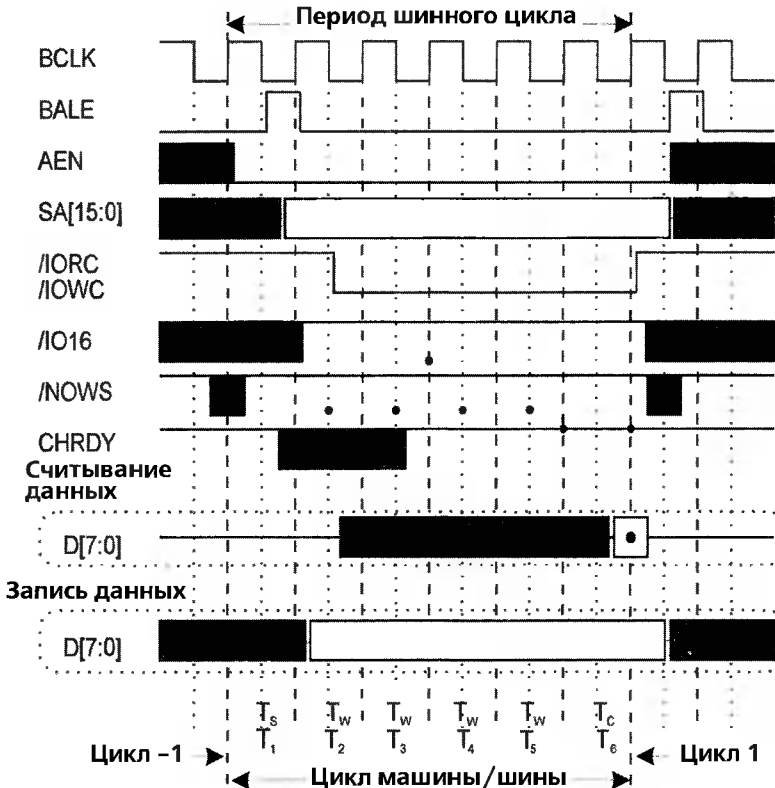


Рисунок 4.11

Временная диаграмма стандартного 6-тактного 8-разрядного цикла доступа к устройству ввода/вывода

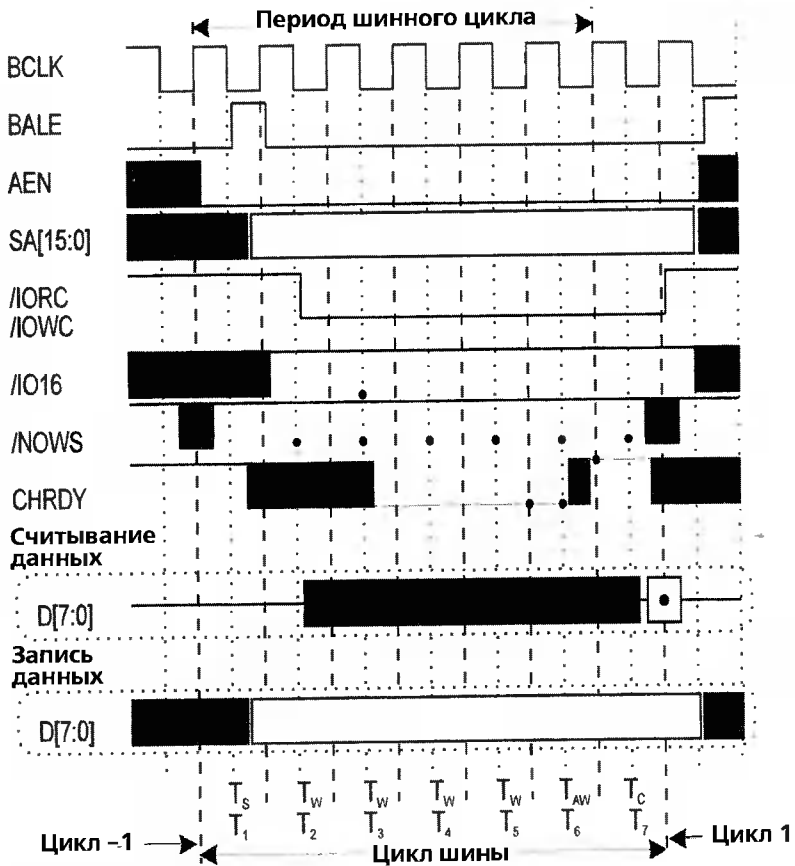


Рисунок 4.12

Временная диаграмма расширенного 7-тактового 8-разрядного цикла доступа к устройству ввода/вывода

ются, когда процессор выполняет 16-разрядные команды IN и OUT, а плата расширения реагирует путем выдачи сигнала /IO16. Управляющие сигналы циклов ввода/вывода начинают действовать на полтакта позже, чем управляющий сигнал цикла работы с памятью.

Стандартный 6-тактовый 8-разрядный доступ ввода/вывода

8-разрядный цикл доступа ввода/вывода почти аналогичен 8-разрядному циклу доступа к памяти. Разница заключается в следующем: сигнал AEN становится низким в начале цикла, указывая на то, что идет цикл ввода/вывода, а не цикл операции ПДП; используются только адресные линии SA[15..0], а управляющими сигналами чтения и записи являются сигналы /IORC и /IOWC соответственно, которые возникают на полтакта позже, чем соответствующие сигналы при операции чтения/записи в память.

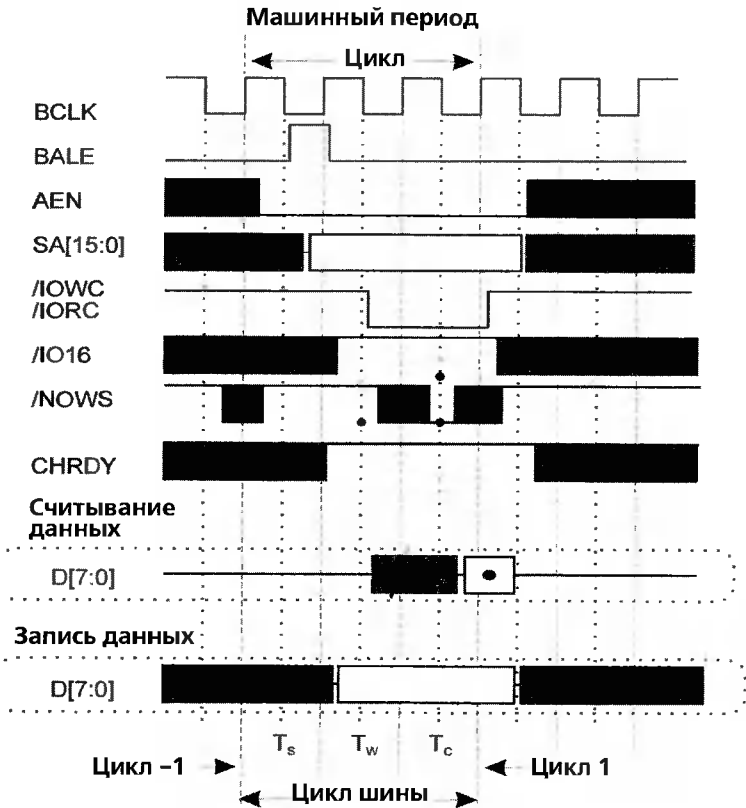


Рисунок 4.13

Временная диаграмма укороченного 3-тактового 8-разрядного цикла доступа к устройству ввода/вывода

Расширенный 7-тактовый 8-разрядный доступ к устройству ввода/вывода

Если устройству ввода/вывода необходимо удлинить цикл, то оно делает это, выставляя сигнал **CHRDY** точно таким же образом, как при работе с 8-разрядным устройством памяти. Когда системная плата обнаруживает активизированный сигнал **CHRDY**, то в конце стандартных тактов ожидания, задаваемых по умолчанию (в этом случае — четыре), она выполняет дополнительные такты ожидания.

Укороченный 3-тактовый 8-разрядный доступ к устройству ввода/вывода

Укороченный доступ к устройству ввода/вывода производится аналогично укороченному доступу к памяти. Системная плата обнаруживает в такте T_3 активный сигнал **/NOWS**, поэтому она завершает шинный цикл в конце третьего такта.

На двух следующих диаграммах приводятся временные диаграммы 16-разрядного доступа к устройствам ввода/вывода:

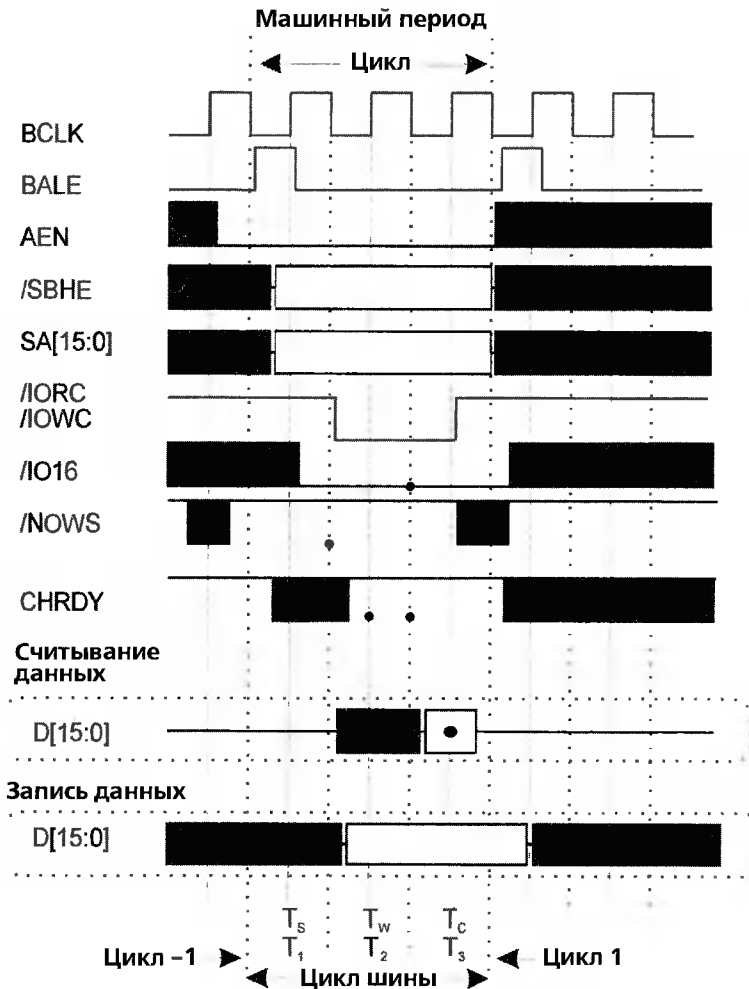


Рисунок 4.14

Временная диаграмма стандартного 3-тактового 16-разрядного цикла доступа к устройству ввода/вывода

- Стандартный 3-тактовый цикл (рисунок 4.14)
- Цикл, удлинённый платой расширения (до шести тактов) с помощью сигнала CHRDY (рисунок 4.15)

Необходимо обратить внимание на тот факт, что устройствам ввода/вывода невозможно укоротить циклы и выполнять их без тактов ожидания (т.е. до двух тактов), поскольку для циклов ввода/вывода управляющий сигнал становится активным только после заднего фронта такта T_2 (когда считывается сигнал /NOWS). Кроме того, сигнал /IO16 считывается на половине такта T_3 , а не в конце такта T_3 , как в цикле работы с памятью.

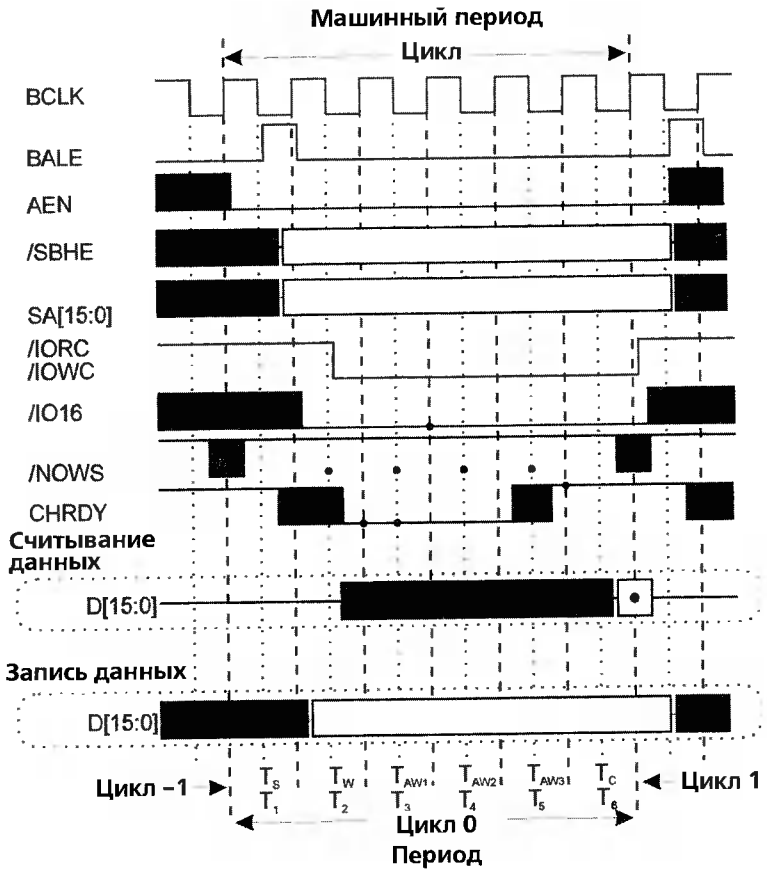


Рисунок 4.15

Временная диаграмма расширенного 6-тактового 16-разрядного цикла доступа к устройству ввода/вывода

Стандартный 3-тактовый 16-разрядный доступ к устройству ввода/вывода

Если с помощью сигнала **/IO16** устройство ввода/вывода сигнализирует о том, что оно является 16-разрядным, то системная плата выполняет 3-тактовый цикл ввода/вывода. Этот цикл почти аналогичен укороченному 3-тактовому 8-разрядному циклу ввода/вывода, за исключением того, что плата расширения не должна активизировать сигнал **/NOWS** и интерес в этом цикле представляет сигнал **/SBHE**.

Расширенный 6-тактовый 16-разрядный доступ к устройству ввода/вывода

И опять, если 16-разрядное устройство ввода/вывода не может соответствовать времени установки и фиксации сигнала для стандартного 16-разрядного цикла ввода/вывода, то оно может активизировать сигнал **CHRDY**, чтобы принудить систему вставлять дополнительные циклы ожидания до тех пор, пока сигнал **CHRDY** не будет выключен платой расширения.

4.6 Скорость передачи данных (опрашиваемый ввод/вывод, ввод/вывод с помощью прерываний, ПДП)

Одним из главных моментов для систем сбора данных, использующих расширительные платы ввода/вывода, является скорость передачи данных от устройства ввода/вывода в память.

Существуют только два способа передачи данных:

- Под управлением программы (простой опрашиваемый ввод/вывод прерывания)
- Под управлением аппаратного обеспечения (ПДП)

Ответ об относительной скорости передачи данных можно найти простым рассмотрением того, что требуется для переноса одного слова от устройства ввода/вывода к базовой памяти системы.

Опрашиваемый ввод/вывод является самым простым и наиболее часто используемым способом передачи данных между устройством ввода/вывода и памятью.

Принимая, что готовность данных в устройстве ввода/вывода показывается регистром состояния, то программное обеспечение должно выполнить следующий минимум функций:

- Чтение ввода/вывода – передача данных от устройства ввода/вывода в ЦП (состояние)
- Чтение ввода/вывода – передача данных от устройства ввода/вывода в ЦП (данные)
- Запись в память – передача данных из ЦП в память (данные)

Если ЦП больше ничего не делает, а только ожидает, когда данные будут готовы, то возможна скорость передачи данных 40 кГц. В этом случае ЦП полностью занят (в однозадачной операционной системе) выполнением цикла опроса и, пока ожидает появления данных, ничего полезного не делает.

В случае необходимости какой-либо дополнительной обработки она должна производиться в цикле опроса, что еще больше замедлит скорость выборки.

Организованный с помощью прерываний ввод/вывод предполагает, что устройство ввода/вывода способно уведомить ЦП о том, что данные готовы путем активизации соответствующей линии прерывания (описание процедуры прерывания см. на странице 71).

ЦП больше не тратит время только на ожидание, когда данные будут готовы, а свободен для выполнения других программ в фоновом режиме.

При возникновении прерывания от ЦП требуется следующий минимум действий (в пределах подпрограммы обслуживания прерывания):

- Чтение ввода/вывода – передача данных от устройства ввода/вывода в ЦП (данные)
- Запись в память – передача данных из ЦП в память (данные)

Может показаться, что подход к передаче данных ввода/вывода с помощью прерываний должен быть быстрее, поскольку он требует меньшего

количества шинных циклов ввода/вывода, необходимых для переноса данных. При этом, однако, не учтены аппаратурные задержки в активизации и подтверждении прерывания (описание процедуры прерывания см. на странице 71), а также служебные операции, необходимые для обслуживания прерывания (сохранение регистров и т.п.), которые могут требовать значительного времени. Кроме всего прочего, необходимо учитывать тот факт, что если прерывание происходит в начале цикла выполнения инструкции ЦП, то придется подождать выполнения инструкции, прежде чем он начнет обслуживание прерывания.

Вследствие этих причин ввод/вывод с использованием прерываний фактически работает существенно медленнее (почти в два раза), чем опрашиваемый ввод/вывод.

Прямой доступ к памяти (ПДП) обеспечивает значительное увеличение как скорости передачи данных (100 кГц), так и количества передаваемых данных без вмешательства ЦП (32 килослов). Почти аналогичным образом, как линия прерывания устройства ввода/вывода информирует ЦП о готовности данных, устройство ввода/вывода активизацией линии DRQx информирует контроллеры ПДП, что данные готовы (описание операции в ПДП см. на странице 76).

Когда ЦП освобождает шину, процесс передачи данных является полностью прозрачным для ЦП. Фактически ЦП может работать с максимальной производительностью, если он имеет локальную быстродействующую кэш-память, с которой он может работать, причем ни одна из инструкций не ссылается на то, чего еще нет в кэш-памяти. Если это происходит, то ЦП придется ждать до тех пор, пока не закончится цикл ПДП. Для компьютеров типа 386DX и 486 кэш-память является обычным явлением.

4.7 Память

Компьютерные системы используют три основных вида памяти, называемые базовой, дополнительной (отображаемой) и расширенной памятью. Описание этих видов памяти приводится ниже.

4.7.1 Базовая память

Память от адреса 0 до верхней границы установленной в компьютере памяти или до адреса FFFFFh (т.е. всего 1 МБ) называется базовой памятью. Первые 640 кБ памяти являются RAM (ОЗУ), которые обычно используются операционной системой и прикладными программами. Остальные 384 кБ адресного пространства зарезервированы; оно используется для BIOS ROM, ROM дополнительных устройств, адаптера дисплея и отображаемой памяти (см. ниже). Эту память и первые 64 кБ расширенной памяти (см. ниже) иногда называют *верхней памятью*. Система может уметь отображать физическую память на области в верхней памяти, не используемой никаким устройством компьютера. Эта память может затем использоваться некоторыми приложениями.

4.7.2 Система отображаемой памяти (EMS)

Первые процессоры (типа 8086/8088) и все процессоры, работающие в режиме реального времени, ограничены пространством памяти в 1 МБ, поскольку они используют только первые 20 адресных линий. (То же относится к DOS, поскольку она является 16-разрядной операционной системой.) Чтобы обеспечить большее количество памяти для приложений, компаниями Lotus, Intel и Microsoft была разработана спецификация, называемая отображаемой памятью (обычная версия LIM EMS 4.0). В компьютерах устанавливается второй линейный массив памяти, *логической отображаемой памяти*. Она может иметь величину до 32 МБ. Затем в области верхней памяти выделяется блок памяти (обычно 64 кБ) и подразделяется на отдельные страницы по 16 кБ. Каждая из этих страниц действует как окно в отображаемую память. Таким образом, четыре страницы реальной отображаемой памяти доступны в любое время с помощью окна в верхней памяти. Эти окна называются *страничными кадрами*. Требуемая часть отображаемой памяти переносится в страничные кадры с помощью регистров компьютера.

Управление памятью производится специальным расширением операционной системы (драйвером), называемым администратором отображаемой памяти (EMM), который обычно устанавливается при загрузке системы. Прикладные программы используют отображаемую память для хранения данных. В области отображаемой памяти обычно невозможно размещать программный код. Прикладные программы общаются с EMM с помощью программного прерывания 67h, а доступ к памяти производится с помощью дальнейшей ссылки на страничный кадр.

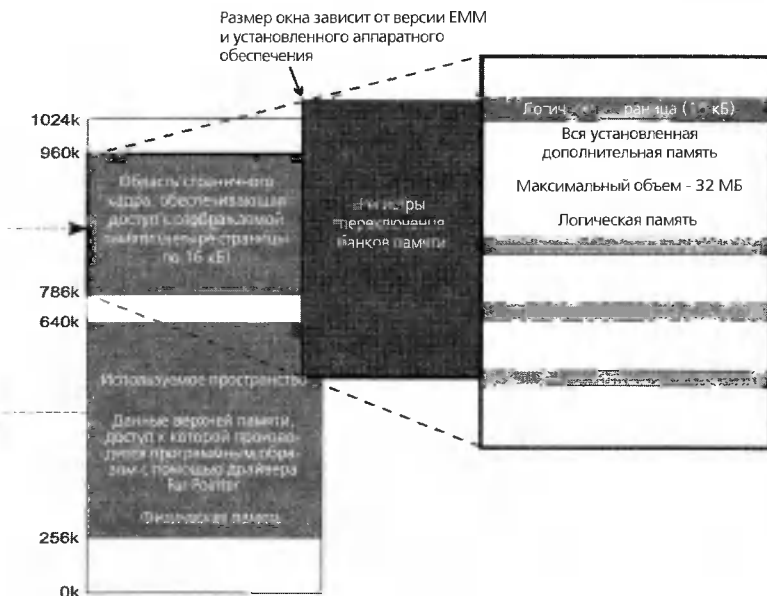


Рисунок 4.16
Организация отображаемой памяти

Администратор отображаемой памяти (ЕММ) состоит из двух главных частей:

- Драйвера, который имеет некоторые характеристики драйвера реального устройства и содержит функции инициализации и вывода состояния
- Администратора, который действует в качестве интерфейса между прикладным программным обеспечением и микросхемами дополнительной памяти

ЕММ выполняет следующие функции:

- Определение состояния аппаратного и программного модулей
- Назначение и отмену назначенных страниц отображаемой памяти
- Отображение логических страниц на физический кадр
- Поддержку многозадачных операционных систем
- Выполнение диагностических подпрограмм

Для обеспечения совместимости с различными типами аппаратного обеспечения (и различными версиями программного обеспечения ЕММ) приложения должны общаться с ЕММ с помощью выделенного программного прерывания. Если память запрашивается, используется и высвобождается с помощью ЕММ, то другие программы также будут способны использовать память.

Достоинством EMS является то, что она обеспечивает дополнительную память для DOS и компьютеров типа 8088.

Использование отображаемой памяти имеет следующие ограничения:

- EMS требует для работы специального аппаратного обеспечения и драйверов
- EMS не может использоваться для выполнения программы, находящиеся в отображаемой памяти; она используется только для хранения данных. Например, в системе DOS с 32 МБ отображаемой памяти и более 1 МБ базовой и расширенной памяти максимальный размер выполняемой программы (без использования подкачки с диска) ограничен пределом 640 кБ, уменьшаемым количеством памяти, используемой DOS и другими установленными драйверами
- Намного более медленный доступ, чем к обычной базовой и расширенной памяти
- Программы не могут иметь прямого доступа к отображаемой памяти; они должны общаться через администратора памяти, и это приводит к более сложным программам.

4.7.3 Расширенная память (XMS)

Расширенная память является продолжением памяти выше 1 МБ. Процессоры типов 80286 и 80386SX могут адресоваться до 16 МБ базовой и XMS памяти, в то время как процессоры 80386D и 80486 могут адресоваться до 4 ГБ памяти такого типа. XMS является памятью, адресация к которой производится напрямую процессором (и, следовательно, прикладными про-

граммами), поэтому она проще, быстрее и более эффективна. Расширенная память является единственной доступной памятью, когда процессор работает в защищенном режиме; только 32-разрядный защищенный режим операционных систем, таких, как OS/2, UNIX и MS Windows (но не DOS), обеспечивает доступность этой памяти для программ.

4.7.4 Модули расширения памяти

Все системы поддерживают наличие на главной плате только определенного количества памяти. Стандартом большинства ПК являются 8 гнезд для модулей SIMM (модуль памяти с однорядным расположением выводов). Обычно в каждое гнездо может быть установлен модуль SIMM емкостью 256 кБ, 1 МБ, 4 МБ или даже больше. Дополнительная память может быть установлена с помощью плат расширения в канале ввода/вывода. Некоторые системные платы обеспечивают доступ к локальной скоростной процессорной шине с собственными дополнительными гнездами памяти. В системах типа 80386 и старше память может конфигурироваться динамически с помощью драйверов XMS или EMS так, как нужно конкретному приложению. Память на главной плате имеет время доступа меньше, чем память на дополнительных платах, которое, в свою очередь, гораздо меньше, чем время доступа к памяти, подключенной к каналу ввода/вывода.

4.8 Стандартные шины расширения (шины IAS, EISA, PCI и PXI)

4.8.1 Шина ISA

Одной из главных причин успеха первого персонального компьютера IBM (ПК) была «открытость» его конструкции. IBM поощряла разработку совместимых дополнительных устройств, создаваемых сторонними производителями, выпустив спецификацию 8-разрядной шины расширения. Эта шина явилась основой для создания шинной архитектуры, соответствующей промышленному стандарту (ISA).

ПК IBM и первые разновидности персонального компьютера IBM XT были основаны на 8-разрядном ЦП 8088, имеющем 20 адресных линий и работающем на частоте 4,77 МГц. В более поздних моделях XT некоторые производители перешли на 16-разрядный микропроцессор 8086. Во всех этих компьютерах шина расширения оставалась одной и той же, работающей на частоте ЦП 4,77 МГц.

С введением 16-разрядного микропроцессора 80286 (часто называемого просто «286») компания IBM выпустила компьютер PC AT. Чтобы приспособить эту 16-разрядную шинную архитектуру ЦП, 8-разрядное гнездо шины ISA было расширено до 16 разрядов с помощью восьми дополнительных линий данных, четырех дополнительных линий адресов, дополнительных каналов прерываний и ПДП и других управляющих сигналов.

Для обеспечения обратной совместимости с существующими расширительными платами IBM оставила оригинальный 62-контактный разъем без изменений (разъем, который расположен ближе к задней стороне платы расширения) и добавила дополнительный 32-контактный разъем для подключения новых управляющих, адресных и информационных линий. (Назначение контактов разъема и т.п. приводится в справочной информации раздела, описывающего аппаратное оснащение ПК 90-х годов.)

С выпуском компьютера PC AT увеличилась скорость ЦП и как следствие увеличилась скорость работы шины с первоначальных 6 МГц до 8 МГц.

Когда IBM решила ограничить максимальную скорость шины ISA восемью мегагерцами, ведущие производители плат расширения начали использовать интегральные микросхемы с временем доступа, удовлетворяющим временным спецификациям шины ISA 8 МГц. Очень скоро, однако, производители клона AT стали выпускать 286 системы с частотами ЦП 10, 12, 16, 20 и 25 МГц. Это привело к проблеме обратной совместимости между быстрыми ЦП и множеством уже имеющихся медленных плат расширения.

В это время расширительная шина ISA вместо локальной шины стала транслирующим шинным гнездом (или разделенной шиной, в которой сигналы ЦП или локальной шины буферировались, а шинные циклы ввода/вывода и ПДП замедлялись до максимального предела шины ISA 8 МГц). Это замедление достигалось добавлением к обычным тактам шины тактов ожидания, причем во время тактов ожидания все линии шины поддерживали их текущее состояние в течение полного цикла шины.

16-разрядная шина ISA является расширением 8-разрядной шины ввода/вывода оригинальных компьютеров PC и PC XT. Каждый из них имел от пяти до восьми 62-контактных гнезд для вставных плат. Расширенная шина ISA имела второй разъем, позволяющий добавить 32 дополнительные линии. (Хотя XT платы обычно совместимы с ISA-компьютерами, системы XT стали менее распространенными в настоящее время и не будут обсуждаться в этой книге.)

Описания сигналов шины ISA основываются на спецификации EISA, ревизии 3.12, которая включает спецификации ISA. Если не оговорено особо, акроним ISA относится к той части спецификации EISA, которая имеет дело с шиной ISA. Не все системы ПК являются полностью совместимыми с этой спецификацией, но в некоторой степени это соответствие имеется. Для любой переходной платы, которая соответствует этой спецификации, имеется большая вероятность, что она будет корректно работать даже в системах, которые не полностью совместимы с указанной спецификацией.

Общим недопониманием, касающимся спецификаций на ПК, является термин *быстродействие*. В современных ПК быстродействие ЦП (или системы), или, если использовать более точный термин, *тактовая частота*, отличается от *шинной частоты ввода/вывода*. Частота ЦП обычно составляет 30 – 50 МГц, в то время как шинная частота – от 8 до 12 МГц. Совместимость плат расширения зависит не от частоты ЦП, а от частоты ввода/вывода (вместе с частотой ПДП и циклом ввода/вывода). Стандарт на шину

ISA определяет, что тактовая частота (BCLK) шины должна быть в пределах от 8,333 МГц до 4 МГц с рабочим циклом 50%, но многие ПК имеют более высокие шинные частоты. Распространены частоты 10 МГц и 12 МГц, в то время как частоты ввода/вывода могут достигать 13,7 МГц.

Проблема, которая иногда встречается при подключении интерфейса к шине ПК, связана с согласованием шинного цикла ПК с циклом интерфейсной платы. Например, интерфейсная плата может работать с более низкой частотой, чем частота используемой шины ПК. Проблему может решить понижение частоты шинного цикла ПК до частоты, с которой может работать плата. Если шинный цикл имеет продолжительность четырех периодов, то шинный сигнал READY (получаемый с интерфейсной платы) сообщает ЦП о необходимости добавления в шинный цикл одного или нескольких тактов ожидания WAIT, что обеспечит соответствие скоростей передачи данных между шиной ПК и интерфейсом платы расширения.

Многие системы допускают также задание тактовой частоты шины и ЦДП (и, возможно, других системных параметров, таких, как количество тактов ожидания ввода/вывода, используемое по умолчанию) с помощью настроек CMOS. Эти системы могут быть настроены на максимальную скорость/минимальное количество тактов ожидания и т.п., которые будет поддерживать самая медленная плата системы.

Описание сигналов шины ISA

В приведенной ниже таблице описываются некоторые термины и соглашения, используемые в следующем разделе.

Таблица 4.3

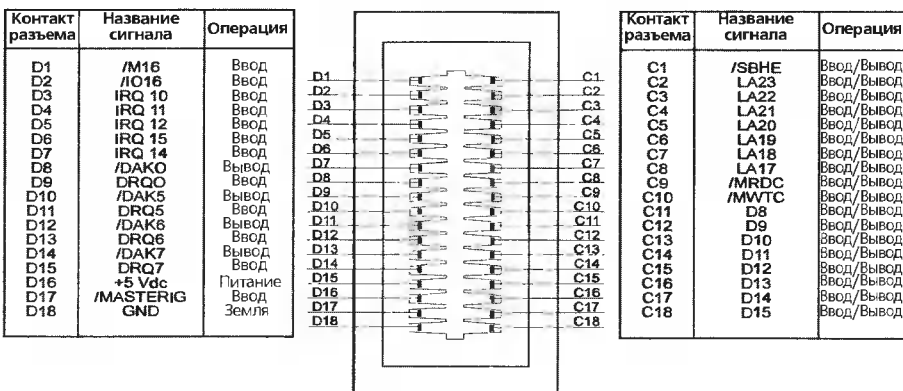
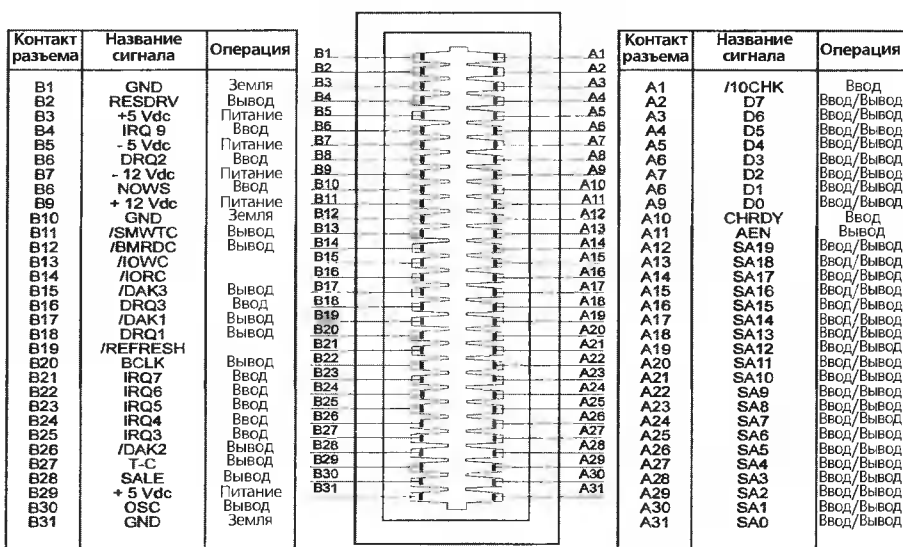
Терминология, используемая для описания шины ISA

Устройство управления передачей данных по шине	Расширительная плата, которая способна захватить шину и производить на ней свой собственный цикл. Для получения доступа к шине устройство управления передачей данных по шине использует канал ПДП
Цикл команды/цикл шины	Последовательность событий (или шинных тактов), которая составляет полный цикл шины. Обычно за один цикл шины передается один элемент данных
Сигналы команд	Шинные сигналы, которые обеспечивают команды для платы расширения, например сигнал Read и Write
Цикл ПДП	Шинный цикл, управляемый ПДП контроллером (не привлекающий ЦП), в котором данные переносятся напрямую к/из памяти
Подчиненное устройство	Используется для обозначения расширительных плат ISA, которые отвечают на направляемые на нее шинные сигналы
Стандартный цикл	Для каждого типа цикла (например, 8-разрядное чтение с устройства ввода/вывода или 16-разрядное чтение из памяти) системная плата использует цикл, заданный по умолчанию. Дополнительные платы могут изменять стандартные циклы

/	Активное низкое состояние. Символ P, предшествующий любому сигналу, указывает на то, что сигнал является активным, когда он находится в низком состоянии
D[...]	Биты шины данных
LA[...]	Фиксируемые адреса (с триггером-защелкой).
SA[...]	Адресные линии

На рисунке 4.17 приводятся табулированные мнемонические обозначения, назначения контактов, названия и типы сигналов ISA. Далее приводится подробное описание каждого сигнала.

Разъем, ближний к задней стороне с крепежными планками



Разъем, ближний к передней стороне компьютера

Рисунок 4.17

Мнемонические обозначения, направления сигналов и назначение контактов разъема ISA

Сигналы шины ISA можно подразделить в соответствии с их функциями на четыре группы:

- Группа адресных и информационных сигналов шины
- Группа сигналов, управляющих переносом данных
- Группа сигналов арбитража шины
- Группа вспомогательных сигналов

Группа адресных и информационных сигналов шины

Эта группа содержит сигнальные линии, которые используются для адресации к памяти и устройствам ввода/вывода, а также сигнальные линии, используемые для переноса реальных данных.

D[7..0]

Линии *D[7..0]* являются восемью младшими битами 16-разрядной двунаправленной шины данных, используемой для передачи данных между микропроцессором, памятью и портами ввода/вывода. Во время шинных циклов записи, иницируемых ЦП, данные из ЦП становятся действительными на этих линиях по заднему фронту импульсов */MWTC*, */SMWTC* и */IOWC* и могут быть зафиксированы этим фронтом. Во время циклов чтения ЦП плата расширения может выставить на этих линиях данных информацию до появления переднего фронта сигналов */MRTC*, */SMRTC* и */IORC*. Во время циклов ПДП информация по линиям данных переносится напрямую от устройства ввода/вывода в память (или наоборот), в то время как процессор отключен от них. В этом случае линии активизирует контроллер ПДП. Производить контроль над этими линиями может также устройство управления передачей данных по шине.

D[15..8]

Линии *D[15..8]* являются восемью старшими разрядами 16-разрядной двунаправленной шины данных. Они аналогичны восьми линиям младших разрядов *D[7..0]*. 8-разрядная передача данных должна использовать линии *D[7..0]*. Если используемое программное обеспечение требует 16-разрядного переноса данных от 8-разрядного устройства, то система автоматически преобразует перенос в два 8-разрядных цикла на *D[7..0]*. Платы, способные к 16-разрядной передаче, должны указывать это во время цикла с помощью сигналов */M16* или */IO16*, адресованных к ним или системной плате, чтобы 16-разрядные инструкции преобразовывались в две 8-разрядные. Во время 16-разрядных циклов системной платой выставляется сигнал */SBHE* (описывается ниже).

LA[23..17]

Линии *LA17 – LA23* (фиксируемые адреса) образуют часть фиксируемой адресной шины. (Оставшиеся линии фиксируемой адресной шины *LA[16..2]* и *LA[31..24]* соединены с разъемом *EISA* и отсутствуют в *ISA*-системах. Вместо них используются линии *SA[19..0]*).

Линии LA16 – LA23 являются нефиксируемыми и, если требуются для работы всего шинного цикла, должны фиксироваться адресуемым подчиненным устройством. Во время стандартных циклов они действительны во время всего активного времени сигнала BALE (описывается ниже) и остаются действительными, по крайней мере, половину периода BCLK после активизации сигналов команд.

Во время циклов ПДП или ISA главного устройства линии LA[23..17] действительны не менее одного такта BCLK до активизации сигналов команд. Они должны активизироваться платой расширения, действующей в качестве устройства управления передачей данных по шине. Эти линии могут фиксироваться по заднему фронту импульса BALE.

Эти адресные линии работают описанным выше способом потому, что таким образом они образуют конвейер циклов и уменьшают задержку выставления адреса, когда они используются для декодирования блока памяти, подключенной к шине.

SA[19..0]

Адресные линии SA0 – SA19 используются для адресации системной шины ввода/вывода и устройств памяти. Они образуют 20 младших разрядов 32-разрядной адресной шины. (Однако в ISA-системах имеются только 24 адресные линии из 32.)

В обычных циклах линии SA0 – SA19 активизируются в шине, когда сигнал BALE является высоким, и они фиксируются системной платой по заднему фронту сигнала BALE, оставаясь действительными на протяжении управляющего цикла шины.

Во время циклов ПДП или 16-разрядного цикла ISA главного устройства эти линии активизируются логикой ПДП и устройством управления передачей данных по шине соответственно. Они должны быть действительны за один такт BCLK до появления сигналов команд и обычно остаются действительными один такт после окончания сигналов команд.

С помощью 20 адресных линий возможна адресация к 1 МБ памяти, но не все адреса являются действительными. Адреса этого диапазона используются системной базовой памятью, ROM и памятью дисплея.

Процессор, используя инструкции IN и OUT, адресуется к устройствам ввода/вывода с помощью линий SA0 – SA15, в то время как линии SA16 – SA19 не используются и поддерживаются в неактивном состоянии. Большинство компьютерных устройств ввода/вывода декодируют только первые десять адресных линий (от SA0 до SA9, которые соответствуют адресам портов ввода/вывода от 0h до 3FFh), поэтому необходимо обратить внимание при адресации к устройствам ввода/вывода с использованием линий SA10 – SA15.

/SBHE

Сигнал /SBHE (разрешение старшего байта на системной шине) является только выдаваемым сигналом. Его низкое состояние указывает расширительной плате на то, что текущий цикл ожидает переноса данных по верх-

ней половине линий D[15..16] шины данных. Это происходит, например, когда плата расширения ранее указала системной плате с помощью сигналов /IO16 и /M16, что она способна передавать 16-разрядные данные.

Тип шинного цикла можно определить по сигналам /SBHE и SA0:

Таблица 4.4

Тип цикла декодирования шины, определяемый сигналами /SBHE и SA0

Сигнал /SBHE	Сигнал SA0	Шинный цикл
0	0	Полная 16-разрядная передача
0	1	Перенос старшего байта по D[15..8]
1	0	Перенос младшего байта по D[7..0]
1	1	Недействительное сочетание

AEN

Низкое состояние сигнала AEN (разрешение адреса) указывает на то, что подчиненное устройство ввода/вывода может реагировать на адреса и команды ввода/вывода, выставляемые на шине. Этот выходной сигнал активизируется логикой контроллера ПДП во время циклов ПДП, который, будучи активизированным (высокое состояние), используется для предотвращения того, чтобы подчиненные устройства не интерпретировали цикл ПДП как цикл ввода/вывода. Системная плата использует также этот сигнал для отключения линий адреса, данных и управляющих сигналов ЦП от шины ввода/вывода во время циклов ПДП.

Группа сигналов, управляющих переносом данных

Эта группа содержит сигналы, которые используются для управления циклами переноса данных по шине.

BCLK

Сигнал BCLK (частота шины) предназначен для синхронизации всех событий с тактовой частотой основной системы. В соответствии со спецификациями EISA сигнал BCLK должен иметь частоту между 4 МГц и 8,333 МГц и стандартный рабочий цикл 50%. Однако большинство систем ISA имеют частоту BCLK от 8 до 12 МГц. (Исходный компьютер XT имел частоту 4,77 МГц и высокий и низкий уровни синхросигналов, 66 2/3% и 33 1/3% соответственно.) Сигнал BCLK обеспечивается системной платой. Его период иногда увеличен для синхронизации с главным ЦП или другими устройствами системной платы. Во время выполнения главных циклов шины системная плата увеличивает BCLK только тогда, когда необходима синхронизация с главной памятью. События должны быть синхронизованы с фронтами BCLK вне зависимости от частоты или рабочего цикла. Этот сигнал может использоваться для генерации тактов ожидания системной шины.

BALE

Высокое состояние сигнала BALE (разрешение на фиксацию адреса) является индикатором того, что на фиксируемых адресных линиях LA17 – LA23 присутствует действительный адрес. Сигнал становится высоким до того, как адреса становятся действительными, и низким – после того, как они прекращают быть действительными. Если эти адреса необходимы для всего цикла, то расширительная плата должна зафиксировать их по заднему фронту импульса BALE. Этот сигнал является хорошей синхронизацией для обычных шинных циклов, поскольку он запускается в начале каждого шинного цикла. Во время циклов ПДП или циклов шины сигнал BALE остается высоким (и никогда не становится низким).

/MRDC

Этот сигнал активизируется системной платой или устройством управления передачей данных по шине ISA, чтобы указать на то, что адресуемая подчиненная память должна выставлять данные на системной шине. Это должно производиться до появления переднего фронта сигнала /MRDC, чтобы обеспечить получение приемным устройством действительных данных. Во время циклов ПДП сигнал /MRDC активизируется, чтобы обеспечить чтение из адресов памяти между 0h и 00FFFFFFh вне зависимости от типа памяти, что позволяет сигналу /DAK выбранного порта ввода/вывода принять данные. (Устройство ввода/вывода не должно использовать сигнал /MRDC для декодирования его адреса ввода/вывода.) Сигнал /MRDC может активизироваться платой расширения, действующей в качестве устройства управления передачей данных по шине.

/SMRDC

Этот сигнал чтения из памяти порождается сигналом /MRDC и имеет аналогичное временное положение; разница между этими двумя сигналами заключается в том, что сигнал /SMRDC активен только для адресов от 0h до 000FFFFFFh (т.е. для первого мегабайта памяти).

/MWTC

Этот сигнал активизируется системной платой или устройством управления передачей данных по шине ISA для указания того, что адресуемая подчиненная память может фиксировать данные системной шины. Эти данные становятся действительными, начиная с переднего фронта импульса /MWTC, и могут быть в это время зафиксированы. Во время циклов ПДП сигнал /MWTC выставляется для обеспечения записи по адресам от 0h до 00FFFFFFFh вне зависимости от типа памяти. Это позволяет сигналу /DAK выбранного порта ввода/вывода выставить данные на шине данных. (Устройство ввода/вывода не должно использовать сигнал /MWTC для декодирования адреса порта ввода/вывода.) Сигнал /MWTC может быть выставлен платой расширения, действующей в качестве устройства управления передачей данных по шине ISA.

/SMWTC

Сигнал записи в память порождается сигналом /MWTC и имеет аналогичное временное положение; разница между этими двумя сигналами заключается в том, что сигнал /SMWTC активен только для адресов от 0h до 000FFFFh (т.е. для первого мегабайта памяти).

/IORC

Сигнал чтения из устройства ввода/вывода активизируется системной платой или устройством управления передачей данных по шине ISA для указания того, что адресуемое подчиненное устройство ввода/вывода должно выставить данные на системной шине данных. Это должно производиться после того, как сигнал /IORC примет низкое состояние, и данные должны удерживаться действительными до появления переднего фронта сигнала /IORC, чтобы обеспечить принимающему устройству действительные данные. Во время циклов ПДП адресная шина не содержит адреса порта ввода/вывода; она содержит адрес памяти, в который будут переноситься данные с порта ввода/вывода. Порт ввода/вывода выбирается не адресным декодированием, а сигналом /DAK.

/IOWC

Сигнал записи в порт ввода/вывода активизируется системной платой или устройством управления передачей данных по шине ISA для указания того, что адресуемое подчиненное устройство ввода/вывода может зафиксировать данные, поступающие с системной шины данных. Это должно производиться по переднему фронту импульса /IOWC, чтобы обеспечить принимающему устройству получение действительных данных. Системная плата, устройство ПДП или устройство управления передачей данных активизируют шину данных до выставления сигнала /IOWC. Во время циклов ПДП адресная шина не содержит адреса порта ввода/вывода; она содержит адрес памяти, куда будут переноситься данные с порта ввода/вывода. Порт ввода/вывода выбирается не адресным декодированием, а сигналом /DAK.

CHRDY

Устройство расширения может использовать сигнал CHRDY (готовность канала) для удлинения шинного цикла по отношению к заданному по умолчанию времени. Это позволяет подключать к системе устройства с большими временами доступа. После декодирования действительного адреса и обнаружения активизированного сигнала команды (любого из шести сигналов записи/чтения из порта ввода/вывода или памяти) подчиненное устройство переводит сигнал CHRDY в низкое состояние. Это удлиняет шинный цикл на целое количество тактов. Если CHRDY имеет низкое состояние, то сигнал остается активным, по крайней мере один такт, после чего он становится неактивным. Сигнал CHRDY должен переводиться в низкое состояние с помощью выходного каскада с открытым коллектором или

каскадом с тремя состояниями и *никогда* не может иметь высокое состояние. Он не должен удерживаться в низком состоянии более 2,5 мкс (или около 10 тактов BCLK, что по времени немного меньше).

/NOWS

Сигнал /NOWS (отсутствие тактов ожидания) может быть активизирован устройством после того, как оно декодирует адрес и команду, и указывает на то, что остальные такты текущего цикла не требуются. Это должно происходить до появления заднего фронта BCLK, чтобы быть обработанным в этом периоде BCLK. Сигнал /NOWS должен принять низкое состояние и должен выдаваться каскадом с открытым коллектором или каскадом с тремя состояниями, способным пропускать ток 20 мА и никогда не становиться высоким. Подчиненное устройство не должно выставлять сигналы /NOWS и CHRDY одновременно.

/M16

Если адресуемая память способна передавать сразу 16 разрядов данных по линиям D[15..0], то она может выставить сигнал /M16 после декодирования действительного адреса. Это принуждает системную плату выполнять 3-тактыый цикл памяти (т.е. только с одним тактом ожидания). Сигнал /M16 должен переводиться в низкое состояние каскадом с открытым коллектором или каскадом с тремя состояниями, способным пропускать ток 20 мА и никогда не должен становиться высоким.

/IO16

Если адресуемый порт ввода/вывода способен передавать сразу 16 разрядов данных по линиям D[15..0], то после декодирования действительного адреса он может выставить сигнал /M16. Это принуждает системную плату выполнять 3-тактыый цикл памяти (т.е. только с одним тактом ожидания). Сигнал /IO16 должен переводиться в низкое состояние каскадом с открытым коллектором или каскадом с тремя состояниями, способным пропускать ток 20 мА и никогда не должен становиться высоким.

Группа сигналов арбитража шины

Эти сигналы используются для арбитража шины между устройствами и системной платой.

DRQ[7..5] и DRQ[3..0]

Линии DRQ (запрос на ПДП) используются для запроса на обслуживание ПДП или для запроса от 16-разрядного устройства управления передачей данных по шине ISA к системной шине. Запрос производится путем перевода линии DRQ в высокое состояние и может активизироваться асинхронно.

Устройство, требующее обслуживания, должно удерживать линию DRQ в активном состоянии до тех пор, пока системная плата не отреагирует активизацией соответствующей линии /DAK. Для режима запроса циклов чтения из памяти с использованием ПДП или записи в порт ввода/вывода

сигнал DRQx регистрируется по переднему фронту BCLK за один такт до конца текущего цикла (передний фронт импульса /IOWC).

Для режима запроса циклов чтения из портов ввода/вывода сигнал DRQx регистрируется по переднему фронту импульса BCLK спустя полтора такта от конца цикла (передний фронт сигнала /IORC).

16-разрядными устройствами управления передачей данных по шине ISA сигнал DRQx регистрируется по переднему фронту BCLK за два такта до выставления системной платой сигнала DAKx. Задний фронт сигнала DRQx должен соответствовать времени установки и удержания до момента выбора соответствующей системной операцией. ROM BIOS инициализирует контроллер ПДП таким образом, чтобы сигнал DRQ0 имел наивысший приоритет, а сигнал DRQ7 – наименьший. Необходимо позаботиться о том, чтобы сразу снять активизацию линии DRQ, поскольку в противном случае может быть выполнен не один цикл. Для сброса линии DRQ используется соответствующий импульс /DAK.

/DAK[7...5] и /DAK[3...0]

Системная плата переводит сигнал /DAK канала ПДП (подтверждение ПДП) в низкое состояние, чтобы указать на то, что каналу была выделена шина. Устройство ПДП выбирается, если обнаруживается сигнал /DAK вместе с выставленным сигналом /IORC или /IOWC. Контроллер ПДП захватывает управление шиной и продолжает выполнение цикла ПДП. Сигнал /DAKx активизируется также, чтобы подтвердить выделение шины устройству управления передачей данных по шине ISA. Затем устройство управления шиной должно выставить сигнал /MASTER16, если оно обнаруживает выставленный сигнал /DAK, и продолжить выполнение цикла. Впоследствии устройство управления шиной должно перевести линии адреса и управления в высокое состояние, а сигнал /MASTER16 – в неактивное состояние до тех пор, пока системная плата не снимет сигнал с линии /DAK.

T-C

Сигнал T-C (окончание счета) является двунаправленным и в зависимости от программирования канала ПДП работает в одном из двух режимов.

В режиме вывода системная плата выставляет сигнал T-C для указания того, что счетчик слов канала ПДП достиг конечного значения. Это происходит, когда декрементный счетчик переходит из состояния 0 в FFFFFFFh. Сигнал T-C выставляется только в том случае, если активизирована линия /DAK соответствующего канала, так что устройство ПДА может связывать сигнал T-C с его сигналом /DAK для определения завершения передачи ПДП.

В режиме ввода устройство ПДП может использовать сигнал T-C для останова ПДП передачи. Сигнал T-C проверяется системной платой, когда активизирован сигнал /IORC или /IOWC. Если будет обнаружен активный сигнал T-C, то передача прекращается, а если канал запрограммирован на автоматическую инициализацию, передача начинается сначала.

/MASTER16

Этот сигнал позволяет внешним платам подключиться к системной шине. Главная плата выставляет сигнал */MASTER16* при получении сигнала */DAK* от DRQ соответствующего канала ЦДП. Активизирование сигнала */MASTER* отменяет операцию ЦДП, а также переводит в высокое состояние системные сигналы адреса, данных и управления. Это позволяет плате управления шиной взять контроль и управлять устройствами, подключенными к системной шине, а также памятью. Она должна соблюдать все временные регламенты шинных устройств и памяти, а также возвращать управление процессору (т.е. освобождать шину) в пределах 64 тактов (обычно 8 мкс).

/REFRESH

Низкое состояние сигнала */REFRESH* является индикатором того, что идет цикл регенерации памяти. Сигнал */REFRESH* заставляет линии SA[15..0] (или LA[15..2]) активизировать входы адресов всех банков DRAM, чтобы при выставлении импульса */MRDC* вся память системы была одновременно регенерирована.

Группа вспомогательных сигналов

OSC

OSC является тактовой частотой, используемой для обеспечения синхронизации всех процессов. Эта частота равна 14,31818 МГц (период составляет около 70 нс), и рабочий цикл составляет 50%.

RESDRV

RESDRV (сигнал сброса устройств шины) является выходным сигналом, при активизации которого производится аппаратный сброс всех устройств, подключенных к шине. Он также вырабатывается во время включения питания. Все устройства, которые могут помешать работе ЦП, памяти или платам системного ввода/вывода, должны использовать сигнал *RESDRV* для аппаратного сброса. При активизировании сигнала *RESDRV* эти устройства должны перевести все выходы в высокое состояние. Примером дополнительных плат расширения, которые должны считывать и использовать сигнал *RESDRV*, являются подчиненные устройства, вставляющие такты ожидания, которые требуют программной инициализации, и устройства ЦДП.

IRQ[15..14], IRQ[12..9], IRQ[7..3]

Для прерывания работы ЦП при запросе какого-либо внешнего устройства используются только входные линии прерывания. Прерывание распознается, когда линия *IRQ* переходит из низкого состояния в высокое и остается в нем до тех пор, пока соответствующее прерывание не будет подтверждено. Это означает, что с большой степенью надежности одновременное использование линии прерывания несколькими устройствами невозможно. Линии прерывания переводятся в высокое состояние системной платой, а если на-

ходятся в состоянии высокого сопротивления, гарантированно переходят в высокое состояние спустя 500 нс. Подпрограммы прерываний должны сбрасывать фиксацию прерывания с устройства по крайней мере за 500 нс до выдачи в контроллер прерываний команды на окончание прерывания, вновь обеспечивая возможность использования прерывания на этой линии. Недостающие линии прерывания (IRQ13, 8, 2, 1 и 0) используются системной платой и в шине не присутствуют.

/ИОСНК

Плата расширения может активизировать сигнал /ИОСНК (проверка канала ввода/вывода) для указания того, что произошла серьезная ошибка. Активизация сигнала /ИОСНК направляет в ЦП сигнал NMI (немаскируемое прерывание), если 3-й бит порта 61h равен 0 и если портом A0h обеспечиваются сигналы NMI. Ошибки четности и неустранимые ошибки аппаратного обеспечения являются примером того, когда платы расширения могут выдать сигнал /ИОСНК.

4.8.2 Микроканальная шина

В 1986 году компания IBM стала использовать только что выпущенный 32-разрядный микропроцессор Intel 80386 (часто называемый просто «386») в новом семействе ПК – PS/2. В то же самое время, причем довольно неожиданно, IBM ввела с этим семейством компьютеров свою собственную новую расширительную шину, называемую шиной с микроканальной архитектурой (MCA).

Эта шина имела несколько преимуществ:

- Возможность управления шиной
- Пакетный режим передачи данных (режим, при котором данные передаются блоками заранее заданного размера)
- Арбитраж шины, позволяющий использовать до восьми процессоров и до восьми других устройств, таких, как контроллеры ПДП, разделять одну шину данных, не мешая друг другу

Однако шина MCA была совершенно несовместима с расширительными платами для шины ISA, и самыми важными были изменение размера разъема, расположение и назначение его контактов (размер разъема шины MCA много меньше, расположение контактов другое, и расстояние между контактами разъема уменьшено до 0,13 см). Более того, имелись две разновидности гнезда шины MCA (16- и 32-разрядные варианты) с разным расположением контактов.

Отказ IBM от сотрудничества с целью создания единого стандарта (в это время полным ходом велась разработка шинного стандарта EISA) привел к тому, что эту шину не стали поддерживать с самого начала. Шины MCA достигли ограниченного успеха в системах сбора данных главным образом вследствие несовместимости шины расширения и наличия дешевых высокопроизводительных и легко расширяемых компьютеров с шиной ISA.

4.8.3 Шина EISA

Введение 32-разрядного микропроцессора Intel 80386 (или просто «386») ознаменовало начало отхода промышленности от дальнейших разработок архитектуры ПК IBM. В то время когда IBM производила семейство машин PS/2, включающее шину MCA, остальная промышленность производила ISA-машины на основе 386-процессора, работающего на частотах 16, 20, 25, 33 и 40 МГц. Первоначально эти компьютеры были клонами AT с процессорами 386 и раздельной шинной архитектурой, позволяющей шине расширения продолжать работать на частоте около 8 МГц и, таким образом, поддерживать ISA-совместимость и доступ к увеличивающемуся диапазону ISA-совместимых плат расширения.

В 1998 году, спустя два года совместных встреч, девять производителей компьютеров разработали спецификацию расширенной стандартной архитектуры для промышленного применения (EISA), явившуюся полной противоположностью шины IBM MCA. Этот опубликованный стандарт включал все возможности ISA, почти все возможности MCA и добавлял новые возможности при сохранении обратной совместимости с существующими платами расширения. Шина EISA является полностью 32-разрядной шиной данных и адреса.

Вот некоторые особенности этой шины:

- Новые возможности по управлению шиной
- Дополнительные режимы ПДП передачи данных, такие, как передача блоков данных по требованию или пакетный режим
- Автоматическое расширение конфигурации платы, обеспечивающее создание бесконфликтной системы

Хотя скорость шины EISA была все еще ограничена 8 МГц и была обусловлена необходимостью совместимости, увеличенная ширина шины позволила передавать данные с гораздо большей скоростью (33 МГц). В пакетном режиме могла быть достигнута частота до 40 МГц. К сожалению, испытательные тесты показывают, что платы расширения EISA не быстрее их ISA эквивалента и главным образом вследствие того факта, что очень небольшое количество периферийных EISA плат могли использовать дополнительные скоростные возможности, например управление шиной.

4.8.4 Шины PCI, compactPCI и PXI

Весной 1991 года корпорация Intel начала работу над шиной PCI, являющейся международным проектом. Инженеры Intel особое внимание уделяли тому, что существующая пропускная способность шины ввода/вывода не соответствует быстродействию современных ЦП и тем более сильно отстала от возможностей появляющегося нового поколения ЦП (Pentium/486).

Шина ISA была введена IBM в 1981 году и была модернизирована до 16 разрядов с введением компьютеров AT в 1984 году. Изначально шина ISA

работала на частоте 4,77 МГц. Максимальной скоростью была частота 8 МГц. В 1987 году была введена шина MCA (микроканальная шина для компьютеров PS/2). Эта шина просуществовала недолго (как недолго существовали и компьютеры PS/2). Шина MCA была 16- или 32-разрядной и имела достоинство в виде большого количества выходных контактов для крупных плат. В 1992 году была разработана шина ЦП VL. Это была 32-разрядная шина, работавшая на частоте 33 МГц. В 1993 году была представлена шина PCI. Сначала она работала на тех же 33 МГц, но почти сразу скорости увеличились до 100 МГц для 3,3-вольтовых ЦП. Шина PCI может использовать либо 32- либо 64-разрядные линии.

Таблица 4.5

Развитие шины персональных компьютеров

Год	Шина	Разрядность шины	Частота
1981	IBM PS ISA	8	4,77
1984	IBM AT ISA	16	6/8
1987	MCA (PS/2)	16/32	10
1989	EISA	32	8
1992	VL	32	33
1993	PCI	32	33
1995	PCI	32/64	33/66
1996	PCI	32/64	100
1998	PCI	То же, что PCI	

Шина PCI (интерфейсная шина персональных компьютеров) является относительно новым элементом материнских плат ПК. Со временем кажется, что персональные компьютеры имеют все больше и больше гнезд PCI и все меньше гнезд ISA и EISA. Является ли это следствием текущего изменения всех вещей, с чем мы должны мириться в вечно изменяющемся мире, или шина PCI намного лучше? Ответом на этот вопрос является то, что шина PCI реально намного лучше. Традиционные шинные системы, такие, как ISA и EISA, были хороши в то время, когда в какое-то определенное время выполнялось только одно приложение. Теперь, когда ПК могут выполнять сразу несколько приложений, необходимо иметь многоплатные шинные системы. Шина PCI делает это, работая на более высоких тактовых частотах, чем обычные шины, и путем временного отключения шины позволяет другим платам иметь возможность передавать или принимать данные от ЦП.

Размер плат также является большим преимуществом шины PCI. Направляющие штифты платы PCI имеют меньший размер, и их больше по количеству. Это позволяет средней плате PCI иметь такой же небольшой размер, что и плата ISA. При переходе электронных печатных плат к компонентам, устанавливаемым на поверхности, небольшие по размерам PCI платы имеют больше функций, чем огромные EISA платы. Это обеспечивает выгоду производителю (уменьшение стоимости) и потребителю (больше функций за меньшую цену). Дополнительным преимуществом шины PCI является лучшая поддержка функции plug and play («подключи и работай»).

Локальная шина PCI является высокопроизводительной шиной, обеспечивающей независимую от процессора передачу данных между ЦП и быстродействующими периферийными устройствами. PCI платы имеют надежное механическое крепление, разработанные специально для установки на них высокоскоростные периферийные устройства для работы с графикой, полноформатным видео, SCSI, LAN и т.п.

Шина PCI является не совсем локальной, а промежуточной. Она общается с шиной ЦП (локальной шиной) через мост ЦП/шина PCI. Это позволяет ЦП общаться с главной памятью или кэш-памятью через очень быструю и короткую локальную шину, в то время как устройства, подключенные к шине PCI (и даже с устройствами шины ISA), выполняют свои задачи. Мост используется в качестве буфера/передатчика/приемника между шиной ЦП (локальной шиной) и шиной PCI. Шина PCI фактически является мультишинной системой, причем каждой шине назначаются свои устройства. Если присутствуют традиционные шинные системы, а они действительно обычно присутствуют, то эти устройства работают на своих шинах, а не на шине PCI.

Обычная шина распределяет ресурсы с помощью управляющих чипов IRQ и ПДП, сопряженными шинной системой PCI. PCI устройства все еще могут использовать прерывания и ПДП, но несколько другим образом, чем традиционные устройства. PCI шина имеет свои собственные внутренние прерывания, называемые INT#...

Функция plug and play (а фактически: «подключи и молись»¹) является способностью компьютера распознавать новые платы при их подключении к шине. Для традиционных плат (с интерфейсами ISA и EISA) распознавание функции PnP (plug and play) было затруднено. ISA система не может обеспечить специфическую информацию о плате, поэтому BIOS должен изолировать каждую плату и временно поработать с ней, чтобы ознакомиться с ее требованиями. Ресурсы распределяются только тогда, когда учтены все платы. Все платы PnP являются изолированными и проверенными, но активизируются только те, которые необходимы для загрузки

¹ Сарказм построен на созвучии фраз *Plug and play* и *Plug and pray*, где слово *pray* означает молиться. *Прим. перев.*

компьютера. Другим путем получения информации о плате являются сохранение информации в реестре операционной системы и ее считывание при загрузке. Все PnP устройства сначала конфигурируются, а затем активизируются при загрузке компьютера.

Необходимо помнить, что не все PCI платы поддерживают функцию PnP, но, поскольку они имеют возможность предоставить BIOS все необходимое, PCI платы являются замечательным средством для PnP. Для корректной реализации функции PnP необходимо иметь PnP-совместимый BIOS, PnP плату и операционную систему, поддерживающую функцию PnP. Это обеспечит наилучшую реализацию функции PnP. Однако множество людей имели проблемы с этой функцией, поскольку не все устройства PnP были полностью совместимы. Другой проблемой было то, что PnP устройства взаимодействовали друг с другом, что приводило к непредсказуемым результатам. Все эти проблемы были вызваны тем, что устройства не были реально многофункциональными.

Многофункциональные платы способны работать одновременно (что очевидно), не вмешиваясь в работу друг друга; иногда это производится только с помощью устройства, управляющего передачей данных по шине PCI. Подобное устройство может выделять время для доступа каждой платы к шине. Управляющее шинное устройство может определить время, на сколько PCI шина задержит операцию обмена данных между данным PCI гнездом и шиной ISA. Эта задержка производится с помощью таймера ожиданий.

PCI шина использует также внутреннюю систему прерываний, такую, как INT#1, INT#2, INT#3 и т.д. Эта система прерываний является внутренней (по отношению к шине PCI). Она не имеет никакой прямой связи с системой IRQ, но может быть использована, если конкретная плата нуждается в этом. Любое имеющееся прерывание может быть сопоставлено с INT#. Использование такой системы прерываний означает, что к PCI платам можно получить доступ без использования прерываний IRQ. Плата, назначенная главной, при необходимости может прерывать работу других PCI плат (подчиненных). PCI платы с INT# обычно конфигурируются на срабатывание по фронту IRQ, а не по уровню, как обычно делается для ISA плат.

В 1998 году были разработаны шины compactPCI и PXI, которые сочетали в себе свойства компьютерной шины PCI с промышленной системой подключения плат VME. Различные модификации шины VME в течение многих лет использовались в качестве шины промышленных стоек для установки печатных плат. Шина PCI является очень быстрым и удобным способом соединения компьютера с внешним миром. Сочетание свойств шин PCI и VME позволило достигнуть отличных результатов. Вместо того чтобы открывать ПК и вставлять в него PCI плату, пользователь может просто вдвинуть плату с передней стороны шасси. Она использует 5-рядный разъем с 2-мм шагом и согласованные по сопротивлению штырьки и гнезда.

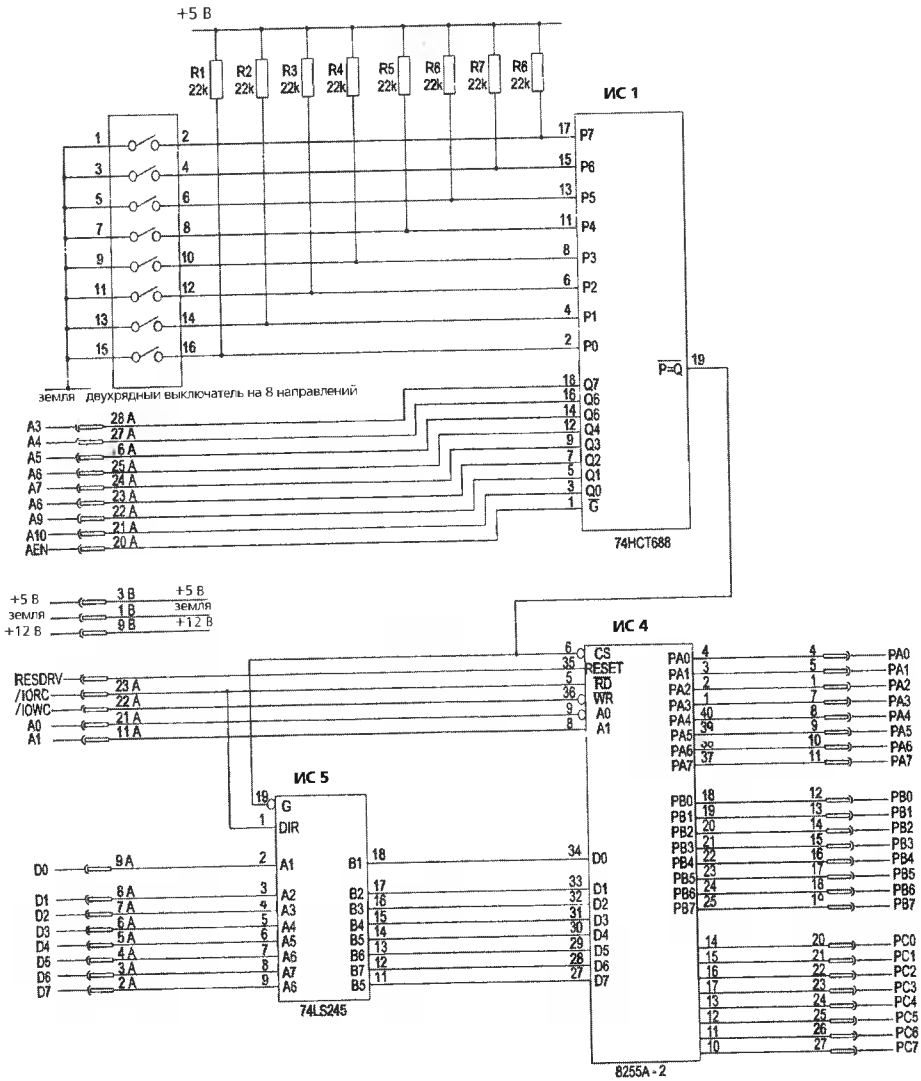


Рисунок 4.18
Структура PCI карты

Встроенная система экранирования увеличивает вдвое количество плат, подключаемых к шине, – с четырех до восьми. РХІ вариант шины compactPCI имеет дополнительные особенности, которые базовый вариант compactPCI не имеет. К ним относятся функции синхронизации и запуска, обеспечивающие синхронный сбор данных несколькими платами, а также возможность одной платы запускать другую без привлечения для этого основной системы.

4.9 Последовательная передача информации

Необходимость для компьютера обмениваться информацией с удаленными приборами и распределенными или автономными системами сбора данных, расположенными на далеких расстояниях по имеющейся телефонной сети, а также в качестве программируемых терминалов, привела к разработке различных адаптеров для последовательной передачи данных. Стандартный ПК имеет два асинхронных последовательных коммуникационных порта, называемых COM1 и COM2. DOS поддерживает до четырех таких портов, и поэтому некоторые ПК имеют также порты COM3 и COM4.

Электрические характеристики портов соответствуют опубликованному стандарту RS232, которые работают со скоростями от 50 бит/с до более чем 115,2 кбит/с. IBM совместимые ПК обычно снабжены коммуникационной интерфейсной платой с двумя последовательными портами RS-232.

4.9.1 Стандартные настройки

Адреса последовательных портов ввода/вывода:

Последовательный порт 1 (COM1) 03F8 Hex

Последовательный порт 2 (COM2) 02F8 Hex

Если компьютер имеет дополнительные последовательные порты, то они имеют адреса:

Последовательный порт 3 (COM1) 03E8 Hex

Последовательный порт 4 (COM2) 02E8 Hex

Используемые аппаратные прерывания:

Последовательный порт 1 IRQ 4

Последовательный порт 2 IRQ 3

Для связи по аналоговой телефонной линии к последовательному порту подключается модем, или модем может быть изготовлен в виде сменной платы. Модем преобразует цифровую информацию, создаваемую компьютером, в сигнал, который может быть передан по аналоговой линии. Некоторые модемы имеют встроенные устройства сжатия данных и коррекции ошибок, что позволяет достигать гораздо больших скоростей передачи данных, чем обеспечивает ширина полосы обычной телефонной линии.

COM порты используются также для подключения терминалов, позволяющих реализовать многозадачность и работу нескольких пользователей, как это происходит в системе UNIX; для этого часто требуется несколько COM портов. Имеются дополнительные платы, которые поддерживают два или четыре COM порта; еще большее количество COM портов может быть добавлено с помощью 8-портовых плат. DOS не поддерживает больше 4 портов, но само аппаратное обеспечение является точно таким же, что и для портов 1 – 4. Дополнительные COM порты связаны с другими адресами канала ввода/вывода, и доступ к ним может производиться напрямую с помощью прикладных программ.

4.9.2 Программируемые последовательные порты

Программируемые последовательные порты разрабатываются для облегчения нагрузки на ЦП главного компьютера. Обычно компьютер содержит микропроцессор 80186 с памятью, предназначенной только для чтения (ROM), а также операционную систему и некоторое количество ОЗУ. При инициализации платы операционная система загружается в ОЗУ вместе с другими программами пользователя. На плате имеется также двухпортовое ОЗУ, предназначенное для переноса информации от ЦП ПК и ОЗУ. Затем процессор 80186 опрашивает каждый из последовательных портов платы, чтобы считать поступающие данные или передать исходящие данные. Программы пользователя, находящиеся в ОЗУ, могут производить предварительную обработку данных, прежде чем отправлять их в системную память ПК. Передача данных производится либо путем ПДП, который использует немного памяти, либо путем отображения двухпортового ОЗУ на память ПК (по 64 кБ).

4.10 Способы организации интерфейса ПК IBM

Проблемы, которые могут потребовать рассмотрения при подключении расширительных плат к ПК IBM, зависят от того, разрабатываете ли вы плату для специальных целей или просто плату широкого назначения, которая потребует конфигурации.

Хотя основные вопросы остаются неизменными, их сложность определяется функциями, которые будет выполнять плата расширения.

В первую очередь необходимо рассмотреть следующее:

- Совместимость на аппаратном уровне
 - Сюда относятся такие физические требования, как тип разъема, размер платы, нагрузка на шину и т.п.
- Тип адресации
 - Будет адресация к расширительной плате производиться как к части памяти ПК или как к устройству ввода/вывода, является, очевидно, важным, чтобы адресация была уникальной и не конфликтовала с другими используемыми адресами памяти ПК.
- Требования к синхронизации
 - Синхронизация доступа к памяти и портам ввода/вывода, а также синхронизация прерываний и канала ПДП системной платы должна производиться в соответствии со строго заданными параметрами (это то, что делает плату «стандартной»). Вопрос синхронизации является очень важным, поскольку она очень сильно влияет на эффективность выполняемых платой функций, и на нее могут влиять аппаратные факторы самой шины, быстродействие ЦП и интегральных схем, используемых для создания платы расширения.

Все эти вопросы будут рассмотрены далее, поскольку они связаны с разработкой 8-разрядной 24-проводной программируемой управляемой пла-

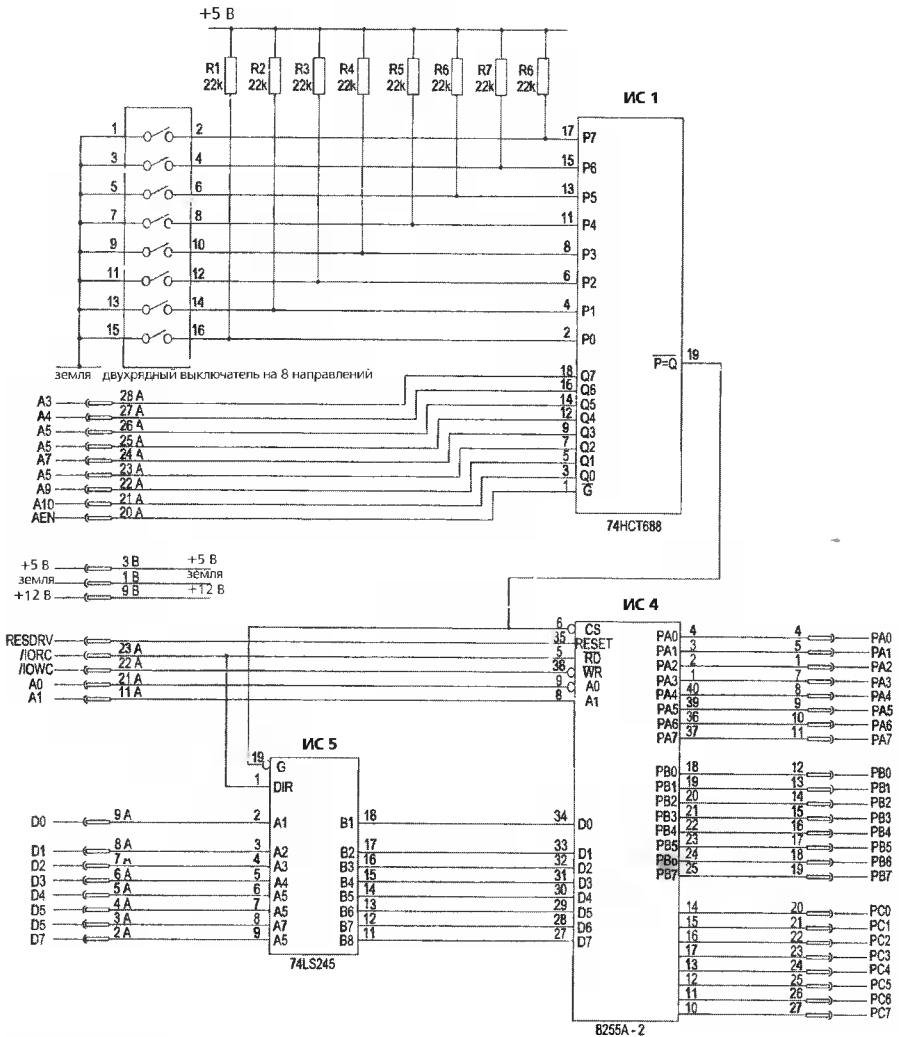


Рисунок 4.19
8-разрядная 24-проводная плата ввода/вывода

ты, являющейся интерфейсом к стандартной ISA-совместимой шине. Это показано на рисунке 4.18.

4.10.1 Аппаратное обеспечение

Физические размеры

К физическим характеристикам платы расширения, которые должны быть учтены, относятся физический размер самой платы и используемого разъема, а также ее конфигурация. Имеются две разновидности плат: оригинальная конфигурация дополнительной 8-разрядной платы ISA с одним

62-контактным разъемом (разработанная главным образом для компьютеров РС/XT) и 8/16-разрядная версия с дополнительным 36-контактным разъемом (для компьютеров РС/AT).

Емкостная нагрузка

Емкостной нагрузкой выходных сигналов шины является та емкость, которую «ощущает» формирователь сигнала линии и которая связана с длиной сигнальных линий шины. Если емкость увеличивается (при подключении дополнительных плат расширения), то сигнал искажается или задерживается, что может повлиять на условия синхронизации работы критических схем, зависящих от сигналов шины.

Если емкостная связь между сигнальными линиями значительна, особенно когда сигнальные линии передают высокочастотные сигналы, то взаимные помехи сигнальных линий также влияют на синхронизацию сигналов шины и производительность шины.

Особенно это важно, когда платы расширения подключаются к ПК длинными проводами и если установлено большое количество плат.

Обычной инженерной практикой производителей является умышленное ограничение длины сигнальных проводов на платах расширения.

Ширина полосы шины является максимальной частотой, с которой данные могут надежно передаваться по шине. Это относится к передаточным характеристикам каждой сигнальной линии шины, емкостной нагрузке каждой линии и емкостной связи между ними.

Хотя производство многочисленных клонов IBM означало, что разные производители обеспечивают разные характеристики, общая максимальная скорость передачи (ширина полосы шины) составляет 100 МГц.

Нагрузка шины

Простым и безопасным правилом здесь является то, что максимальная нагрузка, создаваемая для любой сигнальной линии шины, не должна превышать $2 LS TTL$ устройства.

Шумы источника питания (VCC)

Частота шумов, которые могут появиться в источнике питания, напрямую связана с частотой переключения состояний ИС, поскольку мощность, которую ИС берут от источника питания, изменяется при переключении состояния.

С помощью развязки каждой ИС на плате от источника питания с помощью керамического конденсатора емкостью 0,1 мкФ шумы, попадающие к источнику питания, можно значительно уменьшить. Если источник питания не использует развязку, то в этом случае высокочастотные помехи, возникающие при мощных переключениях одних ИС, могут воздействовать на другие ИС, а также через емкостную связь воздействовать на другие важные сигнальные линии шины, что может привести к нарушению операций шины расширения.

4.10.2 Декодирование адреса

Области памяти, к которым производится доступ, или карта адресов устройств ввода/вывода ПК должны иметь уникальную адресацию и не должны конфликтовать с остальной памятью или адресами портов ввода/вывода системы.

Базовый адрес устройства ввода/вывода определяет, где в памяти или адресном пространстве устройств ввода/вывода компьютер найдет нужное устройство и представит «наименьший» адрес, обеспечивающий доступ к устройству. Эта настройка должна быть уникальной для всех устройств ввода/вывода компьютера и не может попадать в адресное пространство никакого другого устройства. Память или расположение портов ввода/вывода обычно задается линейно от базового адреса вверх.

Устройство ввода/вывода должно корректно декодировать сигналы адреса, обеспечивая доступ только к соответствующим адресам. Задание адреса обычно производится с помощью двухрядного переключателя (DIP), расположенного в устройстве ввода/вывода.

Неиспользуемые адреса карты ввода/вывода ЦП зависят от типа компьютера (PC/XT/AT).

Нахождение неиспользуемой области в адресном пространстве ввода/вывода ПК возлагается на пользователя причем необходимо учитывать адреса всех остальных установленных устройств ввода/вывода.

Для обеспечения большей гибкости, общей практикой задания базового адреса устройства является использование большого диапазона адресов ввода/вывода.

Декодирование адресов на программируемой 24-проводной плате ввода/вывода производится компаратором 74НСТ688, который сравнивает адреса, выставленные на адресных линиях SA[9..2], со значением, установленным DIP переключателем. Если переключатель разомкнут, вход компаратора «Р» имеет высокое состояние, создаваемое резисторами, которые «поднимают» его до уровня 5 В, а замкнутый переключатель будет создавать на входе «Р» низкое состояние.

Выход компаратора будет низким (активным), если:

- Адресные линии SA[9..2] на входе «Q» имеют точно такие же состояния, что и соответствующие входы «Р», определяемые установленными переключателями
- Шинный сигнал AEN имеет низкое состояние
- Шинный сигнал AEN (разрешение адреса) необходим для того, чтобы адреса, появляющиеся на шине во время цикла ПДП, не принимались за адреса устройств ввода/вывода. Этот сигнал во время циклов ПДП выставляется управляющей логикой ПДП высоким, а если он низкий, то он указывает подчиненным устройствам ввода/вывода, что они могут реагировать на адреса и команды ввода/вывода, имеющиеся на шине

Таким образом, выход компаратора имеет низкий потенциал тогда, когда на шине присутствует действительный адрес из диапазона адресов платы, а цикл ЦДП не работает. Однако не обязательно устройство ввода/вывода должно реагировать на этот адрес, поскольку в адресном пространстве имеется большое количество адресов, которые будут иметь те же самые установленные адреса SA[9..2]. ЦП может производить цикл чтения из памяти или записи в память по одному из этих мест.

Управляющие сигналы ввода/вывода /IORC и /IOWC фактически используются для различия этих режимов.

- Сигнал /IORC принимает низкое значение во время цикла чтения из порта ввода/вывода, чтобы указать адресуемому устройству ввода/вывода, что оно должно выставить свои данные на системной шине данных. Чтобы обеспечить выдачу действительных данных на шину, действительные данные должны удерживаться устройством ввода/вывода после появления переднего фронта импульса /IORC
- Сигнал /IOWC принимает низкое значение во время цикла записи в порт ввода/вывода, чтобы указать адресуемому устройству ввода/вывода, что на системной шине имеются данные. Для обеспечения приема действительных данных устройство ввода/вывода должно зафиксировать данные по заднему фронту сигнала /IOWC

Для этого устройства ввода/вывода выход компаратора используется для выбора микросхем всех устройств платы, а управляющие линии /IORC и /IOWC – для указания действия, которое они должны производить.

Сравнение базового адреса производится для адресных линий SA[9..2] и не зависит от двух адресных линий SA1 и SA0, которые используются для адресации к четырем нижним устройствам ввода/вывода.

Таким образом, базовые адреса могут быть назначены любому месту от 0h до 7F8h, в пределах 8 разрядов.

4.10.3 Требования к синхронизации процессов

Одним из наиболее важных моментов в разработке интерфейсов расширительных устройств ввода/вывода является рассмотрение синхронизации всех процессов.

Медленные устройства ввода/вывода

Иногда устройства ввода/вывода, в частности память и соответствующие ей ИС, имеют большее время доступа, чем необходимо для нормального цикла чтения/записи устройства ввода/вывода или памяти.

Это органически преодолевается путем вставки в циклы чтения или записи тактов ожидания; такт ожидания является условием того, что все линии шины остаются в их текущем состоянии до завершения полного шинного цикла (BCLK).

Декодировав действительный адрес и обнаружив один из управляющих сигналов (например, /IORC), устройство ввода/вывода переводит сигнал

CHRDY в низкое состояние, таким образом давая ЦП процессору сигнал, что требуется состояние ожидания. ЦП процессор будет вставлять такты ожидания до тех пор, пока не будет обнаружен низкий уровень сигнала CHRDY, включаемый задним фронтом цикла BCLK.

Когда устройство ввода/вывода требует добавления тактов ожидания, то в этом случае должна быть достаточная гибкость в выборе изменяющегося количества тактов ожидания. Чаще всего количество тактов ожидания задается путем аппаратной настройки логики устройства ввода/вывода (переключатели или перемычки), обеспечивающего необходимый сигнал CHRDY. Гибкость необходима потому, что чем быстрее ПК, к которому подключено устройство ввода/вывода, тем большее количество тактов ожидания требуется.

Примечание: сигнал CHRDY должен переводиться в низкое состояние схемой с открытым коллектором или выходным каскадом с тремя состояниями и никогда не должен принимать высокое состояние. Он не должен находиться в низком состоянии более 2,5 мкс (около 10 периодов BCLK, что по длительности меньше).

Быстродействующие устройства ввода/вывода

И наоборот, устройство ввода/вывода может быть очень быстродействующим, и ему может не потребоваться все время, занимаемое стандартным шинным циклом. В этом случае устройство ввода/вывода должно активизировать сигнал /NOWS (отсутствие ожидания). Он должен быть обнаружен по заднему фронту сигнала BCLK.

Все циклы чтения/записи в память или устройство ввода/вывода могут быть укорочены, за исключением 16-разрядного цикла чтения/записи.

Примечание: сигнал /NOWS должен переводиться в низкое состояние схемой с открытым коллектором или выходным каскадом с тремя состояниями и никогда не должен иметь высокое состояние.

Практические вопросы синхронизации

Для определения того, требует ли устройство ввода/вывода добавления тактов ожидания (или фактически может ли быть уменьшено количество тактов ожидания, задаваемое по умолчанию), необходимо анализировать времена доступа адресуемых ИС устройства.

Возвращаясь к временной диаграмме стандартного 6-тактного цикла ввода/вывода, можно видеть, что линия /IORC переключается в низкое состояние приблизительно на середине такта T_2 , что побуждает адресуемое устройство выставить данные на линиях шины данных $D[7..0]$.

ЦП фиксирует данные, имеющиеся на шине, как раз до возвращения линии /IORC в высокое состояние, что происходит в конце такта T_6 .

Период, когда сигнал /IORC остается низким, составляет 4,5 машинных такта, которые для 10 МГц цикла BCLK (период 100 нс) соответствуют 450 нс.

Учитывая шинные задержки 25 нс и задавая для гарантии время установления 25 нс, данные на шине данных должны быть в течение 400 нс после перехода импульса /IORS в низкое состояние.

Необходимо рассмотреть два дополнительных вопроса:

- Время доступа к ИС 8255 (время доступа является задержкой переключения линии чтения в низкое состояние, подтверждающей действительность выставленных данных на линиях ИС 8255)
- Время прохождения через приемник 74LS245, составляющее около 25 нс (см. спецификации производителя)

Изучая спецификации ИС 8255А (имеются в справочнике производителя), можно видеть, что линия чтения должна переключаться в низкое состояние за 300 нс, а время доступа составляет 250 нс (или 200 нс для более быстрой микросхемы типа 8255А-5).

Цикл записи рассматривается аналогично. Спецификация ИС 8255 показывает, что длительность импульса записи должна быть 400 нс (или 300 нс для более быстрой ИС 8255А), данные должны быть действительными за 100 нс до того, как линия записи перейдет в высокое состояние, и оставаться действительными в течение 30 нс после этого.

Следовательно, ИС 8255А-5 вполне может обеспечить интерфейс с расширительной шиной ПК без введения тактов ожидания, но использование более медленной ИС 8255А может, в общем, не подойти, даже хотя она удовлетворяет требованиям этого ПК.

Это справедливо для ПК, тактовые частоты VCLK которого не превышают 10 МГц. В ПК с тактовой частотой VCLK, равной 13,7 МГц и имеющей цикл ввода/вывода с тремя состояниями вместо четырех, строб /IORS имеет низкое состояние в течение 3,5 машинных такта X 73 нс (255 нс). Это не удовлетворит требованиям синхронизации ИС 8255А. Чтобы использовать плату на этом компьютере, устройство ввода/вывода потребует дополнительных тактов ожидания.

Сменные платы сбора данных

5.1 Введение

За последние годы разница между системами сбора данных и управляющими системами уменьшилась вследствие того факта, что постоянно увеличивающееся количество систем разрабатывается не только для сбора данных, но и для воздействия на контролируемый процесс. Это справедливо и по отношению к широкому спектру имеющихся в настоящий момент сменных плат сбора данных и управления. Часто используемые многоцелевые платы сбора данных, имеющиеся сейчас на рынке, обычно сочетают в себе все необходимые компоненты для сбора данных и управления. К этим компонентам относятся схемы для измерения и преобразования аналоговых входных сигналов в цифровой формат; схемы для получения из цифровых сигналов управления аналоговых выходных сигналов; схемы счетчиков/таймеров, а также цифровые интерфейсы ввода/вывода. В зависимости от количества аналоговых и цифровых входов/выходов, необходимых для конкретного применения, многоцелевые платы могут представлять наиболее эффективное по стоимости и гибкое решение для систем СДА. Кроме того, производятся и широко используются специализированные сменные платы, предназначенные для выполнения описанных выше отдельных функций, которые необходимо выполнять в системах сбора данных и управления.

Вот некоторые примеры сменных плат:

- Аналоговые входные платы (аналого-цифровые преобразователи)
- Аналоговые выходные платы (цифроаналоговые преобразователи)
- Цифровые платы ввода/вывода
- Платы счетчиков/таймеров для схем ввода/вывода

Компьютерные сменные платы часто представляют самую дешевую альтернативу полной системе сбора данных и управления различными процессами. Поскольку эти платы связаны напрямую с внешней шиной ввода/вывода главного компьютера, они обычно являются компактными и обеспечивают самый быстрый способ сбора данных и/или изменения управляющих выходных сигналов. Чаще всего такие платы используются в таких системах, где компьютер находится недалеко от датчика, производящего измерения, или от управляемого исполнительного устройства. Как вариант они

могут быть соединены интерфейсом с удаленными датчиками и исполнительными механизмами с помощью модулей преобразования сигнала, известных как двухпроводные передатчики.

Для простоты в этой главе будут по отдельности рассмотрены различные вопросы, касающиеся систем сбора данных и управления, и кратко описаны основные компоненты типичных сменных плат, используемых в этих системах, а также важные технические моменты, связанные с классификацией сменных плат. Будут также рассмотрены различные способы использования интерфейса плат ввода/вывода аналоговых и цифровых сигналов, возникающие при этом проблемы, а также способы дискретизации сигнала.

5.2 Платы АЦП

Входные аналоговые платы (АЦП) преобразуют аналоговые напряжения от внешних источников сигналов в цифровой формат, который может быть обработан главным компьютером. Функциональная схема типичной аналоговой платы показана на рисунке 5.1. В состав платы входят следующие компоненты:

Схемы выборки и хранения входного сигнала (для одновременной дискретизации сигналов нескольких каналов)

- Входной мультиплексор
- Усилитель входного сигнала
- Схема выборки и хранения

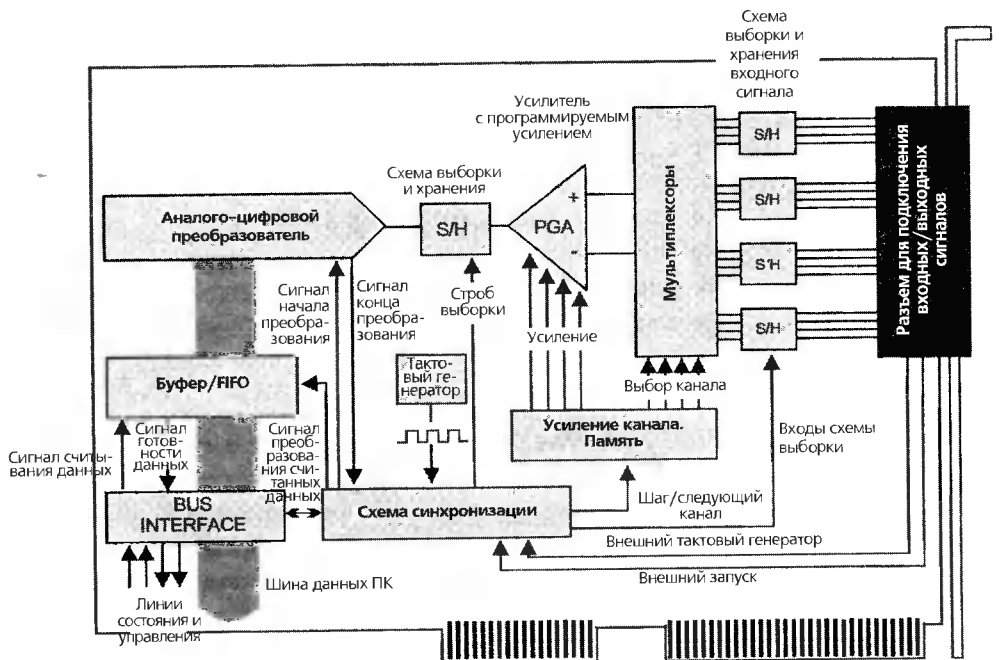


Рисунок 5.1

Функциональная схема типичной аналоговой платы

- Аналого-цифровой преобразователь (АЦП)
- Буфер FIFO
- Система синхронизации
- Интерфейс шины

Каждый из этих компонентов играет важную роль в том, насколько быстро и точно плата АЦП может собирать данные.

5.2.1 Мультиплексоры

Мультиплексор является устройством, которое подключает один из его аналоговых входов (обычно до 16 однопроводных линий) к выходу; входной канал задается с помощью двоичного кода, подаваемого на входные адресные линии. Требуемое количество адресных линий определяется числом мультиплексируемых (переключаемых) входных каналов. Таким образом, для 16-канального мультиплексора необходимы четыре адресные линии.

Платы аналого-цифрового преобразования облегчают выполнение выборки при оцифровывании сигналов с нескольких входов в разное время. АЦП производит выборку сигнала одного канала и переключается к следующему каналу, производит выборку на этом канале и переключается к следующему и т.д. Мультиплексирование устраняет необходимость иметь усилитель сигнала и аналого-цифровой преобразователь для каждого входного канала и тем самым уменьшает стоимость плат аналого-цифрового преобразования.

Важные параметры

Двумя параметрами, которые особенно заметно влияют на скорость, с которой мультиплексор переключает каналы (скорость коммутации), являются время установления и время переключения.

Время установления

Время установления является временем, которое требуется для установления входного сигнала на выходе мультиплексора с учетом заданной ошибки, когда входной сигнал канала переключается от $-FS$ (максимальное отрицательное напряжение) до $+FS$ (максимальное положительное напряжение), т.е. от $+FS$ до $-FS$.

Время переключения

Время переключения является временем, за которое выходное напряжение мультиплексора становится равным входному напряжению при переключении с одного канала на другой.

Пропускная способность

Пропускная способность считается меньше времени установления или времени переключения, поскольку возможна ситуация, когда на одном канале будет напряжение $-FS$, а на следующем подключаемом канале — $+FS$. Про-

пусковая способность мультиплексора является одним из важных факторов, определяющих полную пропускную способность платы цифроаналогового преобразования.

5.2.2 Усилитель входного сигнала

Для достижения максимальной точности измерения входного аналогового сигнала его диапазон изменения должен соответствовать полной шкале АЦП. Рассмотрим сигнал низкого уровня, порядка долей милливольт, поступающий напрямую на 12-разрядный АЦП с полным входным диапазоном 10 В. Результатом будет потеря точности измерений, поскольку АЦП имеет разрешение только 2,44 мВ. Поэтому в данной ситуации сигнал необходимо сначала усилить.

Усиление обычно производится с помощью высококачественного инструментального усилителя, который должен характеризоваться следующими показателями:

- Наличие дифференциальных входов
- Высокое входное сопротивление
- Низкие выходные токи смещения
- Низкая скорость дрейфа
- Высокая степень подавления синфазных сигналов

На платах аналого-цифрового преобразования обычно используются два типа усилителей, выбор которых определяется соотношением стоимости и качества выбранной платы. Некоторые платы АЦП имеют встроенные усилители, усиление которых можно регулировать аппаратным образом. В то время как платы, которые имеют усилители с программируемым коэффициентом усиления, позволяют с помощью программного обеспечения задавать для разных каналов разное усиление.

Регулируемые усилители с фиксированным усилением
(устанавливаемые на плате)

Коэффициент усиления таких усилителей обычно подстраивается с помощью потенциометров или установкой переключек на плате. Платы АЦП, содержащие усилители с фиксированным усилением, должны использоваться в таких случаях, когда уровни сигналов каждого из входных каналов имеют одинаковые диапазоны изменения, совпадающие с диапазоном входных напряжений АЦП.

Сигналы с разными уровнями должны подвергаться внешнему преобразованию и усилению, прежде чем они могут быть направлены на платы с фиксированным усилением. Более гибкой альтернативой является использование усилителей с программируемым усилением, которые рассматриваются ниже.

Усилители с программируемым усилением

Усилители с программируемым усилением позволяют задавать усиление входного усилителя программным образом путем однократной записи в ре-

гистр платы кода, определяющего усиление каждого канала. Это особенно удобно в тех ситуациях, когда в разных каналах сигнал имеет разные уровни и разные диапазоны изменения. В зависимости от уровня измеряемого сигнала коэффициент усиления усилителя может быть задан для каждого канала таким, чтобы выходной диапазон входного сигнала соответствовал полной шкале АЦП, что при измерении позволит получить лучшее разрешение и большую точность. Обычно коэффициент усиления, хотя и программируется, выбирается из заданного диапазона усилений, позволяющего усилителю находиться в пределах рабочего диапазона напряжений и избегать насыщения. На некоторых высококачественных платах усиление усилителя подстраивается автоматически, в зависимости от уровня входного сигнала.

Важные параметры усилителя сигналов

На точности и быстродействии усилителя входных сигналов в первую очередь сказываются два параметра: дрейф усилителя и время установления.

- Калибровка и дрейф

Калибровка усилителя, позволяющая устранить смещение напряжения и ошибку коэффициента усиления, действительна только для той температуры, при которой производилась калибровка. Со временем и при изменении температуры характеристики усилителя изменяются, или *дрейфуют*, приводя к ошибкам смещения и усиления, называемыми соответственно *дрейфом смещения* и *дрейфом коэффициента усиления*. Дрейф смещения и усиления в миллионных долях на градус Цельсия (промиль/°C) определяет чувствительность усилителя по отношению к изменению температуры.

Вклад в естественную тенденцию дрейфа характеристик усилителя вносит также тот факт, что потенциометры усилителей с фиксированным усилением также склонны к температурному и временному дрейфу.

- Время установления

Время установления определяется как время задержки между идеальным перепадом напряжения (ступенька) на входе усилителя и реальным сигналом, измеряемым с заданной точностью на выходе.

Усилители характеризуются тем, что пропускная способность уменьшается с увеличением усиления. Это обусловлено тем, что при больших коэффициентах усиления выходной сигнал изменяется на большую величину, что увеличивает время установления. Это применимо как к усилителям с фиксированным усилением, так и к программируемым усилителям. Если АЦП производит выборку усиленного входного сигнала до того, как сигнал на выходе усилителя уже установится (т.е. время между выборками будет меньше времени установления усилителя сигнала), то может быть получено неточное значение сигнала. Медленное время установления является одной из главных проблем, поскольку степень неточности зависит от коэффициента

усиления и частоты выборки, которые не могут быть переданы главному компьютеру.

Для работы в диапазонах входных сигналов самых низких уровней, которые требуют самых больших усиления, платы аналого-цифрового преобразования подстраивают свою внутреннюю работу таким образом, чтобы обеспечить большее время установления для выходных сигналов усилителя. Это означает, что наибольшее допустимое время установления и вызванная этим пропускная способность накладывают ограничения на задаваемый коэффициент усиления. Современные платы АЦП учитывают требуемые входной диапазон и коэффициент усиления и обеспечивают максимальную пропускную способность при высоких уровнях входных сигналов, для которых требуется меньшее усиление.

5.2.3 Массив коэффициентов усиления

На оригинальных платах АЦП адрес канала, на котором производится выборка, записывается в мультиплексор, код коэффициента усиления подается на усилитель с программируемым усилением, и работа АЦП инициируется при установлении сигнала. Потом данные считываются и передаются в память ПК. Это предполагает объемное программное обеспечение. Фоновые операции, использующие прерывания, организовать труднее, и они работают медленнее, чем опрашиваемый ввод/вывод, причем ни один из этих способов не обеспечивает точное задание времени выборки и высокой скорости передачи данных (например, использование ПЦП).

Массивы коэффициентов усиления, используемые на многих платах АЦП, позволяют преодолеть эти ограничения. Массив адресов каналов/коэффициентов усиления является программируемым буфером памяти, который находится на плате АЦП и который содержит адреса каналов и коэффициенты усиления для каждого входного канала, по которым производятся выборки. Коэффициент усиления усилителя для каждого конкретного канала задается внутренним аппаратным обеспечением, выполняющим необходимые действия до того, как на канале будет производиться выборка; эти действия основываются на значениях усиления, считываемых из массива адресов каналов/коэффициентов усиления. Если для всех каналов предусмотрен один усилитель с программируемым усилением, то коэффициент усиления каждого канала хранится в массиве адресов каналов/коэффициентов усиления. Если же для каждого канала имеется отдельный усилитель с программируемым усилением, то в массиве хранятся только коэффициенты усиления для каждого входного усилителя. Усиление каждого канала остается постоянным до тех пор, пока оно вновь не будет задано программным образом. Массивы адресов каналов/коэффициентов усиления имеют разные размеры – от нескольких пар адресов каналов/коэффициентов усиления (по одной паре на каждый канал) до нескольких тысяч пар.

5.2.4 Схемы выборки и хранения

Как показано на рисунке 5.2, устройство выборки и хранения (S/H) состоит из входа аналогового сигнала и входного буфера, выхода аналогового сигнала и выходного буфера, устройства хранения заряда (обычно конденсатор) и управляющего входа, который управляет ключевой схемой, соединяющей вход с выходом.

Как подразумевает название, схема выборки и хранения имеет два состояния. В режиме выборки поступающая на управляющий вход команда на выборку замыкает внутренний ключ, позволяя выходному напряжению максимально близко соответствовать входному. В этом режиме конденсатор хранения заряжается до уровня подаваемого на вход напряжения. Когда на управляющий вход подается команда хранения, ключ размыкается, отключая выход от входа. Когда ключ разомкнут, высокое входное сопротивление выходного усилителя предотвращает быстрый разряд конденсатора, при этом конденсатор хранения сохраняет значение входного сигнала в том состоянии, которое было на момент подачи на управляющий вход команды хранения.

За исключением некоторых параллельных АЦП, которые работают очень быстро, большинство АЦП требуют фиксированного временного периода, во время которого преобразуемый входной сигнал остается постоянным. При установке на входе АЦП эту функцию производит схема выборки и хранения, которая запрашивает аналоговый сигнал именно в тот момент, когда управляющий вход становится активным. Затем АЦП может преобразовать напряжение, обеспечиваемое схемой выборки и хранения, минимизируя неточности преобразования, вызванные изменениями сигнала во время процесса преобразования.

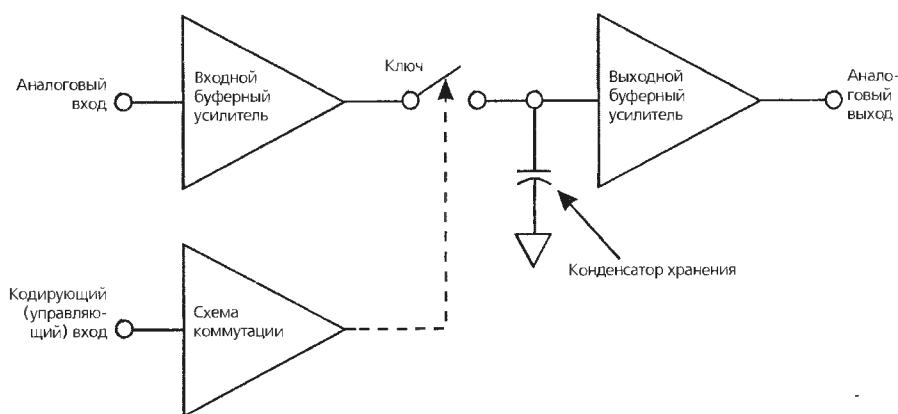


Рисунок 5.2

Функциональная схема устройства выборки и хранения

Важные параметры сигнала

- **Время установления ячейки хранения**
Время, которое проходит от момента подачи команды выборки до момента, когда выходной сигнал становится равным входному сигналу, с учетом заданной точности, называется временем отбора или временем установления сигнала.
- **Апертурное время**
Апертурным временем называется время, необходимое ключу для перехода из состояния выборки, измеряемого от полувысоты управляющего сигнала, в состояние хранения (время, когда выходной сигнал перестает отслеживать входной сигнал).
- **Неопределенность апертурного времени**
Эта величина представляет разницу между максимальным и минимальным апертурными временами.
- **Скорость спада напряжения**
Практическая схема выборки и хранения в режиме хранения не может поддерживать выходное напряжение бесконечно долго. Скорость, с которой оно уменьшается, известна как скорость уменьшения или разряда.
- **Одинаковость апертурного времени**
Платы сбора данных способны производить одновременную выборку по разным каналам (описание одновременной выборки см. на странице 153), что требует для каждого канала своей схемы выборки и хранения. Чем меньше для каждой из этих схем апертурное время и неопределенность апертурного времени, тем уже временной диапазон, в течение которого все измерения будут произведены. Для плат сбора данных это называется одинаковостью апертурного времени для всех схем. Чем точнее соответствие апертурных времен, тем более близко во времени будут расположены одновременные выборки.

Необходимо отметить, что на платах АЦП, которые производят одновременные выборки, схемы выборки и хранения располагаются перед АЦП, поскольку выборка каждого канала мультиплексируется к АЦП. Некоторые АЦП имеют встроенные схемы выборки и хранения, и в этом случае предшествующие схемы выборки и хранения не требуются.

5.2.5 Аналого-цифровые преобразователи

Сигналы, характеризующие реальный мир, являются аналоговыми сигналами, представляющими некоторый измеренный физический параметр в каждый момент времени. Они должны быть преобразованы в дискретный сигнал, который может быть интерпретирован и обработан компьютером. Как и предполагает само название, аналого-цифровые преобразователи (АЦП) измеряют напряжение входного аналогового сигнала и преобразуют

его в цифровой формат. АЦП, следовательно, является основным элементом аналого-цифровой платы или системы сбора данных.

Основные типы используемых АЦП и специфические параметры, характеризующие их работу, подробно описываются в следующих разделах.

АЦП с последовательным приближением

Аналого-цифровое преобразование с последовательным приближением является хорошо известным и распространенным методом прямого АЦП преобразования, используемым в системах сбора данных, поскольку он обеспечивает высокие скорости выборки и высокое разрешение, имея при этом относительно невысокую стоимость. Для 12-разрядных АЦП обычной является частота преобразований порядка нескольких килогерц, в то время как 16-разрядные АЦП, построенные на использовании гибридного метода преобразования (т.е. последовательное приближение плюс более быстрый метод, например параллельное преобразование), способны обеспечить частоту до 1 МГц, оставаясь относительно недорогими. Одним явным преимуществом этого метода преобразования является то, что он имеет фиксированное время преобразования, пропорциональное количеству разрядов n цифрового выхода. Если время аппроксимации T , то время преобразования n -разрядного преобразователя будет составлять приблизительно nT . Каждый последующий разряд, который удваивает точность АЦП, увеличивает время преобразования только на период T . Функциональная схема n -разрядного аналого-цифрового преобразователя последовательного приближения показана на рисунке 5.3.

Метод последовательного приближения вырабатывает каждый бит выходного кода последовательно, начиная с наиболее старшего разряда. Эта операция аналогична операции двоичного поиска и основана на последовательном приближении при сравнении входного аналогового сигнала и аналогового сигнала с внутреннего цифроаналогового преобразователя.

АЦП начинает процедуру преобразования с подключения цифрового входа к ЦАП, так что его выходное аналоговое напряжение составляет половину напряжения от всей шкалы АЦП. Для сравнения аналогового выхода ЦАП с измеряемым входным сигналом используется компаратор.

Если входной аналоговый сигнал больше, то самый старший разряд ЦАП принимает значение логической 1, и затем следующий по старшинству разряд ЦАП принимает значение логической 1, устанавливая аналоговый выход ЦАП равным $3/4$ полной шкалы напряжений. Если входной аналоговый сигнал меньше этого напряжения, то старший разряд ЦАП принимает значение логического 0, а следующий по значимости разряд принимает значение логической 1, устанавливая аналоговый выход ЦАП равным $1/4$ всей шкалы.

Каждый последующий шаг делит оставшуюся часть входного диапазона пополам и затем снова сравнивает его с входным аналоговым сигналом. Эта процедура повторяется до тех пор, пока во время процесса преобразования

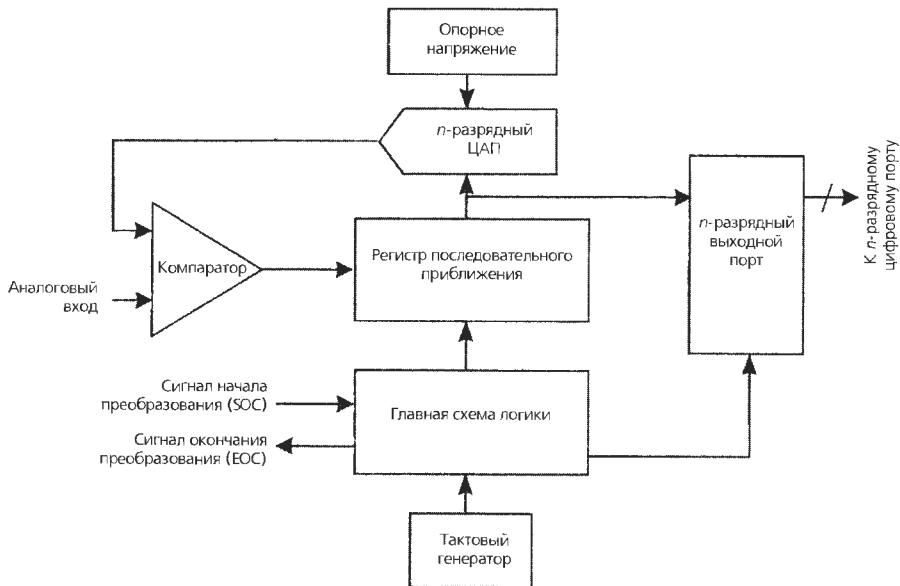


Рисунок 5.3

Функциональная схема n -разрядного АЦП последовательного приближения

не изменятся все n разрядов АЦП. Очевидным является тот факт, что входной аналоговый сигнал, подаваемый на АЦП, во время процесса преобразования не должен изменяться, поэтому используется схема выборки и хранения.

Параллельные аналого-цифровые преобразователи

Параллельные аналого-цифровые преобразователи являются самыми быстрыми АЦП, работающими со скоростями до сотен мегагерц. Этот тип устройств используется там, где требуются чрезвычайно высокие скорости преобразования с невысоким разрешением, например 8 разрядов.

На рисунке 5.4 показана функциональная схема n -разрядного параллельного аналого-цифрового преобразователя. Каждый из $2^n - 1$ компараторов одновременно сравнивает напряжение входного сигнала с опорным напряжением, определяемым его положением в последовательной цепочке резисторов, обеспечивая соответствующий выходной код устройства. Параллельное аналого-цифровое преобразование работает быстрее других способов, поскольку каждый разряд выходного кода определяется мгновенно, независимо от количества разрядов. Однако чем больше разрешение устройства, тем требуется большее количество компараторов, необходимых для выполнения преобразований. Фактически каждый дополнительный разряд удваивает количество компараторов и, таким образом, увеличивает размеры и стоимость преобразователя.

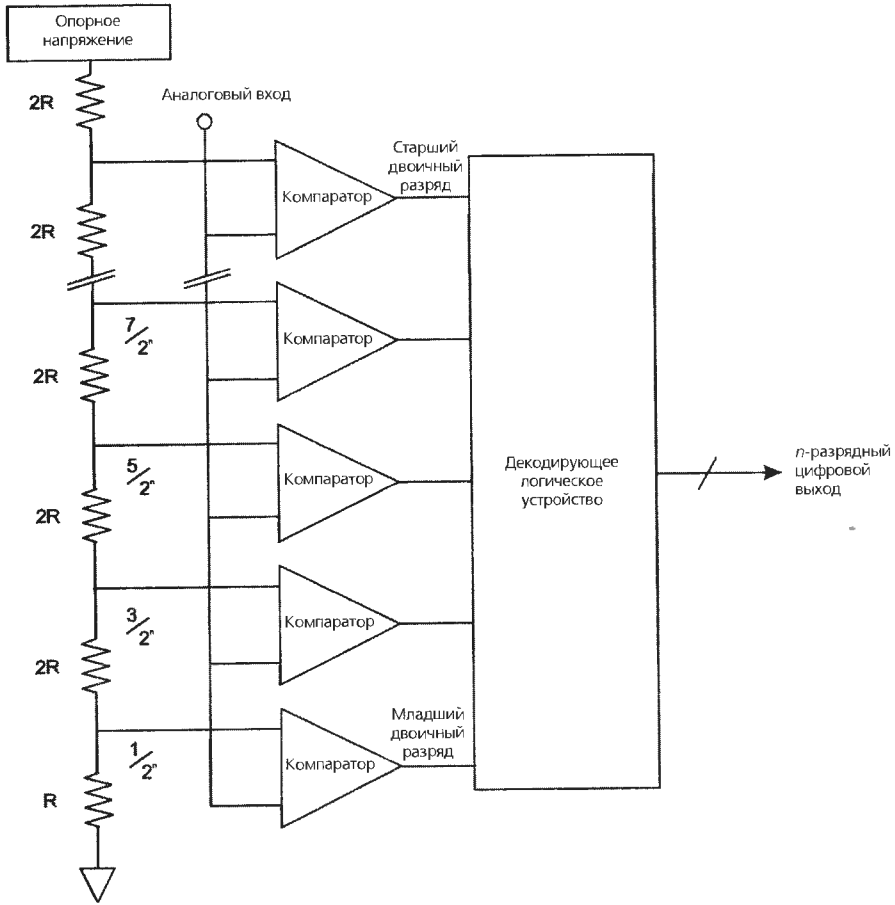


Рисунок 5.4

Функциональная схема n -разрядного параллельного аналого-цифрового преобразователя

Параллельные АЦП чаще встречаются на специализированных платах, таких, как цифровые осциллографы, платы обработки сигнала в реальном времени и прочие быстродействующие устройства.

Интегрирующие аналого-цифровые преобразователи

Интегрирующие АЦП используют косвенный метод аналого-цифрового преобразования, с помощью которого входное аналоговое напряжение преобразуется во временной период, длительность которого определяется с помощью счетчика. Функциональная схема двухтактного интегрирующего АЦП приводится на рисунке 5.5 (а).

Работа двухтактного интегрирующего АЦП основана на том принципе, что на выходе интегратора, подключенного к постоянному входному напряжению, будет линейно-возрастающее напряжение, наклон которого отрицателен и пропорционален величине входного напряжения.

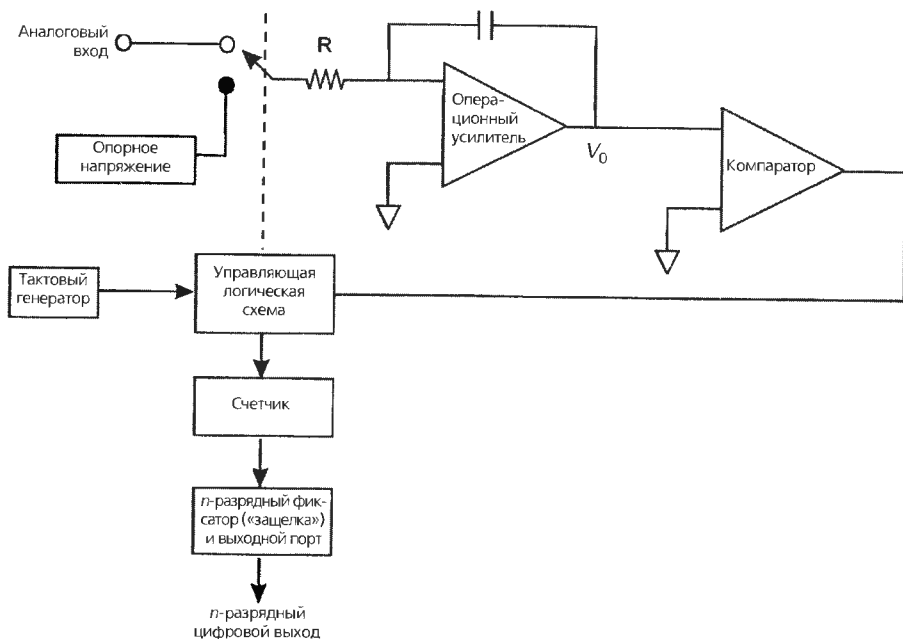


Рисунок 5.5 (а)

Функциональная схема n -разрядного двухтактного интегрирующего АЦП

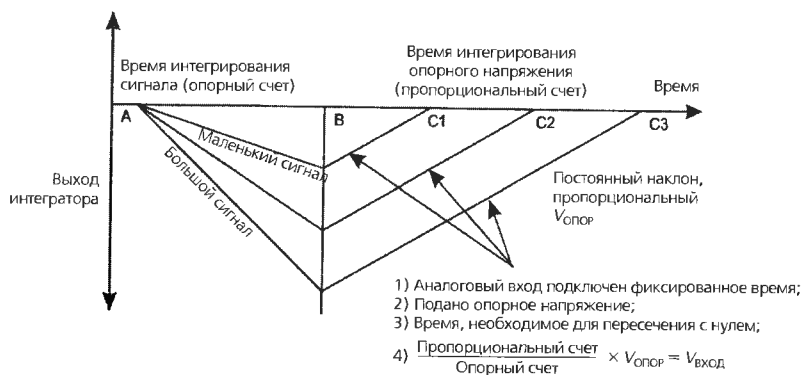


Рисунок 5.5 (б)

Временная диаграмма сигнала в точке V_0

В начале аналого-цифрового преобразования опорный счетчик обнуляется, и измеряемый аналоговый сигнал подается на вход интегратора. Как только выходное напряжение интегратора достигнет нуля, начинается счет с фиксированным интервалом. Спустя заданный период счета T счетчик останавливается. При положительном входном аналоговом напряжении выход интегратора достигает отрицательного значения, пропорционального амплитуде входного сигнала. Это показано на рисунке 5.5 (б). Если анало-

говый входной сигнал изменяется во время фиксированного интервала счета, то выходное напряжение интегратора будет пропорционально среднему отклонению входного сигнала за время счета. Этот факт особенно полезен для устранения периодических помех и/или сетевых наводок на входе.

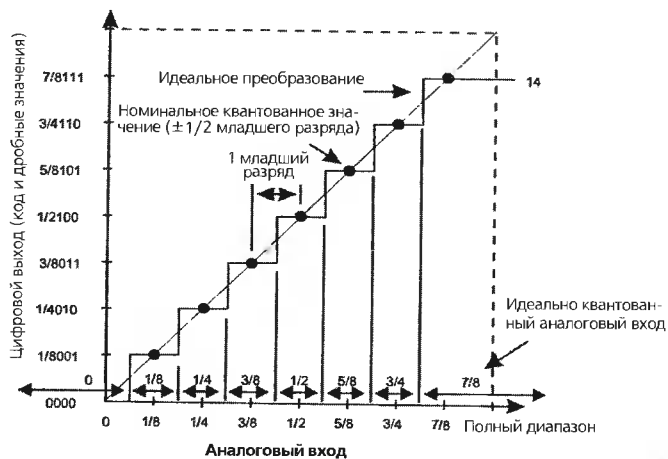
В этот момент счетчик снова обнуляется. Теперь на вход интегратора подается фиксированное опорное напряжение, и начинается счет. Когда выход интегратора снова возвратится к нулю, счет останавливается. Среднее значение входного аналогового сигнала равно отношению показаний счетчика, умноженному на опорное напряжение. Этот метод очень эффективен при усреднении, поскольку позволяет устранить периодические помехи, появляющиеся на аналоговом входе.

Интегрирующие АЦП обычно имеют дополнительную фазу, предшествующую измерению, во время которой устройство производит автоматическую операцию калибровки и настройки нуля. Точность данного устройства определяют стабильность, точность и скорость тактового устройства во время периода счета, а также точность и стабильность опорного напряжения.

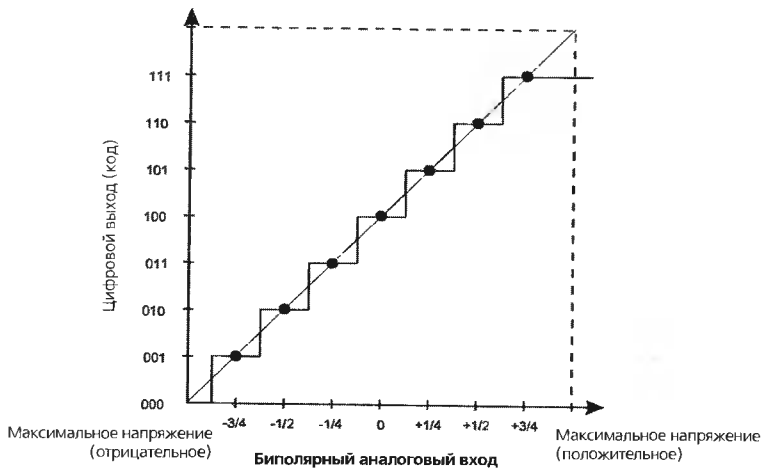
Эти устройства не являются быстродействующими и работают обычно со скоростью до нескольких сотен герц. Однако они способны обеспечить большую точность и разрешение при низкой стоимости. По этой причине такие АЦП используются главным образом в низкочастотных применениях, таких, как измерение температуры, в цифровых мультиметрах и в некоторых измерительных приборах.

Важные параметры АЦП

Преобразование аналогового сигнала в цифровой является, по существу, операцией, при которой входной аналоговый сигнал сравнивается с некоторым опорным сигналом (напряжение полного диапазона), преобразуется в часть от этого значения и затем представляется цифровым значением. При аппроксимации аналогового значения производятся две операции. Во-первых, квантование или отображение аналогового входа на один из нескольких дискретных диапазонов и, во-вторых, назначение двоичного кода каждому из этих дискретных диапазонов. На рисунке 5.6 (а) показана идеальная функция преобразования для 3-разрядного АЦП с однополярным входом (от 0 В до FSV). Горизонтальная ось представляет входной аналоговый сигнал как часть полного диапазона (FSV), а вертикальная ось представляет цифровой выход. n -разрядный АЦП имеет 2^n отдельных выходных кодов. Хотя 3-разрядный АЦП и не используется в практических системах сбора информации, он представляет удобный пример преобразования, поскольку подразделяет входной аналоговый диапазон на $2^3 = 8$ участков, каждый из которых представляет двоичный код между 000 и 111. На рисунке 5.6 (б) показана идеальная функция преобразования 3-разрядного АЦП с биполярным входом (от $-FSV$ до $+FSV$). Она эквивалентна функции однополярного преобразования, за исключением того, что сдвинута на значение, равное $-FSV$.



(а) Функция преобразования для однополярного входа



(б) Функция преобразования для биполярного напряжения

Рисунок 5.6

Идеальная функция преобразования 3-разрядного АЦП

Ниже рассматриваются некоторые важные параметры АЦП, относящиеся к рисунку 5.6

Погрешность

Погрешность является основным параметром, приводимым в спецификациях АЦП, и определяется как диапазон входного аналогового напряжения, на который приходится один цифровой разряд АЦП. Номинальным значением погрешности преобразователя для всех, кроме первого и последнего, разрядов идеальной характеристикой преобразования является эквивалент напряжения для 1 младшего разряда всего диапазона АЦП. Таким образом, для идеального 12-разрядного аналого-цифрового преобразователя

с полной шкалой 10 В погрешность будет составлять 2,44 мВ. Шумы и другие ошибки преобразования могут вызывать изменение погрешности преобразователя, однако для реальных преобразователей погрешность не должна быть меньше $1/2$ или больше $3/4$ младшего разряда.

Разрешение

Разрешение определяется количеством дискретных участков, на которые полная шкала входного напряжения (FSV) аналого-цифрового преобразователя может быть разделена, чтобы аппроксимировать входное аналоговое напряжение. Оно обычно выражается количеством разрядов, которые АЦП использует для представления входного аналогового напряжения (т.е. n разрядов), или как часть максимального количества дискретных уровней, которые могут использоваться для представления аналогового сигнала (т.е. $1/2^n$). Разрешение только дает представление о самом маленьком изменении входного сигнала, которое может быть определено идеальным АЦП или фактически его идеальной погрешностью. Например, при измерении входного сигнала в диапазоне 0–10 В наименьшим изменением напряжения, которое АЦП с 12-разрядным разрешением может различить, эквивалентно следующей величине: $1/4096 * FSV = 10/4096 = 2,44$ мВ.

Следовательно, каждые 2,44 мВ изменений на входе будут приводить к изменениям на выходе в ± 1 младший разряд или $\pm 0 \times 001$ h. Напряжение 0 В будет представлено величиной 0×001 h, в то время как максимальное напряжение будет представлено величиной $0 \times FFF$ h и равно 9,9976 В. Вследствие ступенчатой природы идеальной характеристики преобразования АЦП может перейти на следующий цифровой уровень и при намного меньшем изменении входного напряжения, но вероятность этого перехода невелика. Изменения, меньшие, чем 2,44 В, практически обнаруживаться не будут. Если тот же самый 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь использовать для измерения входного сигнала в диапазоне от -10 В до $+10$ В, то наименьшее регистрируемое изменение напряжения будет составлять 4,88 мВ.

Входной диапазон

Входной диапазон относится к максимальному и минимальному входному напряжению, которое АЦП может квантовать и переводить в цифровой код. Выпускаемые АЦП предлагают широкий выбор входных диапазонов, включая однополярные (например, от 0 до $+5$ В или от 0 до $+10$ В) и биполярные диапазоны (например, от -5 В до $+5$ В или от -10 В до $+10$ В). Входной диапазон цифроаналоговых плат обычно задается переключками, устанавливаемыми на плате.

Необходимо отметить, что функции преобразования на рисунке 5.6 показывают, что максимальное входное напряжение на 1 младший разряд меньше номинального напряжения полной шкалы (FSV). Если важно, чтобы входной диапазон АЦП был от 0 до FSV, то для некоторых АЦП можно подстроить опорное напряжение таким образом, чтобы оно слегка превы-

шало номинальный входной диапазон. При этом реальный полный диапазон и значение младшего разряда увеличиваются на небольшую величину. Для входного диапазона 0–10 В код $0 \times 000h$ теперь будет представлять 0 В, а код $0 \times FFFh$ — 10 В.

Кодирование данных

Хотя большинство АЦП представляют однополярные диапазоны (т.е. 0–10 В) с помощью чисто двоичного кода, некоторые АЦП возвращают дополнительный двоичный код, который получается инвертированием каждого разряда обычного кода. Если аналого-цифровые преобразователи используются для измерения напряжений в биполярных диапазонах (т.е. от –10 В до +10 В), то в этом случае выходной код может быть представлен несколькими способами (смещенный двоичный код, учитывающий знак и величину, а также различные дополнительные коды).

Наиболее распространенные АЦП для простоты обычно возвращают смещенный двоичный код. Это означает, что наибольшее отрицательное напряжение биполярного диапазона (–5 В для диапазона от –5 В до +5 В) возвращается как $0 \times 000h$, а самое большое положительное напряжение соответствует коду $0 \times FFFh$ (для 12-разрядного АЦП), представляющему 4,9976 В. При этом код $0 \times 800h$ соответствует напряжению середины шкалы — 0 В.

Время преобразования

Время преобразования аналого-цифрового преобразователя определяется как время от инициации процесса преобразования до действительных цифровых данных, появляющихся на выходе. Для большинства АЦП время преобразования идентично скорости преобразования. Следовательно, АЦП со временем преобразования 25 мкс способен непрерывно преобразовывать входные аналоговые сигналы со скоростью 40 000 операций в секунду. Для некоторых быстродействующих аналого-цифровых преобразователей режим конвейерной обработки позволяет новые преобразования инициировать до получения результата предыдущих преобразований. Примером этого является АЦП, который может работать с частотой 5 МГц (время преобразования — 200 нс), но при этом на одну отдельную операцию требуется фактически 675 нс (скорость преобразования — 1,48 МГц).

Ошибки АЦП

Ошибки, которые могут возникать при работе аналого-цифровых преобразователей, определяются и измеряются по отклонению реальных точек графика преобразования от их места на идеальной характеристике преобразования. Эти вопросы обсуждаются ниже.

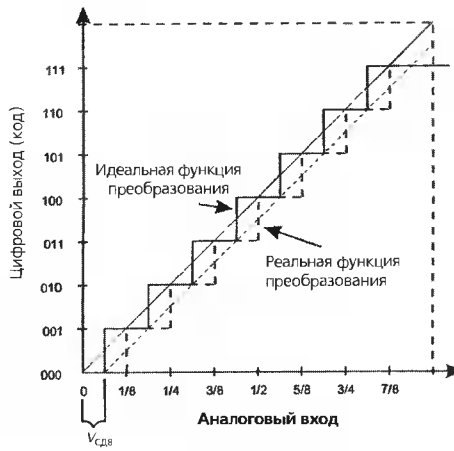
Неопределенность квантования

В отличие от цифроаналогового преобразователя, который обеспечивает уникальное аналоговое напряжение для каждого цифрового кода, каждый

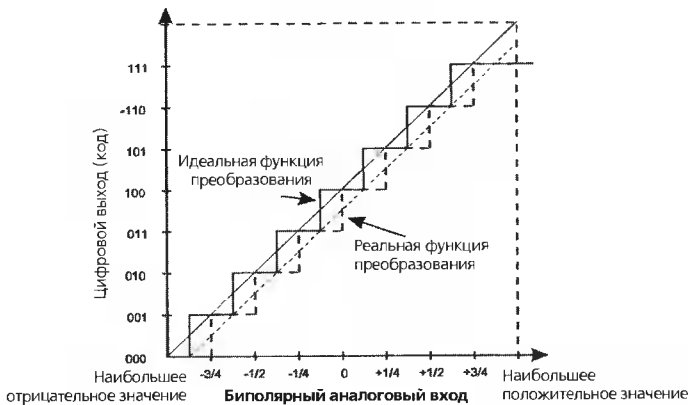
выходной цифровой код действителен для небольшого участка входных аналоговых величин. Аналоговые входные значения в пределах данного дискретного диапазона представляются одним и тем же выходным цифровым кодом, обычно сопоставляемым со средней величиной этого диапазона. Таким образом, помимо всех остальных ошибок преобразования, при измерениях имеется неопределенность квантования в пределах $\pm 1/2$ младшего разряда. Это показывается на рисунке 5.6 (б).

Однополярный сдвиг

Необходимо отметить, что для идеальной функции преобразования первое преобразование должно производиться при превышении аналогового нуля на половину младшего разряда. Однополярный сдвиг является отклонением фактической точки преобразования от первой идеальной точки. Это показывается на рисунке 5.7 (а).



(а) Однополярная ошибка сдвига



(б) Биполярная ошибка сдвига

Рисунок 5.7

Функции преобразования 3-разрядного АЦП с ошибками сдвига

Биполярный сдвиг

Как видно на рисунке 5.7 (б), функция преобразования идеального биполярного АЦП напоминает функцию однополярного преобразования, за исключением того, что она смещена на полный диапазон отрицательного напряжения ($-FSV$). Настройка смещения биполярного АЦП производится таким образом, чтобы первое преобразование происходило при превышении уровня максимального отрицательного сигнала ($-FSV$) на половину младшего разряда, а последнее преобразование происходило на $-3/2$ младшего разряда ниже $+FSV$. Из-за нелинейности устройство с хорошо откалиброванными конечными точками может иметь ошибку смещения аналогового нуля. Этот сдвиг называется ошибкой биполярного смещения и показан на рисунке 5.7 (б).

Ошибки усиления при однополярном и биполярном напряжении

Коэффициент усиления (или масштаб) является числом, которое устанавливает базовое соотношение между входными аналоговыми величинами и выходным цифровым кодом, например, равным полному диапазону 10 В. Он представляет крутизну наклона идеальной характеристики преобразования. Ошибка усиления определяется как разница между идеальной и реальной функциями преобразования максимальных значений диапазона, когда ошибка смещения является нулевой. Она выражается в виде процентного соотношения от полномасштабного значения или в единицах младшего разряда. Ошибка усиления воздействует на каждый код в равной пропорции. Ошибки усиления одно- и биполярных преобразователей показаны на рисунке 5.8.

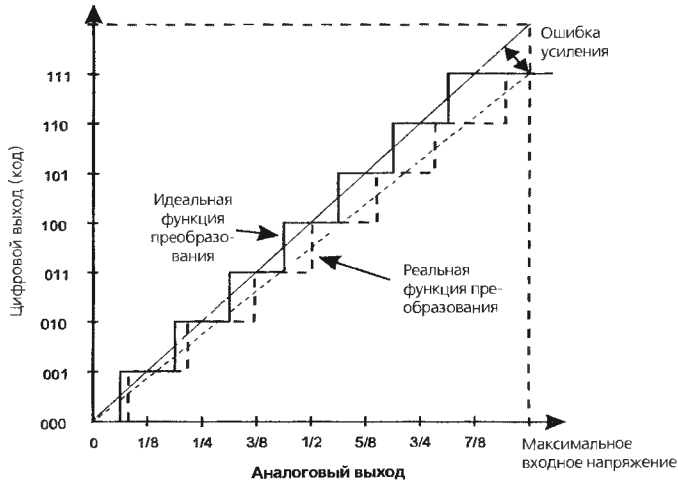
Дрейф смещения и усиления

Ошибки смещения и усиления обычно сводятся к нулю путем калибровки, однако произведенная калибровка действительна только для той температуры, при которой она производилась.

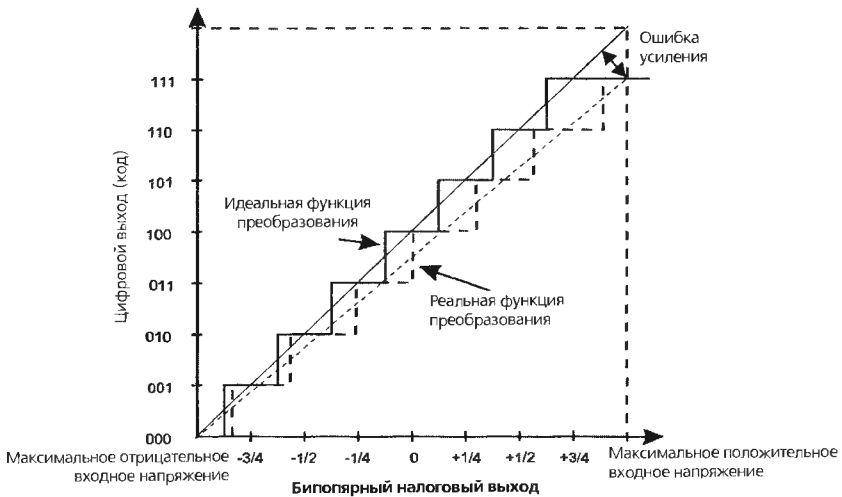
Изменения температуры приводят к ненулевой ошибке смещения и усиления, известным как дрейф смещения и усиления. Эти значения, измеряемые в промилль/ $^{\circ}C$, представляют чувствительность АЦП к температурным изменениям.

Ошибки, вызываемые нелинейностью

Для большинства АЦП усиление и смещение являются наиболее критичными параметрами, которые определяют возможность использования аналого-цифрового преобразователя в каждом конкретном применении, поскольку в большинстве случаев они могут быть откалиброваны аппаратно или с помощью программного обеспечения. Наиболее важными ошибками являются те ошибки, которые присущи конкретному устройству и которые нельзя устранить. В идеале, по мере того как входное аналоговое напряжение АЦП возрастает, цифровой код также должен линейно возрастать. Иде-



(а) Ошибка усиления однополярного преобразователя

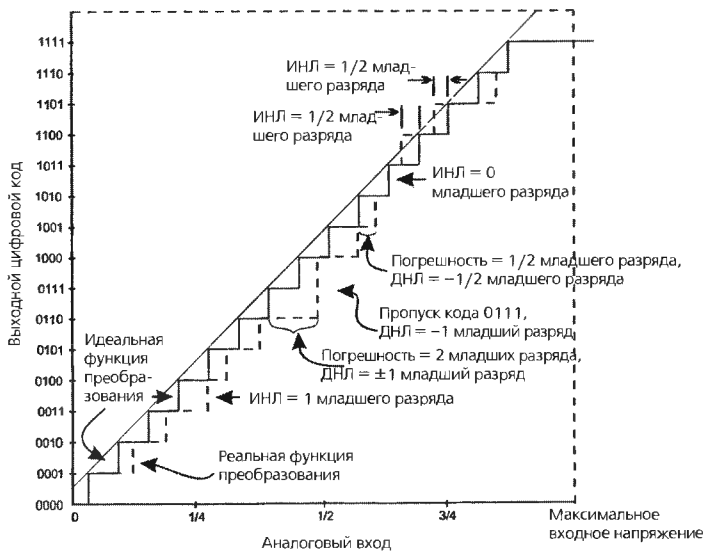


(б) Ошибка усиления биполярного преобразователя

Рисунок 5.8

Функция преобразования 3-разрядного АЦП с ошибками усиления

альная функция преобразования входного аналогового напряжения в зависимости от выходного цифрового кода должна быть прямой линией. Отклонения от прямой линии определяются как нелинейность. Наиболее важными из этих отклонений (поскольку они являются ошибками, которые нельзя устранить) являются ошибки, возникающие из-за интегральной и дифференциальной нелинейности. Характеристики преобразования 4-разрядного АЦП, демонстрирующие ошибки, вызываемые дифференци-



(а) Интегральные ошибки нелинейности, вызываемые преобразованием ниже характеристики преобразования

Рисунок 5.9 (а)

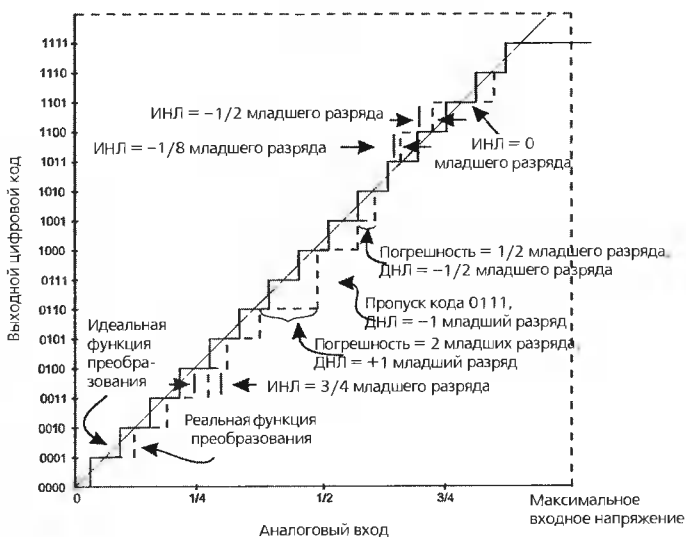
Функция преобразования 4-разрядного АЦП с ошибками, вызываемыми интегральной и дифференциальной нелинейностью

альной и интегральной нелинейностью (ДНЛ и ИНЛ), показаны на рисунках 5.9 (а) и 5.9 (б).

Интегральная нелинейность (ИНЛ)

Интегральная нелинейность представляет собой отклонение реальной функции преобразования от идеальной прямой линии. Эта идеальная линия может быть проведена через точки, где коды начинают изменяться (ниже функции идеального преобразования), как показано на рисунке 5.9 (а), или через центр идеальных погрешностей (по центру функции идеального преобразования), как показано на рисунке 5.9 (б). Большинство АЦП характеризуются нижнесторонней нелинейностью. Таким образом, прямая линия преобразования проводится от точки $1/2$ младшего разряда на вертикальной оси при нулевом входном сигнале к точке на $3/2$ младшего разряда выше последнего преобразования при максимальном входном напряжении. Отклонение любого преобразования от соответствующей точки этой прямой является интегральной нелинейностью преобразования. На рисунке 5.9 (а) преобразование в код 0100 смещено вправо на 1 младший разряд, означая, что код 0100 имеет интегральную нелинейность, равную +1 младшему разряду. На том же самом рисунке преобразование в код 1101 смещено влево на $1/2$ младшего разряда, означая, что код 1101 имеет интегральную нелинейность $-1/2$ младшего разряда.

Если функция идеального преобразования проводится для интегральной нелинейности, определяемой преобразованием по центру характеристики



(а) Интегральные ошибки нелинейности, вызываемые преобразованием по центру характеристики преобразования

Рисунок 5.9 (б)

Функция преобразования 4-разрядного АЦП с ошибками, вызываемыми интегральной и дифференциальной нелинейностью

преобразования, как показано на рисунке 5.9 (б), то интегральная нелинейность для каждого преобразования может быть разной. Там, где цифровой код 1101 ранее имел ошибку нелинейности, равную $-1/2$ младшего разряда, теперь имеется нулевая ошибка. Аналогично код 1011 имеет интегральную ошибку нелинейности, равную $-1/8$ младшего разряда, где он ранее имел нулевую ошибку.

Интегральная нелинейность является важным показателем, поскольку точное преобразование двоичного кода в эквивалентное напряжение является, по сути, только масштабированием.

Дифференциальная нелинейность (ДНЛ)

В идеальном АЦП расстояние между средними точками кодов преобразования должно составлять 1 единицу младшего разряда. Дифференциальная нелинейность определяется как отклонение погрешности от идеального значения в 1 единицу младшего разряда. Таким образом, идеальный АЦП имеет нулевую динамическую нелинейность, в то время как реально она составляет $1/2$ младшего разряда. Если ошибки дифференциальной нелинейности велики, то погрешность на выходе может представлять очень большой или маленький диапазон входных напряжений. Поскольку коды не могут иметь погрешность меньше нуля, то динамическая ошибка никогда не может быть меньше -1 младшего разряда. В худшем случае, когда погрешность равна или почти равна нулю, то это может привести к пропуску кода. Это означает, что во всем диапазоне входных напряжений нет напря-

жения, которое приводит к этому коду. На рисунках 5.9 (а) и 5.9 (б) погрешность кода 0110 составляет 2 младших разряда, что приводит к дифференциальной нелинейности в +1 младший разряд. Поскольку погрешность для кода 1001 составляет 1/2 младшего разряда, то для этого кода динамическая ошибка равна $-1/2$ младшего разряда. Кроме того, код 0111 не существует ни для какого входного напряжения. Это означает, что код 0111 имеет динамическую ошибку -1 младшего разряда и что этот АЦП имеет, по крайней мере, один пропущенный код.

Очень часто вместо определения динамической нелинейности вводится упрощенное понятие монотонности или отсутствие пропущенных кодов. Чтобы устройство поддерживало монотонность, его выходная величина при увеличении входного напряжения должна либо увеличиваться, либо оставаться постоянной. Монотонное поведение требует, чтобы дифференциальная нелинейность была более положительной, чем -1 младший разряд. Однако ошибка дифференциальной нелинейности может быть даже более положительной, чем +1 младший разряд. Если это так, то разрешение для этого конкретного кода является уменьшенным.

5.2.6 Буфер памяти (FIFO)

Быстродействующие платы аналого-цифрового преобразования характеризуются наличием на плате памяти или системы ввода/вывода в виде одного или пары буферов FIFO («первый пришел, первый ушел»). Емкость этих буферов может составлять от 16 байт до 64 кБ.

Буфер(ы) FIFO образуют быстродействующую память. Адресация к буферам небольшой емкости производится как к устройствам ввода/вывода. Большие буферы обычно являются частью адресного пространства главного компьютера. Следовательно, выборки могут накапливаться до максимального размера буфера без выполнения процедуры передачи данных. Если требуется большое количество выборок, то данные, находящиеся в буфере, должны быть перенесены в другие области главной памяти или переписаны на жесткий диск, чтобы освободить место для следующей информации.

Буферы FIFO особенно полезны в таких ситуациях, когда главный компьютер использует опрашиваемый ввод/вывод или передачу данных с помощью прерываний, прежде чем они будут переписаны следующими выборками. Это обычно происходит, когда главный компьютер работает под управлением операционной системы, поддерживающей многозадачность, например Windows или OS/2, которым присуща задержка, или при одновременном выполнении большого количества задач. Буфер FIFO имеет также эффект сглаживания разбросов времени отклика ПДП, и при его использовании в сочетании со специальными методами, такими, как последовательный опрос устройств ввода/вывода, прерывания, ПДП или повторных строковых команд, может значительно увеличиться пропускная способность плат АЦП.

5.2.7 Схемы синхронизации

Для автоматического выполнения множества аналого-цифровых преобразований в точно заданные временные моменты платы АЦП снабжаются схемой синхронизации, главной задачей которой является генерация сигналов, которые позволяют компонентам входных аналоговых схем производить их функции корректно и эффективно.

Схемы выработки тактовых импульсов состоят из тактовых генераторов, которые являются либо встроенными генераторами (с частотой от 400 кГц до 10 МГц), либо внешними устройствами, обеспечиваемыми пользователем, а также схемы деления частоты, обычно ИС счетчика/таймера, которая уменьшает тактовую частоту до более приемлемых значений. Тактовая частота может быть от 1 Гц до максимальной частоты, с которой может работать плата.

Запуск аналого-цифровых преобразований производится специальными устройствами запуска – либо программным образом (путем записи кода в регистр платы), либо внешним аппаратным запускающим устройством. Преобразования данных могут быть синхронизованы с внешними событиями путем использования внешних источников тактовой частоты или внешних запускающих устройств. Внешние запускающие события обычно имеют форму цифрового или аналогового сигнала. Начало сбора данных может производиться выбранным активным фронтом, если запуск производится от цифрового устройства, или крутизной и уровнем напряжения, если запуск производится от аналогового сигнала.

При выполнении цикла аналого-цифрового преобразования для каждого входного канала схема синхронизации должна обеспечить выполнение следующих пунктов:

- После того как массив адресов каналов/коэффициентов усиления будет инициализирован, схема синхронизации должна обеспечить переход к следующей паре параметров массива. На адресные линии входного мультиплексора подается код следующего канала, с которого будет производиться выборка, а на усилителе с программируемым усилением производится установка необходимого коэффициента усиления. Схема выборки и хранения переводится в режим выборки
- Схема синхронизации должна сначала подождать, пока установится входной мультиплексор, затем время, вызванное задержкой установления сигнала на выходе усилителя и наконец время задержки шины
- Схема выборки и хранения переводится в режим хранения. Схема синхронизации должна подождать окончания апертурного времени схемы выборки и хранения, чтобы сигнал на ее выходе стал стабильным
- На АЦП подается сигнал начала преобразования
- Схема синхронизации обеспечивает ожидание поступления от АЦП активного сигнала окончания преобразования

- Полученные данные затем переносятся из АЦП в буфер данных или в FIFO, где к ним обычно обеспечивается доступ главного компьютера
- Если плата АЦП обеспечивает одновременное выполнение выборок по разным каналам, то схема синхронизации генерирует необходимую последовательность импульсов для работы всех устройств выборки и хранения таким образом, чтобы выборка производилась по всем каналам в начале цикла выборки до того, как данные будут переданы остальным входным аналоговым схемам

Полная производительность для нескольких преобразований, производимых по разным каналам, часто увеличивается путем перекрытия частей цикла преобразования. Например, пока АЦП занят преобразованием выходного напряжения схемы выборки и хранения, на мультиплексор и усилитель с программируемым усилением может подаваться следующая пара параметров из массива адресов каналов/коэффициентов усиления, чтобы их времена установления и задержки попадали на время аналого-цифрового преобразования.

Схемы синхронизации могут также поддерживать режим пакетной выборки, который позволяет плате АЦП производить пакеты выборок с равными промежутками времени. Этот режим обсуждается на странице 151 в разделе, описывающем методы выполнения выборки.

5.2.8 Интерфейс шины расширения

Интерфейс шины обеспечивает управляющие сигналы, необходимые для передачи данных с платы в память ПК и для передачи информации о конфигурации АЦП (например, пары канал/коэффициент усиления), а также других команд (например, программный запуск) на плату.

В состав интерфейса входят:

- Разъем для подключения платы, обеспечивающий аппаратный интерфейс для подключения всех управляющих сигналов и данных, поступающих на плату расширения (например, ISA, EISA и т.п.) от главного компьютера
- Схема, которая задает базовый адрес платы. Адрес обычно задается с помощью переключателя, определяющего адреса памяти и устройств ввода/вывода на плате аналого-цифрового преобразования
- Источник и схемы настройки уровня генерируемого сигнала прерывания. Появление сигналов прерываний может быть запрограммировано в конце одного преобразования или блока ЦАП. Настройка уровней прерываний обычно производится с помощью перемычек, находящихся на плате
- Управляющие сигналы ЦАП и схема настройки используемых уровней ЦАП. Настройка уровней канала ЦАП обычно производится с помощью перемычек, находящихся на плате
- Обычный порт для обмена информацией с устройствами ввода/вывода, находящимися на плате

- Схема настройки состояний ожидания для использования с машинами со скоростными шинами или с нестандартной синхронизацией. Количество тактов ожидания обычно задается с помощью перемычек, находящихся на плате

5.3 Сравнение однопроводных и дифференциальных сигналов

Как было показано ранее, соединение, заземление и экранировка сигнальных проводов от внешних датчиков (или аналогичных источников сигналов) к устройствам формирования и преобразования должны производиться с особой аккуратностью. Особенно это важно для тех случаев, когда уровни сигнала очень малы и/или источники сигналов находятся далеко от измерительного оборудования. В таких ситуациях влияние паразитных заземляющих цепей, помехи и синфазные напряжения могут создавать наводки, приводящие к большим погрешностям при измерении сигналов.

Сменные платы аналого-цифрового преобразования обычно поддерживают три типа подключения входных сигналов:

- Однопроводное
- Псевдодифференциальное
- Дифференциальное

5.3.1 Однопроводные входы

Однопроводные входы — это такой тип подключения, когда сигнал передается по одному проводнику и берется относительно аналоговой земли. Этот единственный провод подключается к входу усилителя НН (высокий потенциал), в то время как вход усилителя ЛО (низкий потенциал) соединен с аналоговой землей. Это показано на рисунке 5.10.

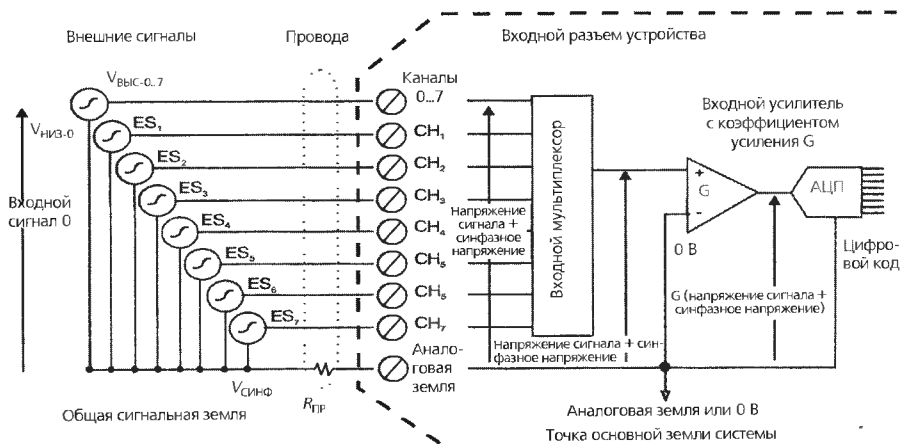


Рисунок 5.10

Однопроводные входы.

G — коэффициент усиления; АЦП — аналого-цифровой преобразователь.

Однопроводные входы обычно используются для сигналов высоких уровней (порядка нескольких вольт), которые не требуют высоких усилений (> 5) и передаются на короткие расстояния (0,5 м). Если же их необходимо передавать на большие расстояния, то их следует экранировать и экран соединить с аналоговой землей только со стороны прибора.

Хотя эта конфигурация допускает мультиплексирование нескольких входов, чтобы подавать их на один АЦП, ее следует использовать только в тех ситуациях, когда практически невозможно довести удаленное заземление или аналоговую землю назад до точки измерения.

Поскольку вход усилителя с низким потенциалом (LO) соединен с аналоговой землей, то усиливается разница между суммой напряжений (сигнал и синфазное напряжение) и аналоговой землей. При таком подключении синфазное напряжение является ошибкой.

Сменные платы, не имеющие усилителя (т.е. мультиплексируемый вход подается сразу на АЦП), должны использовать однопроводное подключение.

5.3.2 Псевдодифференциальное подключение

Псевдодифференциальное подключение является разновидностью однопроводного подключения, обеспечивающего некоторое ограничение синфазного напряжения, но поддерживающего максимальное количество мультиплексируемых входных каналов.

В конфигурации, показанной на рисунке 5.11, все выходы источников сигналов с низким напряжением соединены с входом LO усилителя, а выходы источников сигналов с высоким напряжением – с соответствующими входами HI усилителя. Вход LO усилителя берется по отношению к аналоговой земле на сигнальном конце провода. Этот метод возможен только в

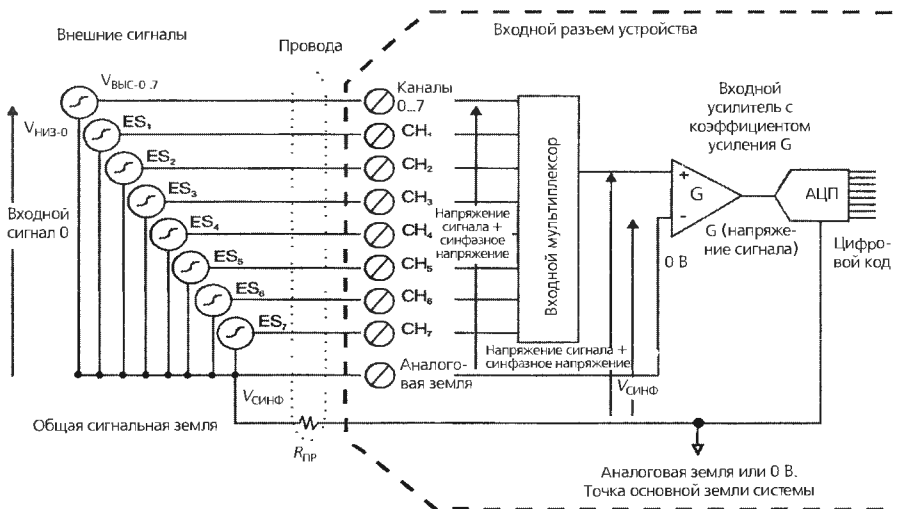


Рисунок 5.11

Псевдодифференциальные входы.

G — коэффициент усиления; АЦП — аналого-цифровой преобразователь.

Подключение канала LO каждого датчика с общей точкой, как в случае с псевдодифференциальным подключением, может создать нежелательные токи в земляном контуре, что приведет к ошибкам смещения и наводкам на входе усилителя

- При измерении напряжения сигналов, которые очень малы, и когда отношение сигнал/шум низкое
- Если входной датчик физически расположен на далеком расстоянии от измерительного прибора и может быть подвержен воздействию помех

Необходимо отметить, что для дифференциальной конфигурации входов требуются два мультиплексора, а для того же количества входов, используемых при однопроводном или псевдодифференциальном включении, в дифференциальном режиме будет задействована только половина всех входных каналов.

Если подключаются источники сигнала с высокими выходными сопротивлениями, то необходимо использование резисторов смещения, обеспечивающих цепи прохождения токов смещения для операционного усилителя и, таким образом, предотвращение ухода плавающих входов за допустимые пределы напряжений. В качестве таких элементов смещения обычно используются высокоомные резисторы с сопротивлением от 100 кОм до 1 Мом, которые включаются между сигнальными линиями и аналоговой землей.

5.4 Разрешение, динамический диапазон и точность плат аналого-цифрового преобразования

5.4.1 Динамический диапазон

Одним из нескольких важных вопросов, которые необходимо рассмотреть при определении требований к аналоговому входу платы АЦП, является диапазон напряжений, который каждый канал должен измерять. Диапазон входных напряжений определяют измеряемые физические параметры, используемый тип датчика и способ их подключения.

Характеристики входного диапазона, заявляемые производителями плат аналого-цифрового преобразования, относятся к максимальному или минимальному уровням напряжения, которые АЦП, установленный на плате, сможет оцифровывать. Обычно предлагается выбрать один из двух диапазонов входных напряжений: либо однополярный (например, от 0 до 10 В) для измерения только положительных напряжений, либо биполярный (например, от -10 В до +10 В), для измерения положительных и отрицательных напряжений. Это позволяет пользователю обеспечить соответствие между диапазоном входных сигналов и диапазоном АЦП, учитывая разрешение АЦП и необходимое усиление входного усилителя.

При рассмотрении диапазона входных напряжений важно рассмотреть только динамический диапазон выходного сигнала. Например, рассмотрим

тензодатчик, включенный в мостик Уитстона. Регистрируемое напряжение имеет синфазную компоненту, обусловленную напряжением возбуждения моста, и небольшие дифференциальные изменения напряжения (которые и представляют интерес), обусловленные изменением сопротивления тензодатчика. Синфазные напряжения, не несущие никакой полезной информации, в сильной степени ослабляются (или почти устраняются) использованием дифференциальных входов и измерительных усилителей с большим коэффициентом подавления синфазного напряжения. Только небольшие дифференциальные изменения напряжения усиливаются и преобразуются АЦП. Коэффициент усиления усилителя должен выбираться таким образом, чтобы максимальное дифференциальное изменение напряжения, ожидаемое на входе, в максимальной степени соответствовало шкале АЦП.

Если один из допустимых диапазонов можно выбрать произвольно, обычно с помощью перемычек на плате, то необходимо обратить внимание на соответствие входного сигнала указанным требованиям, когда выборка производится по нескольким каналам. Выбранный входной диапазон АЦП должен обеспечить точное измерение входных сигналов по нескольким каналам, возможно, с разных датчиков и, следовательно, с потенциально различными уровнями входных напряжений и диапазонов. Входной диапазон АЦП должен охватывать диапазоны каждого канала с минимальным перекрытием, т.е. давать наибольшее количество точек данных и, таким образом, обеспечить максимальное разрешение и точность.

Необходимо отметить, что заданные входные диапазоны не обязательно относятся к максимальному и минимальному уровням напряжений, которые могут быть применимы к любому отдельному входу или к максимально допустимому синфазному напряжению, прикладываемому к дифференциальным входам. Эти характеристики больше относятся к входному усилителю. В случае возникновения каких-либо сомнений по этому поводу пользователь должен проконсультироваться с производителем платы.

5.4.2 Разрешение

Разрешение, как его определяют производители плат аналого-цифрового преобразования, относится к разрешению АЦП, установленного на плате. Оно обычно выражается количеством разрядов, которые АЦП использует для представления входного аналогового напряжения (т.е. n разрядов) или долей максимального количества дискретных уровней, которые можно использовать для представления аналоговых сигналов (т.е. $1/2^n$). Разрешение неявно определяет количество дискретных диапазонов, на которые вся шкала напряжений может быть разделена, чтобы обеспечить приближение входного аналогового напряжения. 12-разрядная плата АЦП может разделить входной диапазон на дискретные уровни ($2^{12} = 4096$), каждый из которых является $1/4096$ частью входного напряжения.

Наряду с разрешением, входным диапазоном и коэффициентом усиления входного усилителя, имеющегося на плате аналого-цифрового преобразова-

ния, можно определить наименьшее обнаруживаемое изменение напряжения сигнала на входе. Для идеальной платы АЦП малейшее обнаруживаемое изменение = входной диапазон/коэффициент усиления усилителя $\times 2^n$.

Например, для 12-разрядного АЦП с входным диапазоном от 0 до 10 В и усилителем с коэффициентом усиления 1 наименьшим различимым изменением напряжения будет $10/(1*4096) = 2,44$ мВ.

Следовательно, каждое изменение в 2,44 мВ на входе приведет к изменению на выходе АЦП на ± 1 младший разряд или $\pm 0 \times 001h$. Напряжение 0 В будет представлено кодом $0 \times 001h$, а максимальное значение напряжения, представленное кодом $0 \times FFFh$, будет равно 9,9976 В. Вследствие ступенчатой природы идеальной характеристики преобразования АЦП к переходу на следующий выходной дискретный уровень может тем не менее приводить много меньшее изменение входного напряжения, хотя и с небольшой вероятностью. Изменения меньше, чем 2,44 мВ, следовательно, с большой долей вероятности, обнаруживаться не будут. Если тот же самый 12-разрядный АЦП используется для измерения входного сигнала в диапазоне от -10 В до +10 В, то меньшее обнаруживаемое изменение напряжения увеличится до 4,88 мВ. Это значение представляет напряжение, эквивалентное одному младшему разряду от полной шкалы и для плат АЦП, называется погрешностью.

Данные цифры разрешения указывают на теоретические малейшие изменения напряжения, которые надежно могут быть обнаружены платой АЦП, поскольку вычисленное значение базируется на идеальной работе всех компонентов аналоговой входной схемы. Влияние помех, нелинейность АЦП и ошибки других компонентов входных цепей могут означать, что реальное разрешение платы АЦП может составлять 2 младших разряда и быть хуже параметров, гарантируемых производителем. Это означает, что 16-разрядная плата АЦП может обеспечивать измерения с использованием только 14-разрядных.

5.4.3 Точность системы

Точность системы или близость соответствия эквивалентных цифровых выходов входному аналоговому сигналу является еще одним очень важным критерием, особенно в тех случаях, когда аналоговый сигнал содержит много информации или когда небольшая часть диапазона сигнала должна быть изучена подробно. Как было показано, функциональные компоненты входной цепи (т.е. мультиплексор, усилитель, схема выборки и хранения и АЦП) плат аналого-цифрового преобразования не являются идеальными. Пределы практической работы и ошибки каждого из этих компонентов влияют на общую работу и точность системы в целом.

Под характеристикой, известной как точность системы, обычно подразумевается относительная точность платы АЦП, которая указывает на максимальное отклонение от идеальной прямой линии функции преобразования. Относительная точность для плат АЦП определяется путем подачи на вход

напряжения, противоположного полной шкале, преобразования аналогового напряжения в цифровой код, увеличения напряжения и выполнения повторных действий до тех пор, пока не будет пройден весь входной диапазон платы. Определение точности производится вычитанием теоретического напряжения, которое должно вызывать каждое изменение кода, из аналогового входного напряжения, реально приведшего к изменению кода. Максимальное отклонение от нуля является относительной точностью платы АЦП. Производители плат обычно дают точность системы в единицах младших разрядов, поскольку абсолютное напряжение будет иметь значение по отношению к выбранному входному диапазону. Например, для $n = 2$ точность системы 12-разрядной платы АЦП составляет $2/4096 (\pm 0,048\%)$, а для 16-разрядной платы точность составляет $2/65535 (\pm 0,003\%)$.

Тенденция аналоговых схем к изменению характеристик или дрейфу со временем и при изменении температуры требует периодической калибровки платы АЦП, чтобы поддерживать точность измерений в пределах заданного диапазона. Производители плат обеспечивают регулировку напряжения смещения и точности коэффициента усиления в пределах $\pm n$ младших разрядов. Это означает, что если входной диапазон 12-разрядного АЦП составляет 0–10 В и вход установлен на $+1/2$ младшего разряда (т.е. $+1,22$ мВ), то цифровой выход будет давать не больше, чем $0 \times 005h$. Это значение будет представлять максимальное напряжение смещения как $5/4095 \times 10 \text{ В} = 12,2$ мВ. Если входной диапазон 12-разрядного АЦП составляет 0–10 В, а вход установлен как $-3/2$ младшего разряда (т.е. $+9,996$ В), то цифровой выход будет показывать не менее $0 \times 99Ah$. Для точности коэффициента усиления эта цифра является максимальной ошибкой коэффициента усиления.

Некоторые платы аналого-цифрового преобразования имеют автокалибровку, во время которой вся аналоговая часть платы (мультиплексор, усилитель, схема выборки и хранения), а также АЦП калибруются автоматически, без вмешательства пользователя.

Используются несколько способов проведения автокалибровки:

- Автоматическое выполнение калибровки, при которой к плате подключается источник опорного напряжения
- Калибровка является частью процесса преобразования
- Точность каждого входного канала проверяется для всех имеющихся коэффициентов усиления. Корректирующий код для каждой комбинации номера канала/коэффициента усиления сохраняется и затем автоматически вызывается для динамической компенсации аппаратного дрейфа

5.5 Частота выборки и теорема Найквиста

Одним из наиболее критических факторов для пользователей систем сбора данных и плат аналого-цифрового преобразования является вопрос о частоте выборки при измерении аналогового сигнала, необходимой для его точного представления. Итак, с какой частотой плата АЦП должна производить дискретизацию сигнала?

5.5.1 Теорема Найквиста

Теорема Найквиста о выборке утверждает:

Узкополосный аналоговый сигнал, не имеющий спектральных компонент выше частоты F Гц, может быть однозначно представлен выборками амплитуды, производимыми через равные интервалы не реже, чем через $1/F$ секунды или с частотой не ниже $2 F$ Гц.

Максимальный период выборки $T = 1/2 F$ называется интервалом Найквиста, а минимальная частота выборки, соответствующая этому периоду ($2 F$), известна как *частота выборки Найквиста*.

Выборка с частотой больше, чем частота Найквиста, называется *дискретизация на повышенной частоте*. Это обычно производится, если важно восстановить реальную копию оцифровываемого сигнала. Если же сигнал оцифровывается с частотой меньше частоты Найквиста, то это называется *дискретизация на пониженной частоте*, которая может привести к ошибочным результатам.

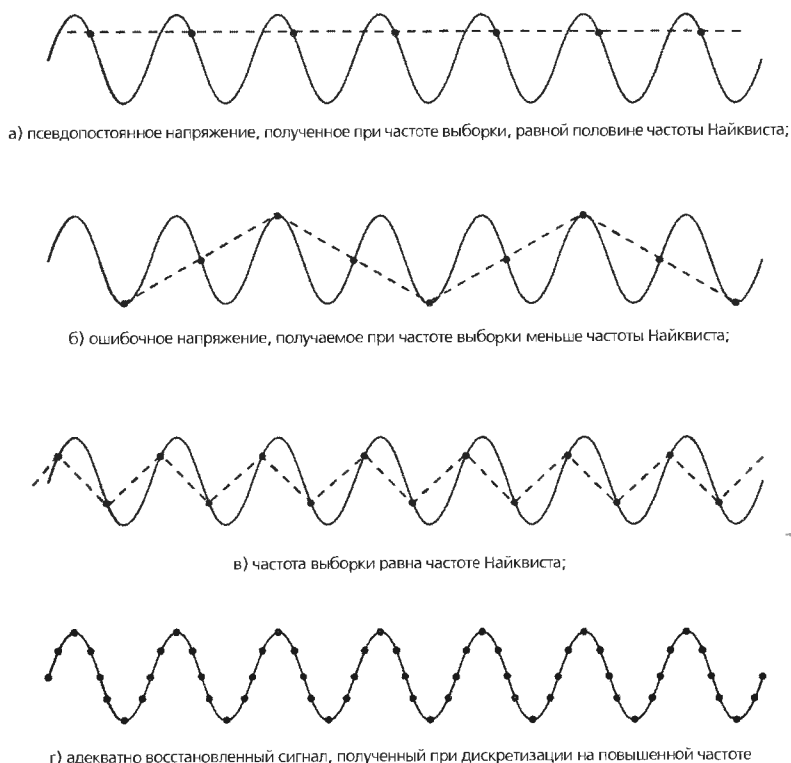
5.5.2 Наложение спектров

Чтобы интуитивно понять разницу в оцифровывании сигнала с повышенной или пониженной частотой по сравнению с частотой Найквиста, рассмотрим рисунок 5.13.

Рисунок 5.13 (г) показывает сигнал, который оцифровывался с частотой, гораздо более высокой, чем частота Найквиста. В этом случае информация, содержащаяся в сигнале, включая его форму и частоту, может быть корректно воспроизведена. Если частота выборки ниже частоты Найквиста, т.е. моменты выборки находятся далеко друг от друга, то входной сигнал представляется неправильно, и восстановленный сигнал имеет меньшую частоту. Это явление известно как появление комбинационных частот и показано на рисунке 5.13 (б).

На рисунке 5.13 (а) входной сигнал оцифровывается с частотой, составляющей половину частоты Найквиста, т.е. с частотой самого сигнала. Восстановленный сигнал кажется постоянным током. Если входной сигнал оцифровывается с частотой Найквиста, как показано на рисунке 5.13 (в), то восстановленный сигнал имеет правильную частоту, но некорректно представляется сигналом треугольной формы. При дискретизации с пониженной частотой частота восстановленного сигнала кажется меньшей и находится между постоянным током и частотой Найквиста.

Теоретически влияние комбинационных частот можно легко понять путем рассмотрения частотного спектра аналогового сигнала. Не вдаваясь в сложные математические подробности и частотный анализ, можно показать, что изменяющийся во времени сигнал с ограниченной полосой может быть легко представлен своим частотным спектром. На рисунке 5.14 (б) показан частотный спектр сигнала с ограниченной полосой, изображенного

**Рисунок 5.13**

Влияние частоты выборки на восстановление входного сигнала

на рисунке 5.14 (а). Если изменяющийся во времени сигнал оцифровывается с помощью узкой последовательности прямоугольных импульсов, как показано на рисунке 5.14 (в), то частотный спектр оцифрованного сигнала представляет оригинальный сигнал с точными копиями самого себя, расположенными в частотах, кратных частоте выборки. На рисунке 5.14 (г) представлен частотный спектр сигнала, который оцифровывался с частотой, точно вдвое большей частоты исходного сигнала, показывающий, что копии исходного сигнала точно касаются друг друга. Дискретизация оригинального сигнала с повышенной частотой, как показано на рисунке 5.14 (д), разносит полосы входного сигнала на большее расстояние (по частоте). Это показано на рисунке 5.14 (е). Дискретизация с пониженной частотой сужает разделение между полосами, так что они накладываются друг на друга, что приводит к появлению комбинационных частот, как показано на рисунках 5.14 (ж) и 5.14 (з). Если это происходит, то результирующий сигнал будет являться наложением постоянного тока и частоты Найквиста, из которого будет невозможно выделить данные.

Рассмотрим сигнал с ограниченной полосой, который содержит три синусоидальных компоненты – 25 Гц, представляющие измеряемый сигнал,

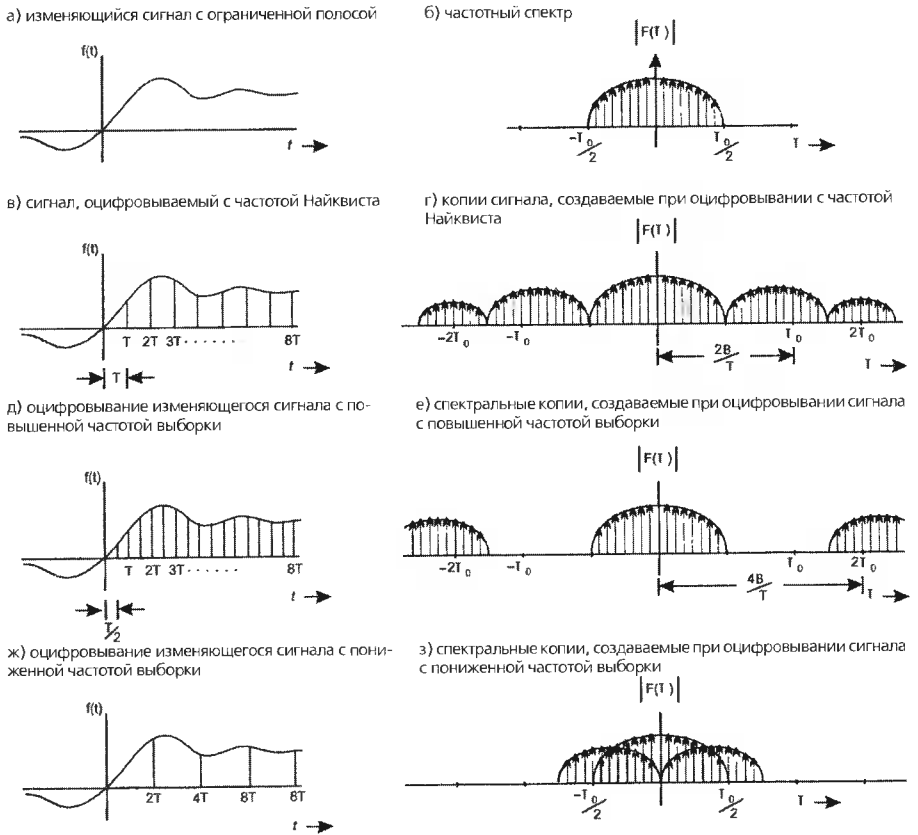
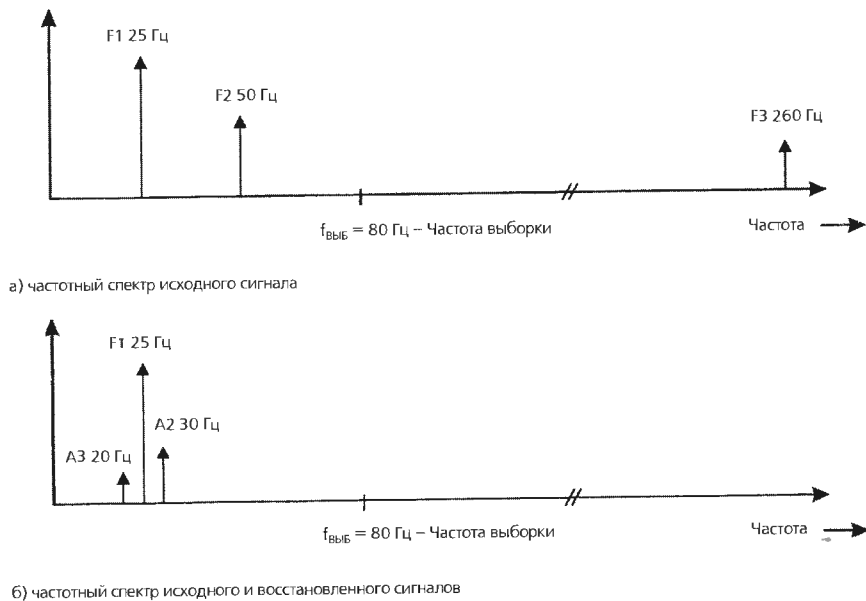


Рисунок 5.14
 Демонстрация эффекта появления в частотном спектре комбинационных частот

50 Гц, которые представляют мешающий фон переменного тока, и высоко-частотный сигнал помехи 260 Гц. На рисунке 5.15 (а) показан частотный спектр этого сигнала.

Частотный спектр восстановленного сигнала, выборка которого производилась платой АЦП с частотой $f_{\text{ВЫБ}} = 80$ Гц, показан на рисунке 5.15 (б). Частоты ниже частоты Найквиста ($f_{\text{ВЫБ}}/2 = 40$ Гц) в спектре исходного сигнала появляются корректно. Однако копии частот сигнала выше частоты Найквиста воспроизводятся кратными частоте выборки и, следовательно, появляются в виде комбинационных частот. А2 и А3 являются комбинациями частот оригинальных сигналов F2 и F3 соответственно. Комбинационную частоту для любого сигнала можно вычислить по простой формуле:

комбинационная частота = ABS (ближайшая целая кратная частота выборки – частота сигнала);

**Рисунок 5.15**

Частотный спектр исходного и восстановленного сигналов

комбинационная частота $A2 = [80 - 50] = 30$ Гц;

комбинационная частота $A3 = [(3)80 - 260] = 20$ Гц;

в этом примере комбинационные частоты находятся очень близко к частоте регистрируемого сигнала, и поэтому их будет очень трудно отделить. После появления комбинационных частот их почти невозможно удалить методами цифровой фильтрации.

5.5.3 Предотвращение комбинационных частот

Одним из методов предотвращения комбинационных частот является фильтрация входного сигнала фильтром низких частот, частота среза которого равна частоте Найквиста или половине частоты выборки. Этот тип фильтра известен как *фильтр защиты от наложения спектров*. Идеальный фильтр защиты от наложения спектров будет моделировать *крутой срез* идеального фильтра низких частот, как показано на рисунке 5.16, отсекающий все ненужные частотные компоненты выше частоты Найквиста. Таким образом, используя этот фильтр, входной сигнал можно оцифровывать с двойной частотой Найквиста без появления комбинационных частот.

К сожалению, реальные фильтры плохо моделируют идеальные фильтры и фактически имеют некоторое ослабление (дБ/октаву) около частоты

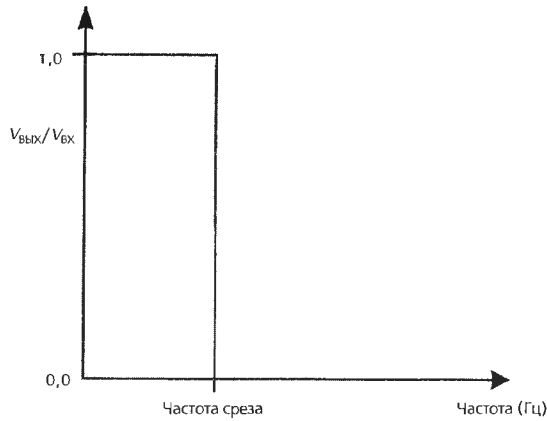


Рисунок 5.16
Характеристика пропускания идеального фильтра низких частот

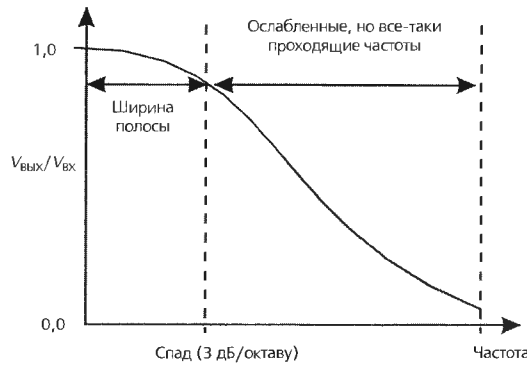


Рисунок 5.17
Характеристика пропускания реального фильтра низких частот

среза. Как показано на рисунке 5.17, этот спад может быть недостаточно крутым, чтобы полностью устранять высокочастотные компоненты. Хотя и ослабленные, эти частотные компоненты могут (и будут) накладываться на интересующую полосу сигнала.

Таким образом, чтобы лучше приспособить частоту и спад фильтра, необходимо увеличить частоту выборки. При использовании простых пассивных фильтров защиты от наложения спектров рекомендуется, чтобы частота выборки была как минимум в пять раз выше частоты среза. Непериодические сигналы можно оцифровывать с частотой в 10 раз выше.

Фильтры, обеспечивающие качественную защиту от наложения спектров с очень крутым спадом около частоты среза, как показано на рисунке

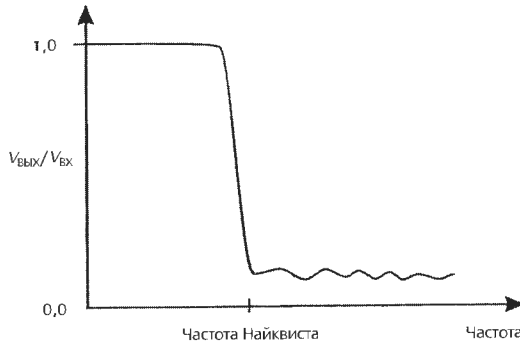


Рисунок 5.18
Фильтры для защиты от наложения спектров с крутым спадом

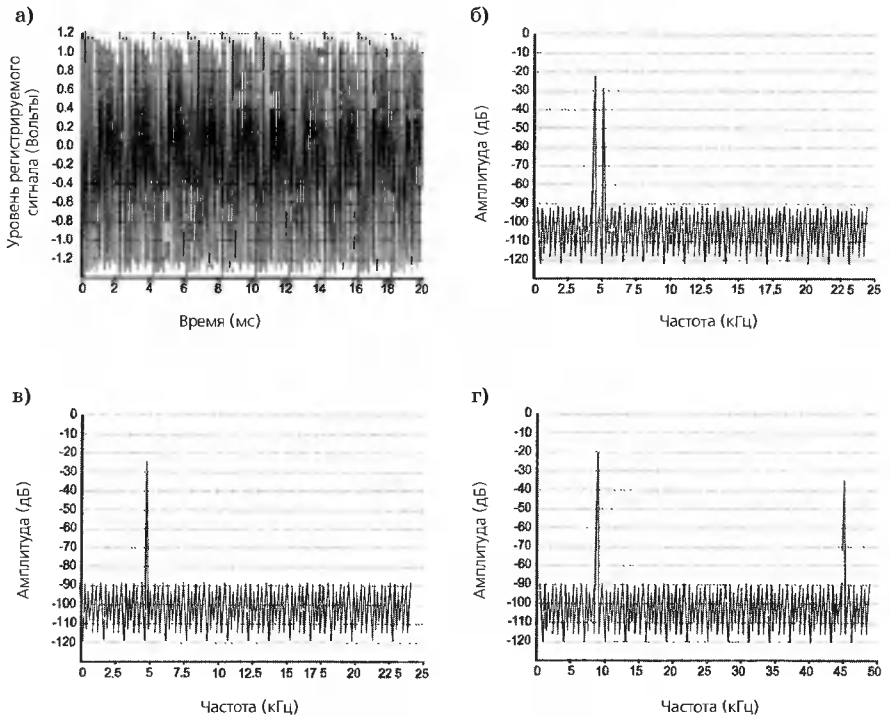
5.18, допускают дискретизацию сигнала с частотой в 2 – 3 раза выше частоты среза.

5.5.4 Практические примеры

Распространенным вариантом сбора данных является анализ вибрации машин. Все машины имеют на некоторых частотах резонанс как при обычной работе, так и при использовании внешнего источника привода. В этом примере тензодатчики были установлены на машину, и выходной сигнал оцифровывался (давая временной график, см. рисунок 5.19 (а)) и преобразовывался в частотный спектр (например, с помощью быстрого преобразования Фурье).

Спектр, получающийся при частоте выборки 50 кГц, показан на рисунке 5.19 (б). Он имеет два резонансных пика: один — около 4 кГц, а другой — немного выше 5 кГц. Из анализа вибраций машин известно, что компонента 4 кГц соответствует вращательным движениям, но компонента 5 кГц является загадкой. Пропуская входной сигнал через фильтр с частотой среза 10 кГц и производя повторную выборку, можно получить спектр, представленный на рисунке 5.19 (в), явно показывающий, что компонента 5 кГц является комбинационной. И действительно, дискретизация исходного сигнала (без фильтра, защищающего от наложения спектров) с частотой 100 кГц дает спектр, представленный на рисунке 5.19 (г), который показывает, что реальная частотная компонента, представленная сигналом вибраций 45 кГц, дала комбинационную частоту 5 кГц при использовании частоты выборки 50 кГц.

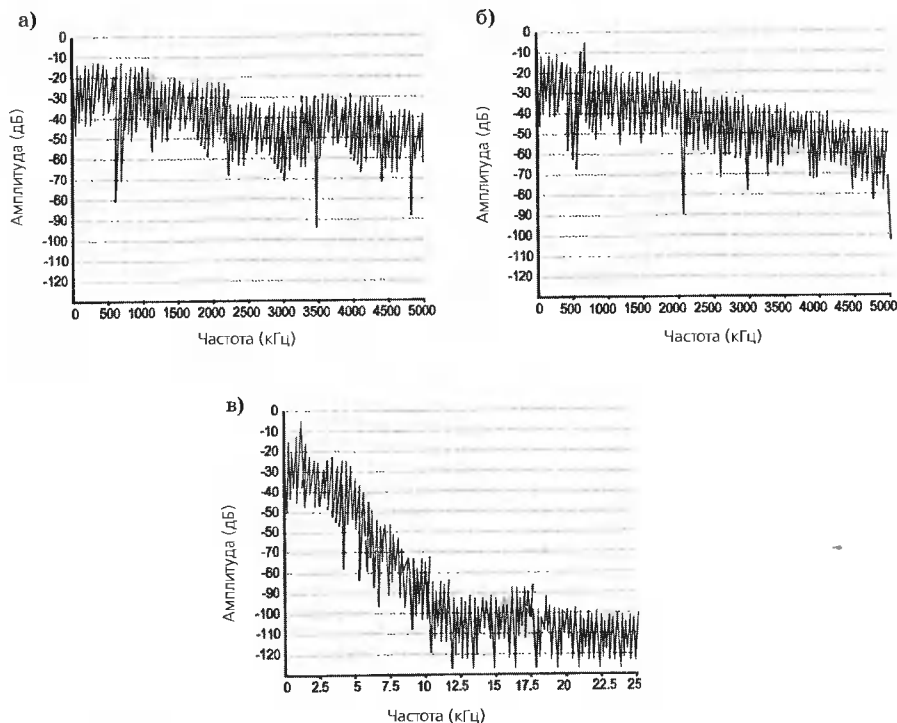
В примере анализа вибраций машины частотные компоненты были отчетливо видны и постоянны. Однако при оцифровывании и при анализе речи полезный сигнал состоит из множества частотных компонентов, которые очень быстро и непредсказуемо изменяются. Какая-либо задача может потребовать оцифровывания и сохранения речевых сообщений с целью их последующего воспроизведения.

**Рисунок 5.19**

Появление комбинационных частот при использовании низкой частоты выборки

Поскольку речь состоит из частотных компонентов ниже 5 кГц, оцифровывание входного сигнала с частотой 10 кГц, по-видимому, должно быть адекватным и накладывает невысокие требования к использованию памяти. К сожалению, попытка оцифровать таким способом сигнал сообщения от микрофона приводила к тому, что сообщение тонуло в фоне, щелчках и завываниях и его практически невозможно было использовать. Частотный спектр оцифровываемого сигнала показан на рисунке 5.20 (а).

В предположении, что высокие частоты, присутствующие на входе, давали комбинационные частоты, на входе был установлен фильтр подавления комбинационных частот, что привело к появлению спектра, показанного на рисунке 5.20 (б). Спектр имеет небольшое отличие от спектра нефльтрованного сигнала. Увеличение частоты выборки до 100 кГц (см. рисунок 5.20 (в)), показывает, почему это произошло: хотя и ослабленные, компоненты с частотами выше частоты среза фильтра все-таки присутствуют и приводят к появлению комбинационных частот. Фильтр имел крутизну спада 24 дБ/октаву, и реальные характеристики фильтра позволяли ослабленным высокочастотным компонентам давать комбинационные частоты, попадающие в интересующий диапазон. Практически решением

**Рисунок 5.20**

Комбинационные частоты, образующиеся при оцифровке речи

может быть использование фильтров с большей крутизной (уменьшающим амплитуду высокочастотных компонент, которые могут вносить вклад в образование комбинационных частот) или дискретизация с более высокой частотой (новая полоса частот выборки не образует мешающих комбинационных частот).

Можно предположить, что образование комбинационных частот связано с высокими частотами и что низкие частоты (такие, как сигналы термопары) не подвержены воздействию этого эффекта. Изменения температуры обычно настолько медленны, что входной сигнал почти всегда можно считать постоянным током; поэтому кажется разумным оцифровывать его очень медленно и не обращать внимания на частотный анализ.

Однако, если входной сигнал содержит импульсные помехи, как показано на рисунке 5.21 (а), то результирующий спектр покажет ровный уровень -60 дБ, изображенный на рисунке 5.21 (б). Это вызвано тем, что импульсная помеха в частотной области распределяется равномерно. Таким образом, при дискретизации с низкой частотой высокочастотные компоненты импульсной помехи образуют низкочастотные комбинационные компоненты, которые складываются с низкочастотными компонентами сигнала. Энергия этих дополнительных частот приводит к осцилляциям температуры.

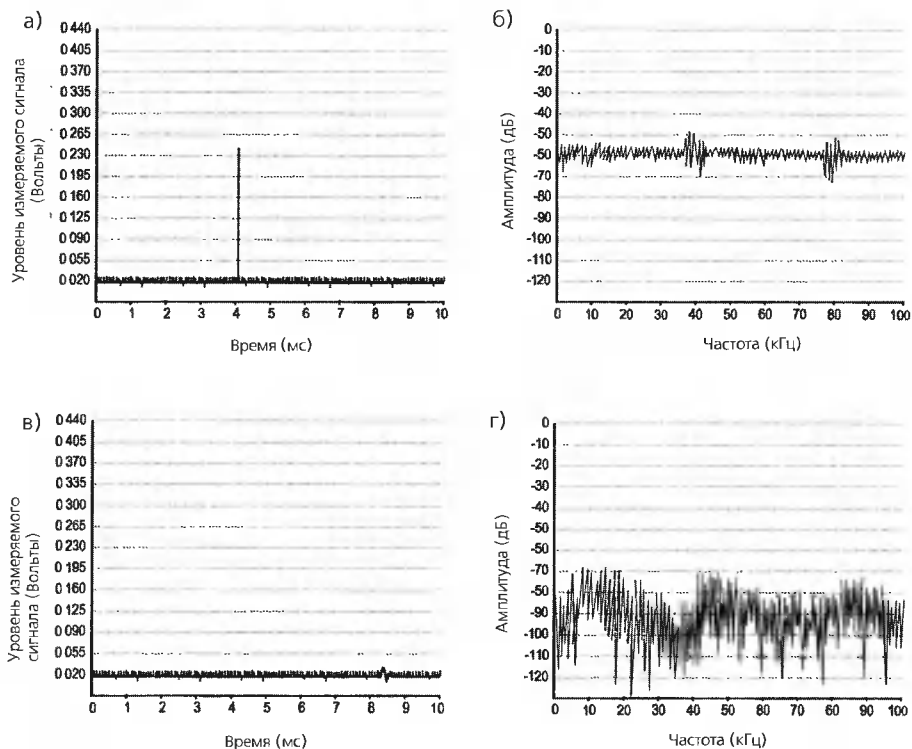


Рисунок 5.21

Если использовать фильтр низких частот, то импульс с его эквивалентными высокочастотными компонентами будет удален (как показано на временной диаграмме рисунка 5.21 (в)). Спектр, соответствующий этому (рисунок 5.21 (г)), теперь имеет постоянный уровень от -80 дБ до -90 дБ, который не влияет на результаты, полученные платой АЦП.

5.6 Методы дискретизации

В следующих разделах обсуждаются следующие методы:

- Непрерывное сканирование каналов
- Одновременная выборка
- Работа в пакетном режиме

5.6.1 Непрерывное сканирование каналов

Метод дискретизации, который обеспечивает подключение необходимого входного канала к аналого-цифровому преобразователю с постоянной частотой, называется непрерывным сканированием каналов. Этот метод позволяет производить выборку каналов в предварительно определенном или произвольном порядке (например, канал 5, канал 1, канал 11), а также с

произвольными частотами. Примером этого является оцифровывание трех каналов в следующем порядке (канал 5, канал 1, канал 11, канала 1). Канал 1 оцифровывается с двойной скоростью по сравнению с каналами 5 и 11, который плата АЦП с пропусканием 100 кГц оцифровывает с частотой 50 кГц. Каналы 5 и 11 оцифровываются с частотой 25 кГц. Существуют два способа непрерывного сканирования каналов – либо под управлением программы, либо под управлением аппаратного обеспечения, установленного на плате.

Программное сканирование каналов

Если непрерывное сканирование каналов производится программным образом, адрес оцифровываемого канала записывается в мультиплексор, а код коэффициента усиления подается на усилитель с программируемым усилением. После установления сигнала иницируется работа АЦП. Данные последовательно считываются и передаются в память ПК. Этот способ требует большого объема программирования. Фоновую операцию, использующую прерывания, реализовать труднее, и она работает медленнее, чем опрашиваемый ввод/вывод; при этом точное задание момента выборки, использование высоких скоростей передачи данных, таких, как ПЦП, и выполнение повторных команд невозможны.

Аппаратное сканирование каналов

Непрерывное сканирование каналов производится аппаратным образом с помощью массивов канал/коэффициент усиления. Эти программируемые, находящиеся в памяти буферы содержат список каналов и усилений, требуемых при дискретизации сигнала каждого входного канала. Когда плата АЦП начинает производить выборку, входные каналы коммутируются в той последовательности, которая указана в массиве адресов каналов/коэффициентов усиления.

Использование массива адресов каналов/коэффициентов усиления, находящегося на плате, позволяет преодолеть многие ограничения, связанные со сканированием каналов, выполняемым программным образом, и имеет следующие преимущества:

- Информация о последовательности каналов может быть единожды задана, после чего дискретизация может быть запущена одной командой (любое количество раз). Будучи запущенным, процесс дискретизации управляется схемой платы АЦП (аппаратным образом)
- Можно задать произвольный порядок выборок
- В зависимости от ограничений, вызываемых размером массива, для разных каналов могут быть заданы различные частоты выборки
- Скорость программных методов передачи данных, таких, как использование прерываний и опрашиваемый ввод/вывод, значительно выше, в некоторых случаях вдвое. Это вызвано тем фактом, что задержки, создаваемые при передаче информации в главный компью-

тер о номере измеряемого канала и коэффициенте усиления, отсутствуют

- Обеспечивается очень точная синхронизация, поскольку плата оптимизирована для управления отдельными подсистемами
- Возможно использование дополнительных методов передачи данных, таких, как ПДП или выполнение повторных команд. ПДП перенос данных управляется непосредственно схемой, находящейся на плате аналого-цифрового преобразования, и главным компьютером. Это не очень гибкая система, поскольку она не позволяет программному обеспечению вмешиваться и изменять сканируемые каналы, если ПДП передача информации уже инициирована. Платы АЦП, которые поддерживают ПДП, но не содержат массива адресов каналов/коэффициентов усиления, могут производить ПДП передачу данных с одного входного канала, чей адрес и необходимое усиление устанавливаются программным обеспечением до инициализации ПДП цикла. Если на плате имеются массивы адресов каналов/коэффициентов усиления, то схема платы во время цикла ПДП будет автоматически изменять адрес и коэффициент усиления. Если для передачи информации используются повторные команды, обычно из буфера FIFO платы, то дискретизация нескольких каналов должна продолжаться в фоновом режиме. Для тех плат АЦП, на которых нет массива адресов каналов/коэффициентов усиления, перенос посредством выполнения повторных команд может производиться только с одного входного канала, чей адрес и коэффициент усиления установлены программным образом до инициализации переноса данных.

Практические применения

Ниже подробно обсуждаются некоторые практические применения, которые при аппаратном сканировании каналов используют гибкость выбора и пропускную способность отдельных каналов.

Дискретизация разных каналов с разными скоростями

При дискретизации сигналов с различными частотами (например, снятие электрокардиограммы сердца (ЭКГ) с 300 ударами/мин и электроэнцефалограммы (ЭЭГ) с частотой 5 кГц) более эффективное использование памяти обеспечит режим, когда каждый канал оцифровывается с частотой, примерно равной частоте Найквиста, а не сканирование всех каналов с частотой, необходимой для дискретизации канала с самой большой частотой. Если для приведенного выше примера частота выборки канала ЭКГ составляет 2 кГц, а канала ЭЭГ — 20 кГц, то отношение частот выборки этих каналов составляет 1:10. Таким образом, в матрицу адресов каналов/коэффициентов усиления можно внести 10 пар значений для ЭЭГ и одно для ЭКГ, а выборку производить, например, с частотой 22 кГц. (Необходимо

отметить, что подобные измерения вносят фазовый сдвиг в данные ЭЭГ, поскольку каждое одиннадцатое измерение является сигналом ЭКГ. Это можно смягчить, обеспечив равномерную выборку всех каналов.)

Поскольку сигнал ЭКГ обычно берется с трех электродов, последовательность сигналов ЭЭГ, ЭКГ₁, ЭЭГ, ЭКГ₂, ЭЭГ, ЭКГ₃ с частотой сканирования 40 кГц дает частоту выборки ЭЭГ 20 кГц, а частоту выборки для каждого из трех электродов — ЭКГ 6,667 кГц.

Переменные: временной цикл и скорость сканирования

Если плата имеет внешнее запускающее устройство и/или вход тактовой частоты, то возможно изменение временного цикла и скорости сканирования. Массив программируется заранее, и плата просто ждет внешнего запуска. Когда запуск происходит, плата автоматически производит нужное количество выборок.

При анализе машин тактовый генератор выборки можно подключить к выходному сигналу машины, пропорциональному ее скорости вращения. По мере увеличения скорости машины увеличивается и скорость выборок. Обе эти схемы обеспечивают более эффективный сбор данных путем уменьшения избыточного количества получаемых данных.

Автоматический выбор предела измерений, производимый после получения данных

Матрица адресов каналов/коэффициентов усиления может обеспечить установку разных усилений, но иногда оптимальное усиление заранее неизвестно. Использование коэффициента усиления, который точно не приведет к насыщению АЦП, может дать низкую точность, когда входной сигнал будет иметь низкий уровень, а высокое усиление может привести к насыщению АЦП, что приведет к бессмысленным измерениям. В данном случае для каждого канала матрица адресов каналов/коэффициентов усиления может быть запрограммирована на две или несколько пар значений; например, одно может быть с единичным усилением, а второе с коэффициентом усиления 10. Если результат первого измерения будет меньше 1/10 от всей шкалы, то для повышения точности используется второе измерение. Примером применения будет измерение отклика объекта на разрушающее испытание — например, ударная взрывная волна. Если амплитуда отклика непредсказуема и одно испытание часто делает объект непригодным для дальнейших испытаний, то важно, чтобы первое (и, возможно, единственное) измерение было пригодным.

Хотя использование массивов адресов каналов/коэффициентов усиления на платах АЦП значительно повышает гибкость выбора и пропускную способность отдельных каналов, непрерывное аппаратное сканирование каналов не обеспечивает необходимых результатов для применений, которые требуют одновременной выборки по нескольким каналам. Это требование обсуждается в следующем разделе.

5.6.2 Одновременная выборка

Если входной мультиплексор переключается между каналами, то между всеми оцифровываемыми каналами образуется задержка по времени. Для платы АЦП, производящей выборку с максимальной частотой 200 кГц, минимальная задержка от канала к каналу составляет 5 мкс. Поскольку задержка накапливается с количеством каналов, то суммарное время задержки между первой и последней выборкой для 16 каналов будет составлять 80 мкс. Временная задержка для разных каналов может приводить к неточному отображению событий, которые породили эти сигналы, как показано на рисунке 5.22.

На рисунке 5.22 канал 1 оцифровывается корректно, поскольку он считается опорным каналом. Канал 2 имеет временную задержку, поскольку выборки 1 и 4 имеют значительные ошибки по отношению к их реальным значениям во время выборки канала 1.

Если временная связь между каждым каналом несущественна или задержка пренебрежимо мала по сравнению со скоростью сканирования каналов, то эти задержки можно не учитывать. Однако во многих применениях, имеющих дело с точными фазовыми измерениями или анализом быстропротекающих переходных процессов, временная задержка между каналами недопустима, поскольку важным является определение значения нескольких сигналов по разным каналам точно в одно и то же время.

Чтобы избежать ошибок синхронизации, появляющихся при непрерывном переключении оцифровываемых каналов, требуются платы аналого-цифрового преобразования, способные производить выборку одновременно по нескольким каналам. Эти платы АЦП имеют одновременно сраба-

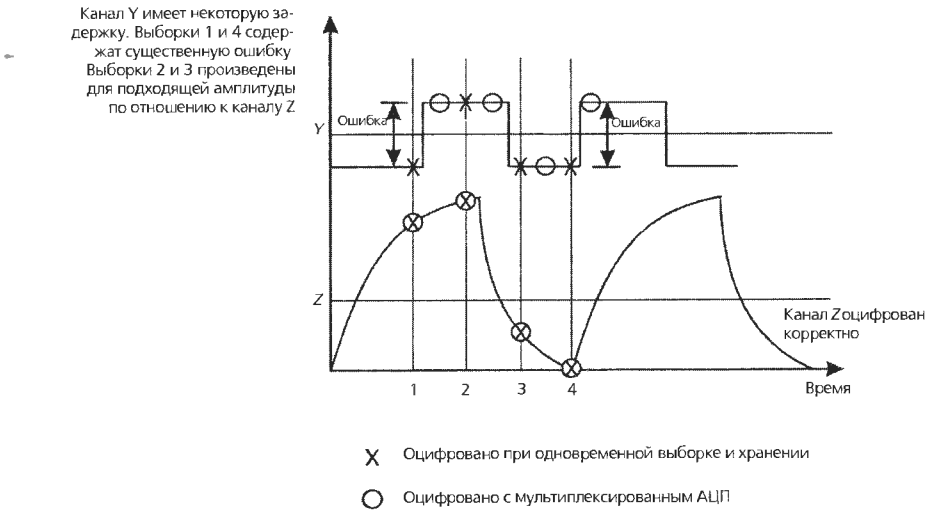


Рисунок 5.22

Временная задержка между каналами

тывающие схемы выборки и хранения по всем каналам. Схема выборки и хранения каждого входного канала хранит выборку до тех пор, пока АЦП сможет просканировать все каналы.

Максимальный разброс времени выполнения выборок между каналами обычно связан с колебаниями апертурного времени отдельных схем выборки и хранения и определяется как апертурное соответствие или апертурная неопределенность. Эти измерения отражают максимально возможную разницу между моментами выборки для отдельных каналов. Апертурная неопределенность может быть вычислена из максимальной частоты оцифровываемого сигнала. Для ошибки менее 1 разряда 12-разрядной платы АЦП она приблизительно равна 800 нс на частоте 100 кГц, 1,6 нс — на частоте 50 кГц и т.д. Производятся платы с апертурной неопределенностью порядка 0,4 нс ($\pm 0,2$ нс).

Специализированные сменные платы, производящие одновременное оцифровывание нескольких каналов, если это не производит сама плата, можно легко согласовать с платой АЦП с помощью сигналов управления.

5.6.3 Пакетный режим

Если на плате АЦП имеется массив адресов каналов/коэффициентов усиления, то возможен дополнительный метод, посредством которого группа каналов может оцифровываться почти одновременно. Запуск пакетного режима, иногда называемого блоковым режимом или интервальным сканированием, создает эффект одновременного оцифровывания, сохраняя при этом низкую стоимость режима непрерывного сканирования каналов.

При работе АЦП в режиме непрерывного сканирования обычное аналого-цифровое преобразование производится следующим образом. Схема запуска выборки с помощью программы, внутреннего или внешнего тактового генератора программируется на выполнение выборки с заданной частотой. Каждое устройство запуска выборки инициирует одно аналого-цифровое преобразование для следующего канала массива адресов каналов/коэффициентов усиления, и каждая выборка производится с заданным временным интервалом.

Устройство запуска пакетного режима инициирует начало аналого-цифровых преобразований для всех необходимых входных каналов с максимальной скоростью выборки платы АЦП каждый раз, когда приходит запускающий импульс выборки. Второй счетчик используется для запуска выборок каждого канала с максимальной скоростью. Количество производимых выборок в каждом пакете обычно задается программой, хранящейся в буфере платы, а номер канала и коэффициент усиления для каждого канала пакета считываются из массива адресов каналов/коэффициентов усиления. Сканируемая последовательность повторяется с приходом следующего запускающего импульса.

Рассмотрим, например, случай, когда выборка производится по четырем каналам с максимальной частотой 20 кГц, соответствующей частоте сканирования канала 5 кГц. На рисунке 5.23 показано, что в режиме непрерыв-

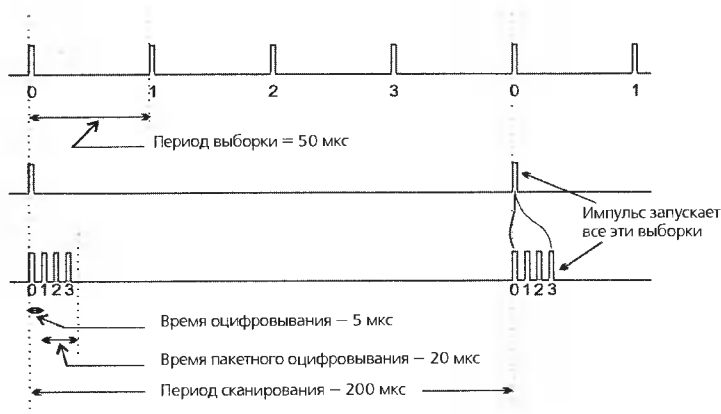


Рисунок 5.23

Обычное и пакетное сканирование каналов

ного сканирования суммарное время сканирования составляет 200 мкс, причем выборки производятся равномерно, через каждые 50 мкс. В пакетном режиме четыре выборки производятся в виде одной последовательности с максимальной частотой платы. Принимая максимальную частоту выборок платы 200 кГц, интервал между каждой из четырех выборок будет 5 мкс, а суммарное время, затраченное на все выборки, будет 20 мкс, а не 200 мс.

Если частота выборки остается одинаковой, то есть выборка производится каждые 50 мкс, то пропускная способность платы умножается на число выборок, производимых в каждом пакете. В данном случае пропускная способность увеличивается до 80 кГц. Чтобы сохранить суммарную максимальную пропускную способность на уровне 20 кГц, частота выборки должна быть уменьшена на количество оцифровываемых каналов в каждом пакете. Она называется пакетной пропускной способностью, и ее можно вычислить путем деления суммарной пропускной способности на количество оцифровываемых каналов.

$$\begin{aligned} & \text{Пакетная пропускная способность} = \\ & = \text{Суммарная пропускная способность} / \text{Количество каналов} \end{aligned}$$

Для каждого пакетного запуска плата АЦП вырабатывает необходимое количество запусков АЦП с максимальной скоростью платы. Даже хотя выборки в пакете (за исключением первой) производятся во времена, отличные от обычно запускаемых выборок, пропускная способность каждого канала и время между выборками одного канала остаются одинаковыми.

При использовании пакетного запуска данные появляются на выходе АЦП с максимальной пропускной способностью платы. Таким образом, для быстродействующих плат скорость передачи данных и, следовательно, метод передачи данных требуют специального рассмотрения. Для больших

пакетов необходимо использовать ПДП (если он имеется), а для небольших пакетов можно использовать опрашиваемый ввод/вывод и прерывания, если плата имеет буфер FIFO.

Некоторое внимание необходимо уделить при использовании пакетного режима, запускаемого с переменной частотой выборки для разных каналов, когда некоторые каналы оцифровываются чаще, чем другие. Возможно, что появятся очень большие фазовые сдвиги вследствие различных времен, при которых эти два метода производят выборки. Если используется оцифровывание каналов с переменной частотой, необходимо использовать обычное непрерывное сканирование каналов.

5.7 Скорость и производительность

В системах сбора данных всегда необходимо учитывать пропускную способность или скорость, с которой плата АЦП может получать данные. Однако в цифрах, выражающих пропускную способность предоставляемых производителями плат и относящихся к производительности какой-либо конкретной платы, имеется некоторая путаница. Часто эти цифры относятся к максимальной частоте сбора данных и могут зависеть от используемого способа сохранения значений в памяти. В этом заключается реальный смысл пропускной способности плат сбора данных.

Строго говоря, параметр производительности платы АЦП указывает на полное количество выборок входного аналогового сигнала, которые могут быть преобразованы в их цифровой эквивалент за одну секунду. Как обычно бывает, для нескольких входных аналоговых цепей используется общий АЦП, при этом количество входных каналов также влияет на производительность. Следовательно, частота выборки каждого канала равна суммарной производительности, деленной на количество оцифровываемых каналов.

$$\begin{aligned} & \text{Максимальная производительность канала} = \\ & = \text{Полная производительность} / \text{Количество используемых каналов} \end{aligned}$$

Например, если вы хотите производить выборку по четырем каналам с частотой 50 кГц для каждого канала, то вам потребуется плата с производительностью не менее 200 кГц (четыре входа \times 50 кГц/вход).

Производительность платы АЦП определяется следующими факторами:

- **Время получения элемента данных:** время, необходимое для схем преобразования сигнала и получения данных (мультиплексор, усилитель, фильтр и схема хранения и выборки), чтобы получить и передать точный входной аналоговый сигнал на АЦП
- **Время преобразования:** время, необходимое для реального аналого-цифрового преобразования и подготовки цифрового выходного кода в регистре или буфере для передачи в память. Здесь преобладающим фактором является скорость (определяемая типом АЦП). Высокая скорость подготовки данных, высокая скорость АЦП с низким

дрейфом, требующим меньшее время на калибровку, очевидно, будут увеличивать стоимость платы сбора данных

Суммарная производительность определяется также следующим:

- Временем передачи данных: время, необходимое для передачи данных к или от платы сбора данных в память, где к ним будет иметь доступ программное обеспечение, если данные должны быть отображены и/или переданы в долговременную память. Скорость передачи для систем сбора данных является самой медленной из следующих параметров: производительность, скорость передачи и, если это имеет место, сохранение данных

Для большинства систем сбора данных скорость сохранения не важна, поскольку количество данных невелико и их можно сохранить в памяти, оставить на месте, вывести при необходимости на дисплей или сохранить позже. Скорость передающего звена от памяти к долговременной памяти, следовательно, не важна.

Если объем получаемых данных больше объема памяти и особенно, когда требуемая производительность должна быть особенно высокой, необходимо найти альтернативные методы сохранения данных.

5.8 Платы цифроаналоговых преобразований

Платы ЦАП преобразуют цифровые сигналы от главного компьютера в аналоговую форму, необходимую для использования внешними устройствами, такими, как исполнительные механизмы, управляющие системой или процессом. Основным элементом всех цифроаналоговых плат является цифроаналоговый преобразователь (ЦАП).

Платы ЦАП можно разделить на две основные категории:

- - Платы для генерации сигналов
- Выходные аналоговые платы

Цифроаналоговые платы для генерации сигналов

Как и предполагает название, эти платы используются для быстрой генерации аналоговых сигналов заданной формы, часто необходимых в лабораторной практике для получения или моделирования шумов, аудиосигналов, сигналов питания, а также для различных задач управления.

Функциональная схема аналого-цифровой платы для генерации аналогового сигнала показана на рисунке 5.24 и содержит следующие основные элементы:

- Цифроаналоговый преобразователь (ЦАП)
- Выходной усилитель/буфер
- Буфер FIFO
- Система синхронизации
- Интерфейсная расширительная шина

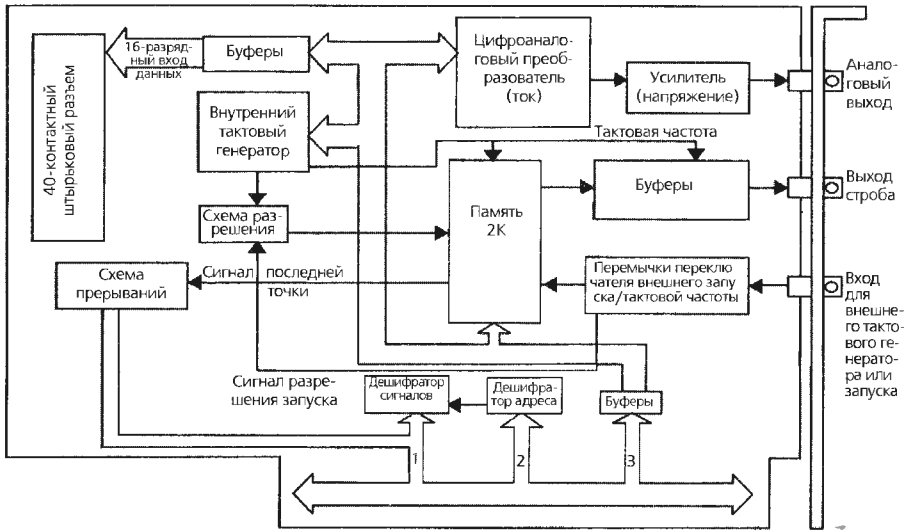


Рисунок 5.24

Функциональная схема аналого-цифровой платы для генерации аналоговых сигналов

1 — шина сигналов управления; 2 — шина адреса; 3 — шина данных

Каждый из этих элементов оказывает большое влияние на скорость, точность и гибкость, с которой аналого-цифровая плата может генерировать сигналы.

Аналоговый выход цифроаналоговых плат

В отличие от быстродействующих плат для генерации аналогового сигнала с высоким разрешением большее распространение получили выходные цифроаналоговые платы, показанные на рисунке 5.25 и используемые, на-

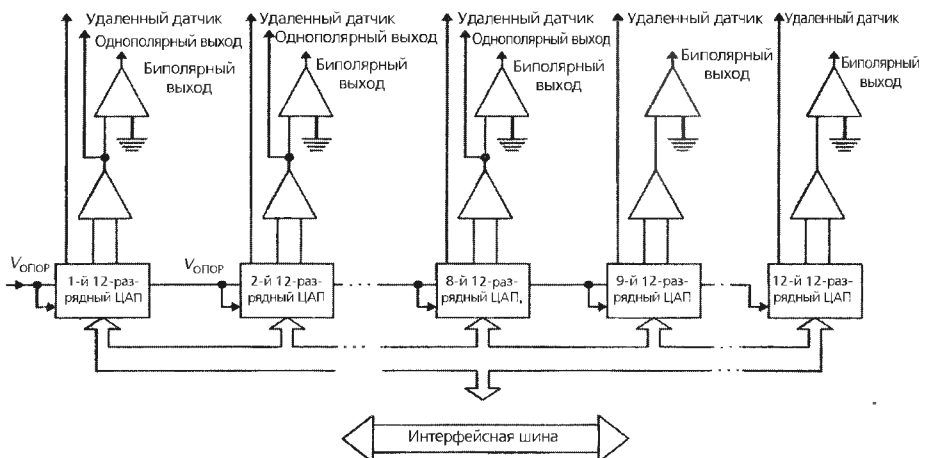


Рисунок 5.25

Функциональная схема цифроаналоговой платы

пример, в промышленных системах управления. Они не предназначены для вывода аналоговых сигналов с очень высокой точностью, а просто поддерживают постоянные выходные уровни, пока не получат следующую команду. Хотя многофункциональные платы сбора информации часто содержат два или больше выходных аналоговых канала, но в тех применениях, когда требуется много аналоговых выходов, эффективнее использовать специализированные платы.

Являясь частью многофункциональной платы ЦАП или специализированной платы с аналоговым выходом, подсистема аналого-цифрового преобразования имеет очень простую конструкцию, которую можно разделить на два функциональных узла:

- Собственно ЦАП
- Выходной усилитель и буфер

Обычно платы цифроаналогового преобразования имеют от двух до шестнадцати специализированных выходных каналов, каждый из которых имеет ЦАП, требующий выходного буфера/усилителя.

5.8.1 Цифроаналоговые преобразователи

Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) принимают в качестве входа n -разрядный параллельный цифровой код, а в качестве выхода предлагают аналоговый ток или напряжение. Основной выходной величиной является ток, хотя с помощью операционного усилителя его легко преобразовать в напряжение. ЦАП состоит главным образом из совокупности аналоговых ключей, управляемых входящим кодом, и совокупности прецизионных взвешенных резисторов. Ключи управляют токами или напряжениями, получаемыми от прецизионного опорного источника, и обеспечивают выходной аналоговый ток или напряжение. Выходной ток/напряжение представляет отношение входящего кода к напряжению полной шкалы, задаваемого опорным источником. В следующих разделах рассматриваются основные типы ЦАП с токовым выходом и их основные параметры.

ЦАП с взвешенными токовыми резисторами

Блок-схема ЦАП с взвешенными токовыми резисторами показана на рисунке 5.26.

При использовании этой схемы ЦАП выходной ток $I_{\text{ВЫХ}}$ является суммой взвешенных токов каждого из параллельных транзисторных источников; вклад тока каждого транзистора задается резисторами R , $2R$, $4R$, $8R$ и т.д. Набор суммируемых токов определяется цифровым кодом, подаваемым на входе. Например, если напряжение старшего разряда имеет низкий логический уровень, то ток будет течь от смещенного в прямом направлении диода, а не через коллектор транзистора, и транзистор будет оставаться закрытым.

Если напряжение старшего разряда имеет высокий логический уровень, то ток, протекающий через коллектор и эмиттер транзистора, равен $V_{\text{ОПОР}}/R$. Стабильное опорное напряжение с подходящей температурной компенса-

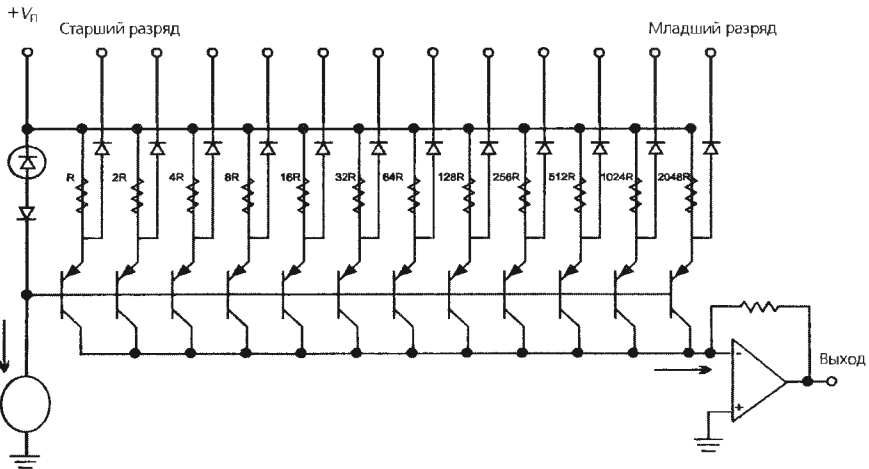


Рисунок 5.26

N-разрядный ЦАП с взвешенными токовыми резисторами

цией (переход база-эмиттер каждого транзистора) обеспечивает, чтобы через каждый транзистор проходил постоянный эмиттерный ток, обратно пропорциональный коллекторному сопротивлению.

Поскольку выход суммирующего инвертирующего усилителя $V_0 = -I_{\text{ВЫХ}}R/2$, то выходное напряжение прямо пропорционально опорному напряжению и выражается соотношением

$$V_0 = V_{\text{ОПОР}}(B_0 2^{-1} + B_1 2^{-2} + \dots + B_{n-1} 2^{n-1})$$

Весовые коды, отличные от простого двоичного, могут быть получены путем соответствующего выбора весовых резисторов.

ЦАП с цепочкой резисторов типа $R-2R$

Этот ЦАП, как и ЦАП с весовыми токами, обеспечивает выходной ток $I_{\text{ВЫХ}}$, пропорциональный входному коду и напряжению опорного источника. Принцип работы лестничной цепочки резисторов основан на двоичном делении тока, когда он протекает через эти резисторы. Простое вычисление сопротивления в точке А показывает, что к сопротивлению $2R$ добавляется сопротивление правого участка ($2R$). Отсюда ток, текущий в ветви сопротивления старшего разряда $I_0 = V_{\text{ОПОР}}/3R$. В узле А этот ток разветвляется, и половина его протекает влево от узла А, а половина течет в узел В. В узле В ток снова делится пополам, и половина его течет к узлу С, а половина течет к земле через резистор $2R$ этого, второго по старшинству, разряда и так далее. Ток от старшего разряда делится на 2^n , когда он достигает суммирующего входа усилителя. Аналогичный анализ можно применить для каждого из ключей, соединяющих источник опорного напряжения с лест-

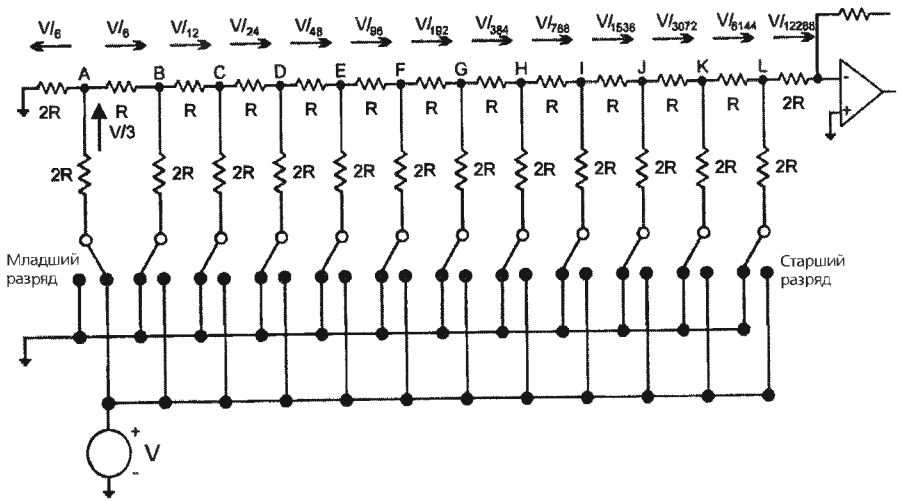


Рисунок 5.27
N-разрядный ЦАП с цепочкой резисторов типа R - $2R$

ничной цепочкой, где токи каждой ветви в конце концов складываются на суммирующем входе операционного усилителя.

Основными преимуществами, которые делают этот тип ЦАП популярным, являются легкая подборка резисторов (R или $2R$), постоянное входное сопротивление выходного усилителя и тот факт, что можно использовать низкоомные резисторы, позволяющие получить высокое быстродействие.

5.8.2 Параметры цифроаналоговых преобразователей

Большинство параметров и ошибок, связанных с АЦП, применимы и к ЦАП. Кроме того, качество выходного сигнала ЦАП определяют несколько дополнительных показателей. К ним относятся время установления, скорость нарастания выходного напряжения и разрешение.

Разрешение

Этот параметр является мерой величины выходной ступеньки, связанной с изменением входного кода на один младший разряд. Большое количество разрядов во входном цифровом коде, определяющем аналоговый выход, уменьшает величину единичного прироста выходного напряжения. Это позволяет ЦАП генерировать плавно изменяющийся выходной сигнал с большим динамическим диапазоном.

Выходной диапазон

Выход ЦАП может быть двух видов – ток или напряжение. Если ЦАП имеет токовый выход, а применение требует выходного напряжения, то необходим дополнительный операционный усилитель.

Резисторы обратной связи, которые могут использоваться для задания смещения, усиления и диапазона выходного сигнала, обычно имеются внутри ЦАП. Предусмотрены внутренние резисторы, которые имеют такие же температурные характеристики, что и резисторы лестничной цепочки. Это позволяет устранить необходимость использования внешних резисторов, которые могут вводить дополнительные ошибки. Если имеется несколько резисторов обратной связи, то они обеспечивают различные диапазоны выходных сигналов. Биполярные диапазоны выходных напряжений обычно получаются путем задания однополярного напряжения смещения с помощью внутреннего резистора.

Выбор диапазона однополярного или биполярного выхода обычно производится с помощью перемычек.

Входные коды

Имеется несколько способов задания цифрового кода на входе ЦАП. Тип кода (простой двоичный, двоичный со сдвигом, дополнительный двоичный, двоично-десятичный и т.п.) и его восприятие (положительная или отрицательная логика) должны подходить для используемого ЦАП.

Время установления

В реальном ЦАП имеется ограничение по скорости, с которой преобразователь может выдавать новые аналоговые значения, поскольку производимый выходной аналоговый сигнал требует некоторого времени для установления нового значения в ответ на изменение цифрового входа. Время установления определяется как время, необходимое для достижения постоянного значения выходного сигнала в пределах заданной ошибки, определяемой обычно в процентах от полной шкалы или $\pm 1/2$ МР (младший разряд). Время установления определяется в соответствии с определенным изменением напряжения на входе (обычно изменение, соответствующее полной шкале). Эта цифра учитывает все внутренние факторы, влияющие на время установления, т.е. замыкание и размыкание ключей, изменение тока в цепочках резисторов и время, необходимое для установления выходного напряжения операционного усилителя или буферного выхода.

Время установления ЦАП, особенно быстродействующих ЦАП, увеличивается из-за переходных процессов на выходе, иногда являющихся значительными. Пики и провалы на выходе ЦАП, которые могут возникать в таких ситуациях, когда из-за промежуточных состояний на выходе ЦАП устанавливается напряжение, противоположное последнему состоянию. Промежуточное состояние является результатом того, что один или несколько ключей ЦАП срабатывают быстрее других. Например, рассмотрим самый главный переход ЦАП, когда входной код изменяется от 100...000 к 011...111. Если старший разряд изменяется быстрее, то может произойти промежуточное состояние 000...000, моментально дающее на выходе ЦАП

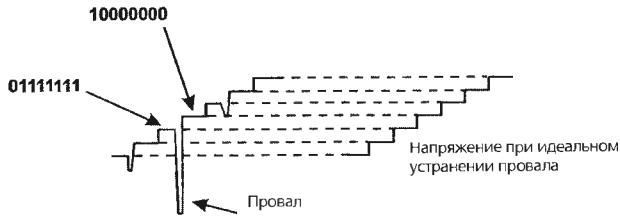


Рисунок 5.28

Провал напряжения, происходящий на выходе ЦАП во время главного перехода

0 В, прежде, чем будет возвращено правильное значение. Этот случай показан на рисунке 5.28.

Чем ближе подобраны времена переключения и чем быстрее ключи, тем меньше будет энергия, содержащаяся в провале. Поскольку величина провала не пропорциональна изменению сигнала, линейная фильтрация может оказаться бесполезной и может фактически только ухудшить ситуацию. Устройства, устраняющие провалы, выполненные в виде схемы выборки и хранения, часто являются частью ЦАП и предназначены для удержания выходного напряжения постоянным на предыдущем уровне до тех пор, пока ключи не достигнут равновесного состояния, а затем производятся выборка и хранение нового значения. Схема устранения провалов, хотя и очищающая выход, приводит к уменьшению скорости изменения сигнала.

Скорость нарастания выходного напряжения

Скоростью нарастания выходного напряжения является максимальная скорость, с которой ЦАП может обеспечить изменение выходного сигнала. Эта скорость обычно ограничена скоростью нарастания напряжения на выходе используемого усилителя.

Скорость обновления сигнала

Скорость обновления сигнала ЦАП является функцией времени установления и скорости нарастания выходного напряжения. Эта скорость критична при определении максимальной частоты изменения выходного напряжения. Следовательно, ЦАП с небольшим временем установления и высокой скоростью нарастания выходного сигнала может генерировать быстроизменяющиеся сигналы, поскольку для точного изменения уровня выходного напряжения требуется немного времени.

Генерация высокочастотных сигналов в аудиодиапазоне является одним из применений, где требуются высокая скорость нарастания выходного напряжения и маленькое время установления, чтобы уменьшить на выходе

количество обертонов и помех. В приложениях, связанных с управлением движения, в которых система реагирует более медленно на выходное напряжение, время установления и скорость нарастания выходного напряжения менее критичны. Двигатель действует как демпфер и уменьшает влияние колебаний на выходе. Еще одним применением, которое не требует быстрого аналого-цифрового преобразования, являются источники напряжения, которые управляют нагревателем, поскольку нагреватель реагирует на изменение напряжения относительно медленно.

5.8.3 Функциональные характеристики плат АЦП

Ниже приводится описание функциональных характеристик плат АЦП.

Вход с двойной буферизацией

Двойная внутренняя буферизация входного сигнала АЦП обеспечивает хранение всего слова данных в регистре первого буфера, а затем это слово передается во второй буфер для преобразования. Это предотвращает попадание на ЦАП недействительных данных и генерацию паразитного выходного сигнала, особенно при обновлении данных 12-разрядного ЦАП с помощью 8-разрядной шины данных.

Одновременное обновление данных

Двойная буферизация входов, обычно используемая на платах ЦАП, обеспечивает одновременное обновление данных на выходе ЦАП каждого канала. Если плата ЦАП запрограммирована на одновременное обновление, то данные, записанные в регистры цифроаналоговых преобразователей, не влияют на выходное напряжение до тех пор, пока плата выполняет команду обновления выходного сигнала для всех каналов одновременно.

Дистанционное подключение датчиков

Возможность дистанционного подключения датчика позволяет ЦАП каждого канала компенсировать падение напряжения на длинных выходных проводах.

Подстройка смещения выходного напряжения и коэффициента усиления

Если выходного операционного усилителя на плате ЦАП нет, то используется внешний усилитель. Что же касается инструментальных усилителей, то время установления и скорость нарастания выходного напряжения являются одними из наиболее важных параметров, требующих особого рассмотрения, поскольку именно они влияют на производительность (скорость обновления) выходного аналогового напряжения.

Смещение выходного напряжения и коэффициента усиления ЦАП являются наиболее часто настраиваемыми величинами, для чего используются подстроечные резисторы выходного усилителя.

5.8.4 Буферная память (FIFO)

Одним из свойств, которое отличает плату быстродействующего генератора аналогового сигнала от платы аналогового выхода, является наличие устанавливаемой на плате памяти или порта ввода/вывода в виде буфера FIFO («первый пришел, первый ушел»). Емкость памяти может быть в пределах от 1024 байт до 64 Кбайт.

Буфер(ы) FIFO образует область быстрой временной памяти, обращение к которой производится как к устройству ввода/вывода и которая содержит заранее заданный массив отдельных измерений. Это обеспечивает большую гибкость в создании аналогового сигнала произвольной формы. Будучи сохраненным в FIFO, цикл сгенерированного сигнала может быть выведен один раз или этот сигнал может периодически повторяться без вмешательства ПК. Это позволяет всю мощность процессора направить на выполнение других задач, включая расчет генерируемого сигнала. Для загрузки измененного или альтернативного аналогового сигнала из памяти требуется всего несколько миллисекунд. В режиме вывода повторных циклов между циклами может быть запрограммирована задержка.

Платы генерации аналоговых сигналов с несколькими выходными каналами, работающими одновременно или последовательно, требуют, чтобы сохраненная в FIFO цифровая информация содержала адрес канала, который должен выводить информацию.

5.8.5 Схема синхронизации

Платы с аналоговым выходом, которые не имеют буферов FIFO, не требуют схем синхронизации. Вывод любого генерируемого сигнала выполняется с помощью опрашиваемого ввода/вывода. Использование этого метода для вывода сигнала не гарантирует строгой синхронизации между временами обновления выходного сигнала. Максимальная скорость обновления выходного сигнала определяется максимальной скоростью передачи данных к ЦАП платы.

Если требуется точное управление частотой и амплитудой, обновление напряжения платы должно быть очень точным и хорошо управляемым. Платы, предназначенные для генерации быстроизменяющихся аналоговых напряжений, обычно снабжаются каким-либо внутренним программируемым быстродействующим счетчиком/таймером, позволяющим генерировать прецизионные быстроизменяющиеся сигналы, либо иметь, по крайней мере, возможность использования внешнего сигнала в качестве тактового генератора. Источники тактовых сигналов состоят из генератора, который может быть либо встроенным и генерировать частоту от 400 кГц до 10 МГц, либо внешним, а также схемы деления частоты, обычно ИС счетчика/таймера, которая уменьшает частоту до более приемлемого значения. В качестве внешнего запуска могут использоваться как постоянный ток, так и импульсы с частотой, соответствующей максимальной скорости обновления информации.

Аналого-цифровые преобразования инициируются с помощью устройства запуска, которое может быть либо программным (непосредственная запись в ЦАП), либо внешним. Преобразование данных может быть синхронизовано с внешними событиями с помощью внешних источников тактовой частоты или внешних запускающих устройств. Внешним запускающим событием обычно является цифровой или аналоговый сигнал, и устройство срабатывает по его активному фронту, если для запуска используется цифровой сигнал, либо при заданном уровне или крутизне сигнала, если запуск осуществляется аналоговым сигналом.

5.8.6 Выходной буферный усилитель

Операционные усилители, подключаемые к выходу ЦАП, обычно применяются на тех платах, на которых ЦАП обеспечивает токовый выход, а приложение требует выходного напряжения. Для преобразования тока в напряжение можно использовать операционный усилитель, включенный по схемам, показанным на рисунках 5.26 и 5.27. Операционные усилители используются также на выходе ЦАП, чтобы обеспечить необходимые диапазоны входного напряжения или мощный выход. Резисторы обратной связи, которые обычно применяются для задания сдвига, коэффициента усиления и, следовательно, диапазона выходного напряжения, обычно имеются в самом ЦАП. Это позволяет обеспечить точное соответствие температурных характеристик резисторов обратной связи и внутренних резисторов лестничной цепочки ЦАП и устранить необходимость использования внешних резисторов, которые могут внести ошибки из-за различия характеристик. Если имеется несколько резисторов обратной связи, то возможен выбор диапазона аналогового напряжения. Биполярные диапазоны выходного напряжения обычно получаются простым сдвигом однополярного напряжения, причем используется резистор, имеющийся в ЦАП.

5.8.7 Интерфейсная шина

Интерфейсная шина обеспечивает управление и сигналы, необходимые для передачи данных из памяти ПК, либо непосредственно в ЦАП, либо в находящийся на плате буфер FIFO, а также для передачи информации о конфигурации системы (например, количество повторов сигнала заданной формы, для выбора источника и частоты тактовых импульсов) или других команд (например, программный запуск) на плату.

В состав интерфейсной шины входят:

- Разъем, обеспечивающий аппаратный интерфейс, необходимый для подключения всех управляющих сигналов и данных, с шиной (например, ISA, EISA или PCI) главного компьютера
- Схемы, задающие базовый адрес платы, который обычно задается DIP переключателями и служит для задания адресов всех отделов памяти и портов ввода/вывода платы

- Источник генерируемых сигналов прерывания. Появление сигналов прерывания может быть запрограммировано в конце единственного преобразования или в конце цикла преобразований, настройка используемых уровней прерывания обычно производится перемычками на плате
- Управляющие сигналы ПДП и настройка используемых уровней ПДП. Это обычно производится с помощью перемычек на плате
- Обычные порты ввода/вывода платы и их адреса

5.9 Цифровые платы ввода/вывода

Цифровые интерфейсы ввода/вывода обычно используются в системах ПДП ПК для обеспечения мониторинга и управления технологическими процессами, а также для генерации специальных сигналов, предназначенных для лабораторных испытаний и связи с периферийным оборудованием, таким, как регистраторы информации и принтеры с параллельными цифровыми портами.

Цифровой интерфейс ввода/вывода любой платы ЦАП является компонентом платы, построенным на ИС, способных принимать и выдавать сигналы TTL-уровня. Сигнал считается TTL-совместимым, если его низкий логический уровень находится в пределах от 0 В до 0,8 В, а его высокий уровень — в пределах от 2,2 В до 5,5 В. Обычно цифровой интерфейс представляет собой несколько цифровых линий ввода/вывода, сгруппированных по портам, а каждый порт обычно состоит из четырех или восьми линий, хотя это определяется конкретной платой. Наиболее распространенным является случай, когда все цифровые линии ввода/вывода конкретного порта конфигурируются либо на ввод, либо на вывод, хотя в некоторых обстоятельствах направление передачи сигнала по отдельным линиям может задаваться независимо. Путем чтения из порта или записи в него кода одновременно могут быть сброшены или установлены логические состояния нескольких цифровых линий. Важными параметрами цифровых интерфейсов ввода/вывода являются количество имеющихся цифровых линий, и какая их часть настроена на ввод и вывод (или в обоих направлениях), скорость передачи данных по цифровым линиям, а также нагрузочная способность выходного каскада линии.

Многие многоцелевые сменные платы ЦАП, производимые в настоящий момент и включающие платы АЦП, ЦАП и счетчики/таймеры, обеспечивают интерфейсы ввода/вывода с различным количеством цифровых линий. Если возможности цифровых входов/выходов этих плат ЦАП не соответствуют требованиям конкретного применения или если конкретная ситуация требует единственной платы цифрового ввода/вывода, то используются специализированные сменные платы. Типовая плата цифрового ввода/вывода показана на рисунке 5.29.

На рисунке 5.29 показана типичная схема платы цифрового ввода/вывода. Плата сбора данных часто объединяет входы и выходы одного канала.

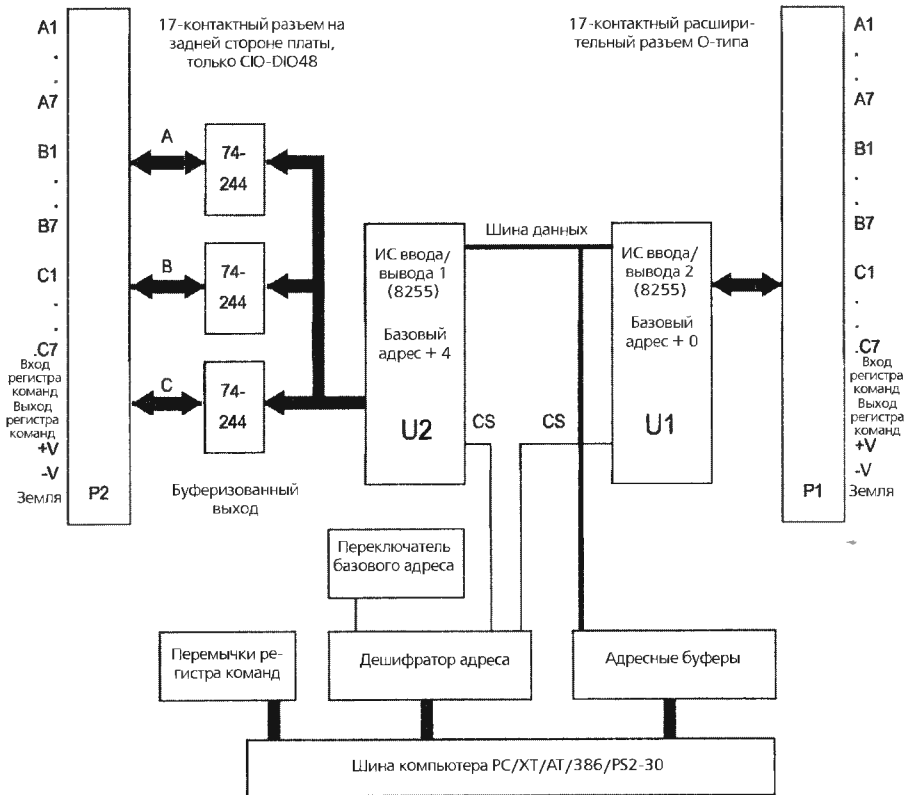


Рисунок 5.29

Блок-схема типичной платы цифрового ввода/вывода

По каналу ввода/вывода производится либо ввод, либо вывод, но не то и другое вместе. Программное обеспечение конфигурирует канал ввода/вывода платы либо на ввод, либо на вывод. Напряжение, прикладываемое к каналу и определенное как входное, берется по отношению к общему проводу или земле. Через эту землю подается напряжение на светодиод оптоэлектронной пары. Светодиод оптоэлектронной пары излучает свет, который попадает на базу транзистора и открывает его. Открытый транзистор, в свою очередь, является для платы сигналом того, что на вход подано напряжение.

Если канал настроен на цифровой выход, то ток, проходящий через транзистор на землю, открывает транзистор. Открытый транзистор обеспечивает протекание тока выходного канала на общую шину. Этот общий провод используется для включения реле или других устройств. IC, используемые для обеспечения цифрового выхода, часто имеют на выходе диод или конденсатор, обеспечивающие демпфирующие цепочки. Эти встроенные демпфирующие цепочки не предназначены для замены внешних цепей, которые необходимы при использовании длинных линий.

Нефиксируемые цифровые входы/выходы

Нефиксируемые цифровые входы/выходы используются в таких режимах, когда состояние выходной линии обновляется сразу же, как только цифровое значение будет записано в порт ввода/вывода. Кроме того, для цифровых линий ввода/вывода, настроенных на вход, текущее значение, присутствующее на линии во время чтения информации порта, является возвращаемым значением. Нефиксируемые цифровые входы/выходы являются наиболее распространенными и простейшими устройствами, используемыми в цифровых интерфейсах, и поддерживаются всеми платами, имеющими линии ввода/вывода. Направление передачи цифровых линий порта ввода/вывода обычно задается программным образом и при необходимости может многократно изменяться.

Фиксируемые цифровые входы/выходы

Для применений, которые требуют подтверждения установления связи, используют фиксируемые цифровые входы/выходы. В этом режиме работы внешний сигнал определяет, когда данные принимаются или передаются цифровым портом ввода/вывода. Сигналы, используемые для управления переносом данных, иногда называются линиями квитирования. Они используются для подтверждения того, что цифровой интерфейс готов к вводу информации, появляющейся на входных линиях и выставленной удаленным устройством или измерительным прибором, или того, что удаленное устройство готово к приему данных, выставляемых на выходных линиях цифровым интерфейсом ввода/вывода платы. Они могут также, в частности, обеспечить цифровое управление, включение реле постоянного и переменного тока или сигнальных реле, а также предоставить ПК огромные возможности для различных систем управления технологическими процессами.

Если цифровые линии ввода/вывода используются для управления светодиодными индикаторными панелями или для включения с помощью реле напряжения переменного или постоянного тока, то в этом случае не требуется высокая скорость передачи данных. Более важным, однако, является то, что количество выходных линий должно соответствовать количеству управляемых процессов и чтобы нагрузочная способность выходных линий цифрового интерфейса ввода/вывода была не меньше, чем необходимо для включения/выключения управляемых устройств.

5.10 Подключение цифровых входов/выходов

5.10.1 Датчики переключений

Во многих применениях, и особенно в промышленном мониторинге и контроле, переключатели образуют первичный интерфейс управляющих действий, которые должен производить оператор. Переключатели, управляемые оператором, могут использоваться для индикации того, что системой дол-

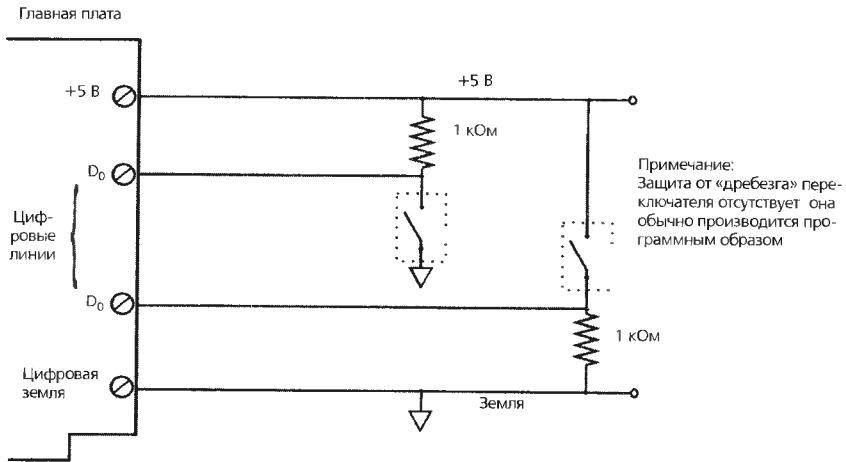


Рисунок 5.30

Схемы, позволяющие определить положение переключателя

жно быть произведено какое-либо действие. И наоборот, если переключатели имеют несколько пар контактов, то одна пара может реально производить требуемое действие (например, включение насоса), а другая пара контактов может использоваться для индикации того, что действие было произведено. Мониторинг системы при ненормальных условиях также может быть более простым при использовании концевых переключателей, обеспечивающих индикацию того, что была получена тревожная ситуация. В каждом из этих случаев, а также во многих других применениях должно быть определено условие замкнутости контакта, требующее того, чтобы передавалась информация о состоянии переключателей, которая должна восприниматься аппаратурой ЦАП.

Поскольку переключатели являются пассивными устройствами, не обеспечивающими никакого напряжения, то их необходимо заставить создавать сигнальные ТТЛ-уровни, подходящие для подключения к ТТЛ-совместимому цифровому интерфейсу ввода/вывода. Разомкнутое/замкнутое положение переключателя определяется ТТЛ-логикой, считывающей информацию с цифрового входа. Это можно реализовать достаточно просто, как показано на рисунке 5.30, изображающем две линии с датчиком переключения.

В первой линии с датчиком переключения резистор, соединенный с одним контактом переключателя, подключается («подтягивается») к уровню напряжения питания, которое обычно поступает с платы ЦАП. Разомкнутое состояние переключателя определяется по высокому логическому уровню, считываемому цифровым входом. Если контакты переключателя замкнуты, то цифровой вход соединяется с цифровой землей. Эта схема защищена от помех и имеет дополнительное преимущество в том, что один

контакт соединяется напрямую с землей и может заземляться в удобной точке около переключателя.

Во второй линии с датчиком переключения используется резистор, соединенный с землей и обеспечивающий низкий логический уровень (цифровая земля) на цифровом входе, когда переключатель размыкается. Если контакты переключателя замкнуты, то цифровой переключатель соединен напрямую к источнику питания 5 В. Значение резистора, соединяемого с землей или питанием, зависит от источника питания и входного тока цифровой ИС.

Если источником сигнала является кнопка или переключатель, дающий импульсы или провалы напряжения, или если амплитуда сигнала может превышать TTL-уровни, то необходимо использовать дополнительные делители напряжения и схемы, исключающие «дребезг».

5.10.2 Датчики переменного/постоянного напряжения

В промышленном мониторинге и контроле перевод переключателя используется для начала и окончания какого-либо действия, например подачи напряжения на двигатель или другое оборудование. В критических ситуациях действия поворота выключателя не всегда достаточно для подтверждения того, что двигатель получил питание. Эта операция требует датчика напряжения переменного/постоянного тока, присутствующего на клеммах двигателя. Поскольку контролируемое переменное/постоянное напряжение может быть весьма высоким, то любые датчики, напрямую подключенные к цифровому интерфейсу ввода/вывода, должны быть хорошо развязаны от напряжения, а также быть совместимыми с TTL-уровнями цифрового интерфейса ввода/вывода. Очень простая схема датчика переменного/постоянного напряжения, удовлетворяющая этим требованиям, показана на рисунке 5.31.

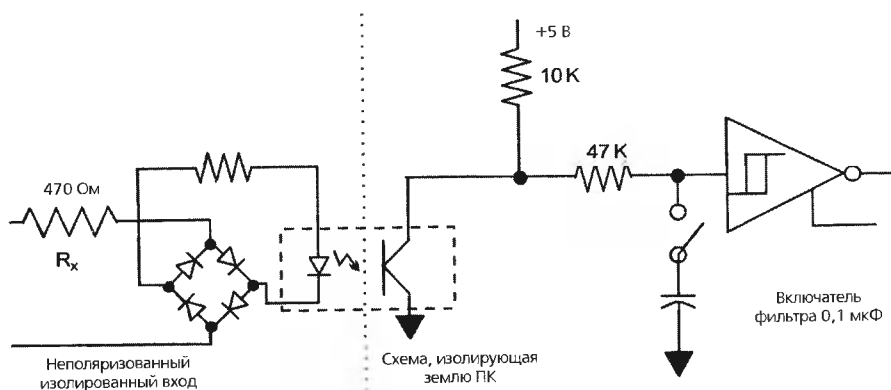


Рисунок 5.31

Схема датчика переменного/постоянного напряжения

Эта дешевая схема имеет несколько достоинств. Она не чувствительна к полярности напряжения и может работать от управляющих трансформаторов 12 или 24 В, причем входное напряжение может быть повышено путем увеличения сопротивления резистора R_X , а использование оптической развязки обеспечивает изоляцию высокого напряжения, часто достигающего 500 В.

Обнаружение присутствия постоянного напряжения требует использования фильтра, сглаживающего импульсы переменного тока от оптической развязки и обеспечивающего постоянный уровень сигнала на цифровых входах. Фильтр замедляет отклик устройства на подачу переменного напряжения (на время около 1 мс), однако если конденсатор можно переключать, то его можно отключить и получить при этом гораздо более быстрое время отклика (обычно около 20 мкс) на подачу на вход постоянного напряжения.

5.10.3 Подключение светодиодного индикатора

Если необходимо обеспечить визуальную индикацию выполняемого действия или проинформировать оператора о состоянии системы или процесса и при этом приемлем индикатор низкого уровня, то простое решение данной проблемы обеспечивают светоизлучающие диоды (СИД). Поскольку стандартные TTL-выходы таких интерфейсных ИС, как 8255, могут не позволять прямое подключение СИД, то необходимо использовать специальную схему, показанную на рисунке 5.32.

5.10.4 Подключение реле

Использование сменных плат для цифрового управления, в частности для включения реле, управляющих переменным или постоянным напряжением, а также сигналами тревоги, обеспечивает огромные возможности для

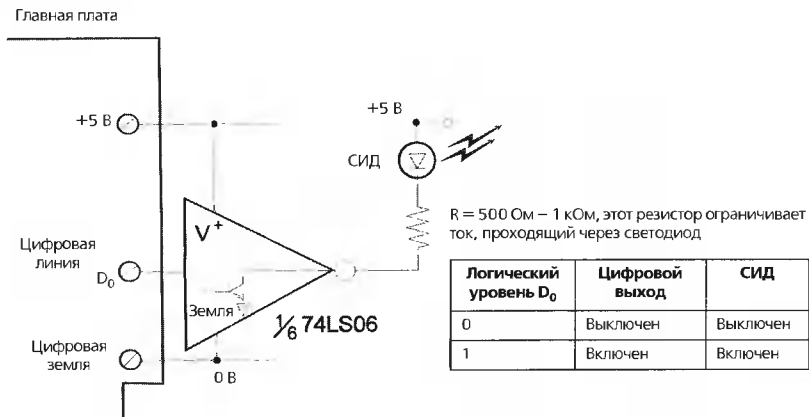


Рисунок 5.32
Включение светодиода

различных операций управления. Если цифровые интерфейсы ввода/вывода предназначены для коммутации реле, то необходимо использование специальных схем, поскольку реле обычно нельзя подключать к ИС с TTL-уровнями. Кроме того, ток, необходимый для срабатывания электромагнитных или полупроводниковых реле, обычно много больше, чем могут обеспечить стандартные TTL-схемы, например интерфейсная ИС типа 8255.

Чтобы удовлетворить любые конкретные требования по уровню напряжения сигнала и его току, необходимых для управления реле, возможны несколько вариантов:

- Специализированные платы с реле, устанавливаемые в стойку, которые подключаются напрямую с помощью плоского кабеля к выходным разъемам обычных цифровых плат ввода/вывода. Все схемы, необходимые для коммутации сильноточных реле, имеются на плате с реле. На плату могут быть установлены отдельные модули с реле, которые удовлетворяют требованиям конкретного применения и которые можно подключить к разъемам платы
- Специализированные сменные цифровые платы ввода/вывода с высокой нагрузочной способностью, разработанные специально для подключения к модулям реле
- Специализированные сменные цифровые платы ввода/вывода, которые содержат и управляющие схемы, и реле на одной плате
- Внешние управляющие схемы, создаваемые пользователем и обеспечивающие более сильноточный выход, нежели схемы, предусмотренные используемой цифровой платой ввода/вывода

Для подключения специализированных цифровых плат ввода/вывода к электромагнитным или полупроводниковым реле необходимы специальные схемы, установленные на самой плате или являющиеся внешними. Этот вопрос обсуждается в следующих разделах

Электромагнитные реле

Электромагнитные реле в силу своей конструкции обеспечивают некоторую степень изоляции от напряжения, которое переключается контактами реле. В случае неисправности эти контакты могут легко выдерживать в течение короткого времени переменное напряжение в десять тысяч вольт.

Катушки электромагнитных реле для выходного каскада представляют индуктивную нагрузку. При выключении тока реле противодействующая ЭДС, создаваемая запасенной в катушке электромагнитной энергией, может испортить схему, от которой питается реле. Для этого необходима дополнительная защита, обычно реализуемая в виде шунтирующего диода, включаемого параллельно катушке реле, посредством которого противодействующая ЭДС рассеивается на диоде.

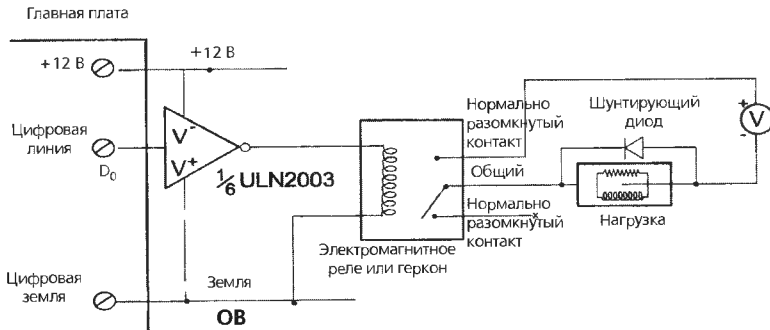


Рисунок 5.33

Подключение электромагнитных реле и предотвращение повреждений, вызываемых противодействующей ЭДС

При коммутации индуктивных нагрузок электромагнитные реле склонны также к образованию на контактах искрения (дугового разряда). Частая дуга, возникающая на контактах, приводит к их выгоранию, повышенному сопротивлению контактов и в конечном итоге к их разрушению. Кроме того, искрение контактов приводит к возникновению электромагнитных помех, которые могут воздействовать на цифровые устройства. (Во избежание разрушения контактов, возникающего вследствие действия индуцированной ЭДС при коммутации индуктивной нагрузки, параллельно контактам необходимо устанавливать шунтирующий диод (а возможно, и включенный последовательно с ним резистор), необходимый для рассеивания энергии, накопленной в катушке.)

Ток, необходимый для срабатывания реле, зависит от номинального напряжения срабатывания и сопротивления катушки. Например, для срабатывания реле с номинальным напряжением 5 В и с сопротивлением катушки 100 Ом необходим ток 50 мА.

Очевидно, что TTL-совместимые выходы ИС 8255 не могут обеспечить такой ток. В данной ситуации необходима буферная ИС, обеспечивающая большой выходной ток. ИС ULN2003 Darlington Transistor Array может выполнить две цели – обеспечение тока в 500 мА в схеме с открытым коллектором, а также обеспечение шунтирующего диода (имеется внутри ИС), рассеивающего запасенную в катушке противодействующую ЭДС. Схема, обеспечивающая коммутацию такого типа реле, показана ниже, на рисунке 5.33.

Одним достоинством этого типа реле является то, что производятся многоконтактные реле, позволяющие производить одновременную коммутацию нескольких линий.

Полупроводниковые реле

Полупроводниковые реле обычно производятся на основе мощных полупроводниковых приборов. Их оптически изолированные входы обеспечивают хорошую изоляцию от высокого напряжения, имеющегося на выходе (максимальное напряжение — до 4000 В переменного напряжения).

Полупроводниковые реле способны коммутировать нагрузки до 3,5 А при постоянном напряжении в пределах 0–200 В и переменном напряжении 0–220 В, что достаточно для включения небольших двигателей или пусковых реле более мощных двигателей, а также для включения приборов, клапанов разбрызгивателей, сигналов тревоги и индикаторных устройств.

Для включения реле этого типа необходимы напряжения больше, чем обеспечивают TTL-уровни. Простая схема типа 8255 не имеет достаточной мощности для включения полупроводникового реле. Между цифровым выходом ИС 8255 и полупроводниковым реле требуется выходное буферное устройство, обеспечивающее через нагрузку ток не менее 16 мА. Для коммутации такого типа реле вполне подходит ИС ULN2003 Darlington Transistor Array.

Полупроводниковые реле имеют несколько преимуществ по сравнению с обычными электромагнитными реле и герконами:

- Полупроводниковые реле не имеют проблемы искрения контактов, и, кроме того, у них отсутствует противодействующая ЭДС, возникающая при отключении реле
- Два полупроводниковых реле можно включить параллельно, что позволит получить вдвое больший коммутируемый ток. Встроенные схемы позволяют параллельным реле разделять протекающий через них ток, не требуя дополнительных устройств
- Переключение сильноточных полупроводниковых реле производится в момент прохождения переменного напряжения через нуль, что позволяет избежать всплесков тока и электромагнитных помех

5.11 Платы счетчиков/таймеров

Схемы счетчиков/таймеров полезны для многих применений, включая цифровой счет событий, синхронизацию импульсов, однократный импульс или непрерывную последовательность тактовых импульсов, а также генерацию сигналов сложной формы.

Все эти применения могут быть реализованы с помощью простого счетчика, который имеет вход *источника импульсов* и вход *стробирующего импульса*, единственный *выход* и внутренний *n*-разрядный счетчик, как показано на рисунке 5.34.

Счетчик является цифровым устройством, которое реагирует на входные и обеспечивает выходные TTL-совместимые сигналы, считающим переключения входного сигнала на его входе и изменяющим на единицу состояние

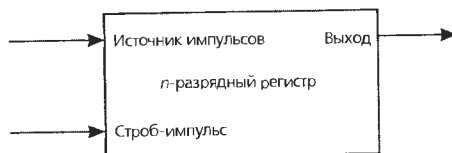


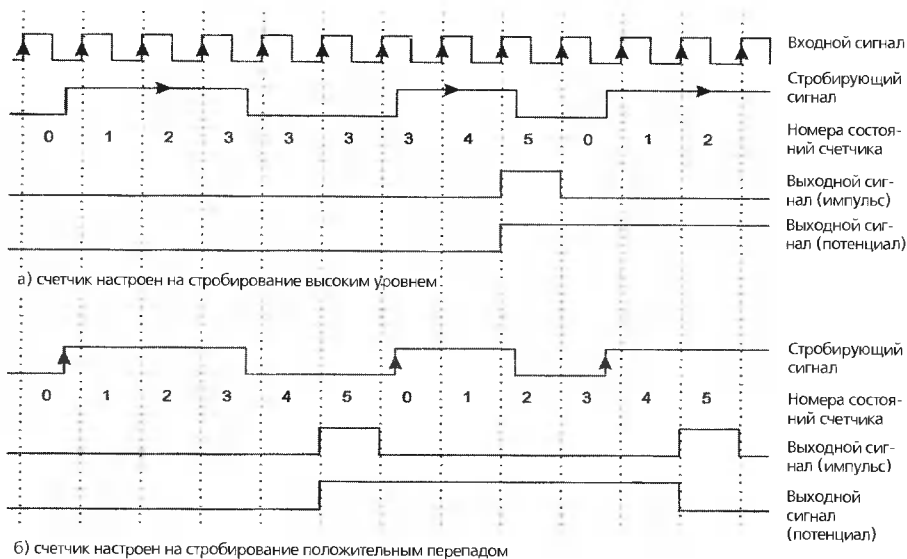
Рисунок 5.34
Упрощенная модель счетчика

внутреннего счетного регистра при каждом переключении. Таким образом, источник входных сигналов обеспечивает временную развертку для работы счетчика. Счетчик может быть настроен на счет как отрицательных (от низкого уровня к высокому), так и положительных (от высокого к низкому) перепадов, поступающих на его вход. Содержимое внутреннего счетного регистра может в любой момент считываться программным образом.

Вход строб-импульса может использоваться для включения/отключения работы счетчика путем включения или выключения счета, зависящего от текущего уровня сигнала на стробирующем входе. В этом режиме можно задать активный уровень строба, когда счет будет включаться, если строб имеет высокий уровень, и выключаться, если строб имеет низкий уровень, или наоборот. Счетчик можно также настроить, чтобы он начинал счет перепадов входных уровней только после поступления перепада на стробирующий вход, то есть строб будет действовать как счетный триггер. В этом режиме активный фронт стробирующего сигнала может быть настроен таким образом, чтобы позволить счет только после появления нарастающего фронта (от низкого уровня к высокому) строб-импульса или, наоборот, после появления спада (от высокого уровня к низкому) строб-импульса. Во всех режимах счет начинается со следующего активного фронта тактового импульса после появления стробирующего сигнала. Если счетчик используется без стробирующего сигнала, то запуск счета начинается программным образом.

В зависимости от режима работы счетчика его выходной сигнал можно настроить таким образом, чтобы он был в виде состояния или импульса, когда счетный регистр достигнет конечного отсчета (ТС). Если выходной сигнал другого счетчика используется в качестве стробирующего импульса, включающего или выключающего счет, то можно создавать сигналы сложной формы с заданными длительностями циклов и частотой. Это зависит от режима работы счетчика, поскольку в некоторых режимах стробирующий импульс на работу счетчика не действует.

На рисунке 5.35 показана работа счетчика, настроенного на стробирование сигналом высокого уровня, включаемое положительным фронтом. Выходной сигнал настроен на положительную полярность и показан в виде импульса и перепада, происходящего при достижении конца счета (ТС). Для простоты счетчик работает в режиме возрастания счета, и счет производится до пяти.

**Рисунок 5.35**

Сигналы, иллюстрирующие основной режим работы счетчика

Выпускаются два типа часто используемых ИС счетчика/таймера, которые поддерживают функции, описанные выше. Интегральная схема счетчика 8254 содержит три независимо программируемых 16-разрядных счетчика. Она обычно используется на сменных платах АЦП в качестве тактового генератора и запускающего устройства, обеспечивающего точную синхронизацию работы ЦАП и АЦП. Она часто входит в состав многоцелевых плат сбора информации в качестве простого счетчика/таймера, производящего любые необходимые функции счета или синхронизации, требуемые приложением. Чаще используется производительное и гибкое устройство, состоящее из пяти независимых 16-разрядных счетчиков. Типичный счетчик/таймер, построенный на основе ИС AM9515, показан на рисунке 5.36.

Поскольку подробности работы ИС AM9513 достаточно сложны, то они не будут рассмотрены здесь. Однако наиболее важными характеристиками ИС счетчика/таймера являются его разрешение, которое просто соответствует разрядности его внутренних регистров, и тактовая частота. ИС счетчика/таймера с 16-разрядным разрешением означает, что каждый из его счетчиков может считать до 65535. Более высокое разрешение означает, что каждый счетчик может считать до большего значения. Более высокое разрешение может быть получено путем подключения выхода одного счетчика к входу другого. При последовательном включении двух и более счетчиков можно обеспечить счет до чрезвычайно больших чисел. Например, при последовательном включении двух 16-разрядных счетчиков получается

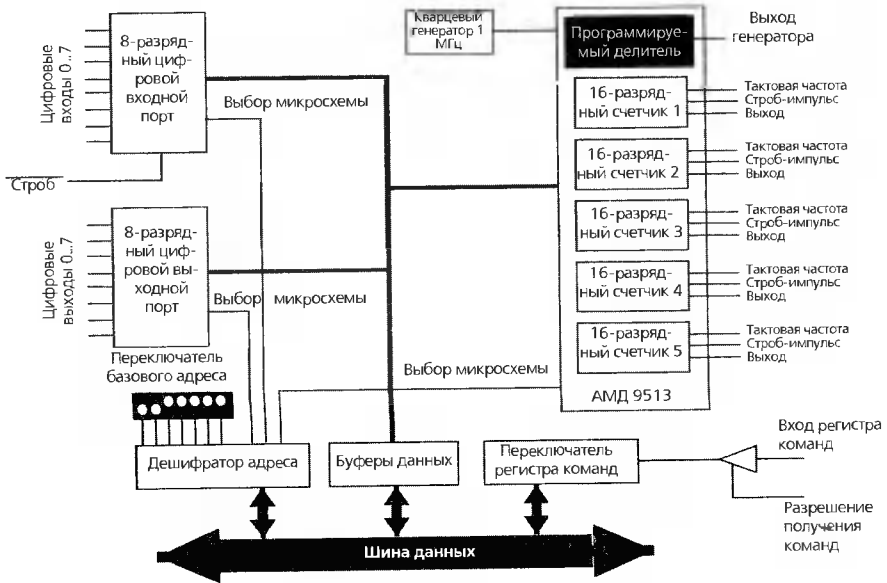


Рисунок 5.36
Типичная плата счетчика/таймера

32-разрядный счетчик, который способен считать более чем до четырех миллиардов.

Тактовый вход счетчика является физическим входом для подключения к стабильному источнику высокой частоты, которая обычно на плате делится до более подходящих частот. Частота тактового генератора становится важной, когда в счетчик загружаются новые отсчеты и внутренний счетчик уменьшается на единицу по перепаду тактового импульса, обычно по заднему фронту. Рассмотрим поступающий на вход сигнал, который имеет более высокую частоту, чем частота тактового генератора. Входной сигнал может выполнить несколько переключений состояния до того, как фронт следующего тактового импульса позволит внутреннему счетчику уменьшиться на единицу, что приведет к неточному измерению входного сигнала. Следовательно, чем выше тактовая частота, тем быстрее внутренний регистр счетчика может изменяться на единицу и тем выше частота сигнала, который может быть точно зарегистрирован и измерен. Кроме того, чем выше частота тактового генератора, тем выше частота импульсов, прямоугольных сигналов или сигналов сложной формы, которые можно создать на выходе.

Счетчики/таймеры могут настраиваться на работу в различных режимах, причем функции, поддерживаемые в каждом режиме, определяются производителем ИС счетчика/таймера. Несколько наиболее часто используемых функций, выполняемых счетчиками/таймера, описываются ниже.

Генерация сигналов

Генерация сигналов с переменным рабочим циклом является достаточно распространенной задачей. Рассмотрим счетчик ИС счетчика/таймера 8254, настроенного на режим 1 операции, в которой счет запускается активным фронтом входного сигнала. Следующий после этого тактовый импульс сбрасывает запускающее устройство счетчика, во внутренний счетчик загружается начальный счет (N), выходной уровень становится низким, и начинается счет. Выходной уровень остается низким в течение N тактовых импульсов, прежде чем он снова станет высоким и будет оставаться в высоком состоянии до появления следующего тактового импульса после очередного активного фронта входного сигнала.

Используя этот метод, можно получить выходные сигналы с заданным активным циклом и частотой. Частота сигналов будет точно такой же, что и частота входного сигнала. Рабочий цикл определяется отношением периода T_1 , в течение которого выходной сигнал остается в высоком состоянии, к периоду выходных сигналов $T_3 = T_1 + T_2$.

Если сигнал генерируется именно таким образом, то в периоде выходного сигнала будет неопределенность по сравнению с периодом входного сигнала, длительность которой может составлять до периода одного такта. Эта ошибка зависит от того, когда включается счет по отношению к активному фронту тактового сигнала.

Измерение ширины импульса

Счетчики можно использовать для измерения ширины импульса путем подачи неизвестного импульсного сигнала на стробирующий вход счетчика и подсчета количества периодов известной частоты, поступающей на счетный вход. Опорный тактовый сигнал можно получить со счетного входа ИС счетчика/таймера, внешнего тактового генератора или с выхода другого счетчика, настроенного на получение периодических сигналов требуемой частоты.

Если счетчик настроен на счет при активном высоком уровне стробирующего входа, то внутренний счетчик начинает считать входные перепады со следующего активного перепада, после того как строб-импульс примет высокое состояние и остановит счет в конце этого импульса. Длительность строб-импульса ($T_{СТР}$) определяется по содержимому регистра счетчика, определением количества произошедших тактовых переходов (N) и умножением этого числа на период тактовых импульсов (T_T). В этом случае не имеет значения, производился ли счет по отрицательным или положительным перепадам счетных импульсов. Наиболее важным является частота известного тактового сигнала, подаваемая на счетный вход. Как показано на рисунке 5.37, ошибка может происходить при подсчете перепадов тактовой частоты, которая зависит от того, когда импульс начинается и заканчивается по отношению к активному фронту счетного импульса. Эта ошибка может составлять почти два полных такта. Очевидно, что чем выше частота тактового сигнала, тем будет меньше ошибка счета, и тем выше разрешение может быть

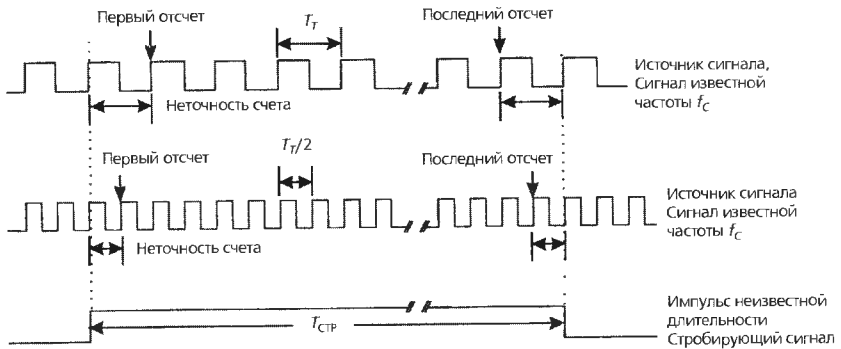


Рисунок 5.37
Измерение длительности импульса

достигнуто при измерении длительности импульса. Необходимо позаботиться также о том, чтобы тактовая частота не была слишком высокой, поскольку счетчик может переполниться до окончания измеряемого импульса.

Рассмотрим тактовый сигнал с частотой 500 кГц, период которого составляет 2 мкс, подаваемый на вход счетчика. Поскольку 16-разрядный счетчик может считать до $2^{16} - 1 = 65\,535$, то максимальная измеряемая длительность импульса может быть $65\,535 \cdot 2 \text{ мкс} = 131 \text{ мс}$. Уменьшение тактовой частоты позволит увеличить измеряемую длительность импульса.

Выбор тактовой частоты, следовательно, является компромиссом между разрешением, точностью измерений и длительностью импульса, которую можно измерить.

Измерение частоты

Счетчики можно также использовать для измерения частоты периодического сигнала прямоугольной формы, независимо от его скважности. Измерение частоты производится путем подачи неизвестного сигнала на вход счетчика и подсчета количества импульсов сигнала во время действия импульса фиксированной длительности, подаваемого на стробирующий вход. Строб-импульс фиксированной длительности можно получить от внешнего источника или с выхода другого счетчика, настроенного на получение импульса заданной длительности.

Как и в случае измерения длительности импульса, счетчик настроен на счет по активному высокому уровню на стробирующем входе. Внутренний счетчик начинает счет входных импульсов со следующего активного перепада после того, как стробирующий импульс примет высокое состояние и прекращает счет в конце этого импульса. Частота сигнала на входе счетчика ($f_{\text{СИГН}}$) определяется по количеству произошедших переключений сигнала (N), которое делится на фиксированную длительность стробирующего импульса $T_{\text{СТР}}$: $f_{\text{СИГН}} = N / T_{\text{СТР}}$. Эта операция показана на рисунке 5.38.

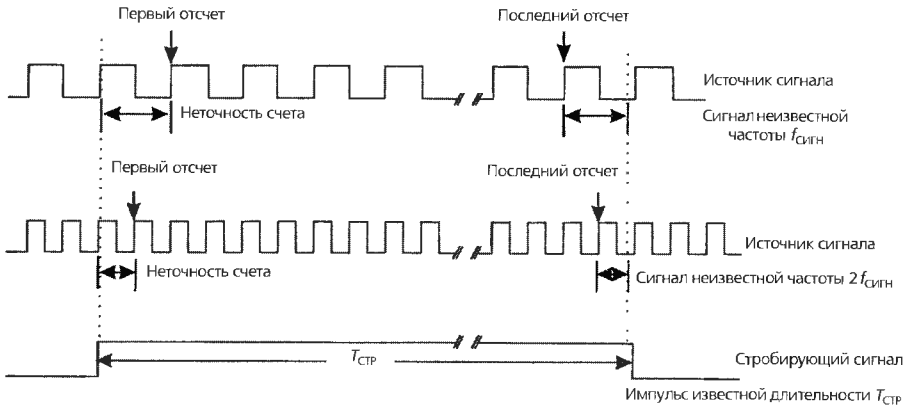


Рисунок 5.38
Измерение частоты

Чем ниже частота измеряемого сигнала, тем больше должна быть длительность фиксированного импульса (строба), чтобы обеспечить необходимую точность и разрешение. Если же длительность фиксированного импульса ($T_{\text{СТР}}$) слишком велика по сравнению с периодом измеряемого сигнала (T_T), то счетчик может достигнуть своего максимального значения до окончания импульса. Таким образом, выбор фиксированной длительности импульса, подаваемого на стробирующий вход, должен производиться в результате компромисса между требуемой точностью и частотой измеряемого сигнала.

Последовательная передача данных

Принятие для IBM PC-совместимых компьютеров последовательного порта RS-232 в качестве стандарта привело к тому, что этот интерфейс стал использоваться во многих автономных регистраторах и других измерительных приборах, подключаемых к ПК. С появлением программируемых измерительных устройств, таких, как цифровые передатчики, и их использованием в распределенных системах управления и сбора данных возникли требования по подключению многочисленных приборов, являющихся отдельными элементами сети, что привело к широкому распространению коммуникационного интерфейса RS-485.

В этой главе рассматриваются основные определения и базовые принципы организации цифровой последовательной передачи данных. Подробно описываются два наиболее распространенных стандартных интерфейса, используемых в системах управления и сбора данных (RS-232 и RS-485). Кроме того, рассматриваются наиболее распространенные промышленные протоколы, включая методы определения ошибок при передаче данных, а также важные вопросы, касающиеся помех при передаче данных в промышленных условиях. Для полноты информации глава включает раздел, описывающий тестирование и устранение неполадок в системах последовательной передачи данных.

Раньше сеть Ethernet считалась просто офисной сетью. В настоящее время многие производители используют Ethernet и промышленные полевые шины (Fieldbus) в качестве средства коммуникации, предназначенного для объединения устройств сбора данных в одну систему. Наряду с другими вариантами эта система может быть реализована путем соединения компьютеров, использующих сменные карты сбора информации и регистраторы, в общую сеть. Для соединения устройств сбора данных используют такие полевые шины, как Profobus и Foundation FieldBus. Сейчас имеются несколько гибридных аналоговых и цифровых стандартов на коммуникации между отдельными полевыми устройствами, а также между полевыми устройствами и главной системой. Конечные пользователи могут получить максимальную выгоду только от универсального цифрового коммуникационного стандарта, и одним из предлагаемых в настоящее время стандартов является Foundation FieldBus.

6.1 Определения и основные принципы

Все системы передачи данных имеют следующие компоненты:

- *Источник данных* (например, компьютер). Кроме того, необходимо устройство преобразования сигналов в такую форму, которая будет совместима с каналом связи, и это устройство называется передатчиком, или линейным формирова­телем
- *Канал связи* (кабель в виде витой пары, коаксиальный кабель, радио, телефонная сеть и т.п.), который передает сообщение к приемнику, находящемуся на другом конце канала
- *Приемник данных*, где сигнал снова преобразуется в форму, которая может восприниматься локальными электронными устройствами

Для успешной передачи информации и приемник, и передатчик должны удовлетворять ряду требований, самыми важными из которых являются следующие:

- *Тип электронных сигналов*, используемых для передачи данных
- *Коды*, используемые для передачи каждого символа
- *Значения символов*
- *Способ управления потоком данных*
- *Методы обнаружения и исправления ошибок*

Правила сопряжения аппаратного обеспечения, применимые к физическому интерфейсу устройств, называются стандартом интерфейса, а процедурные правила, которые применяются к формату и управлению потоком данных, а также к обнаружению и исправлению ошибок, обычно называются *протоколом* передачи.

Вся передача данных основана на такой же двоичной системе, которая используется в компьютерах. Каждый отдельный элемент информации называется БИТ, и он может принимать одно из двух значений — «0» или «1». Эти значения называют логическим 0 или логической 1. Внутри компьютера бит обычно представляется напряжением; чаще всего напряжение 5 В является логической 1, а 0 В — логическим 0. При передаче данных логическая единица называется также *меткой* (присутствие сигнала), а логический 0 — *паузой* (отсутствие сигнала).

В канале связи единицы и нули могут соответствовать положительному и отрицательному напряжению. Используются и другие способы передачи данных, например передача разных аудиочастот, когда одна частота соответствует логической 1, а другая частота — логическому 0. Некоторые современные технологии позволяют несколько бит кодировать с помощью одного изменения напряжения — этот способ используется модемами, передающими информацию со скоростью 14,4 кбит/с по телефонной линии, имеющей стандартную ширину полосы пропускания около 3 кГц.

Совокупность нескольких бит является двоичным числом. Его можно интерпретировать просто как числовое значение (двоичный код, шестнадцатеричный код или еще какая-либо система счисления) или, в соответст-

вии с заранее оговоренным кодом, может быть интерпретировано как символ. Например, в системе ASCII двоичное значение 1000100 представляет символ «D».

6.1.1 Режимы передачи — симплекс и дуплекс

В любой коммуникационной системе, соединяющей два устройства, данные могут посылаться только в одном направлении или в обоих. Симплексная система — это такая система, предназначенная для передачи сообщений только в одном направлении. Такая система показана на рисунке 6.1.

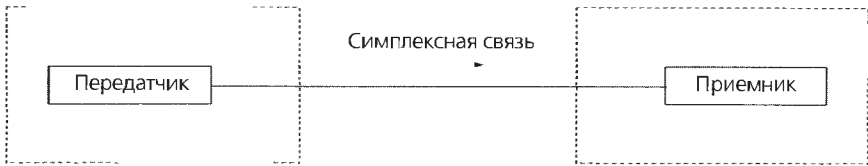


Рисунок 6.1
Симплексный режим передачи данных

Дуплексная система предназначена для передачи сообщений в двух направлениях. Существуют два типа дуплексных систем:

- Полудуплексная система, когда данные могут передаваться в обоих направлениях, но в любой момент времени данные передаются только в одну сторону, как показано на рисунке 6.2. Сначала передает один конец канала, а другой конец принимает, а спустя время, называемое временем реверсирования передачи, роли концов канала меняются местами
- В полнодуплексном режиме система, показанная на рисунке 6.3, может одновременно передавать данные в обоих направлениях

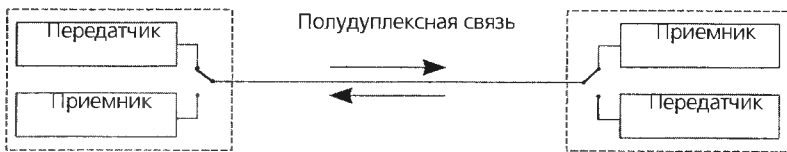


Рисунок 6.2
Полудуплексный режим передачи данных

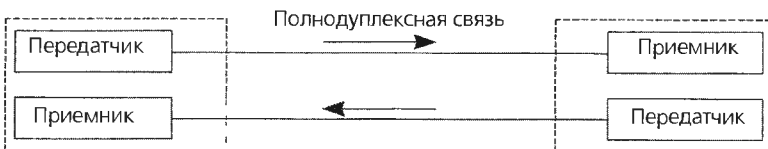


Рисунок 6.3
Полнодуплексный режим передачи данных

6.1.2 Кодирование сообщений

Чтобы передать сообщение через коммуникационный интерфейс, и отправитель, и получатель, среди всего прочего, должны договориться о значении передаваемой двоичной информации или коде. Кодирование является процессом преобразования данных в стандартный двоичный код, предназначенный для передачи через канал связи. Количество разрядов в коде определяет полное количество отдельных символов, которые можно передать.

Наиболее часто используемым набором символов, используемым на Западе для цифровой передачи данных, является Американский стандартный код обмена информацией или ASCII (см. Приложение Е).

Этот код использует 7 двоичных разрядов, каждая комбинация которых сопоставляется с одним символом и всего дает $128 (2^7)$ отдельных символов, в состав которых входят:

- Буквы верхнего и нижнего регистров, а также числа от 1 до 9
- Различные пунктуационные знаки и символы
- Набор управляющих кодов (первые 32 символа), которые используются самим каналом связи и при печати не выводятся

Компьютерной клавиатурой управляющие коды ASCII генерируются при нажатии клавиши Control [Ctrl] или любой другой. Например, сочетание [Ctrl]-[A] генерирует ASCII код SOH (символ начала заголовка).

Канал связи, настроенный на 7-битные строки данных, может оперировать только с шестнадцатеричными величинами от 00 до 7F. Для полной шестнадцатеричной передачи данных необходим 8-битный канал, в котором каждый пакет данных состоит из байта (два шестнадцатеричных разряда) в диапазоне от 00 до FF. По этой причине 8-битный канал связи часто называется *прозрачным*, поскольку он может передать любое значение. В этом случае любой символ, если необходимо, может быть интерпретирован как значение кода ASCII (при этом восьмой бит — старший разряд — игнорируется).

Необходимо упомянуть, что полный шестнадцатеричный диапазон может фактически передаваться по 7-битовому каналу путем представления каждого шестнадцатеричного разряда его ASCII эквивалентом. Тогда шестнадцатеричное число 8E может быть представлено двумя ASCII (шестнадцатеричными) значениями 38 45 («8» «E»). Недостатком этого способа является то, что количество передаваемых данных при этом удваивается, и на каждом конце канала необходима дополнительная обработка сигнала.

Код ASCII (Американский стандартный код обмена информацией) наиболее часто используется для кодирования символов при передаче данных. Этот код является 7-битовым и обеспечивает только $2^7 = 128$ возможных комбинаций семи двоичных чисел (бит).

Каждому из этих 128 кодов сопоставляется особый управляющий код или символ, определяемый следующими стандартами:

- ANSI — X3.4
- ISO — 646
- ССИТТ алфавит № 5

Таблица 6.1
Коды ASCII

		Старший разряд							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Шестнадцатеричный код	Двоичный код	000	001	010	011	100	101	110	111
0	0000	Пустой символ (NUL)	Авторегистр (DLE)	Пробел	0	@	P	'	p
1	0001	Начало заголовка (SOH)	Управление устройством 1 (DC1)	!	1	A	Q	a	q
2	0010	Начало текста (STX)	Управление устройством 2 (DC2)	"	2	B	R	b	r
3	0011	Конец текста (ETX)	Управление устройством 3 (DC3)	#	3	C	S	c	s
4	0100	Конец передачи (EOT)	Управление устройством 4 (DC4)	\$	4	D	T	d	t
5	0101	Символ запроса (ENQ)	Отсутствие подтверждения приема (NAK)	%	5	E	U	e	u
6	0110	Подтверждение приема (ACK)	Символ синхронизации (SYN)	&	6	F	V	f	v
7	0111	Символ оповещения (BEL)	Конец передачи пакета (ETB)	'	7	G	W	g	w
8	1000	Возврат на одну позицию (BS)	Отмена (CAN)	(	8	H	X	h	x
9	1001	Символ горизонтальной табуляции (HT)	Конец носителя (EM)	)	9	I	Y	i	y
A	1010	Перевод строки (LF)	Используется как «Конец файла» (SUB)	*	:	J	Z	j	z
B	1011	Символ вертикальной табуляции (VT)	Конец работы (ESC)	+	;	K	[	k	{
C	1100	Прогон страницы (FF)	Разделитель файлов (FS)	,	<	L	\	l	|
D	1101	Возврат каретки (CR)	Разделитель групп (GS)	-	=	M	]	m	}
E	1110	Переход на верхний регистр (SO)	Разделитель записей (RS)	.	>	N	^	n	~
F	1111	Переход на нижний регистр (SI)	Разделитель элементов (US)	/	?	O	-	o	Удаление символа

Таблица кодов ASCII содержит битовое значение каждого символа, определенного кодом. Имеется множество различных видов этой таблицы, но все они содержат одну основную информацию. Значения в таблице могут быть выражены в десятичном виде (DEC) от 0 до 127, в двоичном (BIN) — от 0000000 до 1111111 или в шестнадцатеричном от 00 до 7F (см. таблицу 6.2, в которой приводятся примеры преобразования двоичного кода в шестнадцатеричный).

Таблица 6.2

Несколько примеров двоичных и шестнадцатеричных значений

Символ	HEX	BIN
A	41	100 0001
M	4D	100 1101
M	6D	110 1101
@	40	100 0000
?	3F	011 1111

Краткая форма этой таблицы, показывающая символы и управляющие коды, представлена таблицей 6.1. Управляющие коды и их значения перечислены в таблице 6.3.

В таблице 6.1 приведены коды для каждого символа в шестнадцатеричной и двоичной формах. Они представлены в виде матрицы, в которой старшие разряды расположены в верхней строке, а младшие разряды — в левой колонке.

Некоторые примеры шестнадцатеричных (HEX) и двоичных (BIN) значений приводятся ниже:

Таблица 6.3

Управляющие коды ASCII и их значения

ACK	Подтверждение
BEL	Звонок
BS	Возврат на одну позицию
CAN	Отмена
CR	Возврат каретки
DC1	Управление устройством 1
DC2	Управление устройством 2
DC3	Управление устройством 3
DC4	Управление устройством 4
DLE	Авторегистр
EM	Конец носителя
ENQ	Запрос

EOT	Конец передачи
ESC	Конец работы
ETB	Конец передачи пакета
ETX	Конец текста
FF	Прогон страницы
FS	Разделитель файлов
GS	Разделитель групп
HT	Горизонтальная табуляция
LF	Перевод строки
NAK	Отсутствие подтверждения приема
NUL	Пустой символ
RS	Разделитель записей
SI	Переход на нижний регистр
SO	Переход на верхний регистр
SOH	Начало заголовка
STX	Начало текста
SUB	Используется как «Конец файла»
SYN	Символ синхронизации
US	Разделитель элементов
VT	Вертикальная табуляция

6.1.3 Формат передаваемых данных

Нельзя надеяться на то, что устройство сможет послать по каналу связи цепочку символов и что приемник на другом конце будет знать, что делать с этими данными. Любое сообщение должно быть представлено в соответствии с заранее определенными правилами. Поэтому данные обычно представляются в конкретном виде с добавлением информации, необходимой для их эффективной передачи и распознавания на принимающем конце. Рассмотрим простую асинхронную систему типа RS-232, которая за один раз передает один символ. Формат типичного символа показан на рисунке 6.4.



Рисунок 6.4

Формат типичного последовательного асинхронного сообщения

Первоначально канал связи находится в состоянии незанятости; линия находится в состоянии логической единицы (поддерживает постоянное отрицательное напряжение).

Затем передатчик посылает стартовый бит для указания того, что он начал передавать символ. Стартовый бит является напряжением, имеющим противоположный знак по отношению к состоянию незанятости; он позволяет приемнику настроиться на прием символа, следующим за стартовым битом.

Приемник считывает отдельные биты символа по мере их поступления. В конце битов данных может быть включен бит четности, позволяющий приемнику обнаружить любые возможные ошибки в передаваемом символе. После бита четности следуют 1, 1S или 2 стоповых бита (но не обязательно) (1S стоповых бита являются логической 1, удерживаемой на 50% дольше, чем 1 стоповый бит). Стоповый бит эффективно переводит канал связи назад в состояние незанятости. После того как по линии будет передан последний бит, может передаваться стартовый бит следующего символа.

Бит четности, следующий в конце символа, является эффективным «слепок» символа, позволяющим приемнику распознать наличие каких-либо ошибок, произошедших во время передачи данных.

Проверка на четность означает, что полное количество логических единиц в данных вместе с добавленным битом четности должны быть четным числом. Универсальный асинхронный приемопередатчик (UART) (см. страницу 210) вычисляет, является ли количество битов четным или нечетным, и присваивает биту четности значение 0 или 1, чтобы сделать полную сумму, включая бит четности, четным. Проверка на нечетность производится аналогично, за исключением того, что UART присваивает биту четности значение 1 или 0, чтобы полное количество битов сообщения, опять-таки включая бит четности, стало нечетным.

Для бита четности имеются две опции. Метка четности всегда устанавливает бит четности в состояние 1, а пауза четности устанавливает бит четности в 0. Хотя метка и пауза четности, очевидно, не позволяют приемнику обнаружить какие-либо ошибки в передаче символа, они иногда используются в тех случаях, если есть проблемы с синхронизацией.

Статистически при выборе проверки на четность или на нечетность имеется 60-процентная вероятность того, что приемник обнаружит ошибку четности. Работа схемы проверки четности основана на том, что нечетное количество битов является ошибкой, произошедшей при передаче символа. Четное количество битов ошибки не будет обнаружено схемой проверки четности. Таким образом, при использовании более сложных схем проверки ошибок, существующих в настоящее время (таких, как блочный контрольный подсчет и циклический контроль избыточности), бит четности иногда настраивается на проверку отсутствия четности (то есть бит четности совсем отсутствует в передаваемом символе).

Если подытожить сказанное, опциональными установками при асинхронной передаче символов являются:

- Стартовые биты 1
- Биты данных 5, 6, 7, 8
- Биты четности Четность, нечетность, метка, пауза или их отсутствие
- Стоповые биты 1, $1\frac{1}{2}$ или 2

Поскольку половина бита существовать не может, то $1\frac{1}{2}$ стоповых бита означает, что длина метки на 50% длиннее одного стопового бита.

6.1.4 Скорость передачи данных

Максимальная скорость, с которой данные могут передаваться от источника к приемнику коммуникационного интерфейса, зависит от ряда факторов:

- Тип и сложность схемы на каждом конце канала связи (интерфейс)
- Канал связи (витая пара, коаксиальный кабель, радиосвязь и т.п.)
- Расстояние между отправителем и получателем
- Количество передаваемых данных
- Накладные расходы, связанные с передачей данных
- Допустимый уровень ошибок

Чем ниже скорость передачи данных, тем меньше требования к каналу связи, схемам источника и приемника, а также тем ниже уровень ошибок, вызванных проблемами синхронизации и влиянием помех.

Скорость передачи данных обычно измеряется в битах в секунду, или бит/с. Она является индикатором количества полезных данных, передаваемых к приемнику. Например, на рисунке 6.4 полезные данные составляют только семь битов, в то время как полное количество переданных битов равно десяти. Три дополнительных бита при передаче данных являются «непроизводительными издержками».

Скорость двоичной передачи (в бодах, используемых в честь Maurice Emile Baudot) может считаться физической скоростью или скоростью передачи сигнала, с которой биты данных могут передаваться и корректно приниматься посредством коммуникационного интерфейса. Обращаясь к рисунку 6.4, можно видеть, что если каждый бит занимает время 1 миллисекунду (мс), то полная скорость в бодах будет $1/1 \text{ мс} = 1000 \text{ бод}$. Эта величина является скоростью передачи сигнала. Скорость передачи данных, с другой стороны, можно вычислить следующим образом:

$$7 \text{ бит данных} / 10 \text{ мс} = 700 \text{ бит в секунду (бит/с)}$$

Таким образом, для этого примера, когда в символе всего 10 бит, фактическая передача данных на 30% меньше, чем скорость в бодах. Для скорости в бодах обычно используются стандартные значения, такие, как 50, 110, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 и 115200 бод. В промышленности общей практикой является равноправное использование тер-

минов бод и скорость передачи данных, если только специально не оговорено, что они не равны.

При использовании модемов и сложных методов декодирования на изменение одного сигнала на линии могут указывать несколько закодированных битов. Это означает, что скорость передачи данных (в бит/с) намного больше, чем скорость в бодах (обратная ситуация описывается в предыдущем примере).

6.2 Стандартный интерфейс RS-232-C

Стандартный интерфейс RS-232 Ассоциации электронной промышленности (EIA) является, вероятно, одним из наиболее известных интерфейсов для последовательной передачи данных. Он был разработан с одной целью, ясно определенной его названием — «Интерфейс между терминальным оборудованием (DTE) и телекоммуникационным оборудованием (DCE), использующим последовательную двоичную передачу данных». Этот интерфейс был выпущен в США в 1969 году техническим отделом EIA. Bell Laboratories и ведущие производители коммуникационного оборудования объединились и выработали четкие требования к интерфейсу, используемому для подключения терминального оборудования к телефонной системе Bell. Почти сразу же недостатки интерфейса привели к небольшим доработкам стандарта, который в настоящее время стал широко используемым стандартом EIA-232-C. Текущей редакцией является EIA/TIA-232-E (1991 год), который ставит его в один ряд с такими стандартами, как CCIT V.24, CCIT V.28 и ISO-2110. Некоторые пользователи оспаривают утверждение, что EIA-232 является стандартом, поскольку с этой интерпретацией были связаны многие проблемы с интерфейсным оборудованием разных производителей. Необходимо отметить, что стандарт EIA-232 определяет электрические и механические параметры интерфейса, но не определяет протокол передачи данных.

Стандарт EIA-232 является совокупностью трех основных компонентов:

- **Электрические характеристики сигнала**
Электрические параметры, такие, как уровни напряжения и характеристики заземления сигналов обмена и сопутствующего оборудования.
- **Механические характеристики интерфейса**
Механические характеристики интерфейса между DTE и DCE устройствами. Этот раздел определяет, что интерфейс должен состоять из штекеров и гнезд и что гнезда должны быть на DCE устройстве. Наряду с распространенным разъемом DB-25 определен меньший альтернативный 26-контактный разъем.
- **Описание функций обмена данными**
В этом разделе определены функции данных, сигналы управления и синхронизации, используемые в интерфейсе между DTE и DCE устройствами. Небольшое количество определений в этом разделе относится к системам управления, передачи и сбора данных.

6.2.1 Электрические характеристики сигнала

Стандарт RS-232 разработан для связи двух устройств: терминального оборудования (DTE), такого, как компьютер или принтер, и телекоммуникационного оборудования (DCE), такого, как модем. Телекоммуникационное оборудование сейчас также называется конечным оборудованием стандарта RS-232-D/E. Это определение потребовалось постольку, поскольку стандарт RS-232 очень часто используется для связи оборудования, не являющегося телекоммуникационным.

Типичное подключение между компьютером (DTE), который передает данные через контакт 2 и принимает данные через контакт 3 25-контактного DB разъема на автономном контроллере (DCE), который принимает данные через контакт 2 и передает данные через контакт 3, как показано на рисунке 6.5.

Для приемника RS-232 определены следующие уровни напряжения сигналов:

- От +3 В до +25 В — передача логического 0
- От -3 В до -25 В — передача логической 1
- От +3 В до -3 В — неопределенный логический уровень

Для удовлетворения требований по напряжению на стороне приемника и для устранения провалов напряжения, которые бывают на коммуникационных линиях, передатчик RS-232 должен обеспечивать слегка повышенные напряжения.

Они находятся в диапазоне:

- От +5 В до +25 В — передача логического 0
- От -5 В до -25 В — передача логической 1
- От +5 В до -5 В — неопределенный логический уровень

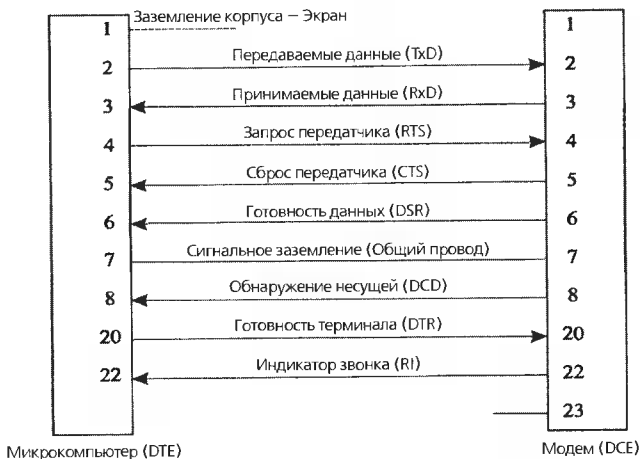


Рисунок 6.5

Схема подключения компьютера (DTE) и автономного контроллера (DCE)

На практике многие передатчики EIA-232 работают очень близко к предельным значениям, например $+7$ и -7 В. Это может быть приемлемо для коротких кабелей, для которых, как предполагается, проблем быть не должно. К сожалению, увеличенный уровень ошибок можно ожидать на стороне приемника из-за внешних помех.

Уровни напряжения, связанные с внутренними электронными схемами устройств DTE и DCE, обычно бывают от -5 В до $+5$ В и, следовательно, напрямую несовместимы с уровнями сигналов, связанными с коммуникационным интерфейсом. Следовательно, на передающем конце должен быть **передатчик линии** (линейный формирователь) и в линии данных, и в линии управления, необходимый для усиления этого напряжения до более высокого уровня, требуемого интерфейсом EIA-232. Источники питания модема, такие, которые используются в ПК, обычно имеют стандартные напряжения $+12$ В и -12 В, которые могут использоваться для линейного формирователя. Эти напряжения попадают в пределы, определенные стандартом EIA-232, и являются наиболее часто используемыми в настоящее время.

На приемном конце линии данных и управления необходим **приемник линии**, уменьшающий уровень напряжения до значения от -5 В до $+5$ В, требуемого внутренними схемами.

Стандарт EIA-232 определяет двадцать пять (25) электрических соединений, которые подробно описываются в разделе 6.2.3.

Все электрические соединения подразделяются на четыре группы, показанные ниже:

- Линии данных
- Управляющие линии
- Линии синхронизации
- Дополнительные линии

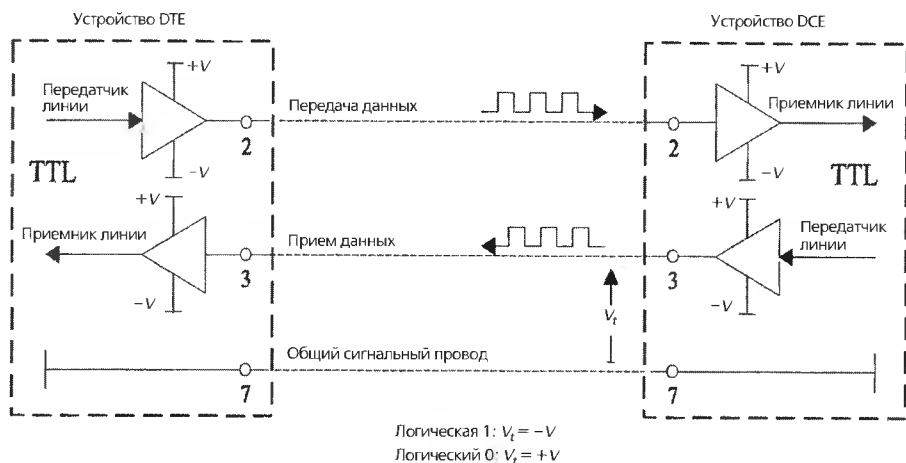


Рисунок 6.6
Передатчики и приемники стандарта EIA-232

Линии данных применяются для передачи данных. Для этой цели используются контакты 2 и 3. Поток данных предполагается от DTE интерфейса. Следовательно, «передающая линия», по которой DTE передает (а DCE принимает), связана с контактом 2 на стороне DTE и с контактом 2 на стороне DCE. «Принимающая линия», на которой DTE принимает (а DCE передает), связана с контактом 3 на стороне DTE и контактом 3 на стороне DCE. Контакт 7 является общим проводом для передающей и принимающей линий.

Управляющие линии используются для интерактивного управления устройствами, обычно называемого «аппаратное квитирование», и управляют передачей данных через интерфейс.

Чаще всего используются следующие четыре линии:

- RTS — Запрос передатчика
- CTS — Сброс передатчика
- DSR — Готовность данных
- DTR — Готовность терминала (или готовность DTE в стандарте EIA-232-D/E)

Необходимо отметить, что линии квитирования работают с противоположным напряжением по отношению к линиям данных. Если управляющая линия активна (логическая 1), то напряжение находится в пределах от +3 до +25 В, а если она неактивна (логический 0), то напряжение является нулевым или отрицательным.

Аппаратное квитирование обычно является причиной большинства интерфейсных проблем. Производители иногда опускают некоторые из этих управляющих линий в своем оборудовании EIA-232 или назначают им нестандартные функции. Вследствие этого многие применения не используют аппаратное квитирование, а вместо этого используют только три линии данных (передающую, приемную и общую) с некоторыми видами программного квитирования. Управление потоком данных в этом случае возлагается на прикладную программу. Большинство систем, используемых при сборе и передаче данных, а также при управлении измерительными приборами, вместо аппаратного квитирования используют некоторый вид программных протоколов. Простыми примерами программных протоколов квитирования являются ETX/ACK, где квитированием управляет программное обеспечение передатчика, и XON/XOFF, где квитированием управляет программное обеспечение приемника.

Для интерфейса EIA-232 существует связь между допустимой скоростью передачи данных и длиной кабеля, соединяющего два устройства. Если кратко, то по мере увеличения скорости качество перехода сигнала данных от одного уровня напряжения к другому (например, от -25 В к +25 В) начинает сильно зависеть от емкости и индуктивности кабеля. Скорость, с которой напряжение может переключаться от одного логического уровня к другому, зависит главным образом от емкости кабеля, которая возрастает с его длиной. Длина кабеля, однако, ограничена количеством ошибок, допустимых при передаче данных. Стандарт EIA-232-D&E определяет максималь-

ную емкость кабеля 2500 пФ. При типичной емкости кабеля порядка 150 пФ/м максимальная длина кабеля может составлять порядка 15 м, но на практике при пониженных скоростях передачи данных возможно использование и более длинных кабелей.

При передаче данных в стандарте EIA-232 обычно используются скорости 110, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 и 19200 бод. Основываясь на полевых испытаниях, таблица 6.4 показывает практическую связь между выбранной скоростью и длиной кабеля, обеспечивающего надежную передачу данных. Таблица 6.4 указывает на то, что при низких скоростях передачи данных возможно использование весьма длинного кабеля. Эти значения не учитывают влияния помех, которые могут ограничить максимальную длину кабеля для данной скорости передачи.

Таблица 6.4

Максимальная длина кабеля для интерфейса EIA-232

Скорость передачи данных (бод)	Длина кабеля (м)
110	850
300	800
600	700
1200	500
2400	200
4800	100
9600	70
19200	50

6.2.2 Механические характеристики интерфейса

Несмотря на то что изначально разъем DB-25 (25-контактный разъем D-типа) не был определен стандартом RS-232C, он фактически стал ассоциироваться с интерфейсом RS-232 и впоследствии стал стандартом «де-факто». Некоторое оборудование, совместимое со стандартом RS, которое для квитирования использует не все линии, обычно использует разъем меньшего размера DB-9 (9-контактный разъем D-типа).

Обычно контакты разъема DB-9 имеют следующие назначения:

- **Контакт 2** — прием данных
- **Контакт 3** — передача данных
- **Контакт 7** — Земляной провод сигнала

Хотя производители компьютерных интерфейсов и должны придерживаться этого назначения контактов, но возможно (и встречается весьма час-

то), что линии приема и передачи данных автономных удаленных систем связаны с другими контактами разъема DB-9. Поэтому перед использованием подобных устройств рекомендуется ознакомиться со спецификациями производителя.

Обычное назначение контактов разъемов DB-9 и DB-25 стандарта RS-232 приводится ниже в таблице 6.5

Таблица 6.5

Таблица назначения контактов разъемов DB-9 и DB-6 стандарта EIA-232

Номер контакта	Назначение контактов разъема DB-9 стандарта EIA-232 (IBM)	Назначение контактов разъема DB-26 стандарта EIA-232
1	Принимаемый сигнал линии	Экран
2	Принимаемые данные	Передаваемые данные
3	Передаваемые данные	Принимаемые данные
4	Готовность DTE устройства	Запрос передачи
5	Сигнальная земля/Общий провод	Сброс передачи
6	Готовность DTE устройства	Готовность DTE устройства
7	Запрос передачи	Сигнальная земля/Общий провод
8	Сброс передачи	Принимаемый сигнал линии
9	Контрольное напряжение	Положительное контрольное напряжение
10	Индикатор звонка	Отрицательное контрольное напряжение
11		Не задействован
12		Обнаружение несущей вторичных данных
13		Вторичный сброс передачи
14		Вторичные передаваемые данные
15		Синхронизация передатчика
16		Вторичные передаваемые данные
17		Синхронизация приемника
18		Местная обратная петля
19		Вторичный запрос передачи
20		Готовность DTE устройства
21		Качество сигнала
22		Индикатор звонка
23		Скорость передачи сигнала
24		Синхронизация передатчика
25		Контрольный режим

6.2.3 Функциональное назначение линий интерфейса

Функции линий стандарта EIA (применительно к DTE устройству):

- **Контакт 1: Защитное заземление (экран)**

Контакты защитного заземления редко подключаются на каждом конце линии. Целью этого подключения является предотвращение появления опасного напряжения путем выравнивания на обоих концах линии потенциала на корпусах DCE и DTE устройств. Однако существует опасность того, что могут возникнуть паразитные контуры заземления, поэтому экран кабеля подключается к земле только на одном конце.

- **Контакт 2: Передаваемые данные (TXD)**

По этой линии передаются последовательные данные с контакта 2 устройства DTE к контакту 2 устройства DCE. Во время периодов ожидания линия удерживается в состоянии метки (MARK, или отрицательного напряжения).

- **Контакт 3: Принимаемые данные (RXD)**

По этой линии передаются последовательные данные от контакта 3 устройства DCE к контакту 3 устройства DTE.

- **Контакт 4: Запрос передачи (RTS)**

RTS линия служит для запроса на передачу от устройства DTE к устройству DCE. Эта линия используется в совокупности с линией CTS, осуществляющей контроль аппаратуры. DCE устройство не активизирует линию CTX до тех пор, пока устройство DTE не активизирует линию RTS.

- **Контакт 5: Сброс передачи (CTS)**

Во время полудуплексного приема DTE устройство считает операции с RTS запрещенными. Когда наступает очередь DTE устройства на передачу, оно уведомляет об этом модем активизацией линии RTS. Когда модем выставляет сигнал CTS, он информирует DTE устройство о том, что теперь можно передавать данные.

- **Контакт 6: Готовность данных (DSR)**

Этот сигнал называют также сигналом готовности DCE устройства. В режиме ответа ответный тон и сигнал готовности данных выставляются спустя две секунды после того, как подключится телефон.

- **Контакт 7: Сигнальная земля (общий провод)**

Эта линия является общей линией возврата для передаваемых данных и принимаемых сигналов. Это подключение, от контакта 7 к контакту 7 между двумя концами линии, делается всегда.

- **Контакт 8: Обнаружение несущей данных (DCD)**

Этот сигнал называется также детектором принимаемого сигнала линии. Линия контакта 8 активизируется модемом, когда он принимает несущую удаленного DTE устройства и остается активной на протяжении всей связи.

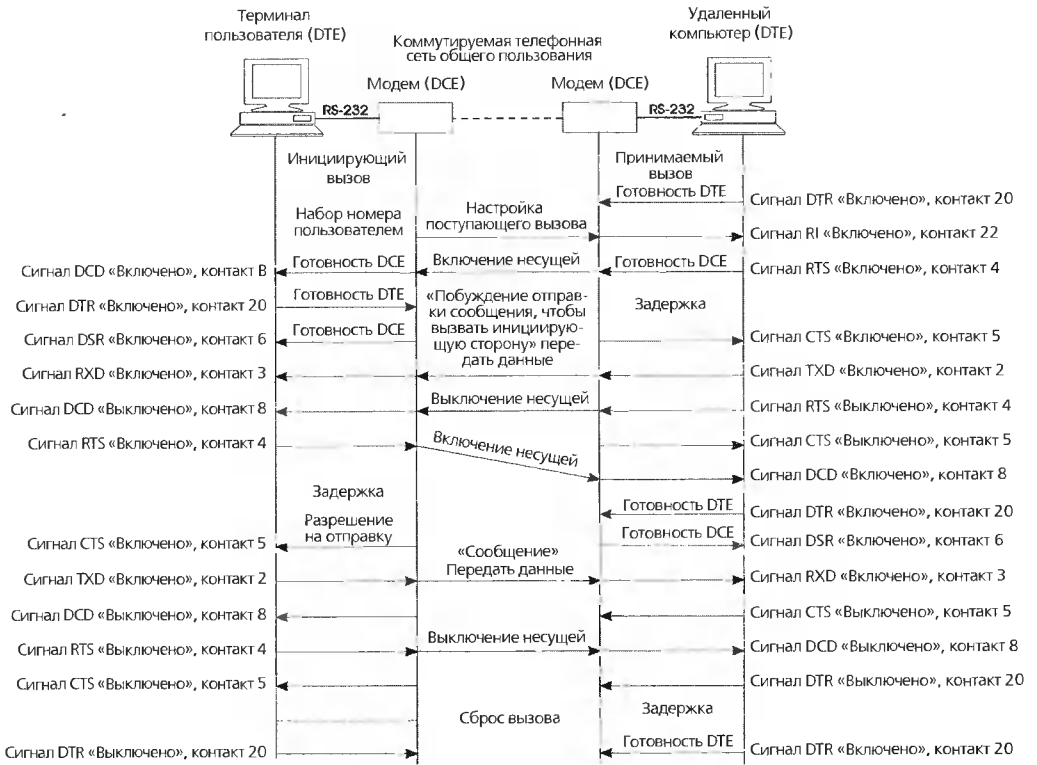
- **Контакт 20: Готовность DTE устройства (или готовность терминала)**
Сигнал готовности DTE устройства обеспечивает возможность, но не заставляет модем подключиться к линии. В исходном режиме сигнал готовности DTE устройства должен был выставляться для обеспечения автоматического набора номера. В режиме ответа этот сигнал должен активизироваться для автоматического ответа.
- **Контакт 22: Индикатор звонка**
Сигнал на этом контакте активизируется во время звонка на линии.
- **Контакт 23: Селектор скорости данных (DSRS)**
Если возможны две скорости передачи данных, то активизацией этой линии выбирается большая.

6.2.4 Последовательность операций, производимых интерфейсом EIA-232

Приведенное ниже описание одной конкретной операции интерфейса EIA-232 относится к полудуплексному обмену данными. Необходимо отметить, что в настоящее время обычно используется полностью дуплексная передача данных; однако описывается полудуплексная передача, поскольку она охватывает и полнодуплексную операцию. На рисунке 6.7 приводится графическая диаграмма операции, на которой DTE устройство и связанный с ним модем (DCE устройство) находятся с левой стороны диаграммы, а удаленный компьютер и его модем — с правой стороны.

Производится следующая последовательность действий:

- Пользователь, инициализирующий операции, вручную набирает номер удаленного компьютера.
- Принимающий модем переводит индикатор звонка линии (RI, контакт 22) в состояние включено/выключено согласно вызывающему тональному сигналу. Удаленный компьютер уже держит линии готовности терминала в активизированном состоянии (линия готовности терминала, контакт 20), указывающие на то, что он готов принять вызов. (Либо удаленный компьютер может активизировать DTR линию через несколько звонков.) Затем удаленный компьютер активизирует запрос к передающей линии (RTS, контакт 4).
- После этого принимающий модем отвечает и передает несущий сигнал на иницирующую сторону. Через несколько секунд он также выставляет сигнал готовности устройства DCE (DSR, контакт 6).
- Иницирующей модем затем активизирует линию обнаружения несущей данных (DCD, контакт 8). Иницирующей терминал активизирует свой сигнал DTR (если он еще не находился в высоком состоянии). Затем модем отвечает активизацией сигнала сброса передачи (CTS, контакт 5), который позволяет передачу данных с удаленного компьютера на принимающую сторону.
- После этого данные передаются с контакта принимающего DTE устройства (переданные данные) к принимающему модему. Принимаю-

**Рисунок 6.7**

Пример операции обмена данными с использованием интерфейса RS-232

ций удаленный компьютер может затем передать короткое сообщение, чтобы указать иницирующему терминалу, что он может продолжить передачу данных. Иницирующий модем передает данные иницирующему терминалу на контакт 3.

- Принимающий терминал переводит свой запрос на передачу (RTS, контакт 4) в состояние «выключено». Затем принимающий модем переводит линию, осуществляющую сброс передачи (CTS, контакт 5), в состояние «выключено».
- После этого принимающий модем выключает сигнал несущей.
- Иницирующий терминал определяет, что линия обнаружения сигнала несущей иницирующего модема выключена, и переводит свою линию RTS в состояние «включено».
- Затем передача данных продолжается от иницирующего терминала к удаленному компьютеру.
- Когда обмен данными будет завершен, обе несущие выключаются (и во многих случаях сигнал DTR переводится в состояние «выключено»). Это означает, что линии CTS, RTS и DCE готовы или линия DSR переводится в состояние «выключено»

Необходимо отметить, что полнодуплексная операция требует, чтобы передача и прием происходили одновременно. В этом случае ни на одном из концов линий не производится взаимодействие сигналов RTS/CTS. Линии RTS и линия CTS остаются в состоянии «включено» при наличии несущей к удаленному компьютеру.

Обнаружение разрыва

Для увеличения внимания приемника передатчик может удерживать линию данных в состоянии паузы (положительное напряжение) в течение большего периода, чем требуется для завершения передачи символа. Это называется «разрывом», и приемники могут быть снабжены детектором разрыва, позволяющим определить состояние линии. Разрыв может быть полезен для прерывания приема, когда передача символа не закончена. Очевидно, что время обнаружения разрыва зависит от скорости передачи данных.

6.2.5 Примеры интерфейсов RS-232

Стандарт на интерфейс RS-232-C определяет только подключение одной точки коммуникационной линии к другой, однако возможны ситуации, когда к ПК необходимо подключить несколько устройств. Примером этого является подключение нескольких цифровых передатчиков к ПК, который имеет только один стандартный коммуникационный порт RS-232-C. Хотя интерфейс RS-232 не предназначен для подключения нескольких устройств, однако к ПК можно подключать модули в виде последовательной цепочки.

При использовании последовательной цепочки выход каждой сигнальной линии подключается к приемной линии следующего передатчика цепочки. Эта цепочка последовательно включенных устройств продолжается до тех пор, пока выход последнего передатчика цепочки не будет подключен к входу главного компьютера. Чтобы вся последовательная цепочка устройств работала корректно, все цифровые передатчики должны быть настроены на одну скорость передачи, они должны иметь уникальную адресацию и должны быть способны ретранслировать любые полученные данные. Все символы, переданные главным компьютером, принимаются каждым цифровым передатчиком цепочки и затем передаются дальше по цепи, пока информация не будет возвращена к главному компьютеру. Команды, отправляемые с главного компьютера, проверяются всеми цифровыми передатчиками. Адресуемое устройство реагирует путем передачи отклика дальше по цепочке, проходя через все остальные модули, пока сигнал не достигнет своего назначения — входа главного компьютера.

Последовательная цепочка должна реализовываться очень аккуратно, чтобы избежать ловушек, присущих ее структуре. Поскольку цепочка устройств передает сигнал последовательно, любое нарушение звена связи или неисправность любого подключенного устройства приведет к нарушению работы всех устройств.

Если расстояние между главным компьютером и отдельными удаленными устройствами превышает нагрузочную способность обычного коммуникационного звена RS-232, то можно реализовать сеть, показанную на рисунке 6.7. На каждом из концов коммуникационное звено остается стандартом RS-232.

6.2.6 Особенности стандартного интерфейса RS-232

Ниже приводятся некоторые особенности оборудования, использующего стандартный интерфейс RS-232:

- Передача информации производится от точки к точке
- Оборудование подходит для последовательной двоичной передачи данных (данные посылаются последовательно бит за битом)
- В большинстве случаев данные передаются по интерфейсу EIA-232 с использованием кода ASCII, хотя он не является частью стандарта
- Коммуникация осуществляется асинхронно (фиксированное время между битами данных, но время между отдельными символами переменное)
- Коммуникация производится полнодуплексно (в обе стороны одновременно), при этом в каждом направлении используется один сигнальный и один общий провод
- Для передачи сигналов используются следующие напряжения:
 1. Логическая 1: от -3 вольт до 25 вольт
 2. Логический 0: от $+3$ вольт до $+25$ вольт
- Напряжение передаваемых сигналов является несимметричным, что делает их уязвимыми по отношению к помехам
- Надежная связь обеспечивается на расстоянии не более 15 м
- Возможна скорость передачи данных до 20 кбит/с. Несмотря на распространенность и активное использование интерфейса EIA-232, необходимо помнить, что первоначально он был разработан для передачи данных от терминалов к модемам. В контексте требований к модемам стандарт EIA-232 имеет несколько слабых мест, большинство из которых проявляются при увеличении требований, возникающих при организации связи между дополнительными приборами, такими, как ПК, цифровыми измерительными приборами и другими периферийными устройствами промышленных предприятий (цифровые приводы с регулируемой скоростью, системы управления питанием и т.п.)

Основными ограничениями стандарта EIA-232, проявляющимися при его использовании для передачи данных, а также в системах управления и сбора данных в промышленных условиях, являются следующие:

- Возможность передачи данных только от точки к точке является серьезным ограничением при необходимости подключения нескольких программируемых приборов

- Расстояние между устройствами, ограниченное 15 метрами, является слишком маленьким для большинства управляющих систем. Для многих применений слишком мала и скорость передачи данных, равная 115 кбит/с.
- Уровни напряжений от -3 вольт до -25 вольт и от $+3$ вольт до $+25$ вольт напрямую несовместимы со стандартом на источники питания современных компьютерных модемов, которые обычно составляют ± 5 вольт и ± 12 вольт

Наличие указанных ограничений привело к разработке других коммуникационных интерфейсов. Для систем сбора данных и управления постоянно растет роль стандартных интерфейсов RS-422 и RS-485. Наиболее распространенным из этих интерфейсов является RS-485, который обсуждается ниже (стандарт RS-422 является его упрощенной версией).

6.3 Стандартный интерфейс RS-485

Интерфейс EIA RS-485 — наиболее гибкий из стандартов EIA и является расширением стандарта RS-422. Стандарт RS-485 был разработан для двухпроводной, полнодуплексной, симметричной связи, поддерживающей подключение до 32 формирователей (передатчиков) и 32 приемников к одной линии. Он сочетает достоинства симметричных линий с возможностью использования только двух проводов (плюс общий сигнальный провод).

Интерфейс RS-485 обеспечивает надежную последовательную связь в следующих условиях:

- Расстояние — до 1200 м
- Скорость передачи данных — до 10 Мбит/с
- Подключение к одной линии — до 32 передатчиков
- Подключение к одной линии — до 32 приемников

В линии используются следующие напряжения: для логической 1 — от $-1,5$ В до -6 В и для логического 0 — от $+1,5$ В до $+6$ В. Передатчик интерфейса RS-485 обеспечивает дифференциальное напряжение 5 В, передаваемое по двум проводам. Для полнодуплексных систем требуются четыре провода, а для полудуплексных систем достаточно использования только двух проводов.

Главным улучшением интерфейса RS-485 является то, что передатчик может обеспечивать три состояния — логический 0, логическая 1 и высокое выходное сопротивление. В состоянии высокого сопротивления передатчик линии фактически не потребляет энергии и кажется отключенным от линии. Это отключенное состояние позволяет производить многоточечные операции, при которых допускается подключение к одной линии до 32 передатчиков, хотя в любой момент времени может быть активным только один передатчик. Поэтому каждому терминалу многоточечной системы должен быть назначен уникальный адрес, позволяющий избегать конфликтов с другими приборами всей системы. В случае конфликтных ситуаций интерфейс RS-485 обеспечивает ограничение тока.

Стандартный интерфейс RS-485 очень удобен для систем управления и сбора данных, в которых к одной линии может быть подключено множество цифровых передатчиков или автономных контроллеров. Особое внимание должно быть уделено программному обеспечению, организующему согласованную работу всех устройств сети. Если в сети имеется несколько подчиненных приборов, то главный компьютер должен определять, какой из передатчиков/приемников должен быть активным в данный момент времени.

Двухпроводная передающая линия обычно не требует специального согласующего устройства. Однако при использовании коротких линий передний и задний фронты импульсов данных будут гораздо круче, если на самых концах линии будут установлены согласующие резисторы, приблизительно в два раза большие волнового сопротивления линии (Z_0). Обычно используются резисторы с сопротивлением от 100 до 500 Ом, которые уменьшают отражения от концов линии. Для витых пар волновое сопротивление обычно имеет величину 100–120 Ом.

Во время передачи данных могут быть периоды времени, когда все передатчики RS-485 системы выключены и линии связи находятся в режиме паузы. В этом состоянии линии подвержены влиянию помех, которые могут быть интерпретированы коммуникационной линией как случайные символы. Решением этой проблемы является включение резисторов смещения с сопротивлением 1 кОм, как показано на рисунке 6.8. Эти резисторы будут поддерживать линии данных в состоянии метки, когда система находится в режиме паузы.

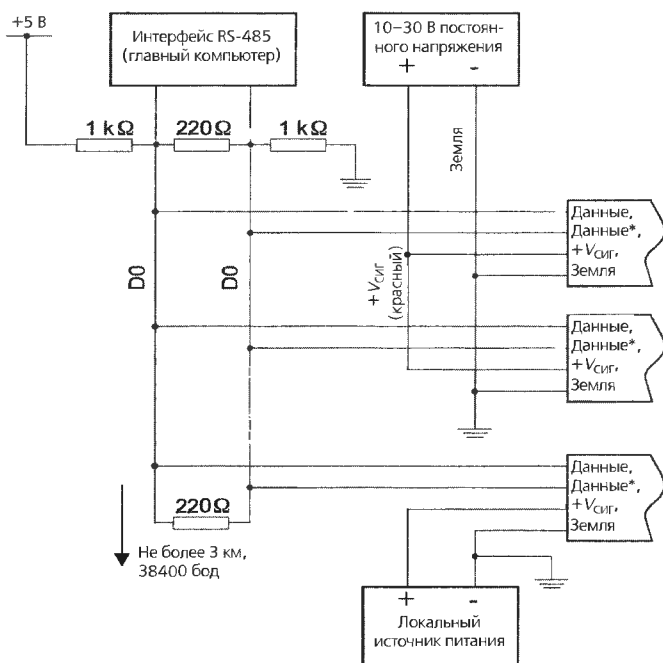


Рисунок 6.8
Многоточечная линия RS-485

6.3.1 Репитеры интерфейса RS-485

Линейные передатчики интерфейса RS-485 могут использоваться для обеспечения работы до 32 приемников сети. Это ограничение может быть преодолено путем использования репитеров. Репитер является двухпортовым устройством, которое передает данные с полным размахом напряжения, полученные с одной стороны, к сети, подключенной с другой стороны. В результате к каждому используемому репитеру может быть подключено еще 31 устройство, как показано на рисунке 6.9.

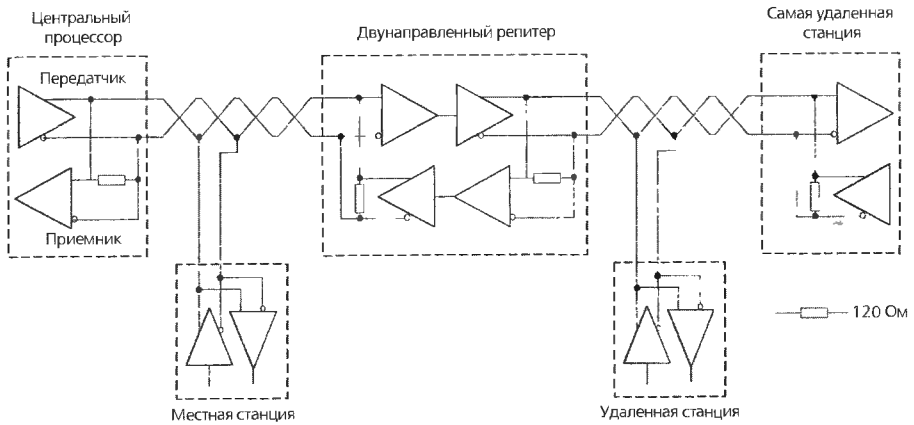


Рисунок 6.9
Многоточечная сеть RS-485

6.4 Сравнение стандартов RS-232 и RS-485

Ниже приводятся главные особенности четырех наиболее распространенных стандартных интерфейсов EIA:

Таблица 6.6

Сравнение основных показателей интерфейсов EIA-232 и EIA-485

Передатчик	EIA-232	EIA-485
Режим работы	Несимметричный	Дифференциальный
Максимальное количество передатчиков и приемников, подключаемых к линии	1 передатчик 1 приемник	32 передатчика 32 приемника
Максимальная длина кабеля	15 м	1200 м
Максимальная скорость передачи данных	20 кбит/с	10 Мбит/с
Максимальное напряжение для обычного режима	25 В	От +12 В до -7 В
Выходной сигнал передатчика	±5,0 В мин ±25 В макс	±1,5 В мин ±5,0 В макс

Передатчик		EIA-232	EIA-485
Нагрузочная способность передатчика		> 3 кОм	60 Ом
Выходное сопротивление передатчика (высокое выходное сопротивление)	Питание включено	–	100 мкА –7 В ≤ V ≤ 12 В
	Питание выключено	300 Ом	100 мкА –7 В ≤ V ≤ 12 В
Входное сопротивление приемника		От 3 кОм до 7 кОм	> 12 кОм
Чувствительность приемника		±3,0 В	±200 мВ –2 В ≤ V ≤ 12 В

6.5 Токовая петля 20 мА

Другим часто используемым интерфейсом, основанным на стандарте EIA-232, но НЕ являющимся его частью, является токовая петля. Этот интерфейс использует токовый сигнал, а не сигнал в виде напряжения, как показано на рисунке 6.10, причем для передающей и принимающей токовых петель используется отдельная пара проводов.

Уровень тока 20 мА (или иногда 60 мА) используется для задания логической 1, а нулевой ток соответствует логическому 0. Использование токового сигнала допускает большее расстояние, чем стандартный интерфейс EIA-232, использующий в качестве сигнала напряжение. Это объясняется меньшей восприимчивостью токовой петли к помехам, что позволяет работать с длинными линиями (до 1 км), но заметно замедляет скорость передачи информации (до типового максимального значения 9600 бод). Этот интерфейс используется главным образом в промышленности между принтерами и терминалами.

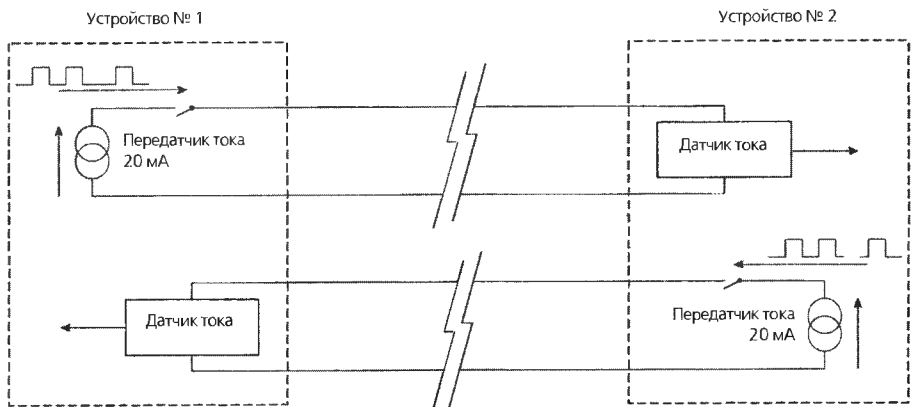


Рисунок 6.10
Интерфейс в виде токовой петли 20 мА

6.6 Преобразователи последовательного интерфейса

Преобразователи интерфейса сегодня приобретают все большее значение, когда происходит постепенный переход от стандарта RS-232C к промышленному стандарту RS-485. Поскольку многие промышленные устройства используют порты RS-232, необходимо использование преобразователей этого интерфейса для работы с другими сетевыми стандартами. Кроме того, преобразователи интерфейсов иногда используются для увеличения эффективного расстояния между устройствами RS-232, особенно в условиях помех. Блок-схема преобразователя интерфейсов RS-232/RS-485 показана на рисунке 6.11.

Преобразователи интерфейсов RS-232/RS-485 обеспечивают двунаправленное полнодуплексное преобразование, обеспечивающее синхронную и асинхронную передачу данных между узлами RS-232 и RS-485. Эти преобразователи могут питаться от внешних источников переменного тока, обычно от настенных трансформаторов. Некоторые блоки меньших размеров могут питаться от контактов квитирования 9 и 10 (+12 В) порта RS-232, хотя в промышленных условиях рекомендуется использовать блоки с внешним питанием.

Если коммуникационный канал действует на большом расстоянии, то полезной функцией преобразователей интерфейсов является оптическая развязка. Она позволяет защитить и компьютер, и оборудование, располагающиеся на большом расстоянии, от импульсных сетевых помех, которые могут воздействовать на длинные линии связи.

Преобразователи RS-232/RS-485 имеют следующие типичные характеристики:

- Скорость передачи данных до 1 Мбод
- Переключение режима DCE/DTE
- Преобразование всех сигналов данных и управления
- Наличие светодиодных индикаторов состояния линий данных и управления
- Питание от источника переменного тока или самостоятельное питание от контактов 9 и 10 порта EIA-232

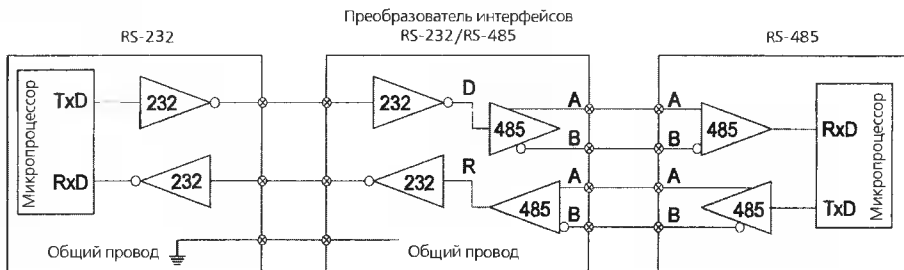


Рисунок 6.11

Блок-схема преобразователя интерфейсов RS-232/RS-485

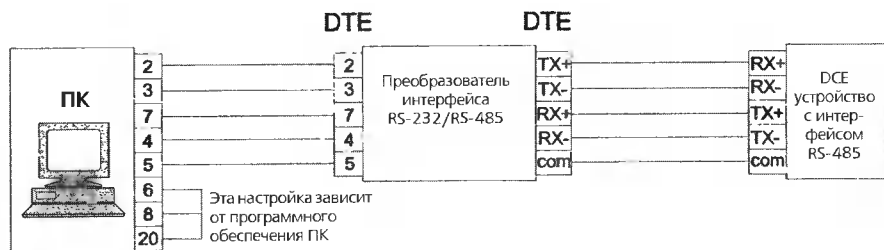


Рисунок 6.12

Диаграмма сигналов для преобразователя интерфейсов RS-232/RS-485, где com – общий провод

- Оптическая развязка (опционально)
- Разъем DB-25 (штырьки или гнезда)
- Разъем DB-37 (штырьки или гнезда)

Диаграмма сигналов для преобразователя интерфейсов RS-232/RS-485 показана на рисунке 6.12.

6.7 Протоколы

Протоколом, по сути, является набор правил, управляющих обменом данными между передатчиком и приемником коммуникационного канала и обычно ассоциируется с упаковкой данных, передаваемых через коммуникационный интерфейс.

Протокол важен для корректной работы системы коммуникации и определяет ряд важных характеристик, к которым относятся:

- **Инициализация**
Эта процедура инициализирует параметры протокола и начинает передачу данных через звено связи.
- **Формирование цикла передачи и синхронизация**
Эта процедура определяет начало и конец цикла передачи и обеспечивает синхронизацию работы приемника во время приема данных.
- **Управление потоком**
Эта процедура контролирует, чтобы скорость, с которой приемник считывает данные с передатчика, соответствовала скорости передачи, а также следит за тем, чтобы не было потерь данных.
- **Контроль линии**
Это понятие применимо к полудуплексной передаче, когда передатчик указывает приемнику, когда он может переключить линию и начать передачу в противоположном направлении.
- **Контроль ошибок**
Типичными используемыми методами являются проверка пакета на избыточность и циклический контроль избыточности
- **Контроль превышения времени простоя**
Это понятие применимо к передатчику, когда он не принимает сигнал подтверждения в течение заданного времени и предполагает, что приемник не получил оригинальное сообщение.

Точно так же, как имеется множество языков, на которых разговаривают люди, так существует и множество коммуникационных протоколов, которые были разработаны в разные времена поставщиками компьютеров и международными командами. Протоколы для аппаратуры последовательной передачи данных, связывающей ПК с устройствами сбора данных и управления, в основном построены на использовании кода ASCII. Это позволяет обеспечить более простое устранение проблем, возникающих при организации связи, когда уровень понимания промышленных каналов связи может быть весьма низким. Кроме того, если ПК по каналу связи управляет критическими процессами, то необходима высокая степень достоверности передаваемых данных. В промышленных условиях, когда может иметься высокий уровень помех, необходимо использование качественной проверки данных на отсутствие ошибок, например циклический контроль избыточности. Некоторые из наиболее часто используемых протоколов будут обсуждены ниже.

6.7.1 Протоколы управления потоками

Совместное управление потоками, при котором работа передатчика и приемника подчинена общему набору правил, называется протоколом управления потоком данных. Ниже приводится описание двух наиболее распространенных протоколов управления потоками.

Протоколы потока символов (XON/XOFF)

XON/XOFF являются распространенными методами управления потоков, которые основаны на обмене управляющими символами XON (старт) и XOFF (стоп). Обычно в качестве символов XOFF и XON выбираются символы DC3 (Ctrl-S) и DC1 (Ctrl-Q) кода ASCII соответственно. Например, рассмотрим передатчик (ПК), посылающий поток символов на принтер. Когда буфер принтера заполнится до некоторого предопределенного уровня, например, на 66%, то он передает назад к ПК символ XOFF, приказывая ему прекратить передачу символов. После того как буфер принтера опустеет до заданного уровня например, 33%, то принтер посылает к ПК символ XON, и ПК возобновляет передачу потока символов. Этот протокол может иметь некоторые вариации в виде того, что ПК будет возобновлять передачу потока символов, когда от принтера будет получен какой-либо символ.

Протоколы завершения транзакции (ETX/ACK)

Протокол ETX/ACK, разработанный компанией IBM, основан на добавлении передатчиком символа ETX в конце каждой строки данных и ожидании символа ACK от приемника, запрашивающего следующую строку данных.

6.7.2 Протоколы, основанные на коде ASCII

Использование протоколов на основе ASCII распространено вследствие их простоты и удобства отладки системы. Их основным недостатком является то, что они работают достаточно медленно, особенно если система требует

передачи большого количества данных с большой скоростью. Таким образом, протокол ASCII обычно используется только в медленных системах с одним главным устройством, общающимся с ограниченным числом подчиненных устройств. Протоколы ASCII также часто используются для работы с автономными измерительными приборами, которые поддерживают последовательный интерфейс, причем в существующую систему не вносятся никакие серьезные изменения. По сути, это означает, что дополнительный последовательный порт истолковывается измерительным прибором как дополнительная клавиатура.

Структура протокола

Простой протокол ASCII типа команда/отклик, используемый для обеспечения коммуникаций между персональным компьютером и цифровым передатчиком, показан на рисунке 6.13. Последовательность команд всегда

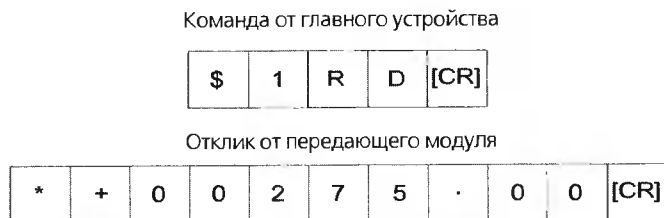


Рисунок 6.13

Короткая форма команды и отклика

генерирует главный компьютер. Передача информации инициируется с помощью командных сообщений, содержащих адрес устройства и командный код из двух символов. Все аналоговые данные возвращаются в виде строки из девяти символов, состоящей из знака, пяти цифр, десятичной запятой и двух дополнительных цифр. Символ \$ используется для указания запроса от главного устройства, а символ * является откликом подчиненного устройства. И команда, и отклик оканчиваются символом [CR].

В приведенном выше примере команда производит считывание информации из цифрового передатчика по адресу 1 и принимает в ответном сообщении значение 72.10.

Разновидностью короткой формы команды и отклика является длинная форма. Для обеспечения большей целостности данных и увеличения надежности в конце сообщения в длинной форме вставляется блок контрольной суммы. Кроме того, команда ретранслируется назад вместе с откликом подчиненного устройства. Длинная форма команды инициируется символом #, а не \$, как в короткой форме. Пример длинной формы сообщений показан на рисунке 6.14.

Подсчет контрольной суммы пакета производится простым суммированием шестнадцатеричных значений всех символов ASCII сообщения и пре-

Команда от главного устройства

#	1	R	D	E ₁₆	A ₁₆	[CR]
---	---	---	---	-----------------	-----------------	------

Отклик от передающего модуля

*	1	R	D	+	0	0	0	7	2	.	1	0	A ₁₆	4 ₁₆	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----------------	-----------------	------

Рисунок 6.14

Длинная форма команды и отклика

Символ ASCII	Шестнадцатеричное значение
*	2A
1	31
R	52
D	44
+	2B
0	30
0	30
0	30
7	37
2	32
.	2E
1	31
0	30
Сумма	2A4

Рисунок 6.15

Подсчет контрольной суммы пакета

образованием полученного шестнадцатеричного числа в эквивалентные цифры ASCII. Это показано выше, на рис. 6.15. Необходимо отметить, что если полученная сумма больше значения $0 \times FF$, то старшее число отбрасывается.

Ошибки

Если удаленное устройство принимает сообщение с ошибкой, то оно будет реагировать выдачей символа? В качестве альтернативы может не быть вообще никакого отклика, если были использованы неправильный адрес или команда. Типичные реакции на ошибочные сообщения приведены на рисунке 6.16.

?	1	[SP]	B	A	D	[SP]	C	H	E	C	K	S	U	M	[CR]
---	---	------	---	---	---	------	---	---	---	---	---	---	---	---	------

?	1	[SP]	S	Y	N	T	A	X	[SP]	E	R	R	O	R	[CR]
---	---	------	---	---	---	---	---	---	------	---	---	---	---	---	------

Примечание: [SP] является символом пробела кода ASCII

Рисунок 6.16

Типичная реакция на ошибочное сообщение протокола на основе кода ASCII

6.8 Обнаружение ошибок

Во многих протоколах используются три основных метода обнаружения ошибок. К ним относятся (по увеличению способности обнаружения ошибок):

- Контроль символов по избыточности
- Контроль пакета по избыточности
- Контроль с использованием циклического избыточного кода

6.8.1 Контроль символов по избыточности

Контроль символов по избыточности основан на соглашении передатчика и приемника об использовании проверки по *четности* или *нечетности*, чтобы определить бит четности, добавляемый к каждому символу. Например, если для линии связи выбрана проверка на четность, то 7-битовый символ ASCII 0110001 становится 01100011, то есть к предшествующим 7 битам добавляется 1, сообщающая в байте, что имеется четное количество единиц. Приемник определяет, что поступающий 8-битовый байт имеет проверку по четности. Если проверка по четности имеется, то первые семь бит выделяются и считаются данными. Если принятый байт соответствует нечетности, то приемник сообщает об ошибке.

6.8.2 Контроль пакета по избыточности

При использовании этого метода вычисляется дополнительный символ, называемый контрольным символом пакета, который добавляется к потоку символов, передаваемых по каналу связи.

Например, передача трех символов A B Z будет дополнена вычисленным контрольным символом, который будет добавлен в конце. В таблице 6.7 показаны два различных способа вычисления контрольного символа. Этими способами являются:

Таблица 6.7

Два способа контроля пакета по избыточности

Передаваемый символ	Эквивалентный код ASCII	
	Вертикальный/продольный контроль пакета по избыточности (на четность)	Подсчет контрольной суммы
A	10000010	10000010
B	10000111	10000111
C	10110100	10110100
Контрольный код пакета	10110001	10111101 Перенос 1
Контрольный символ пакета	X]
Переданный поток	X A B Z	] A B Z

Вертикально-продольный контроль пакета по избыточности

Этот способ основан на вычислении бита *четности* или *нечетности* для каждого отдельного символа, а затем для всех символов пакета. Действие этого способа показывается в следующей таблице.

Подсчет контрольной суммы

Контрольная сумма вычисляется путем сложения всех битов и последующим отбрасыванием несущих битов. Бит четности также вычисляется для каждого отдельного символа.

6.8.3 Контроль с использованием циклического избыточного кода

Более эффективным способом контроля ошибок является использование циклического избыточного кода, который в худшем случае имеет вероятность обнаружения ошибки 99,9969%. При использовании этого способа для ошибок существует минимальная возможность остаться незамеченными приемной стороной.

Механизм действия контроля с использованием циклического избыточного кода достаточно прост и основан на следующем подходе к типичному сообщению, которое может быть произвольной длины:

- Взять СООБЩЕНИЕ и умножить его на 2^{16}
- Разделить (используя арифметику по модулю 2) на число (обычно контрольную сумму избыточного кода МККТТ, который равен 1000 100 00001 00 001), чтобы получить частное и остаток. Остаток будет являться контрольной суммой циклического избыточного кода
- Добавить контрольную сумму циклического избыточного кода к сообщению

Приемник произведет те же самые вычисления и сравнит результат с полученной контрольной суммой.

6.9 Проверка и устранение неполадок канала последовательной передачи данных

При отладке последовательного коммуникационного интерфейса необходимо следовать определенным логическим подходам, позволяющим избежать траты большого количества времени на обнаружение проблемы.

Рекомендуется использовать процедуры, описанные ниже:

• Проверка основных параметров

Одинаковы ли для обоих устройств установлены скорости передачи данных, старт/стоповые биты и проверка на четность? Обычно они устанавливаются с помощью DIP-переключателей на устройствах, хотя в настоящее время существует тенденция устанавливать базовые параметры программным образом.

- **Определение того, какое устройство является DTE, а какое — DCE**
Необходимо внимательно изучить документацию и установить, что реально происходит на контактах 2 и 3 каждого устройства. На устройстве DTE контакт 2 используется для передачи данных, и на нем должно быть отрицательное напряжение (метка), в то время как контакт 3 используется для приема информации (пассивная линия), и на нем должно быть приблизительно нулевое напряжение. И, наоборот, на устройстве DCE контакт 3 должен иметь отрицательное напряжение, а на контакте 2 должно быть приблизительно нулевое напряжение. Если ни на контакте 2, ни на контакте 3 напряжения нет, то устройство, вероятно, несовместимо со стандартом EIA-232 и должно подключаться в соответствии с другим стандартом, например EIA-422, EIA-485 и т.п.
- **Выяснение необходимости в квитировании**
Использование квитирования приводит к большим сложностям, поэтому в каждом конкретном случае должна быть тщательно изучена документация, которая должна содержать описание процедуры квитиования.
- **Проверка реально используемого протокола**
Протокол редко создает проблему, однако если три предыдущих пункта не дали никакого результата, то, возможно, имеются нарушения протокола передачи информации между устройствами DCE и DTE.

С точки зрения проверки канала связи раздел 2.1.2, описывающий стандарт интерфейса EIA-232-C, кажется не совсем реальным. Он гласит:

«...Генератор канала обмена должен быть разработан таким образом, чтобы выдерживать обрыв цепи, короткое замыкание между проводниками соединительного кабеля, несущими информации, или их замыкание с другими проводниками кабеля, включая общий сигнальный провод, без повреждения как самого генератора, так и связанного с ним оборудования...».

Другими словами, теоретически любой контакт может замкнуться на любой другой или даже на землю без каких-либо повреждений! Это не означает, что интерфейс EIA-232 нельзя испортить. Некорректное подключение внешних напряжений, конечно же, может испортить интерфейс, как и разряды статического электричества!

Если канал связи не работает, то для анализа возникшей проблемы можно использовать пять следующих очень полезных приборов:

- Цифровой мультиметр (могут пригодиться скрепки для бумаг)
- Светодиод
- Коммутационный бокс
- Анализатор протокола на основе ПК (с необходимым программным обеспечением)
- Специализированный анализатор протокола (например, фирмы Hewlett Packard)

6.9.1 Коммутационный бокс

Коммутационный бокс, показанный на рисунке 6.17, является недорогим прибором, который обеспечивает большинство информации, необходимой для определения и устранения проблем, возникающих в каналах передачи информации.

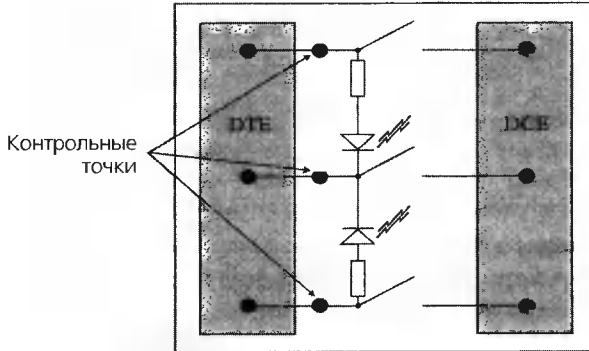


Рисунок 6.17

Коммутационный бокс, показывающий потенциалы контрольных точек

Коммутационный бокс подключается к кабелю данных, чтобы сделать доступными для контроля все проводники кабеля. Выпускается множество разновидностей данного оборудования — от кустарного, использующего взаимную пару разъемов DB-25 с гнездами и штырьками, до весьма сложных устройств со встроенными диодами, переключателями и контрольными точками.

Обычно коммутационные боксы имеют разъем со штырьками и с гнездами, и с помощью двух стандартных последовательных кабелей коммутационный бокс может быть включен последовательно с каналом связи. 25 контрольных точек могут контролироваться с помощью светодиода, простого цифрового мультиметра, осциллографа или анализатора протоколов. Кроме того, в каждой линии может быть замкнут или разомкнут ключ, что может помочь в поиске причины проблемы.

Основным недостатком коммутационного бокса является то, что, хотя и можно прервать любую из линий данных, однако это не намного поможет с интерпретацией потока битов через линии связи. Для этой цели требуется анализатор протокола.

6.9.2 Нуль-модем

Нуль-модем похож на проходной кабель DB-25 и часто используется для соединения двух устройств, имеющих одинаковый набор контактов (гнезда или штырьки, например, DTE-DTE, DCE-DCE) или устройств от разных производителей с разными требованиями к квитированию. Нуль-модем,

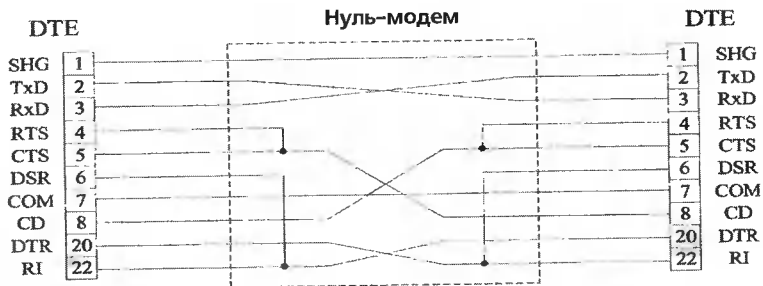


Рисунок 6.18

Подключение с помощью нуль-модема

как показано на рисунке 6.18, имеет необходимые внутренние соединения между контактами квитирования, которые заставляют терминал верить в то, что условия передачи данных корректны. Аналогичный результат можно получить, если припаять дополнительные перемычки внутри разъема DB-25. Нуль-модемы обычно приносят больше вреда, чем пользы, поэтому использовать их нужно чрезвычайно осторожно (а в идеале лучше вообще не применять!).

6.9.3 Возвращающая заглушка

Эта заглушка, вставляемая в разъем, возвращает передаваемые данные на контакт приема данных, а также линии аппаратного квитирования. Она является еще одним из быстрых способов проверки правильности операций, выполняемых последовательным интерфейсом без подключения к другой системе.

6.9.4 Анализатор протокола

Анализатор протокола используется для отображения состояния реальных разрядов линии данных, а также некоторых специальных управляющих кодов, таких, как X-ON, X-OFF, LF, CR и т.п. Анализатор протокола можно использовать для мониторинга битов данных при их отправлении в линию и сравнении с тем, что должно быть на линии. Это сравнение позволяет убедиться в том, что передающий терминал посылает корректные данные и что принимающее устройство получает их. Анализатор протокола полезен для обнаружения некорректного задания скорости передачи данных, четности, стопового бита, помех, а также некорректного подключения. Он также позволяет анализировать формат сообщения и искать ошибки протокола.

Если было показано, что проблема обусловлена не подключениями, скоростью передачи, битами данных или четности, то на предмет ошибок должно анализироваться содержимое сообщения или противоречивость операций. Анализаторы протокола могут быстро идентифицировать подобные проблемы.

Специализированные анализаторы протокола являются дорогими приборами, часто очень трудно оправдать их стоимость, если они используются нечасто. К счастью, было разработано программное обеспечение, которое позволяет использовать обычный ПК в качестве анализатора протокола. Диапазон использования ПК в качестве контрольного прибора постоянно расширяется.

6.9.5 ПК в качестве анализатора протокола

ПК становится полезным инструментом, позволяющим производить мониторинг активности последовательной линии связи. Основные средства настройки подобного пакета обсуждаются в следующих разделах.

Основные настраиваемые параметры

Самым первым пунктом является правильная настройка пакета. Для этого необходимо настроить следующие основные параметры:

- Скорость передачи информации (бод), четность, стоповые биты и биты данных
- Требования квитирования (например, запрос на передачу и готовность терминала данных)
- Базовый адрес и настройка прерываний платы

Вообще говоря, эти параметры можно сохранить в виде файла, который можно использовать в будущем (необходимую конфигурацию потом можно будет легко вызвать).

Требуют внимания и другие моменты:

Временная метка

Временная метка позволяет пользователю сопоставить любой активности порта соответствующее значение времени. Это особенно полезно, когда анализатор протокола может принимать данные из двух различных источников одновременно и необходимо определить точное время поступления каждого элемента данных.

Архивирование

Архивирование позволяет сохранять данные, поступающие на последовательный порт (например, на жестком диске), путем указания местонахождения и длины архивного файла.

Настройка типа запуска

Под этой настройкой просто подразумевается то, что принимаемые символы последовательно сравниваются с ранее заданным символом, называемым символом запуска. При обнаружении правильной последовательности символов данные сохраняются в файле на диске. Это позволяет пользователю избежать огромной лавины данных, которые могут быть получены в протокольной работе.

Отображение поступающих данных

Это, вероятно, является наиболее часто используемым свойством анализатора протокола. Выбирается специальное меню дисплея, которое позволяет отображать данные, принимаемые или отправляемые анализатором протокола.

Возможности аппаратуры

Анализатор протокола обычно используется вместе с коммутационным боксом, что позволяет производить любую отладку аппаратуры. На рисунке 6.19 показаны типичные подключения, используемые для анализатора

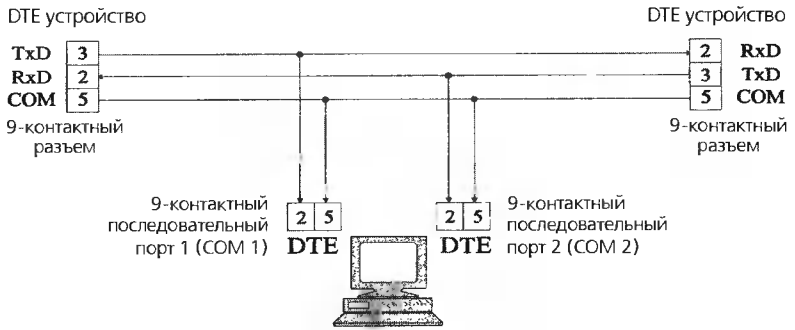


Рисунок 6.19

Подключение типичного анализатора протокола на основе ПК

протокола, выполненного на основе ПК. Необходимо отметить, что ПК должен иметь два последовательных порта, чтобы адекватно производить двусторонний мониторинг сигнала для двух устройств, каждое из которых может быть как передатчиком, так и приемником.

Распределенные и автономные регистраторы/контроллеры

7.1 Введение

Как и остальные устройства сбора данных, автономные регистраторы/контроллеры предназначены для измерения и записи сигналов, относящихся к окружающему миру, а также для воздействия на эти сигналы с целью обеспечения управления системой или процессом. Кроме того, автономные регистраторы/контроллеры имеют ряд особенностей, которые отличают их работу и использование от других устройств сбора данных, таких, как сменные платы и распределенные устройства ввода/вывода.

В этой главе рассматриваются настройка аппаратного и программного обеспечения автономных регистраторов/контроллеров, конфигурация систем, в которых они используются, а также специфические требования, которыми должны обладать эти устройства, чтобы их можно было использовать для управления и сбора данных.

7.2 Принципы действия

Автономные регистраторы/контроллеры являются интеллектуальными устройствами, способными выполнять сложные функции, связанные с управлением и сбором данных, а также способными к принятию решений на основании текущих состояний системы и процессов. Чтобы все это делать, они, во-первых, должны программироваться, обычно с помощью последовательности команд на основе кода ASCII, формат которых определяется главным ПК. Эти команды интерпретируются и исполняются устройством, так что устройство в каждый момент времени «знает», что ему делать.

Будучи запрограммированным, автономное устройство может продолжать работать, производя измерения сигналов с датчиков, записывая данные в память и выполняя функции контроля, даже если главный компьютер не подключен или не работает. С точки зрения выполнения операций именно эта важная особенность отличает автономный регистратор/контроллер от любой аппаратуры для сбора данных, например от сменных плат и распределенных устройств ввода/вывода.

Возможны два способа программирования автономных регистраторов/контроллеров и передачи на ПК полученных данных либо с помощью последовательного коммуникационного интерфейса RS-232, либо с помощью портативных сменных карт памяти.

Эта гибкость в программировании позволяет автономным регистраторам/контроллерам работать в разных режимах, которые определяются месторасположением устройства и объемом сохраняемых данных, а также наличием питания:

- Автономная работа, когда с помощью карт памяти или портативных ПК (ноутбуков) производится периодическое обновление данных (и при необходимости программирование)
- Он-лайнная работа с главным ПК, когда производится периодическая передача данных (и при необходимости программирование)
- Он-лайнная работа с главным ПК через модем с периодической передачей данных (и при необходимости программированием), инициируемой либо главным компьютером, либо удаленным устройством

Если приложение требует большее количество датчиков, чем может поддерживать автономный контроллер, причем датчики распределены по большой территории, то может потребоваться сеть распределенных регистраторов/контроллеров. Каждый режим работы, использующий только один регистратор/контроллер, также должен быть применим, если дополнительные устройства подключены в виде части распределенной сети.

7.2.1 Программирование и запись данных с помощью PCMCIA карт

Портативная карта памяти, напоминающая по виду кредитную карточку, является надежным носителем для переноса данных и программ, хотя и требующая соответствующего интерфейса для подключения к последовательному порту компьютера. Это показано на рисунке 7.1.

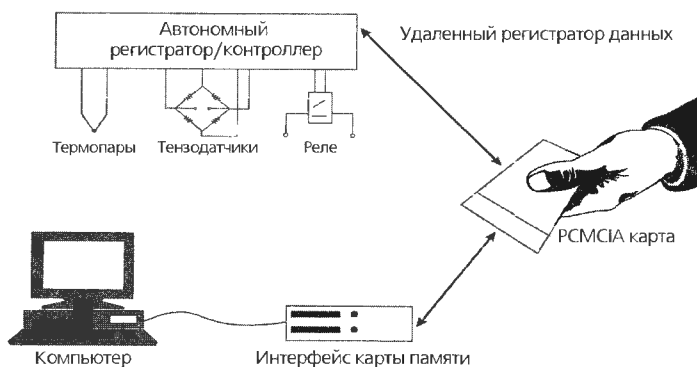


Рисунок 7.1

Использование карт памяти для программирования и записи данных от автономных регистраторов/контроллеров

Программирование работы регистратора/контроллера и перенос данных с помощью РСМСІА карты особенно удобно, когда регистратор/контроллер расположен удаленно и/или не подключен к главному ПК. Даже при подключении к главному ПК емкость памяти регистратора/контроллера может быть значительно увеличена путем постоянного подключения РСМСІА карты к устройству. Предполагается именно это использование карты, поскольку наличие карты увеличивает также надежность системы, поскольку данные записываются напрямую на сменный носитель информации.

7.2.2 Автономная работа

Как предполагает название, автономные регистраторы/контроллеры особенно хорошо подходят для независимой от ПК работы. Такая работа делает карты особенно удобными, когда устройство должно быть расположено удаленно и/или в особенно сложных условиях, а также в таких ситуациях, когда они не могут быть постоянно подключены к главному ПК как напрямую, так и через модем.

Некоторые специальные приложения, такие, как контроль за температурой рефрижератора или информация о погоде с удаленных станций, часто используют автономные регистраторы/контроллеры. В этих реальных приложениях автономное устройство может быть запрограммировано либо в офисе, либо с помощью ноутбука, а затем оставлено на длительную работу при питании от местного источника питания. Данные, сохраняемые в памяти устройства, могут периодически считываться с помощью ноутбука или карт памяти.

При автономной работе устройства необходимо рассмотреть несколько вопросов. Когда устройство должно быть запитано от батарей, то вне зависимости от возобновления запаса батарей мощность, потребляемая от батарей, ограничена. Таким образом, батареи необходимо постоянно подзаряжать либо заменять их по мере необходимости. Другим важным фактором является то, что автономные устройства имеют ограниченную емкость памяти. Чем больше количество каналов и чем быстрее частота дискретизации каждого канала, тем большее количество выборок производится в заданный промежуток времени. Со временем память заполнится, поэтому необходимо позаботиться о том, чтобы частота дискретизации каждого канала была минимально необходимой, но тем не менее позволяющей получить требуемую информацию. Объем памяти устройства может быть значительно увеличен путем установки в устройство карты памяти большой емкости, при этом данные записываются непосредственно на карту памяти.

7.2.3 Прямое соединение с главным ПК

Наиболее распространенной конфигурацией системы, обеспечивающей максимальную надежность системы, является прямое соединение с главным ПК с помощью коммуникационного интерфейса RS-232, как показано

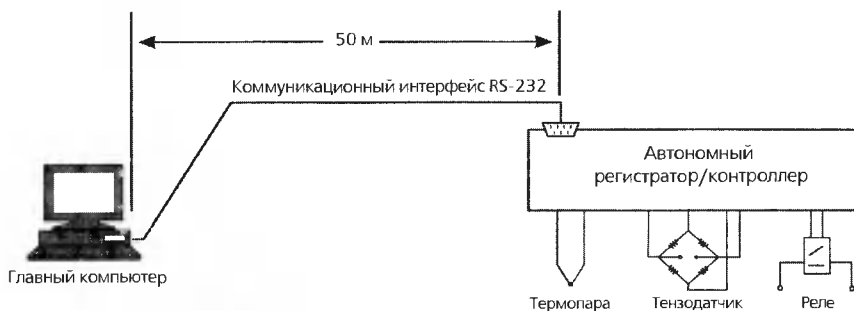


Рисунок 7.2

Прямое подключение автономного регистратора/контроллера через последовательный интерфейс RS-232

на рисунке 7.2. Эта конфигурация позволяет частую передачу данных на ПК, постоянное отслеживание опасных условий и он-лайнный контроль системы. Наиболее часто такая система реализуется в условиях заводов и промышленных предприятий, когда критические процессы должны постоянно отслеживаться и регулироваться. Максимальное расстояние, на котором регистратор/контроллер может находиться от главного ПК, зависит от скорости передачи информации через коммуникационный интерфейс. Если единственный регистратор/контроллер подключен непосредственно к главному ПК, то такая система может быть настроена на передачу данных, как только они появляются.

Если приложение требует более одного регистратора/контроллера и все устройства распределены на большой реальной площади, например на промышленном предприятии или на заводе, то регистратор/контроллер может быть настроен как часть распределенной многоточечной сети RS-485. Одноединственное устройство, вынужденное быть главным или локальным, может быть подключено непосредственно к главному компьютеру с помощью последовательного интерфейса RS-232, как показано на рисунке 7.3, что позволяет избежать необходимости в карте согласования последовательных интерфейсов RS-232/RS-485.

Достоинством такого подключения является то, что остальные главные ПК или терминалы могут быть подключены к портам RS-232 других регистраторов/контроллеров, что еще больше увеличит надежность системы. Эта конфигурация системы показана на рисунке 7.4.

Как часто собранные данные будут передаваться на ПК, зависит, во-первых, от важности для управляемой системы или процесса немедленного анализа данных и, во-вторых, от того, сколько памяти имеет устройство и насколько быстро она заполняется.

Быстрое заполнение памяти важно по двум причинам. В случае неисправности главного ПК или коммуникационного интерфейса устройство должно иметь достаточно памяти, чтобы обеспечить запись всех данных и продолжить работу без потери данных. Кроме того, устройство, подклю-

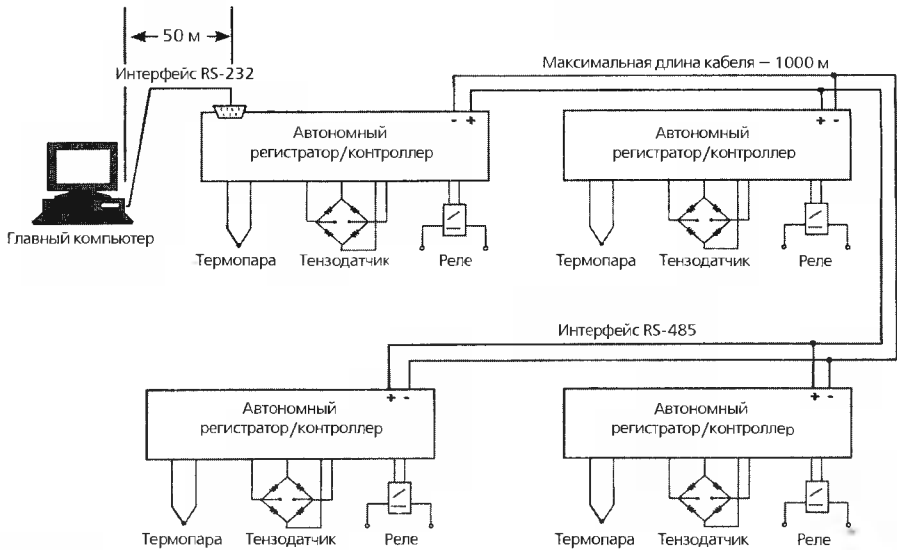


Рисунок 7.3
Распределенная сеть регистраторов/контроллеров

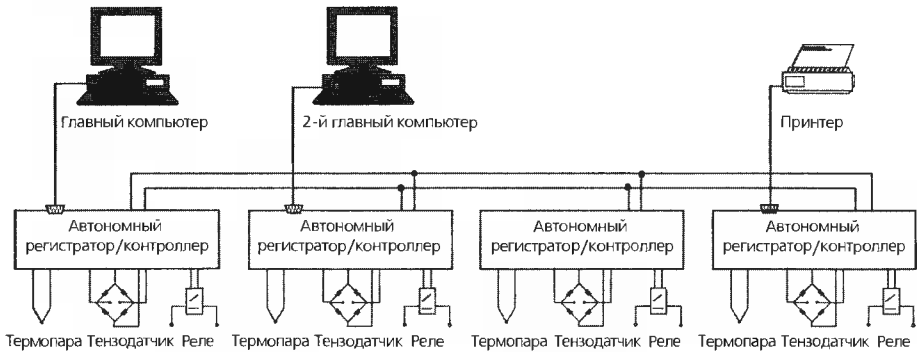


Рисунок 7.4
Распределенная сеть регистраторов/контроллеров с дополнительным главным компьютером

ченное к главному ПК через многоточечную сеть, может возвращать данные только по требованию с ПК. Если к главному компьютеру подключено большое количество устройств, то память каждого устройства должна быть достаточно большой, чтобы обеспечить запись данных и продолжать работу без потери данных до тех пор, пока главный компьютер в очередной раз не потребует передать к нему данные.

Не рассматривая специфические ограничения, рекомендуется обновлять данные максимально часто, поскольку любая ошибка датчика, неисправность источника питания или проблема с самим устройством будут сразу обнаружены и тем самым увеличена надежность системы. Кроме того, час-

тое обновление данных поможет минимизировать шанс того, что данные могут быть потеряны вследствие неисправности устройства, например из-за неисправности памяти, питающейся от батарей.

7.2.4 Удаленное подключение к главному ПК

Еще одной полезной конфигурацией является подключение удаленного регистратора/контроллера к главному ПК с помощью модема через телефонную сеть или с помощью радиосвязи. На больших предприятиях и заводах, где одно или несколько устройств распределены на большой территории, регистратор/контроллер, даже самый близкий к главному ПК, может находиться слишком далеко или подвержен значительным помехам, мешающим подключению главного ПК через коммуникационный интерфейс RS-232. В таких ситуациях практическим решением является использование радиосвязи. Если радиокommunikации имеют место между главным ПК и распределенной сетью, то все коммуникации должны производиться через регистратор/контроллер, к которому подключен удаленный радиомодем. Эта конфигурация показана на рисунке 7.5.

Во многих приложениях автономные регистраторы/контроллеры находятся не на территории одного завода или промышленного предприятия, а расположены удаленно, вне пределов действия радиомодемной связи. Примером этого является удаленная электрическая подстанция, используемая

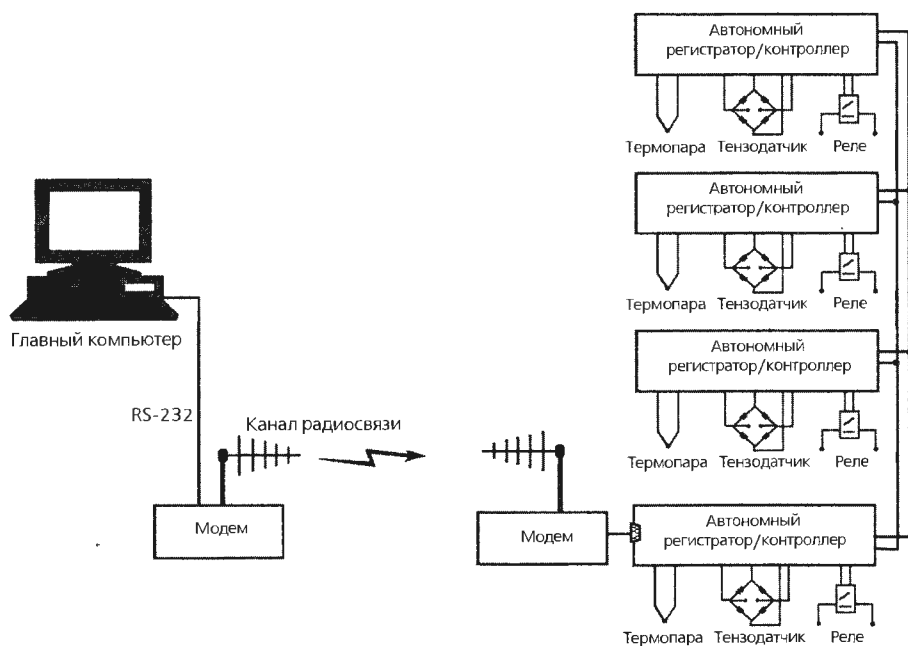


Рисунок 7.5

Удаленные подключения к сети регистраторов/контроллеров с помощью радиосвязи

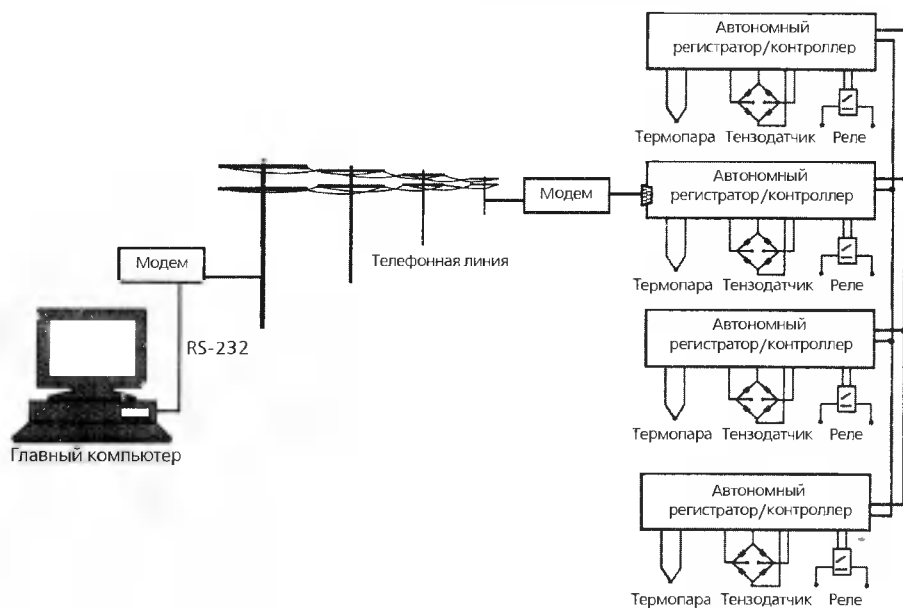


Рисунок 7.6
 Удаленное подключение к сети регистраторов/контроллеров с помощью телефонной сети

для отслеживания аварийных ситуаций и передачи значений линейного напряжения, тока и мощности на центральный пульт управления. Организация связи между главным ПК и удаленными блоками по телефонной сети показана на рисунке 7.6. Специализированная телефонная линия обеспечивает частую передачу данных от главного ПК, постоянный мониторинг аварийных ситуаций и онлайн-контроль.

7.3 Аппаратное обеспечение автономного регистратора/контроллера

Важной особенностью, которая наделяет автономные регистраторы/контроллеры производительностью и гибкостью при их использовании в качестве автономных устройств или в качестве распределенной сети, по существу, является их относительная сложность аппаратного обеспечения. Упрощенная блок-схема типичного автономного регистратора/контроллера показана на рисунке 7.7.

В этом разделе обсуждается следующее аппаратное обеспечение:

- Микропроцессор
- Память
- Часы реального времени
- Универсальный асинхронный приемопередатчик (UART)

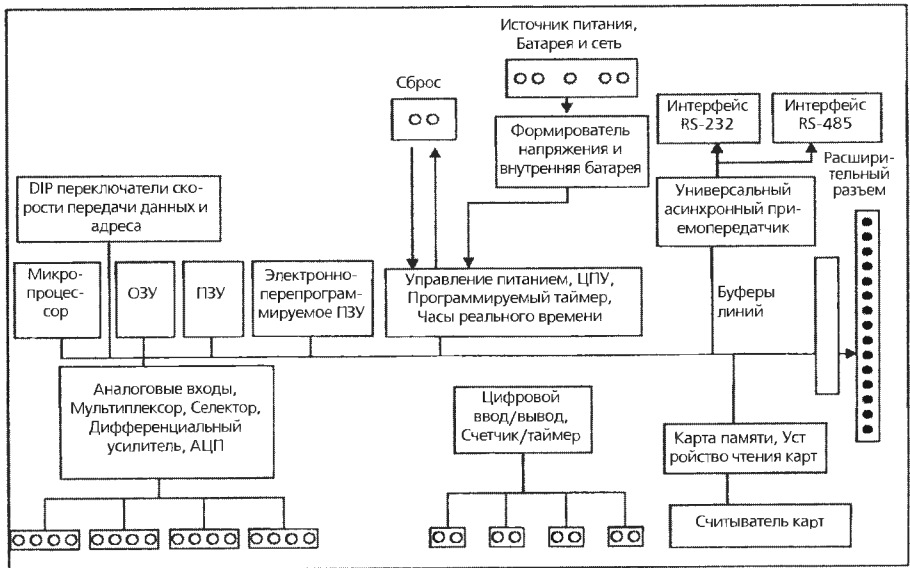


Рисунок 7.7

Упрощенная блок-схема автономного регистратора/контроллера

- Схема счетчика/таймера
- Входной мультиплексор и селектор
- Источник питания
- Схема управления питанием
- Схемы аналогового и цифрового ввода/вывода

7.3.1 Микропроцессоры

Сердцем автономной системы является микропроцессор или микроконтроллер. В совокупности со встроенным программным обеспечением (программы, «защитой» в ПЗУ) он обеспечивает все управление и работу системы. Важно представлять различие между микропроцессорами и микроконтроллерами. Микропроцессор является просто центральной частью компьютера, занимающейся обработкой данных (ЦП), в которую не входят память, схемы ввода/вывода и периферия, необходимая для образования полной системы. ИС Intel 8088 и 8086 являются микропроцессорами. Все остальные ИС в ПК предназначены для того, чтобы обеспечить его теми функциями, которые не реализует ИС самого микропроцессора. Однако если микропроцессор дополнен схемой ввода/вывода, памятью и периферией, то эта совокупность уже называется микроконтроллером.

Микроконтроллер, по-видимому, является наиболее распространенным вариантом автономной системы, поскольку он обеспечивает все необходимые функции с помощью ИС. Одним из достоинств микроконтроллеров являются низкая стоимость, уменьшенное количество ИС и, следовательно, небольшие размеры печатной платы.

7.3.2 Память

Долговременная память, используемая для хранения результатов измерений с датчика и параметров контроля, является важным элементом автономной системы. Обычно для хранения данных используется оперативная память с произвольным доступом (ОЗУ), которая требует наличия резервной батареи, необходимой на случай нарушения питания.

Производители автономных контроллеров теперь встраивают картридеры, которые позволяют результаты измерений сохранять непосредственно на карте памяти. Впоследствии карту памяти можно вынуть из устройства и перенести данные, находящиеся на ней, в главный компьютер.

ПЗУ и перепрограммируемые ПЗУ (ППЗУ)

Встроенная операционная система, или «защитая» программа автономного устройства хранится в памяти, предназначенной только для чтения (ПЗУ), или в памяти, которую можно перепрограммировать (ППЗУ). ПЗУ обычно используется в системах, выпускаемых в больших объемах.

ППЗУ больше распространены в системах, выпускаемых небольшими партиями, поскольку они позволяют производителям изменять «защитое» программное обеспечение и наделять систему новыми функциями или модернизировать ее без вмешательства в процесс производства. Для удобства установки и замены ИС ПЗУ и ПППЗУ во время срока службы устройства эти ИС обычно устанавливаются на плате с помощью панелек.

Оперативная память с произвольным доступом (ОЗУ)

Оперативная память с произвольным доступом (ОЗУ) обычно используется в автономных системах для хранения результатов измерений и системных параметров. В основном распространены два типа ОЗУ — статическое и динамическое. Динамическое ОЗУ требует периодического обновления, или перезаписи содержимого, в то время как статическое ОЗУ обновления не требует. Однако преимуществом динамического ОЗУ над статическим является то, что статическое ОЗУ имеет намного большую емкость для заданной площади кремниевой подложки.

Динамическое ОЗУ подходит для персональных компьютеров, используемых в офисе, где важным требованием является емкость памяти. В автономных системах достоинство статического ОЗУ заключается в его способности сохранять данные с помощью резервного питания при отсутствии основного. Это можно получить относительно легко, поскольку статическое ОЗУ не требует обновления даже в дежурном режиме.

Электрически перезаписываемое ПЗУ (ЭСППЗУ) и флэш-память

Электрически перезаписываемое ПЗУ (ЭСППЗУ) относится к долговременной памяти, обычно используемой для хранения ограниченного количества данных по конфигурации системы и управляющих параметров. Сравнительно небольшая емкость памяти и медленный цикл записи ЭСППЗУ (обычно около 10 миллисекунд) ограничивают их применение.

Флэш-память также является долговременной памятью и используется для хранения как данных, так и программ. Флэш-память может иметь объем от 32 кбайт до 2 Мбайт. Значительно более короткий цикл записи имеет свой недостаток — необходимость стирать данные на ИС блоками фиксированного размера, а не побайтно.

Карты памяти

Аналогично ОЗУ в автономных системах для хранения результатов измерений и данных, необходимых для управления системой, используются также сменные карты памяти. Хотя имеется большое количество производителей карт, наиболее популярными картами для использования в ноутбуках стали РСМСІА (Международная ассоциация производителей плат памяти для персональных компьютеров ІВМ РС) и особенно распространены РСМСІА-модемы.

Карты памяти РСМСІА бывают в виде ОЗУ, одноразово программируемых ПЗУ, статических ОЗУ, программируемых ПЗУ с ультрафиолетовым стиранием информации, флэш-памяти и ЭСППЗУ. РСМСІА карты статического ОЗУ являются очевидным выбором для хранения данных в автономных системах, и в настоящее время производятся карты с емкостями от 64 кбайт до 8 Мбайт.

Важным достоинством карт памяти в автономных системах является возможность извлечения заполненной карты и замены ее пустой в полевых условиях, что обеспечивает очень удобный механизм переноса данных. Кроме того, карты памяти позволяют пользователю покупать и устанавливать карты такой емкости, которая требуется для конкретного применения.

7.3.3 Часы реального времени

Часы реального времени являются важным элементом любой автономной системы. Помимо информации о дате и времени, они с помощью программы обеспечивают функцию сигнализации и периодического запуска считывания сигналов с датчиков, а также управляют выходными сигналами.

Часы реального времени подключаются к соответствующей схеме управления питанием, позволяя системе оставаться в дежурном режиме, при котором потребление энергии невелико, до тех пор, пока из этого режима система не будет выведена заранее запрограммированным событием или аварийной ситуацией. Таким образом, управляющая программа может считывать и записывать данные с датчиков и управлять выходными сигналами, после чего система вновь переходит в дежурный режим с низким потреблением энергии.

В типичной автономной системе сбора данных датчики опрашиваются с периодическими интервалами, позволяя системе между измерениями переходить в дежурный режим, экономя электрическую энергию в период неактивности. Например, считывание данных может производиться только один раз в 500 мс. Тогда часы реального времени должны быть запрограммированы на пробуждение системы каждые 500 мс (см. режим экономии энергии), тем самым обеспечив значительное уменьшение расхода энергии, что очень важно для систем, работающих от батарей.

7.4.3 Универсальный асинхронный приемопередатчик (UART)

Стартовый, стоповый биты и бит четности, используемый для проверки целостности данных при асинхронной передаче, физически вырабатываются универсальным асинхронным приемопередатчиком (UART), расположенным между шиной микропроцессора и формирователем линии, который связан с реальным каналом связи.

Основной целью UART является контроль всех рутинных операций, связанных с интерфейсом между параллельной шиной и последовательным коммуникационным каналом главного компьютера.

Во время передачи UART выполняет следующие функции:

- Устанавливает необходимую скорость передачи информации
- Обеспечивает интерфейс с шиной данных микропроцессора и прием символов (по одному)
- Генерирует стартовый бит для каждого символа
- Добавляет биты данных в последовательный поток данных
- Вычисляет и добавляет в поток данных бит четности
- Заключает последовательную группу необходимым стоповым битом (битами)
- Подготавливает микропроцессор для передачи следующего символа

Приемная часть схемы UART выполняет следующие функции:

- Устанавливает необходимую скорость приема информации
- Синхронизирует с помощью стартового бита поступающие данные
- Считывает биты данных из последовательного потока
- Считывает биты четности и проверяет их соответствие с полученной информацией
- Считывает стоповые биты
- Передает символ в параллельном виде на шину данных микропроцессора
- Образует интерфейс линий квитирования
- Контролирует возникновение любых ошибок, связанных с принятым символом

Типичные ошибки, которые может обнаружить схема UART:

- Переполнение приемника — биты принимаются быстрее, чем они могут считываться
- Ошибки четности — несоответствие между битами четности и битами символа
- Ошибка символа — все биты символа являются нулевыми или появление сообщения о разрыве

Условие разрыва происходит, когда передатчик, захвативший линию данных, находится в состоянии паузы (положительное напряжение) дольше, чем это требуется для завершения передачи символа. Это условие является способом заставить принимающую схему UART немедленно отреагировать и переключиться на другую задачу.

7.3.5 Источник питания

Из-за характера и целей, для которых предназначены автономные устройства, они имеют различные источники питания:

- Низкое переменное напряжение (9–15 В)
- Низкое регулируемое постоянное напряжение (11–17 В)
- 9-вольтовые щелочные батареи (6–10 В)
- 6-вольтовые элементы питания (5,6–8 В)

Упрощенная схема типичного источника питания показана на рисунке 7.8

Если подключены и внутренняя неподзаряжаемая щелочная батарея, и внешний источник переменного или постоянного напряжения, то выходное напряжение стабилизатора увеличивается до напряжения, которое больше, чем напряжение щелочной батареи (т.е. 10 В), поэтому мощность отбирается от внешнего источника питания, а не от внутренней батареи. В этой ситуации диод, подключенный к положительному полюсу щелочной батареи, предотвращает разряд батареи.

Не рекомендуется одновременное подключение внутренней и внешней батарей. Если необходимы две батареи, то лучше будет, если внешняя батарея имеет напряжение 12 В и она подключена как внешний источник постоянного напряжения.

Особое внимание должно быть уделено тому, чтобы при подключении внешних батарей была соблюдена их полярность, в противном случае может произойти порча оборудования. Кроме того, если внешний источник постоянного тока заземлен, то это должен быть отрицательный полюс (-). Источники переменного напряжения никогда не заземляются.

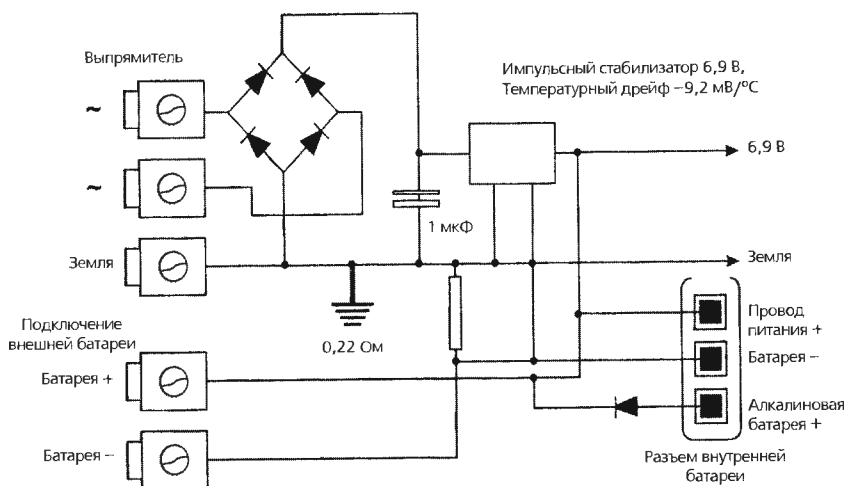


Рисунок 7.8

Упрощенная схема источника питания

Подзарядка батарей

Если подключена внутренняя подзаряжаемая батарея (аккумулятор), то внешний источник постоянного или переменного напряжения может обеспечить подзарядку с температурной компенсацией от напряжения, заданного импульсным стабилизатором, при этом зарядный ток ограничивается дополнительным резистором 0,22 Ом. Герметичные батареи также могут подзарядаться от 12-вольтовой солнечной панели, подключенной к входным клеммам переменного/постоянного напряжения. Размеры солнечной панели зависят от ожидаемой продолжительности светового дня. Как правило, считается, что зарядка будет производиться в один из семи дней, и эта зарядка должна полностью восполнить разряд батарей.

Срок службы батарей

Максимальный срок службы батарей определяется следующими условиями:

- Частота сканирования входных каналов
- Количество аналоговых каналов и сколько из них подключено к датчикам
- Количество цифровых каналов и количество выходов
- Мощность возбуждения датчика
- Сложность вычислений

Точное вычисление срока службы батарей произвести достаточно сложно, однако производители могут предоставить схемы расчета срока службы батарей, основанные на количестве каналов и интервалом между сканированием всех каналов.

7.3.6 Схема управления питанием

Все микропроцессорные системы нуждаются в некоторых контролируемых функциях, которые чаще бывают аналоговые, нежели цифровые. Для типичной системы эти функции обеспечивают сброс питания, резервное подключение ОЗУ к батарее, часы реального времени и программируемый таймер.

Схема сброса

Схема резервного питания обеспечивает, чтобы в отсутствие питания микропроцессор находился в состоянии сброса. Встроенные системы, которые могут работать в условиях агрессивной окружающей среды, требуют специальной схемы сброса, которая обеспечивает порог обнаружения напряжения, независимый от скорости нарастания напряжения питания.

Резервное питание

Схема управления резервным питанием обеспечивает, чтобы ОЗУ и часы реального времени получали питание постоянно. Она также обеспечивает, чтобы ОЗУ и часы реального времени были защищены от записи в режиме малого потребления энергии, когда нарушается основное питание.

Если напряжение от основного источника питания падает ниже заданного уровня, то схема управления резервным питанием подключает ОЗУ и часы реального времени к дополнительному источнику питания. Кроме того, схема резервирования питания обеспечивает, чтобы ОЗУ и часы реального времени были защищены от записи в режиме малого потребления энергии.

Режим малого потребления энергии

Два режима питания, бодрствования и сна (дежурный режим) обеспечивают минимальное потребление энергии, когда устройство не производит никаких функций, связанных со сбором данных. Например, устройство будет просыпаться в следующих ситуациях:

- По периодическим сигналам часов реального времени на время сканирования входных каналов
- При подключении карты памяти
- При приеме коммуникационным портом символов
- При нажатии кнопки (если это предусмотрено)

Если внутренняя или внешняя батарея питается от источника переменного или постоянного напряжения, то переход в режим низкого потребления энергии не требуется.

Программируемый таймер

Программируемый таймер предназначен для обнаружения программных ошибок. Во время обычной работы программа отвечает за периодический сброс таймера. Отсутствие очередного сброса таймера указывает на то, что программа больше не выполняет заданные операции и что необходимо произвести сброс системы.

По сути, программируемый таймер является надежным механизмом, который сбрасывает систему, если по некоторым причинам она «сходит с рельсов». Хотя программируемый таймер может показаться надежным механизмом обнаружения проблем, связанных с электрическими помехами, тем не менее имеется вероятность заикливания программы, что может привести к постоянным срабатываниям программируемого таймера и сбросам системы.

7.3.7 Аналоговые входы и цифровые каналы ввода/вывода

Входные аналоговые каналы

Обычно регистраторы/контроллеры имеют несколько входных аналоговых каналов. Особенностью этих устройств является то, что каждый канал может быть настроен на работу с различными датчиками и сигналами. Типичная упрощенная схема входного канала показана на рисунке 7.9.

Гибкость, с которой каждый канал может быть настроен на различные датчики, различные режимы возбуждения, а также использование диффе-

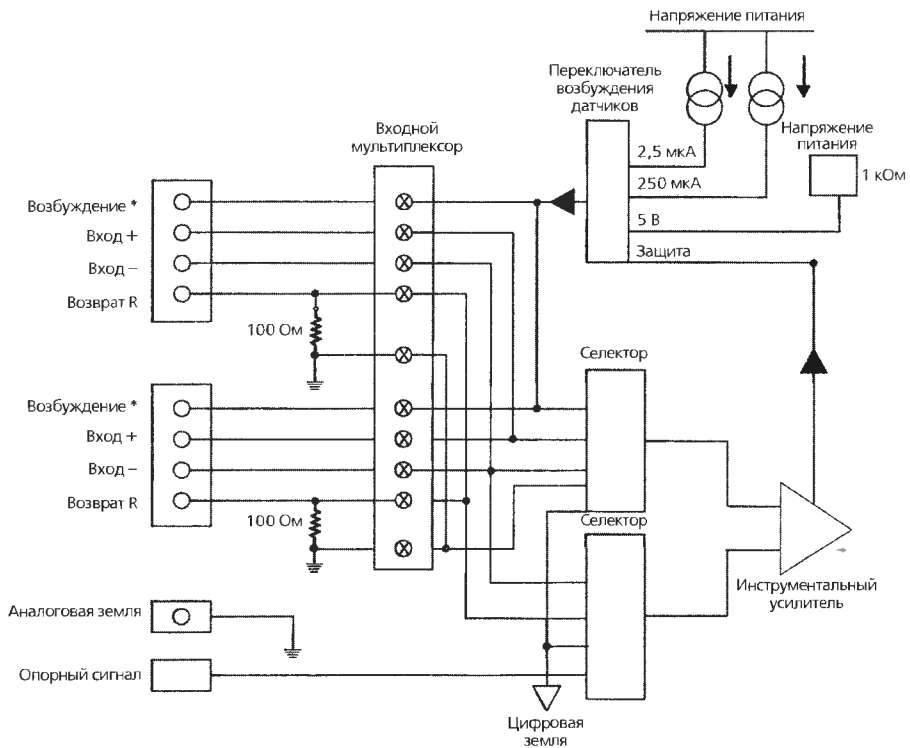


Рисунок 7.9
Упрощенная схема аналоговых входных каналов

ренциального или однопроводного входа обеспечиваются селектором аналогового сигнала. Конфигурация каждого канала производится командами программы, которые интерпретируются регистратором/контроллером, который управляет селектором аналоговых сигналов.

Возбуждение датчиков обычно производится постоянным током низкого уровня, предназначенным для измерения сопротивления (250 мкА), для работы резистивных термодатчиков (RTD) и для измерений с использованием моста Уитстона, или от источника напряжения (обычно нерегулируемого) через внутренний резистор, необходимый для питания некоторых датчиков.

Чтобы обеспечить обратную цепь для токов смещения инструментального усилителя, в цепь можно включить входные ограничительные сопротивления, обычно с номиналом 1 МОм. Если ограничительные резисторы не включены в цепь, то входное сопротивление, на которое нагружен датчик, может быть порядка 100 МОм.

Цифровые каналы ввода/вывода

Регистраторы/контроллеры обычно имеют несколько цифровых каналов ввода/вывода двойного назначения, которые разделяют нагрузки и действуют как цифровые входы и выходы. Схема цифрового канала ввода/вывода показана на рисунке 7.10.

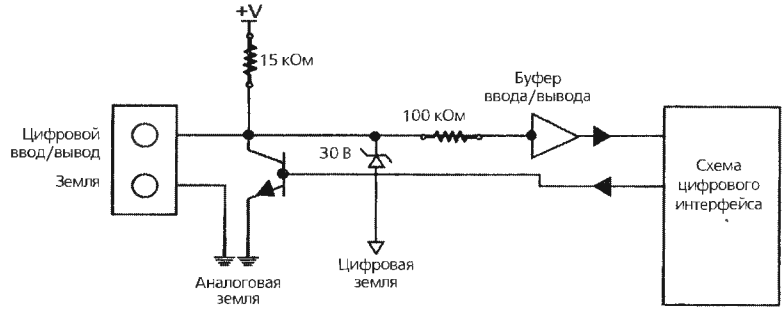


Рисунок 7.10
Схема цифрового канала ввода/вывода

Цифровые входы имеют высокое входное сопротивление и поэтому буферизуются, чтобы защитить чувствительные КМОП схемы цифрового интерфейса от повреждений, вызываемых импульсами тока. Защиту от импульсов высокого напряжения обеспечивает стабилитрон на 30 В, который ограничивает входное напряжение на уровне, допустимом для входного буфера.

На автономных регистраторах/контроллерах наиболее часто используются цифровые выходы в виде схемы с открытым коллектором, способной на нагрузку до 200 мА при напряжении 30 В. При такой конфигурации стабилитрон действует также в качестве ограничителя напряжения, если канал используется в качестве выхода с открытым коллектором.

Схема типичного цифрового канала счетчика показана на рисунке 7.11. Входные каналы счетчика снабжены входным буфером на основе триггера Шмидта, входной порог которого установлен на уровне двух вольт. Это позволяет избежать срабатываний счетчика при уровне помех меньше заданного предела. Конденсатор, установленный на входе триггера Шмидта, обеспечивает фильтрацию, но снижает быстродействие до частоты порядка 1 кГц ($= 1/RC$). Если конденсатор удалить, то скорость счета может достигать 500 кГц.

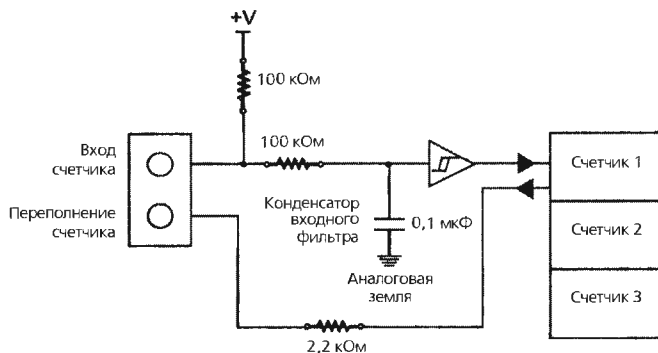


Рисунок 7.11
Схема канала цифрового счетчика

7.3.8 Расширительные модули

Расширительные модули позволяют увеличить количество локальных каналов системы сбора данных, использующей автономные регистраторы/контроллеры. Разъемы расширения обеспечивают увеличение количества линий внутренней шины данных и управления. При подключении расширительных модулей дополнительные входные аналоговые каналы, цифровые каналы ввода/вывода и каналы счетчиков интерпретируются, как если бы они являлись частью регистратора/контроллера, к которому они подключены. Подключение расширительных модулей показано на рисунке 7.12.

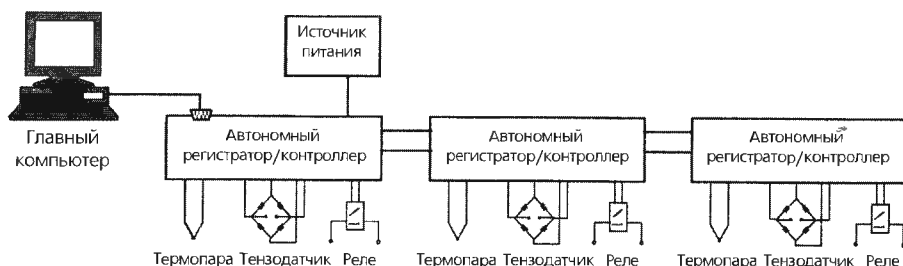


Рисунок 7.12

Подключение расширительных модулей

7.4 Аппаратный коммуникационный интерфейс

Стандарты на коммуникационный интерфейс определяют электрические и механические параметры, которые позволяют коммуникационному оборудованию разных производителей соединяться друг с другом и эффективно функционировать. Для осуществления коммуникаций между ПК и автономными или распределенными регистраторами/контроллерами обычно используются два стандарта:

- Стандарт RS-232
- Стандарт RS-485

7.4.1 Интерфейс RS-232

Поскольку коммуникационный интерфейс RS-232 является стандартом для большинства компьютеров IBM и совместимых с ними (то есть порты COM1 и COM2), для связи с ПК автономные устройства сначала использовали именно этот интерфейс. Хотя интерфейс RS-232 подробно рассматривался в главе 6, ниже обсуждаются некоторые наиболее важные параметры настройки, используемые для автономных регистраторов/контроллеров.

Параметры COM портов

Обычно параметры COM портов (то есть стартовые, стоповые биты и биты данных) фиксированы. Единственным параметром, устанавливаемым пользователем, является скорость передачи данных (бод), которая обычно задается DIP переключателями, имеющимися на панели устройства. Чаще всего используются скорости 300, 1200, 2400, 4800, 9600 и 19200 бод. Установка оптимальной скорости передачи является компромиссом между скоростью, необходимой для передачи нужного количества информации через коммуникационный интерфейс, и скоростью, необходимой для безошибочной передачи данных на ПК, находящегося удаленно от автономного регистратора/контроллера.

Подключение коммуникационных портов

Автономные регистраторы/контроллеры обычно снабжены разъемами DB-9. Назначение штырьков, обычно используемое в разъемах DB-25 и DB-9 для интерфейса RS-232, не всегда одинаково и часто является ловушкой для неопытного пользователя.

На рисунке 7.13 показано стандартное соединение между разъемами DB-25 и DB-9 главного ПК и разъемом DB-9 автономного контроллера.

Особенное внимание должно быть уделено при подключении автономных устройств к главному ПК. Хотя производитель, скорее всего, будет

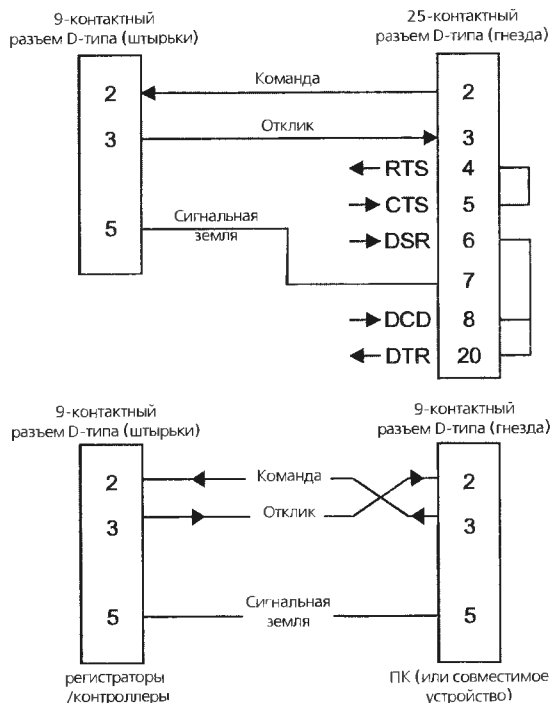


Рисунок 7.13

Подключение коммуникационного кабеля к главному ПК (IBM)

придерживаться стандартного назначения контактов коммуникационного интерфейса ПК, вполне возможно (и достаточно часто), что линии приема и передачи данных удаленных автономных систем соответствуют разным контактам разъема DB-9. Таким образом, рекомендуется свериться со спецификациями производителя.

Квитирование данных обычно не используется в автономных регистраторах/контроллерах, поскольку это часто приводит к коммуникационным проблемам. Вместо этого линии квитирования соединяются с главным ПК, как требует коммуникационное программное обеспечение, и остаются неподключенными к интерфейсу регистратора/контроллера.

7.4.2 Стандарт RS-485

В постоянно растущем распространении сетей распределенных регистраторов/контроллеров аппаратное обеспечение стало снабжаться интерфейсами RS-485. Интерфейс RS-485 обычно использует двухпроводное подключение и работает в неограниченных сетях в полудуплексном режиме (см. Главу 6). Однако протоколы, используемые для коммуникаций в сети, часто нестандартны, причем некоторые производители не раскрывают свои протоколы связи между приборами, а также методы обнаружения/исправления ошибок. Но это тем не менее не влияет на тот факт, что связь с устройствами сети на основе стандарта RS-485 все равно производится через один регистратор/контроллер, называемый локальным устройством, которое подключено к ПК через интерфейс RS-232.

Если в одной сети должно быть более 32-х автономных устройств, то используется репитер стандарта RS-485. К каждому репитеру можно подключить еще 32 устройства.

7.4.3 Узкие места канала связи и производительность системы

Если регистраторы/контроллеры постоянно накапливают в памяти данные, то эти данные должны быть отправлены на главный компьютер через коммуникационный интерфейс в любое удобное время, пока не переполнилась местная память. Это обеспечивает большую гибкость при получении данных от стандартного устройства или от сети устройств. Однако при работе в режиме реального времени, то есть когда данные непрерывно передаются на главный ПК от одного регистратора/контроллера или от сети регистраторов/контроллеров, то важным вопросом, который необходимо рассмотреть, является следующий: могут ли быть переданы все собранные данные через последовательный канал связи? Ответ на этот вопрос зависит от ряда факторов:

- Скорости передачи информации (бод)
- Количества сканируемых каналов
- Частоты сканирования каналов
- Является устройство автономным или частью распределенной сети

Автономный регистратор/контроллер

Сначала необходимо рассмотреть автономный регистратор/контроллер, подключенный к главному ПК с помощью интерфейса RS-232, работающего со скоростью 9600 бод. Как ранее было показано, данные пересылаются по коммуникационному интерфейсу 10-битными блоками, состоящими из одного стартового бита, 8 битов информации и 1 стопового бита. Время передачи каждого бита данных при скорости 9600 бод составляет 1,042 мс ($t = 10 \text{ бит}/9600$).

Следовательно, чтобы передать максимальное количество данных при заданной скорости передачи, время между каждым битом данных, готовых к передаче, составляет не менее 1,042 мс.

Допустим, имеется регистратор/контроллер, сканирующий 10 каналов. Если для каждого канала используются семь битов данных (в среднем) плюс еще десять битов на каждое измерение входных каналов, то полное количество передаваемых битов, посылаемых для каждого канала, составляет 80 битов. Максимальное время, которое каждый канал может использовать для сканирования, равно 83,36 мс (80 битов \times 1,042 мс). Таким образом, все каналы могут быть просканированы с максимальной скоростью порядка 12 Гц (1/83,36 мс).

Этот расчет предполагает, что не существует никаких аппаратных факторов, таких, как время установления мультиплексора, время установления входного усилителя и т.п., которые ограничивают эту скорость. Независимо от ограничений, накладываемых автономным коммуникационным интерфейсом, регистраторы/контроллеры не приспособлены для быстрого сбора данных.

Распределенная сеть регистраторов/контроллеров

Если регистратор/контроллер является частью распределенной сети, то производительность системы будут определять другие факторы. Несмотря на то что интерфейс RS-485 является чрезвычайно надежным даже при работе с высокой скоростью, потенциальная скорость, с которой может работать сеть, ограничивается следующим:

- Каждое устройство системы имеет уникальный адрес и должно опрашиваться главным компьютером на предмет передачи информации
- В любой момент времени может опрашиваться только одно устройство
- Поскольку сеть RS-485 является полудуплексной, то главный ПК должен дожидаться отклика на каждый свой запрос, прежде чем перейти к опросу следующего устройства
- Устройству присуща задержка или время реверсирования передачи, когда оно отвечает на запрос главного компьютера, вне зависимости от того, один бит или сотня битов данных передается в ответ на запрос. Это обусловлено тем, что устройство должно интерпретировать,

обработать и затем отреагировать на полученную команду, прежде чем возвращать ответ

- Если сеть RS-485 работает много быстрее, чем интерфейс RS-232 (то есть в два раза быстрее), то потенциальная скорость, с которой данные могут быть переданы главному компьютеру, ограничена скоростью интерфейса RS-232. Если это не так, то ограничивающим фактором является скорость сети RS-485

В примере для автономного устройства было показано, что устройству, сканирующему входные каналы и возвращающему за каждое сканирование 80 битов данных на главный ПК, для передачи данных потребуется 83,36 мс. Если время, требующееся для передачи десятибитовой команды, составляет 10,42 мс, а время реверсирования передачи равно 1 секунде, то суммарное время, необходимое для получения данных от одного устройства, равно 1093,78 мс. Время, необходимое для выполнения 10 аналогичных операций, составляет около 11 секунд. Очевидно, что система не сможет работать в режиме реального времени до тех пор, пока каждый прибор не будет сканировать свои входные каналы и передавать данные на главный компьютер каждые 11 секунд.

Если каналы одного или нескольких устройств должны сканироваться быстрее, то данные должны записываться в локальную память и в более удобное время передаваться ПК.

7.4.4 Использование сети Ethernet для подключения регистраторов

Регистраторы данных традиционно используют в качестве сети интерфейс RS-485. Интерфейс RS-485 работает очень хорошо в многоточечных системах, включающих до 32-х регистраторов данных. Поскольку к системам, действующим на промышленных предприятиях, предъявляются более жесткие требования, то видна необходимость подключения регистраторов данных к расширяемой сети. Это приводит к увеличению числа регистраторов, подключаемых с помощью существующих сетей Ethernet. Достоинства такого подключения очевидны. Одной из главных проблем при подключении регистраторов к сети RS-485 является ограниченный доступ к системе. Организуя доступ к регистраторам через Ethernet, пользователь может видеть и даже изменять данные в любом месте подключения к сети. Это приводит к росту количества регистраторов, использующих Ethernet. Подключение регистраторов к локальной корпоративной сети или Интернету также увеличивает безопасность информации. Насколько безопасны данные? Не будет ли кто-нибудь, кто не имеет полномочий к доступу, пользоваться информацией? Эти проблемы и их решения должны быть темой дополнительных обсуждений, когда дело дойдет до подключения регистраторов к сети Ethernet.

7.5 Встроенные программы автономных регистраторов/контроллеров

Аппаратное обеспечение, представляемое автономными или распределенными регистраторами/контроллерами, используемыми в качестве составной части системы сбора данных, обеспечивает физический интерфейс, который позволяет ПК получать информацию и управлять сигналами из окружающего мира. Программное обеспечение, которое хранится и выполняется в ПЗУ и ПППЗУ автономного устройства, называется встроенным («защитым») программным обеспечением. Эта программа осуществляет контроль над непрерывной работой автономного устройства. Однако встроенная программа сама не инициирует сбор данных и функции управления. Вместо этого встроенная программа может только интерпретировать и выполнять команды, которые она получает из главного ПК, и она знает, какие действия производить в любой момент времени.

Встроенная программа выполняет следующие функции:

- Наблюдение за корректной работой всех периферийных устройств (то есть карты памяти, дисплея, клавиатуры)
- Интерпретацию, контроль ошибок и активизацию команд, принятых через коммуникационный интерфейс или от карт памяти
- Отправляет ответный сигнал в компьютер через коммуникационный интерфейс, включая любые ошибки, которые происходят при передаче команд и в самом устройстве
- Выполняет сбор необходимых данных и функции управления, определенные командами, получаемыми от главного ПК

Встроенная программа автономного устройства часто обновляется производителем, чтобы обеспечить новые функции и модернизацию, а также в некоторых случаях исправление ошибок. Если удаленные автономные устройства работают в сети RS-485, то рекомендуется, чтобы каждый блок работал с одной и той же версией программы.

Версия встроенной программы часто отображается на локальном дисплее при включении питания. Если этого нет, то обычно имеется системная команда, предназначенная для показа версии программного обеспечения.

Качественные руководства, придаваемые к удаленным автономным устройствам, обычно включают историю модернизации встроенной программы с номерами версий и кратким описанием изменений, произведенных при каждой модернизации. Это позволяет пользователю идентифицировать проблемы, присутствующие в предыдущей версии программы.

7.6 Разработка программного обеспечения автономного регистратора/контроллера

Мощность и гибкость, обеспечиваемые автономными регистраторами/контроллерами, реализуются аппаратно, и, следовательно, встроенные программы, управляющие аппаратным обеспечением, становятся все сложнее.

Это, однако, не означает, что команды, используемые для управления автономными устройствами, должны быть очень сложными. Фактически с точки зрения программирования выгодно иметь простые и легко читаемые команды и структуры данных. С этой целью обычно используется простая структура команд на основе кода ASCII. Форматы команд и отклика на основе ASCII распространены вследствие их простоты, особенно для автономных систем, к которым последовательный интерфейс может быть добавлен без особых изменений существующей системы. Автономное устройство чаще всего считает дополнительный порт клавиатурой.

В зависимости от конкретных применений от автономных устройств требуется выполнение следующих задач:

- Измерение сигнала от датчиков через интервалы времени, определяемые пользователем
- Измерение сигнала от датчиков при возникновении каких-либо событий или условий
- Настройка скорости измерения сигналов с датчика таким образом, чтобы измерения в интересующие моменты времени производились более часто
- Математическая обработка результатов измерений
- Применение статистических процедур, позволяющих уменьшить число сохраняемых измерений
- Использование других форматов данных, чтобы данные, передаваемые на главный ПК, подходили для компьютерной программы или для оператора
- Сохранение измерений с датчиков в самом устройстве или на карте памяти для последующей передачи на главный ПК
- Передача результатов измерений к ПК, как только они будут произведены. Передача может быть произведена путем прямого подключения через интерфейс RS-232 (с помощью модема по телефонной сети или с помощью радиомодема по радиоканалу)
- Управление оборудованием, внешним по отношению к автономному устройству

В этом разделе кратко описывается базовый программный протокол (форматы команд, данных и ошибок), требуемый для программирования автономных регистраторов/контроллеров, а также тип команд, необходимых для выполнения некоторых задач, очерченных выше.

Здесь не предполагается подробное описание точной структуры конкретного автономного регистратора/контроллера, поскольку она различна для разных производителей. Однако для примера приводятся наиболее важные команды и их применение в программе управления линейки регистраторов/контроллеров Datataker компании Data Electronics Australia Pty Ltd (Приложение Ж).

7.6.1 Форматы команд на основе кода ASCII

Независимо от того, посылаются команды к автономным устройствам через последовательный коммуникационный интерфейс или используется карта памяти, формат команд одинаков. ПК всегда генерирует последовательность команд. Программирование работы удаленных устройств или считывание данных с них требует от пользователя только введения командных строк ASCII. Команды посылаются по одной с использованием символа, разделяющего команды, который ставится в конце каждой команды. Для пакетов, эмулирующих терминал, это обычно команда возврата каретки (ASCII — 0D). В одну строку могут быть включены несколько команд, разделенные специальным символом, который обычно бывает символом TAB или SPACE (Табуляция или Пробел), а командная строка может быть завершена символом разделения команд. Хотя форматы команд не стандартизованы производителями автономных устройств, чаще всего используются несколько форматов:

Команды-слова

Эти команды вводятся как непрерывный текст в коде ASCII (чаще с использованием верхнего регистра символов), содержащий одну или несколько командных опций, определяющих действие выполняемой команды. Хотя опции разных производителей различны, они обычно заключены в скобки, разделены запятыми (без пробелов) и могут быть произвольными.

Иногда командные опции называют параметрами команд, поскольку пользователь должен добавлять параметры, которые определяют конкретные значения команд. Эти параметры не следует путать с параметрическими командами.

Команды-переключатели

Эти команды используются в качестве управляющих функций включения/выключения, которые либо включают, либо выключают какую-либо конкретную функцию или опцию автономного устройства и тем самым управляют его работой. Функция «X» включается/выключается путем отправки следующих ключей:

- /X функция включается
- /x функция выключается

Параметрические команды

Эти команды устанавливают в устройстве некоторую внутреннюю величину, которую пользователь задает один раз или, по крайней мере, не очень часто. Параметрические команды имеют общий эффект, могут быть заданы в любое время, начинают действовать сразу и позволяют пользователю устанавливать различные режимы работы устройства. Параметрическая команда для конкретного устройства часто может иметь большой набор значений.

Если автономный регистратор/контроллер является частью сети, то перед всеми командами должен быть задан адрес устройства, которому предназначена данная команда.

7.6.2 Форматы данных на основе кода ASCII

Все данные, передаваемые на главный ПК от автономных устройств, обычно передаются в простом текстовом формате на основе кода ASCII. Формат строки ASCII полностью настраивается пользователем, и будет использоваться тот формат, на который было настроено автономное устройство. Для представления данных обычно используются два математических формата:

- Формат с плавающей запятой с «n» (задается пользователем) значащими цифрами
- Экспоненциальный формат с «n» (задается пользователем) значащими цифрами

Кроме того, строка символов ASCII может быть сделана более читаемой путем добавления следующего текста:

- Используемые единицы измерений (например, мВ, Ом, Гц и т.п.)
- Номер канала и тип измеряемого сигнала или тип используемого датчика (например, 1 В, 2 LM35)
- Идентификатор канала (например, температура котла № 1)
- Время и дата, когда были произведены измерения (например, 10:30 12/12/99)

Если в программу должна быть вставлена дата, то она должна иметь формат, не содержащий никакого дополнительного текста, за исключением времени (формат ЧС:МН:СК) и даты (формат ДН:МС:ГД), разделенные запятыми (ASCII — 2C), а каждая строка данных разделена символом возврата каретки (ASCII — 0D).

Если автономный регистратор/контроллер является частью сети, то перед всеми командами должен быть задан адрес устройства, которому предназначена данная команда.

7.6.3 Сообщения об ошибках

Если при передаче команды автономному устройству или при выполнении какой-либо функции происходит ошибка, то о появлении ошибки может быть сообщено путем возврата главному ПК сообщения об ошибке.

Хотя для всех типов автономных приборов не существует явного разделения типа ошибок, но чаще всего определяются три типа ошибок:

- Ошибки команд
- Ошибки канала
- Ошибки в работе устройства

Ошибки команд

Ошибки команд выдаются сразу же после передачи команды к автономному устройству. Они указывают, что вся команда или ее часть не была понята из-за некорректной передачи от главного ПК, команда имела некорректный синтаксис или переданная команда неисполнима. Если команда относится к нескольким каналам, некоторые из которых не используются или относятся к другому типу, то генерируется соответствующее сообщение об ошибке, но команда выполняется для тех каналов, для которых она применима.

Ошибки канала

Ошибки канала выдаются тогда, когда ошибка происходит при измерениях на каком-либо канале. Способ сообщения об ошибках канала может быть разным и зависит от автономного устройства. Помимо выдачи сообщения об ошибке, некоторые устройства возвращают определенное значение данных (задаваемое по умолчанию, например, 99999,9). Примером такого типа ошибки является считывание каналом аналогового значения, выходящего за пределы измерений.

Ошибки в работе устройства

Ошибки в работе устройства происходят, когда возможности устройства не обеспечивают правильное выполнение команды. Например, ошибка работы устройства выдается при переполнении входного буфера команд. Это может быть обусловлено передачей слишком длинной команды или слишком быстро поданной последовательностью команд. Ошибка в работе устройства происходит также в случае переполнения памяти, отведенной для записи данных.

Формат сообщения об ошибке

Сообщение об ошибке обычно передается в укороченной ASCII записи, но может быть передано и в более описательной ASCII форме. Во всех случаях формат сообщения об ошибке определяется форматом, на который настроено удаленное устройство. Формат обычно задается с помощью команд-переключателей. Стоит отметить, что с помощью команд-переключателей сообщения об ошибках можно отключить.

7.6.4 Системные команды

Системные команды используются для инициализации системы, аппаратного обеспечения и переменных, а также для задания системных параметров (таких, как время, дата и пароль) или для получения информации о состоянии системы.

7.6.5 Канальные команды

Универсальность и простота использования автономных устройств заключаются в том, что к входным каналам могут быть подключены самые разные типы датчиков. В большинстве случаев не имеет значения, какой датчик

подключен к какому каналу. Скорость, с которой каждый канал производит выборку, совершенно произвольна. Некоторые каналы могут быть настроены на непрерывную выборку, в то время как другие будут производить измерения только при некоторых условиях. Будучи настроенным на выполнение определенной задачи по сбору данных и управления (или какие-то более сложные), удаленное устройство будет продолжать работать самостоятельно, производить измерения, сохранять данные (если требуется) или передавать их на главный ПК.

Канальные команды позволяют пользователю настроить выбранный канал на выполнение следующих задач:

- Конфигурация входа
- Возбуждение датчика
- Задание констант канала, таких, как резистивные шунты и коэффициенты ослабления
- Задание опорных каналов для термопар и мостов Уитстона
- Масштабирование диапазонов каналов, задание аппроксимирующих полиномов и факторов, определяющих проведение статистического анализа и построение гистограмм
- Задание приращения, скорости изменения, назначение каналу данных временных регистров хранения
- Назначение каналам уникальных имен
- Задание разрешения и формата данных канала
- Задание направления передачи данных (на главный ПК, запись в память или локальный вывод)

Далее некоторые из этих канальных команд рассматриваются подробнее.

Возбуждение канала

Как было показано, многие датчики для получения выходного сигнала требуют возбуждения в форме напряжения или постоянного тока. Опции канала возбуждения информируют автономное устройство о возбуждении, которое требует данный канал.

Статистические канальные команды

Каналы могут считывать данные часто и обеспечивать для длинных интервалов статистические данные. Эти данные передаются, записываются или выводятся через предварительно заданные интервалы времени. Каналы, которые требуют выполнения статистических выборок, должны иметь опцию, позволяющую передавать статистическую информацию. Ниже перечислены часто используемые статистические опции канала:

- **Среднее значение**
Сумма всех измерений канала, поделенная на количество измерений (от последней выдачи статистических данных). Эта величина очень полезна для уменьшения шумов датчика путем усреднения периодических наводок, таких, как фон переменного тока.

- **Среднее отклонение**
Среднее отклонение является мерой разброса данных относительно среднего значения. Отклонение может быть обусловлено помехами или изменениями процесса.
- **Максимальное и минимальное значение**
Эти величины дают максимальное и минимальное значения за сканируемый период, а также время и дату, когда это произошло.
- **Интеграл**
Эта величина возвращает интеграл (площадь под кривой) по отношению к времени в секундах при использовании трапецеидальной аппроксимации. Единицей измерения интеграла является основная единица измерений, умноженная на секунды.

Преобразование данных канала

Преобразование и масштабирование данных конкретного канала могут производиться автоматически до сохранения данных с помощью следующих утилит:

- **Масштабирование канала**
Эта утилита автоматически умножает считанное значение на фиксированный масштабирующий коэффициент для данного канала.
- **Внутренние функции**
Ниже перечислены примеры математических функций, применяемых к полученным данным:
 - Нахождение обратного значения ($1/x$)
 - Извлечение квадратного корня (\sqrt{x})
 - Нахождение натурального логарифма ($\ln[x]$)
 - Нахождение десятичного логарифма ($\lg[x]$)
 - Нахождение абсолютного значения ($|x|$)
 - Возведение в квадрат ($x*x$)
- **Задание участков измерений**
Эти участки позволяют датчикам с линейной калибровкой преобразовывать измерения в прикладные значения. Пользователь определяет крайние точки участка, и для этого участка автоматически производится линейная аппроксимация входной величины. Это аналогично использованию полинома первой степени $y = a + bx$ к входному значению x и особенно хорошо подходит для токовых петель.
- **Полиномиальное аппроксимирование**
Линеаризация нелинейных данных может производиться с помощью полиномиальных уравнений порядка « n » (см. Приложение Д)
- **Хранение переменных канала**
Для временного хранения данных, полученных с одного или нескольких каналов, используются внутренние переменные. И прежде чем данные будут записаны, выведены на дисплей или переданы на главный компьютер, к ним могут быть добавлены данные с других каналов или к ним может быть применена математическая обработка.

• Математические и логические вычисления

К данным, полученным с канала, могут быть применены математические выражения, содержащие арифметические операции (+ = * / %), операторы отношения (< > <= и т.п.), логические операторы (AND, OR, XOR, NOT) и тригонометрические функции (sin, cos, tg и т.п.).

7.6.6 Расписание (программа опроса каналов)

Расписание является списком, который сообщает удаленному устройству, с какого канала или количество каналов, откуда должны считываться данные, а также способ запуска считывания каждого канала. Когда происходит запускающее событие, то сканируются все каналы, перечисленные в расписании, и в зависимости от типа расписания данные записываются, выводятся на дисплей или передаются на главный ПК.

Запуск расписания

Применяются три различных способа запуска расписания:

- Запуск через заданный интервал времени
- Запуск по определенному событию
- Запуск при выполнении какого-либо условия

Запуск через заданный интервал времени

При использовании этого способа автономное устройство программируется на считывание данных по каждому каналу через заданный промежуток времени. Время, через которое будет производиться сканирование, может быть секундами, минутами, часами или днями. Если интервал не задан, то сканирование производится с максимальной скоростью.

Запуск по определенному событию

При использовании этого способа запуск сканирования всех каналов, указанных в расписании, производится после появления события на заранее выбранном цифровом или счетном входе.

Запускающими событиями обычно являются:

- Положительный фронт сигнала (переход от низкого уровня к высокому) на цифровом входе
- Отрицательный фронт сигнала (переход от высокого уровня к низкому) на цифровом входе
- Любой перепад на цифровом фронте
- Запуск после «*n*» отсчета на счетном входе (отсчитав «*n*» импульсов)

Когда запуск расписания производится цифровым событием, то автономное устройство должно постоянно отслеживать необходимые цифровые и счетные входы на предмет появления сигнала запуска. Это не позволяет устройству переходить в режим низкого потребления энергии. Поскольку имеются ограничения на скорость, с которой устройство может проверять

заданные цифровой и счетный входы, то должны быть приняты меры, чтобы скорость запускающего события была не быстрее скорости проверки запуска, в противном случае запуск может быть пропущен.

Запуск по истинности некоторого условия

Помимо различных методов запуска сканирования через данные промежутки времени или при наступлении некоторого события, часто возможно включение/выключение устройства запуска по состоянию одного или нескольких цифровых входов. Это может быть особенно полезно, например, если достигается аварийный уровень какого-либо сигнала и это условие используется для включения запуска события, которое активизирует сканирование канала.

Способы запуска расписания

Используются пять способов запуска расписания:

- Прямой запуск
- Отчетный запуск
- Опрашиваемый запуск
- Статистический запуск
- Аварийный запуск

Прямой запуск расписания

Прямые запуски расписания используются для проверки и тестирования входных каналов и датчиков. При запуске такого расписания либо по команде с главного ПК, либо по аварийному условию назначенные каналы сканируются только один раз, и данные передаются только на главный компьютер. Сканирование каналов по прямому расписанию не нарушает действия никаких отчетных запусков расписания, которые могут происходить в этот момент и имеют наивысший приоритет.

Отчетные запуски расписания

Этот тип расписаний используется для повторного сбора данных с выбранных входных каналов и образует блоки из программ автономных регистраторов/контроллеров. Сканирование каналов для этого типа расписания может запускаться следующими событиями:

- Через интервалы времени от 1 секунды до нескольких месяцев
- По цифровым событиям (условие, определяемое состоянием цифрового входа)
- Событиями счетчика (условие, определяемое состоянием счетчика)

Данные, полученные по такому расписанию, могут передаваться на главный компьютер, записываться или выводиться на дисплей. Автономные устройства обычно поддерживают несколько отчетных расписаний (например, RA, RB, RC, RD, RX), одно из которых может использоваться только для запросов главного компьютера (RX).

Опрашиваемые запуски расписания

Опрашиваемые запуски расписания, производимые только в ответ на поступление специальной команды, имеют специальный идентификатор. Это расписание начнет выполняться только при наступлении следующего события:

- Главный компьютер посылает команду запроса
- Аварийная ситуация инициирует запрос от главного компьютера

Статистические запуски расписания

Статистические запуски расписания используются для повторного сбора данных с входных каналов через короткие интервалы времени, но производят вычисление таких статистических данных, как среднее, минимальное, максимальное значение и т.п., для длинных интервалов времени. Применяются один или несколько способов запуска статистических расписаний, каждый из которых имеет свой идентификатор. По умолчанию сканирование при использовании статистических расписаний производится с максимальной скоростью, если только пользователь не использует специальное условие запуска.

Сканирование каналов для такого типа расписания может запускаться следующими событиями:

- Временной интервал от 1 секунды до нескольких месяцев
- По цифровым событиям (условие, определяемое состоянием цифрового входа)
- Событиями счетчика (условие, определяемое состоянием счетчика)

Каналы, которые сканируются по статистическому расписанию, должны иметь одну или несколько опций, служащую для запуска статистического расписания.

Аварийные расписания

Аварийные расписания определяют скорость, с которой должно производиться сканирование одного или нескольких каналов, чтобы определить наступление аварийной ситуации (см. ниже раздел «Аварийные сигналы»). Применяются несколько типов аварийных расписаний, каждое из которых имеет уникальный идентификатор. По умолчанию сканирование при использовании статистических расписаний производится с максимальной скоростью, если только пользователь не применяет специальное условие запуска.

Сканирование каналов для такого типа расписания может запускаться следующими событиями:

- Временной интервал от 1 секунды до нескольких месяцев
- По цифровым событиям (условие, определяемое состоянием цифрового входа)
- Событиями счетчика (условие, определяемое состоянием счетчика)

Управляющие расписания

Если автономное устройство соединено с главным ПК, то дополнительная гибкость может быть достигнута в таких условиях, когда пользователь при необходимости может останавливать и снова возобновлять любое индивидуальное расписание или все расписания сразу. Это позволит пользователю временно приостановить процесс сбора данных, чтобы проверить и/или изменить параметры системы или тип запуска расписания.

7.6.7 Аварийные сигналы

Аварийные сигналы используются для предупреждения о возникновении аварийных ситуаций, позволяя пользователю принять решение в том случае, если входные сигналы, таймеры или переменные превышают определенные безопасные уровни. Аварийные сигналы имеют разное назначение и позволяют производить следующее:

- Логические сравнения заданных значений. Условиями сравнения являются:
 - меньше ($<$) заданного значения (аварийный сигнал низкого значения)
 - больше ($>$) заданного значения (аварийный сигнал высокого значения)
 - выход за пределы ($<>$) заданных значений (аварийный сигнал выхода за пределы)
 - нахождение в пределах ($><$) заданных значений (аварийный сигнал нахождения в пределах)
- Управление выходными цифровыми каналами, основанное на аварийной ситуации и включающее световые аварийные сигналы, управляющие реле и т.п.
- Выдача сообщений к главному ПК или на локальный дисплей, которые могут содержать аварийную информацию (т.е. тип аварийной ситуации), а также дату и время возникновения аварийной ситуации
- Выдача команд на управление устройством

Способ, с помощью которого аварийная ситуация уведомляет о необходимых действиях, часто можно задать, что обеспечивает удобство для пользователя в выполнении требований конкретной системы или процесса.

Аварийные ситуации могут уведомлять о необходимых действиях следующим образом:

- Аварийные действия производятся только один раз, при первом обнаружении аварийной ситуации
- Аварийные действия производятся только один раз и только по прошествии заранее заданного времени с первого обнаружения аварийной ситуации. Если задано время выжидания, то никакие действия не производятся до истечения этого периода, если аварийная ситуация в течение этого периода не изменилась. Это ожидание является своеобразным фильтром, позволяющим выделить случайные аварийные сигналы, возникшие в результате воздействия помех

- Аварийные действия производятся повторно в течение всего времени действия аварийной ситуации
- Аварийные действия производятся повторно в течение всего времени действия аварийной ситуации после заранее заданного времени ожидания

Управляющие сигналы тревоги

Если автономное устройство соединено с главным ПК, то дополнительная гибкость может быть достигнута в таких условиях, когда пользователь при необходимости сможет останавливать и снова возобновлять любой отдельный сигнал или все сигналы тревоги. Это позволит пользователю временно приостановить действие сигнала тревоги и разрешить работу датчиков или исполнительных устройств, не нарушая работу системы.

7.6.8 Запись и передача данных

Сохранение данных

Данные можно сохранять в двух местах. Первым является внутренняя память, а вторым (если имеется) — опциональная карта памяти большой емкости. Количество данных, которые можно сохранить, зависит от емкости памяти и/или от емкости карты памяти, а также от формата, в котором сохраняются данные.

Если пустую карту памяти вставить в автономное устройство, то все данные из внутренней памяти будут перенесены на карту памяти, и запись будет продолжаться до заполнения карты памяти. При удалении карты памяти запись данных продолжится во внутреннюю память. Если же в устройство вставить частично заполненную карту памяти, то запись будет производиться во внутреннюю память.

Сохранение данных

Для экономии места данные записываются в фиксированном формате на основе кода ASCII (т.е. 24-разрядный формат с плавающей запятой). Для идентификации даты и времени записи в начале каждого блока данных используется заголовок фиксированной длины. При передаче данных идентифицирующий заголовок используется пользователем для интерпретации данных и дополнительной информации. Поэтому расписания не могут быть изменены, когда данные уже записаны. При использовании закодированных заголовков и данных фиксированной длины записи объем необходимых данных значительно уменьшается.

В автономных устройствах память фиксирована и ее объем неизменен. Используются два режима записи данных:

- **Режим остановки при заполнении памяти**
Запись данных останавливается, как только память будет заполнена. Это позволяет сохранить данные в том порядке, в каком они были записаны, при этом самые последние данные не записываются. Если

имеется карта памяти, то внутренняя память используется только после заполнения карты памяти.

- **Режим перезаписи**

В этом режиме записи данных вся память организована в виде кольцевого буфера. При заполнении памяти самые старые данные могут быть переписаны новыми

Получение данных из памяти

Данные могут быть переданы на главный ПК либо из внутренней памяти, либо с карты памяти путем подачи с главного ПК простых команд. Обычно используется несколько опций, определяющих, какие данные должны быть переданы.

К ним относятся:

- Все данные, первыми передаются самые старые
- Только самые последние записанные данные
- Данные, полученные при использовании конкретного расписания
- Данные из того места памяти, на котором была остановлена последняя передача данных
- Данные, приходящиеся на заданный интервал времени

7.7 Программное обеспечение главного компьютера

Программа, работающая на главном ПК, дополняет систему сбора данных, использующую автономные регистраторы/контроллеры, и выполняет две функции:

- Посылает команды, которые определяют работу удаленных автономных устройств, включая все их действия в любой момент времени, место сохранения данных, получаемых с входных каналов, формат данных, а также данные, выводимые выходными каналами
- Получает данные от всех удаленных устройств и обеспечивает их анализ, хранение и представление

Простейшей формой программного обеспечения, которым снабжаются автономные устройства, обычно является пакет коммуникационных программ, имеющих графический интерфейс пользователя. Это характерно для различных производителей, самостоятельно выпускающих программное обеспечение, например программа DeTerminal, предоставляемая компанией Data Electronics.

Автономные регистраторы. Большинство современного программного обеспечения, либо поставляемого производителем, либо разработанного пользователем, обеспечивает высокий уровень пользовательского интерфейса, который устраняет необходимость в форматировании отдельных команд и обеспечивает автоматический сбор данных в виде файлов, позволяющих графическое представление или анализ.

Другими готовыми программными пакетами, которые могут использоваться для работы с удаленными автономными устройствами, являются:

- Любой пакет, обеспечивающий работу с терминалом и управление коммуникациями
- Пакеты электронных таблиц типа Excell, Lotus 123, Framework, Quatro

Во всех случаях формат принимаемых команд и данных, передаваемых удаленным устройством, все равно является простым форматом ASCII, продиктованным встроенным программным обеспечением удаленного устройства.

7.8 Рекомендации по использованию автономных регистраторов/контроллеров

Сбор данных и управление системой, выполненные на основе автономных регистраторов/контроллеров, являются организованным процессом. При разработке систем, использующих подобные устройства, пользователь должен учесть следующее:

- Во-первых, требуемое количество датчиков и каналов управления, а также их расположение по отношению к главному компьютеру. Это требование определяет необходимое количество регистраторов/контроллеров и их расположение. Если требования к аналоговому входу или цифровому вводу/выводу выше, чем может обеспечить один блок, но дополнительные каналы локализованы в одном месте, то можно использовать расширительные модули. Если дополнительные входы/выводы должны быть распределены, то необходимо использовать несколько регистраторов/контроллеров, которые образуют распределенную сеть. Если блоки расположены удаленно (например, на удаленной метеорологической станции или на электрической подстанции, расположенной в сельской местности) и соединять эти приборы непосредственно с главным компьютером непрактично, то возможны два варианта. А именно: оператор переносит данные в главный компьютер с помощью карты памяти или удаленное устройство подключается к главному ПК через модем.
- Объем регистрируемых данных. Автономные регистраторы/контроллеры имеют ограниченный объем памяти. Как быстро память заполнится, зависит от количества регистрируемых входных каналов и скорости их опроса. Если необходимо сохранить ограниченное количество данных, то для этого может быть достаточно внутренней памяти. Увеличение емкости памяти может быть обеспечено использованием карты памяти. Если внутренняя память или карта памяти часто переполняются, то в этом случае необходимо подключение регистратора/контроллера к ПК напрямую или через модем.
- Как часто сохраненные данные должны передаваться на главный ПК. Передача данных на главный ПК является такой же важной пробле-

мой, что и вопрос памяти, и зависит главным образом от типа применения. Ясно, что применения, в которых данные накапливаются для анализа в течение длительного времени (например, при контроле погоды), не требуют постоянной передачи данных на ПК. Частота передачи данных будет зависеть только от емкости памяти устройства и количества записанных данных. Критические применения, требующие постоянной передачи к ПК информации о процессе, создание обратной связи для аварийных ситуаций и онлайн-контроль требуют непосредственного соединения с главным ПК.

- Наличие питания. Если сетевое питание недоступно, то автономные регистраторы/контроллеры питаются от батарей. Срок службы батарей определяется рядом факторов и не может быть неограниченным. Со временем батарея потребует замены или подзарядки.

7.9 Сравнение автономных регистраторов/контроллеров со встроенными системами

7.9.1 Достоинства

Автономные регистраторы/контроллеры обладают теми же самыми достоинствами, что и распределенные системы ввода/вывода. Они имеют модульное построение и могут устанавливаться в необходимых местах. Будущее расширение системы легко осуществляется путем увеличения количества устройств, подключенных к сети.

Помимо возможности удаленного принятия решения, использование автономных регистраторов/контроллеров увеличивает надежность системы. Это объясняется тем, что автономная или распределенная система может продолжать работать, даже если главный компьютер не подключен к сети или если он не работает. Удаленное подключение увеличивает суммарную производительность системы путем распределения управляющих сигналов, алгоритмов и других функций по локальным процессорам.

Аналоговые входы сменных плат сбора данных обычно разрабатываются для восприятия сигналов в виде напряжения. Если уровни сигналов малы, датчики не обеспечивают выходного напряжения, расположены удаленно от ПК или подвержены воздействию помех, то требуются различные типы преобразования сигналов. В отличие от распределенных устройств ввода/вывода каждый регистратор/контроллер обычно имеет несколько каналов, и каждый из этих каналов может настраиваться на работу с разными датчиками и сигналами, а не только с каким-то конкретным сигналом или датчиком. В то время как автономные устройства не обязательно имеют встроенные фильтры, они по большей части и не требуются, поскольку блоки могут быть расположены очень близко к источнику сигнала и не подвергаться воздействию помех. Кроме того, методы статистической обработки, такие, как усреднение ряда измерений или интегрирование по периоду помехи, помогают устранить периодические помехи типа сетевого фона.

Поскольку автономные регистраторы/контроллеры можно размещать рядом с источником сигнала и не подключать к главному ПК, то отпадает необходимость в длинных кабелях, которые подвержены воздействию помех.

И последним достоинством является то, что регистраторы/контроллеры часто содержат местный интерфейс оператора, обеспечивающий обратную связь с системой или процессом в месте расположения устройства.

7.9.2 Недостатки

При подключении к главному ПК, независимо от того, имеется единственный регистратор/контроллер или целая сеть устройств, все коммуникации должны производиться через интерфейс RS-232. Скорость, с которой данные могут передаваться к/от регистратора/контроллера, ограничена скоростью, с которой данные могут быть переданы через один коммуникационный канал RS-232. Еще одним важным вопросом является то, где устройства хранят информацию, передаваемую главному ПК, и количество передаваемой информации. В любом случае количество выборок, которое может быть получено с каждого регистратора/контроллера, ограничено полным количеством информации, передаваемой через коммуникационный интерфейс.

В отличие от специализированных быстродействующих сменных плат для сбора информации автономные регистраторы/контроллеры не предназначены для дискретизации высокочастотных сигналов. Регистраторы/контроллеры не имеют быстродействующих микропроцессоров, скоростных шин данных и быстрой памяти, такой, как ПДП, которые присущи современным ПК. Вместо этого устройства управляются местными специализированными микропроцессорами или микроконтроллерами. Микропроцессор не только выполняет множество задач, связанных с управлением аппаратным обеспечением устройства, но и множество задач по управлению и сбору данных, связанных с выполняемой ими программой. Это означает, что при работе с полной производительностью эти регистраторы/контроллеры могут только оцифровывать сигналы с очень невысокими частотами выборки и поэтому больше подходят для таких применений, где сигналы изменяются медленно.

Последним ограничивающим фактором, особенно для тех случаев, когда регистратор/контроллер работает в автономном режиме, является то, что устройство имеет ограниченную память. Чем больше количество каналов и чем выше частота выборки, производимой по каждому каналу, тем больше количество данных будет произведено в заданный промежуток времени. Со временем память заполнится. Необходимо позаботиться о том, чтобы частота выборки для каждого канала была минимально необходимой, но обеспечивающей требуемую информацию.

Сменные платы для сбора информации могут непрерывно оцифровывать сигнал и передавать информацию непосредственно в память ПК. В тех случаях, когда требуется еще большая емкость памяти или данные должны храниться постоянно, они могут переноситься на жесткий диск.

Стандарт IEEE-488

8.1 Введение

Стандартный интерфейс, известный сейчас как GPIB (интерфейсная шина общего назначения), первоначально был разработан компанией Hewlett Packard в 1965 году (тогда он назывался HP-IB — интерфейс Hewlett Packard) и использовался для подключения и управления программируемыми измерительными приборами. Из-за своей скорости, удобства использования и простоты подключения устройств интерфейс получил широкое распространение и был принят разными производителями измерительных приборов.

Скоро стало очевидно, что с введением цифровых контроллеров и программируемых приборов, выпускаемых разными производителями, был необходим стандартный высокопроизводительный коммуникационный интерфейс, обеспечивающий связь между различными приборами разных производителей оборудования. После рассмотрения вопроса комитетом организации IEEE в 1975 году был выпущен стандарт IEEE 488-1975. В 1978 году стандарт был незначительно обновлен с целью соответствия с международным стандартом IEC-625, который в то время больше использовался в Европе. Настоящая версия этого стандарта называется IEEE 488.1-1987. Принятый стандарт, определив механические и электрические спецификации, а также протокол связи, значительно упростил соединение программируемых приборов с помощью нового коммуникационного интерфейса. Впервые измерительные приборы разных производителей подключались с помощью стандартного кабеля. Однако стандарт не касался форматов данных, отчета о состоянии устройства, протокола обмена сообщениями, команд конфигурации или команд, характерных для конкретного устройства, — все эти вопросы впоследствии различные производители оборудования решали по-своему.

В 1987 году был введен стандарт IEEE 488.2, который определял форматы данных, отчет о состоянии устройства, контроль функциональности, обработку ошибок и общие команды. Стандарт IEEE 488.2 сосредоточивается на программном протоколе и сохраняет полную совместимость с устройствами, аппаратно поддерживающими стандарт IEEE 488.1.

EOI. В 1990 году группа производителей измерительных приборов сообщила о дальнейшем расширении стандарта, известного как SCPI (стандарт на команды для программирования измерительных приборов), который берет за основу стандарт IEEE 488.2 и определяет набор общих команд, которые могут использоваться для программирования измерительных приборов, поддерживающих интерфейс на аппаратном уровне. Связь стандартов иллюстрирует рисунок 8.1.

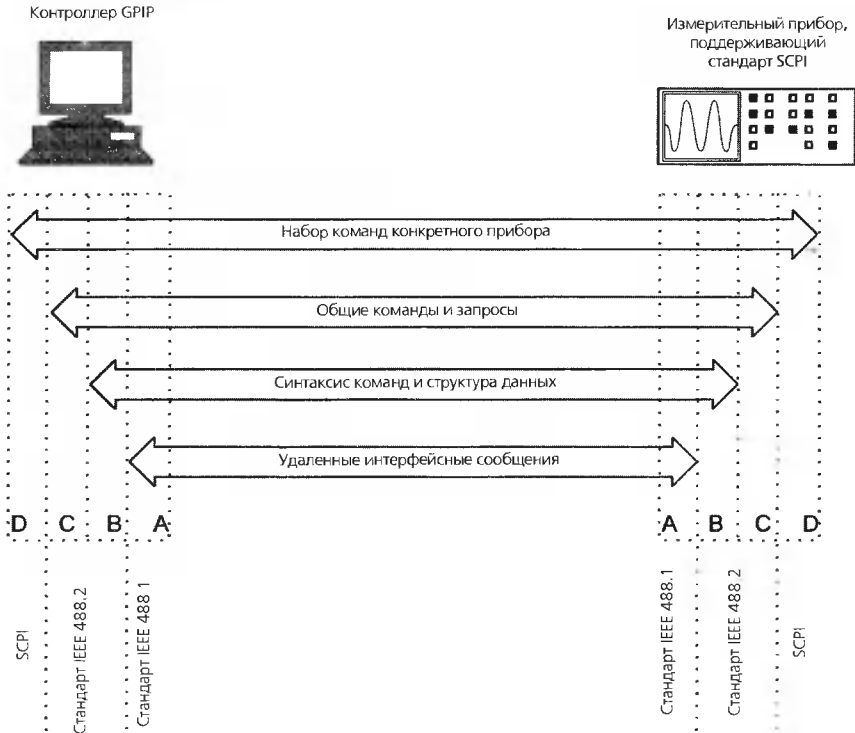


Рисунок 8.1
Связь стандартов IEEE 488.1, IEEE 488.2, и SCPI

Помимо трех стандартов, связанных с IEEE 488 (IEEE 488.1, IEEE 488.2 и SCPI), в этом же смысле используется термин «стандарт GPIB».

Стандарт GPIB является интерфейсом, позволяющим одновременное подключение до 15 устройств и/или измерительных приборов к одной общей параллельной коммуникационной шине. Это обеспечивает управление приборами или передачу данных на контроллер, принтер или плоттер. Стандарт определяет порядок передачи данных, адресацию к отдельным устройствам, стандартные команды управления шиной, а также физические детали интерфейса. Все эти вопросы рассматриваются в следующем разделе.

8.2 Электрические и механические характеристики

Шина GPIB является 24-проводным экранированным кабелем, на каждом конце которого имеются стандартные разъемы. Используются разъемы типа Amphenol MICRORIBBON, Cinch Series 57 MICRORIBBON или AMP CHAMP, показанные на рисунке 8.2 и имеющие как штырьки, так и гнезда. Добавление нового устройства к шине производится подключением нового кабеля по схеме звезды или цепочки. Разъемы кабелей друг к другу крепятся винтами. Поскольку 24-контактные разъемы имеют наращиваемую конструкцию, то подключать или отключать устройство от шины очень легко.

24 линии каждого кабеля включают 8 линий данных и 8 пар (16) управляющих и контролирурующих линий шины. Линии данных используются исключительно для параллельной передачи данных, по одному байту за один раз. Линии управления и контроля используются для задач управления шиной и синхронизации потока данных. Когда данные или команды передаются по шине, то линии управления шиной позволяют их различать. Интерфейс GPIB использует двоичную систему в виде сигналов напряжения, которые представляют переносимую по шине информацию. Эта систе-



Рисунок 8.2

Разъем стандарта GPIB (IEEE 488) и назначение контактов

ма использует символы «истина» и «ложь», представляемые двумя состояниями напряжения на линиях. Интерфейс GPIB использует соглашение «низкий потенциал — истина» или так называемую отрицательную логику, в которой состояние низкого напряжения является «истиной», а высокое — «ложью». Используются стандартные TTL уровни напряжения. Например, если сигнал линии является «истиной», то TTL уровень напряжения является низким ($\leq 0,8$ В), а если сигнал является «ложью», то TTL уровень является высоким ($\geq 2,0$ В). Отрицательная логика означает, что любое устройство может установить управляющее напряжение на шине в состояние «низкий потенциал — истина», но никакая линия не может самостоятельно установить напряжение в состояние «высокий потенциал — ложь», если только все устройства на линии не переведут их в состояние «высокий потенциал — ложь».

8.3 Физическая конфигурация подключения

С помощью интерфейса GPIB приборы можно подключать либо в виде «звезды», как показано на рисунке 8.3, либо в виде «цепочки» (линейное подключение), как показано на рисунке 8.4.

При использовании конфигурации звезды каждый измерительный прибор подключается с помощью отдельного кабеля GPIB непосредственно к компьютеру. Все разъемы подключены к одному порту контроллера. Недостатком этой простой конфигурации является то, что все устройства, подключенные к шине, должны находиться относительно недалеко от контроллера из-за ограниченной длины каждого кабеля.

В цепочечной конфигурации каждое устройство, включая компьютер, соединено со следующим последовательно. Контроллер не должен быть первым или последовательным устройством цепочки, может быть подклю-

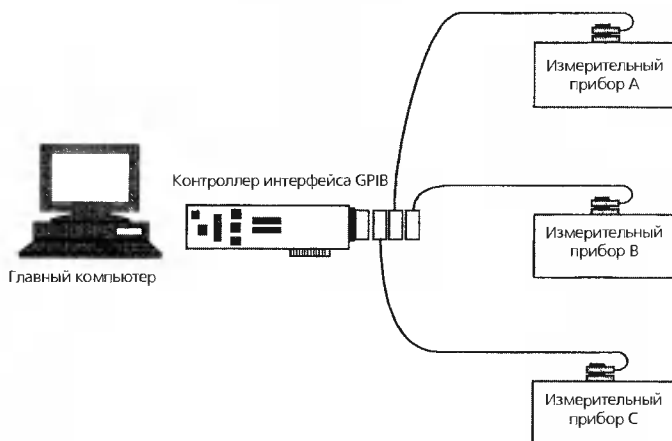


Рисунок 8.3
Конфигурация интерфейса GPIB в виде звезды

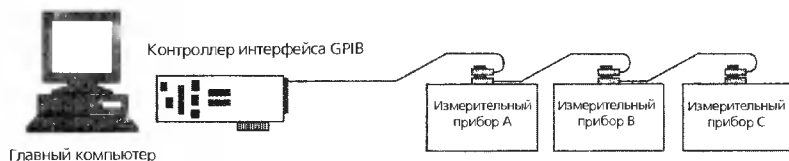


Рисунок 8.4
Цепочечная (линейная) конфигурация интерфейса GPIB

чен в любое место цепи. Контроллером он является в том смысле, что координирует все события шины. Физически и электрически он аналогичен любому устройству, подключенному к шине GPIB. Эта конфигурация является наиболее удобным способом соединения оборудования. Недостатком цепочечной конфигурации является то, что в случае удаления какого-либо устройства вместе со своим кабелем может потребоваться настройка программного обеспечения.

Хотя интерфейс GPIB предполагает или цепочечное подключение устройств, или в виде звезды, приборы можно подключать и другими способами при условии соблюдения следующих рекомендаций:

- Все устройства должны быть подключены к шине
- К шине могут быть подключены не более 15 устройств, включая контроллер, причем должно быть включено питание не менее двух третей приборов
- Длина кабеля между двумя отдельными приборами не должна превышать 4 м, а для всей шины среднее расстояние между устройствами должно быть не более 2 м
- Полная длина кабеля не должна превышать 20 метров

Одно устройство, подключенное к шине GPIB, может передавать данные 14 другим устройствам. Поскольку интерфейс GPIB использует асинхронное (не связанное с тактовой частотой) квитирование, то реальная скорость передачи данных в большей степени зависит от самих устройств, а не от аппаратного интерфейса.

8.4 Типы устройств

С точки зрения передачи данных существуют четыре разных группы устройств, подключаемых с помощью интерфейса GPIB:

- **Передачики**

Передачик является односторонним коммуникационным устройством, которое может только передавать данные к устройству-приемнику. Он не принимает данные. Передачик ожидает сигнала от контроллера и затем выставляет данные на шину. В любой момент может передавать только одно устройство. Простыми примерами передатчиков являются обычные цифровые вольтметры и некоторые аналого-цифровые преобразователи.

- **Приемники**

Приемник является односторонним коммуникационным устройством, которое может только принимать данные от другого устройства. Он не передает данные. Он принимает данные, когда контроллер дает ему сигнал на принятие данных. Простыми примерами приемников являются принтеры, плоттеры и записывающие устройства.

- **Передачики/Приемники**

Передачик/приемник сочетает характеристики и передачиков, и приемников. Однако он не может быть одновременно и передачиком, и приемником. Простым примером передачика/приемника является программируемый цифровой вольтметр, который является приемником, когда контроллер передает ему диапазон измерений, и является передачиком, когда он передает результаты измерений контроллеру. Большинство цифровых приборов типа модема являются передачиками/приемниками, и приборы такого типа обеспечивают наиболее гибкую конфигурацию системы.

- **Контроллеры**

Контроллер управляет всем, что происходит с интерфейсом GPIB. Это обычно интеллектуальный или программируемый прибор, такой, как ПК или устройство, управляемое микроконтроллером. Он определяет, какие устройства будут передавать данные (передачики), а какие будут принимать данные (приемники) и когда это будет происходить. Чтобы при использовании интерфейса GPIB избежать какой-либо путаницы, должен быть только один активный контроллер, называемый управляющим контроллером. Ключевым словом здесь является «активный». Контроллеров может быть несколько, но во избежание неразберихи в любой момент времени может быть только один контроллер. Контроллер также имеет свойства передачика/приемника. В некоторых ситуациях, когда к шине GPIB одновременно подключено несколько ПК, один из них конфигурируется как контроллер, а другие — как передачики/приемники. Контроллер должен участвовать во всех передачах данных. Он должен адресоваться к передачику и приемнику до того, как передачик может передать свое сообщение приемнику. После того как сообщение будет передано, контроллер снимает обращения к обоим устройствам. Некоторые конфигурации интерфейса GPIB не требуют контроллера, например, когда только один передачик подключен к одному или нескольким приемникам. Контроллер необходим тогда, когда активный или адресуемый передачик или приемник должен изменяться. В этом случае устройство видит выставленный на шине адрес передачика и знает, что оно должно быть передачиком и, следовательно, от него требуется передача данных. И наоборот, когда устройство видит адрес, который его слушает, то оно знает, что должно действовать как приемник и, следовательно, должно получать данные.

8.5 Конфигурация шины

Конфигурация интерфейсной шины GPIB, показанная на рисунке 8.5, состоит из 16 сигнальных линий и 8 «земляных», или линий общих проводов (экранирования).

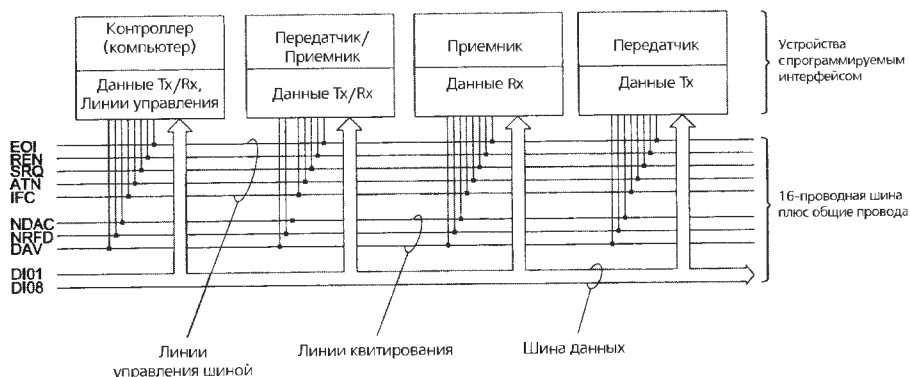


Рисунок 8.5
Конфигурация шины GPIB

16 сигнальных линий состоят из линий данных (D101 — D108) и 8 управляющих линий. Три из восьми управляющих линий являются линиями квитирования, которые управляют передачей данных (DAV, NRFD и NDAC), а остальные пять линий используются для управления шиной (ATN, REN, IFC, SRQ и EOI). 8 «земляных» линий обеспечивают электрическое экранирование и предохранение управляющих сигналов шины от взаимных помех и от воздействия внешних помех. Ниже перечислены сигнальные линии интерфейса GPIB:

- Линии данных D101 — D108
- Линии квитирования DAV — Данные действительны
NRFD — Не готов к приему данных
NDAC — Данные не приняты
- Общая линия ATN — Внимание
- Линии управления FC — Сброс интерфейса
SRQ — Запрос на обслуживание
REN — Разрешение дистанционного управления
EIO — Конец или идентификация

8.5.1 Линии данных

Восемь линий данных D101 — D108 служат для передачи данных и команд. Все команды и большинство данных используют 7-битный код ASCII, в этом случае восьмой бит D101 или не используется, или используется для

проверки четности. Состояние линии внимания (ATN) определяет, что передается — данные или команда. Команды передаются при активизированной линии ATN, а данные передаются без активизации линии ATN.

8.5.2 Линии управления интерфейсом

Пять сигнальных линий управляют потоком информации через интерфейс GPIB. Они описываются ниже.

- **ATN (внимание)** — контроллер выставляет на линии ATN сигнал «истина», когда линии передачи данных используются для передачи команд. Все устройства становятся приемниками и участвуют в процессе обмена данными. Если линия ATN не активизирована, то информация на шине интерпретируется как данные.
- **IFC (сброс интерфейса)** — эта линия может управляться только системным контроллером, который активизирует линию IFC, чтобы инициализировать шину и стать главным контроллером. Линия IFC служит для главного сброса интерфейса GPIB, и при ее активизации все устройства возвращаются в исходное состояние.
- **REN (разрешение дистанционного управления)** — системный контроллер активизирует линию REN, чтобы перевести устройства в режим дистанционного управления. При активизации линии REN и назначении устройства приемником оно переводится в режим удаленного программирования.
- **SRQ (запрос обслуживания)** — любое устройство может активизировать линию SRQ для асинхронного уведомления главного контроллера, что оно требует обслуживания. Главный контроллер занимается мониторингом линии SRQ, опрашиванием устройств и определяет тип необходимого обслуживания. Сигнал SRQ остается активным до тех пор, пока главный контроллер не произведет опрос запрашивающего устройства.
- **EOI (конец или идентификация)** — линия EOI имеет два назначения. Первым является указание на последний байт данных в строке сообщения, когда передатчик активизирует линию EOI. Когда сигнал EOI становится «истиной», приемник перестает считывать данные. Вторым назначением линии EOI является передача сообщения устройствам, чтобы идентифицировать их отклик при параллельном опросе.

8.5.3 Линии квитирования

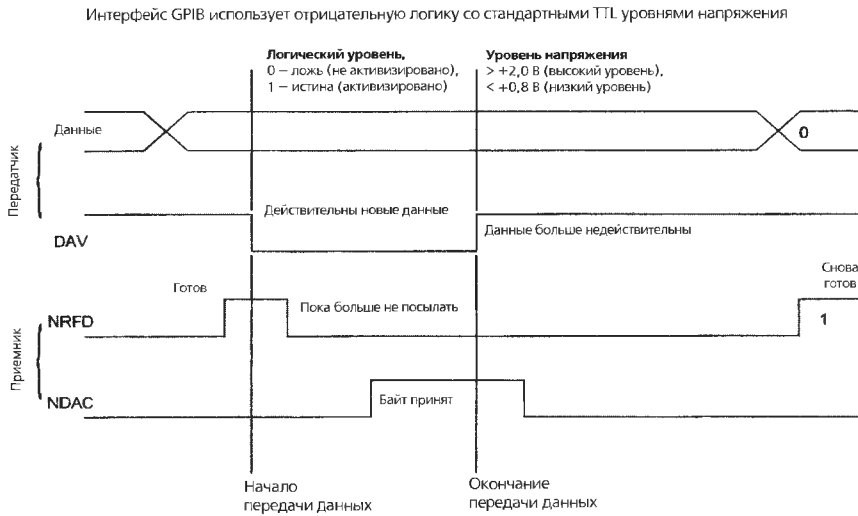
Три линии квитирования асинхронно управляют передачей байтов информации между устройствами. Интерфейс GPIB использует трехпроводную схему квитирования, которая гарантирует, что байты сообщения, передаваемые по линиям данных, передаются и принимаются без ошибок. Линии квитирования и их использование обсуждаются ниже.

- NRFD (не готов к принятию данных) — линия квитирования NRFD является индикатором того, готово ли устройство к приему байта сообщения или нет. При приеме команд линия активизируется и передатчиками, и приемниками, а при приеме сообщения линия активизируется только приемниками.
- NDAC (данные не приняты) — эта линия указывает на то, приняло или не приняло устройство сообщение. Сигнал NDAC активизируется всеми устройствами (то есть передатчиками и приемниками) при приеме команд и только приемниками при приеме данных.
- DAV (данные действительны) — линия квитирования DAV показывает, что сигналы на линиях данных стабильны и, следовательно, действительны и могут быть приняты устройствами. Контроллер активизирует сигнал DAV, когда он посылает команды, а передатчик активизирует сигнал DAV, когда передает данные.

8.6 Квитирование в интерфейсе GPIB

В параллельном интерфейсе GPIB данные передаются асинхронно по одному байту. Перенос данных координируется сигналами напряжения, выставляемыми на трех управляющих линиях шины, линиях квитирования (DAV, NDAC и NRFD). Этот процесс называется *трехпроводным взаимным квитированием*. Квитирование позволяет передатчику выставить байт данных на шину только тогда, когда все приемники готовы и данные будут удерживаться на линии до тех пор, пока они не будут прочитаны всеми приемниками. Это также предполагает, что все приемники примут данные только тогда, когда на шине выставлен сигнал действительности данных.

Передатчик сначала снимает сигнал DAV, а затем контролирует линии NDAC и NRFD. Передатчик, прежде чем какие-нибудь данные будут выставлены на шину, должен подождать, пока сигнал на линии NRFD будет переведен в высокое состояние («ложь»). Линия NRFD управляется приемниками. Только тогда, когда напряжение NRFD становится высоким («ложь»), все приемники готовы принимать данные. После небольшой задержки при переводе линии NRFD в высокое состояние передатчик выставляет сигнал DAV «истина» (низкое напряжение), чтобы указать на то, что на шине имеются данные. Задержка определяется типом формирователей, используемых на линии данных (формирователи с тремя состояниями требуют больше времени, чем схемы с открытым коллектором). Когда приемники обнаруживают на линии DAV напряжение низкого уровня, они считывают байт с линий данных и сразу же активизируют линию NRFD, чтобы указать на то, что данные больше не должны посылаться. Когда каждый приемник примет данные, он снимает сигнал NDAC. После того как последний приемник получит данные, напряжение на линии NDAC становится высоким («ложь»), сигнализируя передатчику, что данные приняты. Только после того, как байт данных будет принят всеми приемниками, передатчик позволяет перевести напряжение DAV в высокое состояние

**Рисунок 8.6**

Временная диаграмма процедуры квитирования для интерфейса GPIB

(«ложь») и снимает свои данные с шины. Теперь приемники могут активизировать сигнал NDAC, означающий, что передача данных закончена и производится подготовка к следующему циклу. На рисунке 8.6 показана последовательность процедуры квитирования при передаче одного байта.

Необходимо отметить, что поскольку перед передачей байта сообщения передатчик ожидает до тех пор, пока все приемники не будут готовы (NRFD в состоянии «ложь») и не получают байт сообщения (линия NDAC в состоянии «ложь»), то максимальная скорость передачи данных через интерфейс GPIB определяется самым медленным приемником шины.

8.7 Связь между устройствами

Устройства, подключенные с помощью интерфейса GPIB, общаются между собой путем передачи сообщений, которые предназначены конкретным приборам и являются однобайтовыми сообщениями, передаваемыми через шины данных параллельного коммуникационного интерфейса.

- Сообщения, зависящие от устройств, содержат специфическую информацию, относящуюся к конкретному устройству, включая программирующие инструкции, результаты измерений, состояние устройства и файлы данных. Эти сообщения часто называют информационными.
- Интерфейсные сообщения управляют работой коммуникационной шины, выполняя такие задачи, как инициализация шины, адресация и отключение устройств, а также включение режима удаленного или

местного программирования. Такие сообщения обычно называют командными. Используемый здесь термин «командное сообщение» иногда можно спутать с командами управления конкретным устройством, которые содержатся в информационных сообщениях. Например, идентификационная команда запроса *IDN?, используемая для идентификации конкретного устройства, является командой, которую понимает любое устройство, но она посылается по интерфейсу GPIB в виде информационного сообщения.

8.7.1 Адресация в интерфейсе GPIB

Каждое устройство, подключенное к интерфейсу GPIB, имеет уникальный адрес, и каждое устройство должно иметь достаточно «интеллекта», чтобы определить, **данные** или **команда** передаются в данный момент по линии данных и предназначены они для этого прибора или для другого. Адреса устройств являются произвольными и устанавливаются пользователем обычно с помощью DIP переключателя, расположенного на задней панели устройства, или с помощью программного обеспечения. Для контроллера каждое подключенное устройство идентифицируется с помощью программы. Единственным ограничением при выборе адреса устройства является то, что он должен быть задан целым числом в пределах от 0 до 30.

Для осуществления коммуникаций по интерфейсу GPIB контроллер должен сначала адресоваться к соответствующему устройству. Чтобы обратиться к устройству и настроить его на участие в коммуникационном процессе, контроллер посылает необходимому устройству адресную команду. Формат адресной команды показан на рисунке 8.7.

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
	TA	LA	X	X	X	X	X

Рисунок 8.7
Формат адресной команды

Биты 0–4 представляют первичный адрес GPIB устройства в двоичном виде, который должен быть включен в сообщение. Если установлен бит 5 (LA), то устройство с заданным адресом назначается приемником, а бит 6 (TA) устанавливается в том случае, когда устройство назначается передатчиком. Бит 7 значения не имеет, он никогда не используется и может быть нулевым. Байт команды для устройства с адресом 0x05, которое должно быть назначено приемником, будет иметь вид 0x25 («%»). Командный байт для того же самого устройства, назначенного передатчиком, будет иметь вид 0x45 («E»).

8.7.2 Отмена адресного обращения к устройству

После того как обмен информацией между двумя или несколькими устройствами будет произведен, контроллер, прежде чем назначать новый передатчик и приемник, должен очистить шину от текущего передатчика и приемника. Посылается неиспользуемый адрес передатчика или, что более часто, команда отключения передатчика UNT (0x5A), что отменяет текущий передатчик. Эта команда не обязательна, поскольку адресация к одному передатчику автоматически отменяет адресацию ко всем другим. Текущий приемник или несколько приемников автоматически сбрасывают адресацию с помощью командного сообщения UNL (0x3F). Если ранее было произведено обращение к нескольким приемникам, то адрес не может быть сброшен только для одного приемника.

8.7.3 Сообщение об окончании данных

Имеются три способа выдачи сообщения об окончании данных:

- Способ EOI — При использовании этого способа, когда передатчик останавливает последний байт данных на шину данных, активизируется управляющая линия шины EOI. Эта линия контролируется всеми приемниками.
- Способ EOS — Этот способ не использует никакие управляющие линии шины, а вместо этого добавляет в конце данных заранее определенный байт конца строки и передает этот байт данных к приемникам. Байтом EOS обычно является символ новой строки (0x0A) или символ возврата каретки (0x0D).
- Метод счета — Использование метода счета требует, чтобы контроллер останавливал передатчик, чтобы тот не посылал больше байты после того, как приемнику будет передано заданное количество байт. Это может быть достигнуто активизацией управляющих линий шины NRFD и NDAC, но требует прикладной программы для управления аппаратным обеспечением.

8.7.4 Передача и прием данных

Если предположить, что интерфейс GPIB был инициализирован и сконфигурирован корректно, то протоколы передачи и приема данных будут следующими:

Передача данных

1. Установить линию ATN в состояние «истина», а линию EIO — в состояние «ложь».
2. Передать с контроллера адрес передатчика.
3. Передать команду UNL.
4. Передать адреса приемников для каждого устройства, назначенного приемником.
5. Установить сигнал ATN в состояние «ложь».

6. Передать требуемые байты данных (по одному байту).
7. Передать ограничивающий символ или установить сигнал EOI в состояние «истина».

Прием данных

1. Установить линию ATN в состояние «истина», а линию EIO в состояние «ложь».
2. Передать команду UNL.
3. Передать с контроллера адрес приемника.
4. Передать адрес передатчика.
5. Установить сигнал ATN в состояние «ложь».
6. Принимать байты данных до тех пор, пока не будет принят ограничивающий символ или пока сигнал EOI не будет установлен в положение «истина».

8.8 Интерфейс IEEE 488.2

Интерфейс IEEE 488.2 был разработан для устранения проблем, возникавших при использовании оригинального стандарта IEEE 488. В то же время он был разработан для обеспечения совместимости с существующими устройствами стандарта IEEE 488.1. Идея, используемая в расширении формата, заключалась в том, что способ, посредством которого контроллеры и измерительные приборы должны работать в качестве передатчиков, должен быть четко определен. Это означает, что полностью совместимые системы IEEE 488.2 должны быть надежными и эффективными. Однако обратная совместимость с устройствами IEEE 488.1 могла быть обеспечена путем разработки стандарта таким образом, чтобы устройства IEEE 488.2, действующие как приемники, должны быть способны принимать широкий набор команд и форматов данных от устройств IEEE 488.1.

8.8.1 Требования к контроллерам IEEE 488.2

Стандарт IEEE 488.2 накладывает ряд требований на контроллер, включая точное соответствие возможностям интерфейса IEEE 488.1:

- Восприятие состояния и изменений на линии SRQ
- Установка и обнаружение сигнала EIO
- Импульсный сброс интерфейсных линий за 100 микросекунд
- Установка/активизация линии REN
- Прекращение любых транзакций ввода/вывода по времени

8.8.2 Управляющие последовательности интерфейса IEEE 488.2

Одной из дополнительных особенностей, которую имеет стандарт IEEE 488.2 и не имеет IEEE 488.1, является определение точных сообщений, которые посылаются контроллером, а также определение порядка выдачи по-

добных сообщений, если их посылается несколько. Интерфейс IEEE 488.2 определяет пятнадцать обязательных и четыре дополнительных управляющих последовательности, показанные в таблице 8.1. Эти управляющие последовательности описывают точное состояние интерфейса GPIB, реакцию устройства на специфические сообщения и определение порядка команд для каждой из заданных операций.

Таблица 8.1

Обязательные и дополнительные управляющие последовательности интерфейса IEEE 488.2

Описание	Управляющая последовательность	Требования
Передача команд ATN-«истина»	Send Command	Обязательно
Установка адреса для передачи данных	Send Setup	Обязательно
Передача команд ATN-«ложь»	Send Data Bytes	Обязательно
Передача программного сообщения	Send	Обязательно
Установка адреса для приема данных	Receive Setup	Обязательно
Прием данных ATN-«ложь»	Receive Response Message	Обязательно
Получение сообщения ответа	Receive	Обязательно
Активизация линии (IFC)	Send IFC	Обязательно
Сброс приборов (DCAS)	Device clear	Обязательно
Установка приборов в автономное состояние	Enable Local Controls	Обязательно
Установка приборов в состояние удаленного управления	Enable Remote	Обязательно
Установка приборов в состояние удаленного управления в режиме блокировки	Set RWLS	Обязательно
Установка приборов в автономное состояние в режиме блокировки	Send LLO	Обязательно
Чтение байт состояния IEEE 488.1	Read Status Byte	Обязательно
Передача сообщения выполнения запуска группе (GET)	Trigger	Обязательно
Передача управления другому прибору	Pass Control	Дополнительно
Параллельный опрос	Perform Parallel Poll	Дополнительно
Конфигурация приборов для параллельного опроса	Parallel Poll Configure	Дополнительно
Отмена возможности параллельного опроса	Parallel Poll Unconfigure	Дополнительно

8.8.3 Протоколы интерфейса IEEE 488.2

Протоколы являются функциями высокого уровня, которые объединяют несколько управляющих последовательностей с целью проведения общих тестовых функций, тем самым уменьшая время на разработку тестовых программ. Интерфейс IEEE 488.2 определяет два обязательных и шесть дополнительных протокола, которые показаны в таблице 8.2.

Таблица 8.2
Протоколы контроллера IEEE 488.2

Ключевое слово	Название	Соответствие техническим условиям
RESET	Установка системы	Обязательно
FINDRQS	Поиск прибора, требующего обслуживания	Дополнительно
ALLSPOLL	Последовательный опрос всех приборов	Обязательно
PASSCTL	Передача управления	Дополнительно
REQUESTCTL	Запрос на управление	Дополнительно
FINDLSTN	Поиск приемников	Дополнительно
SETADD	Установка адреса	Дополнительно, но требует FINDLSTN
TFSTSYS	Самоконтроль системы	Дополнительно

Функции, выполняемые каждым из определенных протоколов, являются следующими:

- RESET** Инициализирует шину GPIB, сбрасывает и устанавливает все устройства в определенное состояние.
- FINDRQS** Контроллер обнаруживает переход линии SRQ из состояния «ЛОЖЬ» в состояние «ИСТИНА» и затем в первую очередь обслуживает наиболее критические устройства.
- ALLSPOLL** Последовательно опрашивает и возвращает байт состояния каждого устройства.
- PASSCTL** Передает управление шиной другим устройствам.
- REQUESTCTL** Запрашивает управление шиной.
- FINFLSTN** Контроллер выдает эту команду вместе с конкретным адресом приемника и проверяет линию NDAC, чтобы определить, существует ли устройство с указанным адресом.
- SETADD** Используемый в сочетании с FINDRQS устанавливает адрес устройства.
- TESTSYS** Контроллер побуждает каждое устройство произвести самостоятельный тест и сообщить о его прохождении (или непрохождении).

В качестве примера пользы протоколов можно рассмотреть последовательный опрос одного или нескольких устройств, подключенных к шине GPIB. Несколько устройств могут асинхронно затребовать обслуживания от контроллера путем активизации линии запроса на обслуживание (SRQ). Определение, какое устройство (устройства) производит запрос, возлагается на контроллер, который делает это путем опроса всех активных устройств. Последовательный опрос конкретного устройства может быть выполнен с помощью протокола IEEE 488.1.

При этом будут происходить следующие события:

- Контроллер передает команду UNL, которая отключает все приемники
- Устанавливает приемный адрес контроллера
- Контроллер передает командное сообщение, содержащее команду на включение последовательного опроса устройства (SPE). Эта команда приказывает устройству вернуть его байт состояния путем передачи устройству режима последовательного опроса IEEE 488.1. Если устройство назначается передатчиком, то оно возвратит байт состояния последовательного опроса
- Контроллер временно конфигурирует требуемое устройство как передатчик путем установки на линию адреса передатчика, которым назначено данное устройство
- Контроллер прочитывает байт (байт состояния) из устройства, назначенного передатчиком
- Контроллер передает командное сообщение, содержащее команду на отключение последовательного опроса (SPD) устройства. Эта команда сбрасывает режим последовательного опроса для данного устройства

Обязательный протокол ALLSPOLL последовательно опрашивает все устройства интерфейса GPIB, чьи адреса заданы протоколом (например, ALLSPOLL 1, 2, 3, 4). Пункты, необходимые для последовательного опроса каждого устройства, выполняются незаметно для пользователя.

8.8.4 Возможности приборного интерфейса

Интерфейс IEEE 488.2 определяет минимальный набор возможностей интерфейса IEEE 488.1, которые должно поддерживать любое устройство. Интерфейсные возможности устройства (то есть функции, которые устройство может выполнять) представляются явными кодами, которые приводятся ниже или указываются около интерфейсного разъема каждого устройства. Минимальный набор функций, которые должны выполняться каждым устройством, приведен в таблице 8.3.

Полное функциональное назначение всех кодов пользователь может найти в описании стандарта IEEE 488 или в спецификациях на конкретное устройство.

Таблица 8.3

Минимальный набор функций прибора для интерфейса IEEE 488.2

Характеристика	Код	Комментарий
Квитирование источника	SH1	Полная возможность
Квитирование приемника	AH1	Полная возможность
Передатчик	T(TE)6 или T(TE)6	Основной передатчик, последовательный опрос или отключение передачи по команде MLA
Приемник	L(LE)3 или L(LE)4	Отключение приема по команде MTA или полная возможность
Запрос на обслуживание	SR1	Полная возможность
Сброс устройства	DC1	Полная возможность
Перевод местного управления в дистанционное	RL0 или RL1	Отсутствие или полная возможность
Параллельный опрос	PP0 или PP1	Отсутствие или полная возможность
Запуск устройства	DT0 или DT1	Отсутствие или полная возможность
Контроллер	C0 или C4 с C5, C7, C8 или C11	Отсутствие или полная возможность с передачей, если имеется сообщение, передача или контроль приема
Электрический интерфейс	E1 или E2	Открытый коллектор или выход с тремя состояниями

8.8.5 Модель передачи отчета о состоянии

Одной из проблем, связанных с интерфейсом IEEE 488.1, было то, что состояние, передаваемое отдельными устройствами, было уникальным, причем каждое устройство передавало информацию о своем состоянии с помощью различного набора битов в байте состояния. Интерфейс IEEE 488.2 решил эту проблему путем определения стандартной модели передачи состояния, как показано на рисунке 8.8.

Эта модель строится на определении баята состояния интерфейса IEEE 488.1, который имел только бит 6, определенный как RQS (запрос на обслуживание). Бит RQS устанавливается для указания того, что устройство запрашивает обслуживание путем активизации линии запроса на обслуживание (SRQ). Далее определяются два следующих бита — бит состояния события (ESB) и бит наличия сообщения (MAV). Другие биты определялись производителем. Бит ESB указывает на то, что произошло одно из стандартных событий, как показывает регистр состояния стандартных событий. Только те события, для которых пользователь установил соответствующий бит в регистре состояний, будут заставляться ESB устанавливаться в байт

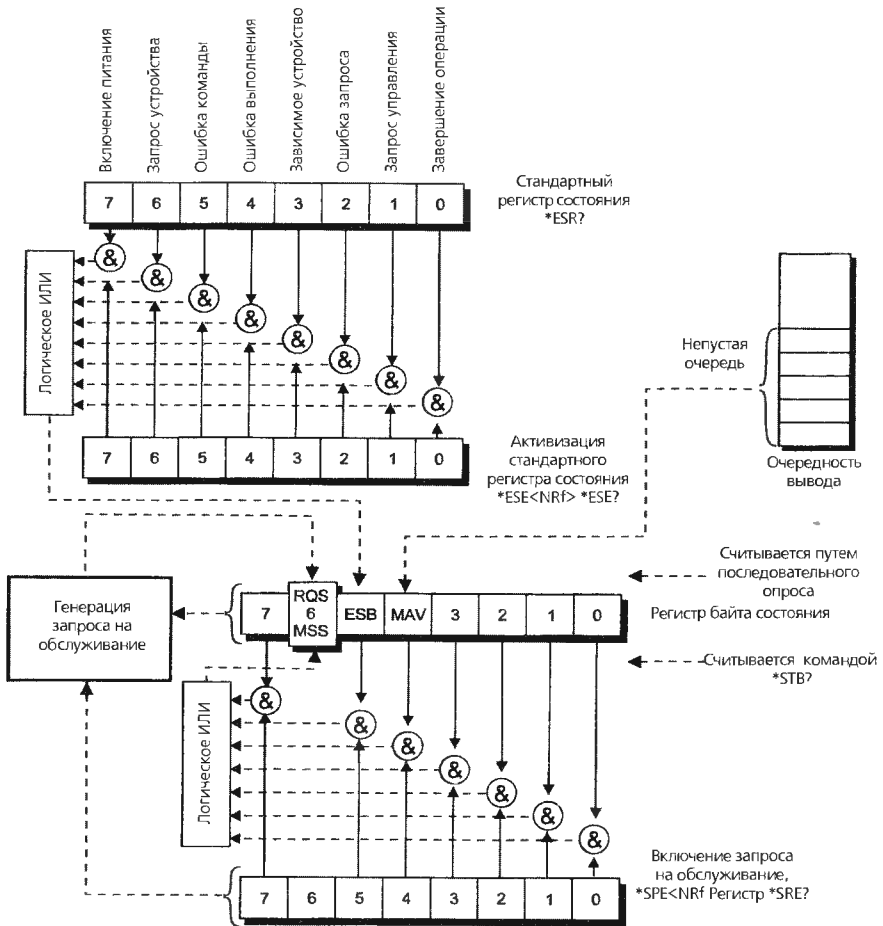


Рисунок 8.8

Модель передачи отчета о состоянии интерфейса IEEE 488.2

состояния. Бит MAV используется для указания того, что в выходной очереди устройства имеется сообщение.

Активизация устройством линии запроса на обслуживание (SRQ), когда будет установлен один из битов в его регистре состояния, производится с помощью регистра, разрешающего запрос на обслуживание. Если в этом регистре какой-либо бит установлен пользователем, то установка соответствующего бита в регистре состояния приведет к тому, что устройство активизирует линию SRQ.

8.8.6 Набор общих команд

Интерфейс IEEE 488.2 определяет также минимальный набор стандартных команд, которые должно поддерживать любое устройство. Они не являются новыми командными сообщениями шины, но являются новыми информа-

ционными сообщениями, являющимися общими для всех устройств. В таблице 8.4 перечислены обязательные команды интерфейса IEEE 488.2 с указанием группы, к которой каждая команда принадлежит.

Таблица 8.4
Команды интерфейса IEEE 488.2

Мнемоническое обозначение	Группа	Описание
*IDN?	Системные данные	Запрос идентификации
*RST	Внутренняя операция	Сброс
*TST?	Внутренняя операция	Запрос на самотестирование
*OPC	Синхронизация	Завершение операции
*OPC?	Синхронизация	Запрос на завершение операции
*WAI	Синхронизация	Ожидание завершения
*CLS	Состояние и событие	Очистить состояние
*ESE	Состояние и событие	Разрешение на выдачу состояния события
*ESE?	Состояние и событие	Запрос на разрешение выдачи состояния события
*ESR?	Состояние и событие	Запрос разрешения регистра состояния
*SRE	Состояние и событие	Разрешение запроса на обслуживание
*SRE?	Состояние и событие	Запрос на разрешение запроса сервисного обслуживания
*STB?	Состояние и событие	Чтение байта запроса состояния

Стандарт SCPI расширяет набор общих команд путем определения специфических команд, которым должен подчиняться каждый класс инструментов разных производителей (то есть мультиметры, осциллографы, цифровые вольтметры и т.п.).

8.9 Стандартные команды для программируемых измерительных приборов (SCPI)

Неполная стандартизация наборов команд для программируемых измерительных приборов, разработанных различными производителями, привела к тому, что группа производителей разработала спецификацию SCPI. Взяв за основу стандарт IEEE 488.2, стандарт SCPI определяет единственный понятный набор команд, который можно использовать с любым аппаратным обеспечением и с различными устройствами.

Например, команда «:MEAS:FREQ?» или «:MEAS:VOLT?» на чтение частоты и напряжения соответственно будут применимы для любого измерительного прибора, способного обрабатывать эти параметры. Измерительный прибор может быть вольтметром, осциллографом или измерителем частоты.

В одной и той же системе могут использоваться инструменты и контроллеры всех стандартов IEEE 488.1, IEEE 488.2 и SCPI, но наиболее просто программируемыми, гибкими, удобными и взаимозаменяемыми системами являются системы на основе устройства стандартов IEEE 488.2 и SCPI.

8.9.1 Общие команды интерфейса IEEE 488.2, поддерживаемые SCPI

Минимальными требованиями, предъявляемыми всеми SCPI совместимыми измерительными приборами, являются общие и обязательные команды, определенные стандартом IEEE 488.2. Эти команды приведены в таблице 8.4. Приведенный минимальный набор команд не имеет отношения к специфическим командам устройства (например, :MEAS:FREQ?), но состоит из команд и запросов состояния, таких, как сброс состояния устройства, самотестирование устройства, активизация сообщения о запросе на обслуживание, идентификация устройства, синхронизация работы, а также активизация и отчет о состоянии стандартного события.

8.9.2 Команды, требуемые стандартом SCPI

Чтобы создать набор общих команд, описанных стандартом интерфейса IEEE 488.2, стандарт SCPI также определяет свой собственный набор общих команд, которые приведены в таблице 8.5.

Например, отчет о состоянии, определенный стандартом IEEE 488.2, дополнен регистрами состояния операций и запросов, для которых имеются команды считывания содержимого этих регистров для задания и считывания маски разрешения.

Набор команд, допустимый введением системной родительской команды, определяет функции, которые выполняют общие локальные задачи, такие, как установка времени и доступ к устройству. Подкоманда запроса ERRor? запрашивает следующую запись из очереди ошибок/событий SCPI устройства.

Таблица 8.5
Обязательные команды SCPI

Команда	Описание
:SYSTem	Собирает функции, не связанные с работой измерительного прибора
:ERRor?	Запрашивает следующую запись из очереди приборов
:STATus	Управляет структурами, описывающими отчет о состоянии SCPI устройства

Команда	Описание
:OPERation	Выбирает рабочую структуру
[:EVENT]?	Возвращает содержимое регистра событий
:CONDition?	Возвращает содержимое регистра условий
:ENABLe?	Считывает маску активизации
:QUESTionable	Выбирает сомнительную структуру
[:EVENT]?	Возвращает содержимое регистра событий
:CONDition?	Возвращает содержимое регистра условий
:ENABLe	Устанавливает маску активизации, которая обеспечивает отчет о событиях
:ENABLe?	Считывает маску активизации
:PRESet	Активизирует запрошенные отчеты о событиях

8.9.3 Командная модель программирования SCPI прибора

В качестве средства достижения совместимости и разбивки команд на группы стандарт SCPI определяет модель программируемого измерительного прибора, показанную на рисунке 8.9, которая применима ко всем типам приборов.

При использовании этой модели важно помнить, что не все программируемые приборы имеют четкую функциональность и что это только обобщенная модель прибора. Например, осциллограф не имеет функциональности, присущей блоку генерации сигнала, показанному на модели SCPI. А генератор, вероятно, не будет иметь функций, поддерживаемых блоком измерений.

Функциональные компоненты модели SCPI прибора описываются в следующих разделах.

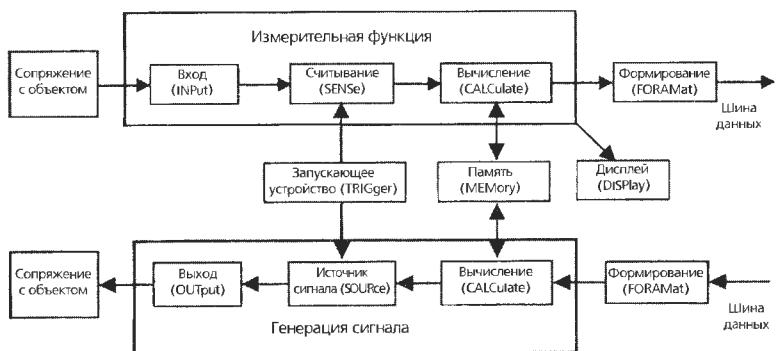


Рисунок 8.9
Модель программируемого SCPI прибора

Измерительная функция

Компонента, реализующая измерительную функцию, используется для преобразования сигнала в такую форму, которую можно обрабатывать. Она состоит из трех явных частей:

INPut	Производит формирование входного необработанного сигнала, например фильтрацию, смещение и ослабление.
SENse	Преобразует сформированный входной сигнал в такой формат, который может применять пользователь. Эта функция управляет такими параметрами, как диапазон, разрешение, временной строб, а также отбраковкой
CALCulate	Преобразует данные в такой формат, который наиболее удобен для конкретного применения, например преобразование результатов измерения в технические единицы измерений.

Измерительная функция, описанная выше тремя отдельными функциями, определяется параметрами сигнала, но не функциональностью прибора. Такой подход обычно обеспечивает максимальный уровень совместимости, поскольку различные приборы позволяют производить одинаковые взаимозаменяемые измерения без изменения SCPI команд.

Генерация сигнала

Функция генерации сигнала преобразует внутренние данные в реальные сигналы окружающего мира. Она также состоит из трех различных частей:

OUTput	Этот блок формирует выходной сигнал путем фильтрации, ослабления и смещения.
SOURce	Генерирует сигнал на основании специфических характеристик и внутренних данных, определяющих такие параметры сигнала, как ток, напряжение, мощность и частота.
CALCulate	Этот функциональный блок преобразует данные из одних технических величин в другие с учетом отклонений, которые происходят при генерации сигнала.

Сопряжение сигнала с объектом

Функция передачи сигнала управляет подключением сигнала к внутренним функциям конкретного измерительного прибора. Компонента TRIGger синхронизирует работу прибора с внешними условиями, такими, как аналоговый или цифровой сигнал, с событиями внутри прибора, включая функциональность самого прибора, и командами программы. Компонент MEMory используется для внутреннего хранения данных; компонент FORMat преобразует данные с измерительного прибора в такую форму, которая будет удобна для их передачи по стандартной шине. Компонент DISPlay позволяет отображать данные на экране.

8.9.4 Иерархическая структура команд SCPI

Инструментальная модель стандарта SCPI определяет функциональные блоки каждой из основных категорий команд. Каждая из этих категорий имеет иерархическую структуру команд, называемую деревом команд, включающую подкоманды, параметры и опции, которые обеспечивают специфические детали выполняемой функции. Эта структура показана на рисунке 8.10.

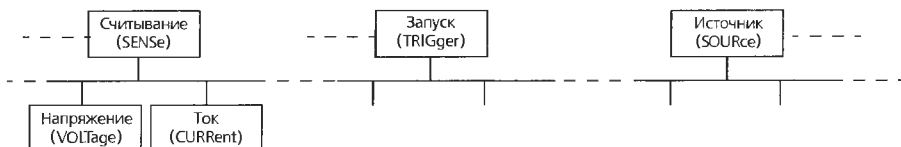


Рисунок 8.10
Иерархическая структура команд SCPI

Частичное дерево команд SENSE на рисунке 8.11 содержит подкоманды, которые программируют измерительный прибор на преобразование сигнала в требуемый формат. Далее эти данные может применять пользователь.

Команды SENSE управляют такими параметрами, как разрешение и диапазон. Следовательно, чтобы запрограммировать цифровой вольтметр на измерение напряжения с автоматическим выбором диапазона, команда должна быть следующей:

`SENS:VOLT:RANG:AUTO:DIR:EITH`

Двоеточия используются для разделения команд и для указания интерпретатору команд измерительного прибора перейти на один уровень вниз в

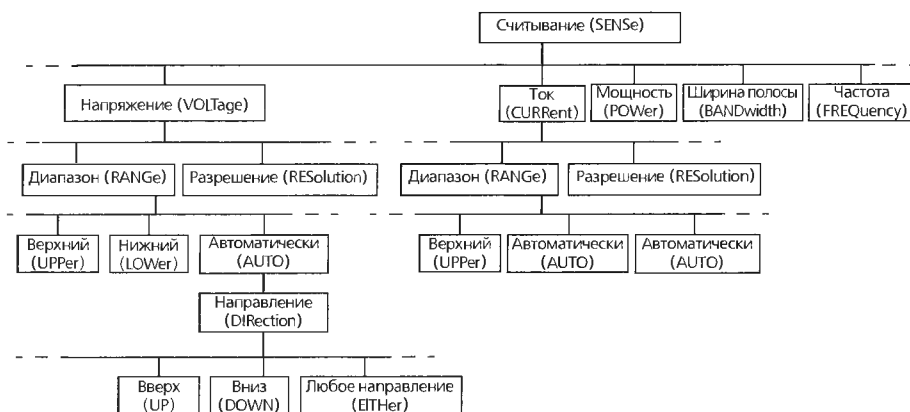


Рисунок 8.11
Частичное дерево команд командной структуры SENSE

иерархии командного дерева. Следует отметить, что командные слова не разделяются никакими пробелами.

Рассмотрим программирование цифрового вольтметра на измерение напряжения с заданными верхним и нижним значениями 10 и 5 соответственно. Команда будет следующей:

SENS:VOLT:RANG:UPP10:LOW5

Эта команда содержит две подкоманды, которые находятся на том же самом уровне иерархического дерева команд. Если указываются две команды без изменения уровней, то для разделения команд используется точка с запятой. Нужно отметить, что команды и связанные с ними параметры должны быть разделены пробелами.

Локальные сети Ethernet

9.1 Использование сети Ethernet в качестве полевых шин для сбора данных

Раньше сеть Ethernet считалась предназначенной только для офисного использования. В настоящее время многие производители используют Ethernet и промышленные полевые шины в качестве коммуникационных систем, предназначенных для связи устройств сбора данных. Среди прочих задач они могут использоваться для соединения компьютеров, использующих сменные платы сбора данных, или регистраторов, образующих самостоятельную сеть. Полевые шины, такие, как Profibus и Foundation Fieldbus, используются для связи устройств, осуществляющих сбор данных. Для дальнейшего понимания необходимо определить Ethernet и промышленные полевые сети.

Концепция сети Ethernet была разработана в середине семидесятых годов прошлого века корпорацией Xerox в исследовательском центре Пало Альто (RARC). Она была основана на работах, выполненных исследователями университета на Гавайях, где на разных островах находились отдельные территории университета. Его сеть ALOHA была организована с помощью радиосвязи, соединяющей отдельные здания. В разговорах эта сеть упоминалась как «Ethetnet», что в английском звучании эквивалентно «среде связи между отдельными территориями». Философия сети Ethernet была совершенно простой. Любая станция, которая хотела передать что-либо другой станции, могла сделать это немедленно. Принимающие станции имели полномочия подтвердить прием сообщения, информируя таким образом передающую станцию об успешном получении исходного сообщения. Эта примитивная система не полагалась ни на какое обнаружение коллизий (одновременной передачи двух радиостанций), хотя и ожидала подтверждения в пределах заданного времени.

Первоначальная система, использованная корпорацией Xerox, была настолько успешна, что вскоре она была применена и для других зданий, соединив все офисное оборудование. Это позволило совместное использование таких устройств, как принтеры, а большие компьютеры стали действовать в качестве большого хранилища данных.

В 1980 году консорциум Ethernet, состоящий из компаний Xerox, Digital Equipment Corporation и Intel (иногда называемый консорциум DIX), выпустил совместную спецификацию, основанную на концепции Ethernet и известную как Синяя Книга 1. Далее последовала спецификация с названием Синяя Книга 2, которая была предложена организацией IEEE в качестве стандарта. В 1983 году IEEE выпустила стандарт 802.3 для распознавания несущей, обнаружения многочисленного доступа и коллизий в сети, основанный на стандарте Ethernet, который придал этому сетевому стандарту еще больше доверия.

В результате существуют три стандарта. Первый — часто называемый Ethernet Version 1 — можно не рассматривать, поскольку оборудование этого стандарта используется очень немного. Однако Ethernet Version 2 или «Ethernet, описываемый Синей Книгой», все еще используется и потенциально несовместим со стандартом IEEE 802.3. Разница между этими двумя более поздними стандартами обсуждается в разделе 9.5. Хотя эти различия весьма незначительны, тем не менее они важны. Несмотря на то что общий термин «Ethernet» используется по отношению ко всем сетям, работающим по протоколу множественного случайного доступа к среде с разрешением коллизий (CSMA/CD), его следовало бы сохранить за оригинальным стандартом DIX. В этом руководстве подобная тенденция будет продолжена и термин «Ethernet» будет относиться ко всем локальным сетям такого типа, если только не будет важно подчеркнуть разницу между ними.

Сеть Ethernet использует способ доступа CSMA/CD, описываемый в разделе 9.3. Он подходит для системы, которая при небольшой нагрузке может работать с очень небольшими задержками, но при слишком большой нагрузке механизм доступа может полностью не работать. Оборудование Ethernet продается в широких масштабах, сетевые интерфейсные платы относительно дешевы и производятся в огромных количествах. Из-за вероятностного механизма доступа к сети нет гарантии передачи сообщения и, кроме того, сообщениям не может быть задан какой-либо приоритет. Несмотря на эти недостатки, сеть Ethernet все более широко распространяется в промышленности.

9.2 Физический уровень

Стандарт 802.3 определяет типы кабелей, которые можно использовать для построения сетей на основе этого стандарта. Сюда входят коаксиальные кабели, витые пары и оптоволоконные кабели. Кроме того, существуют различные стандарты на сигналы и скорости 1 Мбит/с и 10 Мбит/с. Стандарт продолжает развиваться, и в следующей главе этого руководства будут рассмотрены CSMA/CD системы, работающие со скоростью 100 Мбит/с.

Документы стандарта IEEE 802/3 (ISO 8802.3) поддерживают различные типы кабелей и скорости передачи до 10 Мбит/с:

- **10Base2**

Тонкий коаксиальный кабель (диаметр — 6,4 мм), 10 Мбит/с, однокабельная шина

- **10Base5**
Толстый коаксиальный кабель (диаметр — 13 мм), 10 Мбит/с, одно-кабельная шина
- **10 BaseT**
Неэкранированная витая пара (диаметр проводников – от 0,4 до 0,6 мм), 10 Мбит/с, двухкабельная шина
- **10 BaseF**
Оптоволоконные кабели, 10 Мбит/с, двухкабельная шина
- **1Base5**
Неэкранированная витая пара, 1 Мбит/с, двухкабельная шина
- **10Broad36**
Коаксиальный кабель для сетей кабельного телевидения (CATV), 10 Мбит/с, широкая полоса.

9.2.1 Система 10Base5

Эта система является кабельной, и она реализована с помощью оригинального кабеля для Ethernet систем. Ее часто называют «Thicknet». Коаксиальный кабель имеет волновое сопротивление 50 Ом и бывает желтого или оранжевого цвета. Название 10Base5 означает следующее: немодулированная передача сигнала со скоростью 10 Мбит/с при длине сегмента кабеля до 500 м. С этим кабелем трудно работать, поэтому обычно он вводится непосредственно в узел. Обычно он прокладывается в кабельных каналах и т.п., а передающая электроника (устройство подключения к среде передачи данных, MAU устройство подключения к среде передачи данных, MAU) устанавливается непосредственно на кабеле. От нее промежуточный кабель, называемый интерфейсом подключаемых устройств (AUI), идет к сетевой интерфейсной плате (NIC). Этот кабель, длина которого не должна превышать 50 метров, компенсирует недостаточную гибкость в прокладке сегментного кабеля. AUI кабель состоит из пяти отдельных экранированных пар, две из которых (управление и данные) служат для передачи и приема и одна пара – для питания. MAU подключение к кабелю может быть произведено путем врезки в кабель и установки N-соединителя и коаксиального тройника или с помощью более часто используемого ответвления типа «жала» или «вампира». Тройник является механическим соединителем, который непосредственно обжимает кабель. Электрическое соединение производится с помощью щупа, который соединяется с центральным проводником, и острых зубцов, физически продавливающих оболочку кабеля и соединяющихся с оплеткой. Аппаратные компоненты системы показаны на рисунке 9.1.

Важно место подключения, поэтому, чтобы избежать многократных отражений в кабеле, кабель Thicknet промаркирован каждые 2,5 метра черным или коричневым кольцом, указывающим место установки отвода. Если необходимо подключить несколько узлов, то можно использовать разветвительные коробки, позволяющие один отвод соединять с несколькими узлами, как будто каждый узел подключен к своему отводу. Подключения на каж-

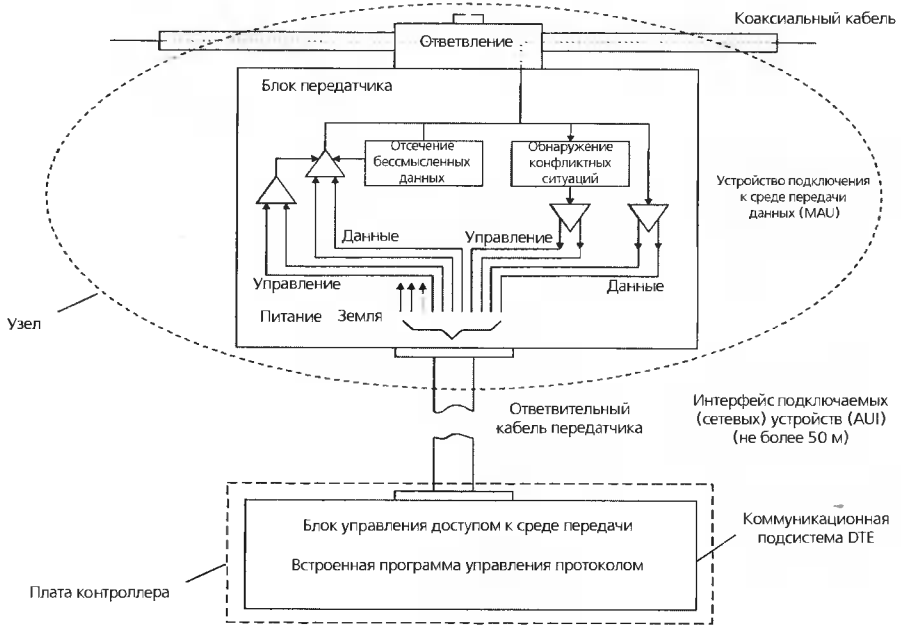


Рисунок 9.1
Аппаратные компоненты системы 10Base5

дом конце кабеля AUI производится с помощью 25-контактного D-разъема с боковыми защелками, который часто называют DIX разъемом в честь оригинального консорциума.

Если в сети используется кабель такого типа, то должны быть выполнены следующие условия:

- Длина сегментов должна быть не более 500 метров, чтобы избежать проблем с ослаблением сигнала
- Каждый сегмент должен иметь не более 100 отводов, то есть не каждая точка подключения может поддерживать отвод
- Отводы должны производиться через расстояния, кратные 2,5 метра

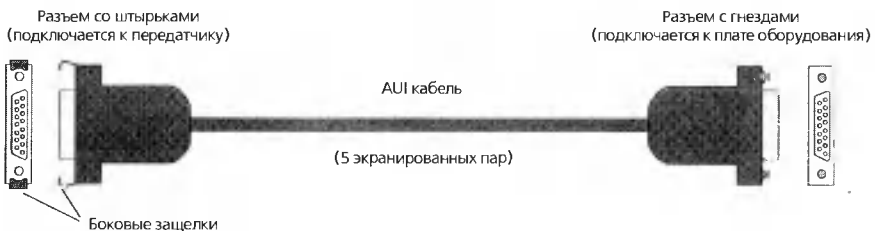


Рисунок 9.2
Разъемы AUI кабеля

- Кабель должен заканчиваться согласующей нагрузкой (терминатором) 50 Ом
- Радиус изгиба кабеля не должен быть меньше 25,4 см
- Один конец кабеля должен быть заземлен

Реальная схема сегмента сети 10Base5 Ethernet показана на рисунке 9.3.

Кабель Thicknet широко использовался в качестве магистрального кабеля сравнительно до недавнего времени (1995 год), но сейчас более распространенными становятся кабель 10BaseT и оптоволоконный кабель. Следует заметить, что если используются AUI и MAU (отвод) кабели, то передатчик на сетевой интерфейсной плате не используется. Предпочтительнее использовать передатчик в MAU, который запитывается от интерфейсной платы через кабель AUI. Поскольку передатчик удален от сетевой интерфейсной платы, то узел должен знать, что оконечное устройство может обнаружить коллизию, если таковая произойдет. Это подтверждение производится сообщением Signal Quality Error (SQE, ошибка качества сигнала) или в MAU с помощью функции проверки тактового сигнала. Однако по завершении каждой передачи MAU выставляется сигнал SQE, являющийся признаком того, что схема остается активной и что коллизии не были обнаружены. Необходимо осознавать, что не все компоненты поддерживают проверку SQE, и путаница в компонентах поддерживающих и не поддерживающих проверку может привести к проблемам. В частности, если сетевая

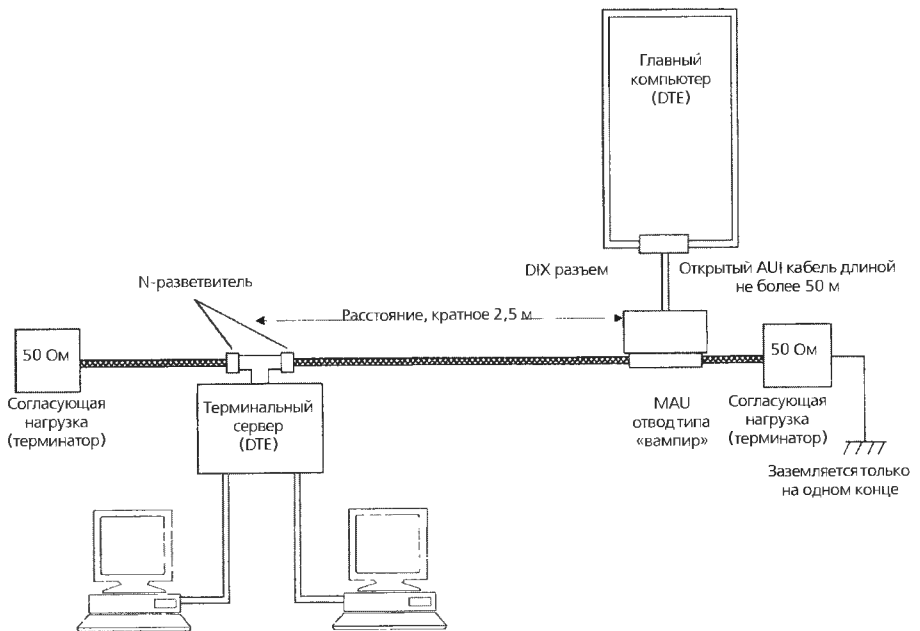


Рисунок 9.3
Сегмент сети 10Base5 Ethernet

интерфейсная плата должна принять сигнал SQE после передачи символа, но не ожидает его, то интерфейсная плата может посчитать его за коллизию. В свою очередь, как будет показано позже в этом руководстве, интерфейсная плата передаст сигнал о наличии помех.

9.2.2 Система 10Base2

Другим типом кабеля, используемым в сетях Ethernet, является 10Base2, часто называемый «Thinnet», а иногда и «тонкопроводный Ethernet». Он использует кабель RG-58 A/U или C/U с волновым сопротивлением 50 Ом и имеет диаметр 5 мм. Этот кабель обычно подключается в узлах к сетевым интерфейсным платам с помощью BNC тройника и представляет последовательное подключение к кабелю. Подключение должно удовлетворять следующим требованиям:

- Согласующая нагрузка 50 Ом на каждом конце кабеля
- Максимальная длина сегмента кабеля составляет 185 метров, но НЕ 200 метров!
- К любому сегменту может быть подключено не более 30 трансиверов
- Между узлами должно быть расстояние не менее 0,5 метра
- Этот кабель не должен использоваться в качестве звена между двумя сегментами Thicknet
- Радиус изгиба кабеля должен быть не менее 5 см

Реальная схема сегмента сети 10Base2 Ethernet показана на рисунке 9.4

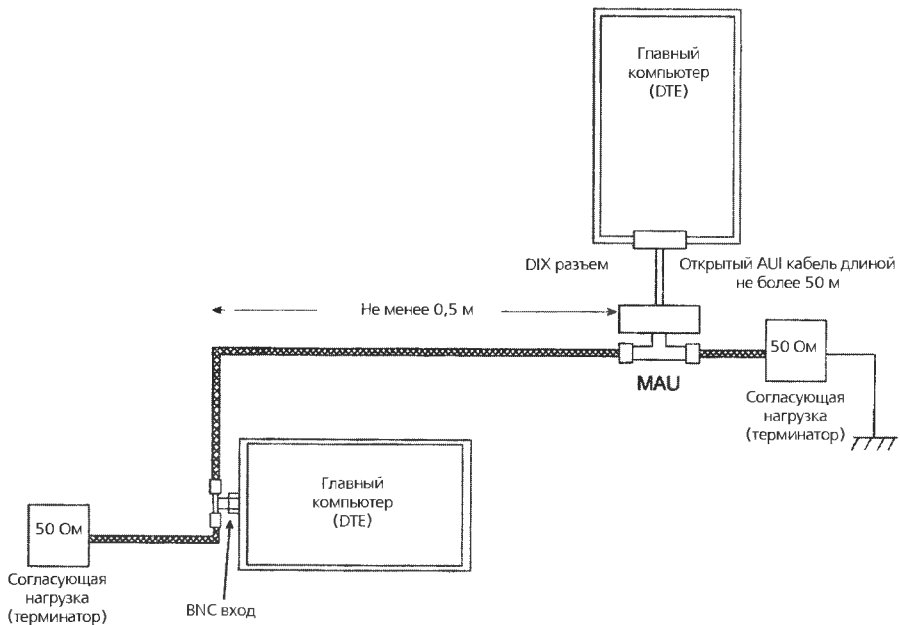


Рисунок 9.4
Сегмент сети 10Base2 Ethernet

Использование кабеля Thinnet было и остается очень популярным в силу его дешевизны и удобства прокладывания сети. Однако он имеет и недостатки. Порча кабеля может быстро привести к неработоспособности всей системы. Чтобы избежать такой проблемы, кабель часто подводится к настенным соединителям, позволяющим делать удобное подключение. Подключение к узлу может быть произведено с помощью незафиксированного кабеля того же самого типа. Важно только не забывать при расчетах общей длины кабеля длину этого отрезка! В этой системе имеется также возможность для подключения удаленных MAU с помощью AUI кабелей, образующих узловое подключение, аналогичное подключению к кабелю Thicknet.

9.2.3 10BaseT

Для подключения к узлу стандарт 10BaseT для сети Ethernet использует неэкранированную витую пару проводов AWG24 (диаметр провода — 0,5–0,6 мм) (UTP). Реальной топологией стандарта является «звезда», узлы подключаются к хабу, или коммутационному концентратору. Концентраторы затем подключаются к магистральной сети, которая может быть коаксиалом или оптоволоконном. Кабель узла может иметь категорию 3 или 4, хотя для всех новых подключений настоятельно рекомендуется использовать кабель категории 5. Это позволит легко модернизировать сеть, когда широкое распространение получают более скоростные сети. Кабель узла имеет максимальную длину 100 м и состоит из двух пар для приема и передачи; подключение производится с помощью разъемов RJ45. Внутри помещения хаб может считаться локальной шиной, поэтому такую топологию можно считать логической шинной топологией. На рисунке 9.5 показана схема того, как хаб соединяет между собой узлы 10BaseT.

Коллизии обнаруживаются сетевой интерфейсной платой, и поэтому входной сигнал должен ретранслироваться хабом на все выходные пары.

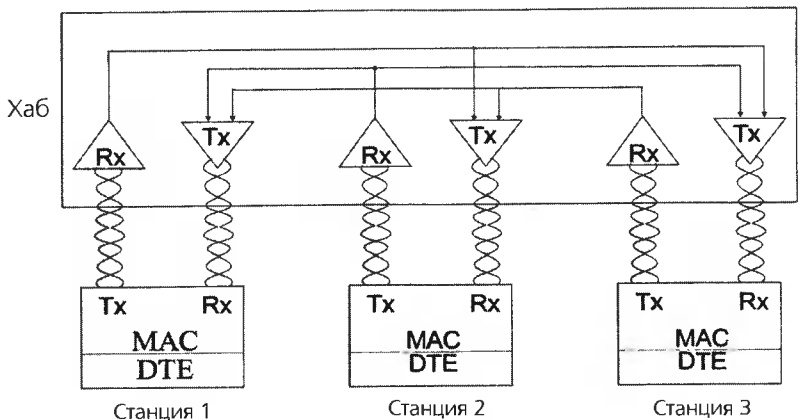


Рисунок 9.5

Схема системы 10BaseT (MAC – контроллер доступа к среде, Rx – прием; Tx – передача)

Электроника хаба должна обеспечивать такие условия, чтобы самый сильный ретранслируемый сигнал не мешал более слабому входному сигналу. Этот эффект называется перекрестными помехами на приемном конце (FEXT) и устраняется специальной адаптивной схемой гашения помех.

Этот стандарт стал особенно популярным в новых сетях, хотя он и имеет некоторые недостатки, перечисленные ниже:

- Кабель плохо защищен от электрических помех и для промышленных условий может быть неприменим
- Хотя кабель и недорог, возникает дополнительная стоимость в виде хаба, которую необходимо учитывать
- Кабель узла ограничен длиной 100 м

Но эта система имеет и достоинства:

- Наличие «интеллектуальных» хабов, способных определить, какие его линии принимают информацию. Это улучшает безопасность сети — свойство, которого часто не хватает в широковещательных и общих сетях, таких, как Ethernet
- Возможность всеобщей проводки, которая может быть произведена в новом здании, предусматривающая большее количество точек подключения, чем изначально требуется, и обеспечить в будущем большую гибкость при расширении сети. Когда выполняется проводка такого типа, то для большего удобства устанавливаются коммутационные панели или колодки

9.2.4 10BaseF

Этот стандарт, как и стандарт 10BaseT, основывается на топологии «звезды», использующей хаб. Появление фактического стандарта откладывалось из-за работ в других областях, и в конце концов стандарт был принят в сентябре 1993 года. Он включает три типа архитектуры:

- **10BaseFL**

Этот стандарт относится к оптоволоконному сегменту, который, по сути, является 2-километровым расширением существующего стандарта на звено волоконно-оптической связи между повторителями (FOIRL). Оригинальное звено FOIRL, как определено стандартом 802.3, ограничено оптоволоконным каналом длиной 1 км между двумя повторителями с максимальной длиной до 2,5 км, если звено состоит из пяти сегментов. Следует отметить, что это звено находится между двумя повторителями сети, и к нему не могут быть подключены узлы.

- **10BaseFP**

Этот стандарт является сетью с топологией в виде «звезды», основан на использовании пассивных оптоволоконных соединителей. На одну «звезду» может приходиться до 33 портов, а каждый сегмент может иметь максимальную длину до 500 м. Пассивный хаб не подвержен воздействию внешних помех и является превосходным выбором для промышленного окружения со значительными помехами.

- **10BaseFB**

Этот стандарт относится к оптоволоконному звену магистральной сети, по которой производится синхронная передача данных. Она предназначена только для соединения повторителей, а чтобы повторители соответствовали этому стандарту, они должны включать встроенный трансивер. Это уменьшает время, необходимое для передачи кадра через повторяющийся хаб. Максимальная длина звена составляет 2 км, хотя последовательно можно включать до 15 повторителей, которые могут обеспечить большую гибкость при разработке сети.

9.2.5 100BaseT (100BaseTX, T4, FX, T2)

Использование стандартов 100BaseT предпочтительно при скорости передачи 100 Мбит/с, поскольку при этом для увеличения скорости используется существующий уровень протокола управления доступом к Ethernet с различными модернизированными уровнями, зависящими от среды (PMD). Эти стандарты, описанные в документах IEEE 802.3u и 802.3z, рассматриваются ниже.

Стандарт IEEE 802.3u определяет три разных версии, основанные на разных физических носителях:

- 100BaseTX, который использует две пары проводов категории 5 UTP или STP
- 100BaseT4, который использует четыре пары проводов категорий 3, 4 или 5 UTP
- 100BaseFX, который использует многомодовый или одномодовый оптоволоконный кабель IEEE 802.3z
- 100BaseT2, который использует две пары проводов категорий 3, 4 или 5 UTP

Этот подход возможен потому, что оригинальная спецификация 802.3 определяет уровень протокола управления доступом (MAC) к среде независимо от других поддерживаемых физических подуровней. Можно вспомнить, что уровень MAC определяет формат Ethernet сообщения и определяет механизм доступа CSMA/CD. Параметры, зависящие от времени, определяются в спецификации 802.3 в единицах длительности бита и поэтому не зависят от скорости передачи. Межкадровый интервал для сети Ethernet со скоростью 10 Мбит/с определяется фактически как абсолютный промежуток времени, равный 9,60 мкс и эквивалентный длительности 96 битов. А в системах со скоростью 100 Мбит/с это значение уменьшено в 10 раз и составляет время 960 наносекунд.

Одним из ограничений 100BaseT систем является протяженность области коллизий, составляющая 250 м. Данная длина является максимальной длиной сети, в которой можно обнаружить коллизии, что в 10 раз меньше для сети со скоростью 10 Мбит/с. Это значение уменьшает расстояние между рабочей станцией и хабом до 100 м, как и для стандарта 10BaseT, но обычно в области коллизий допускается наличие одного хаба. Смысл этого заключается в том, что сети длиннее 200 м должны быть логически соеди-

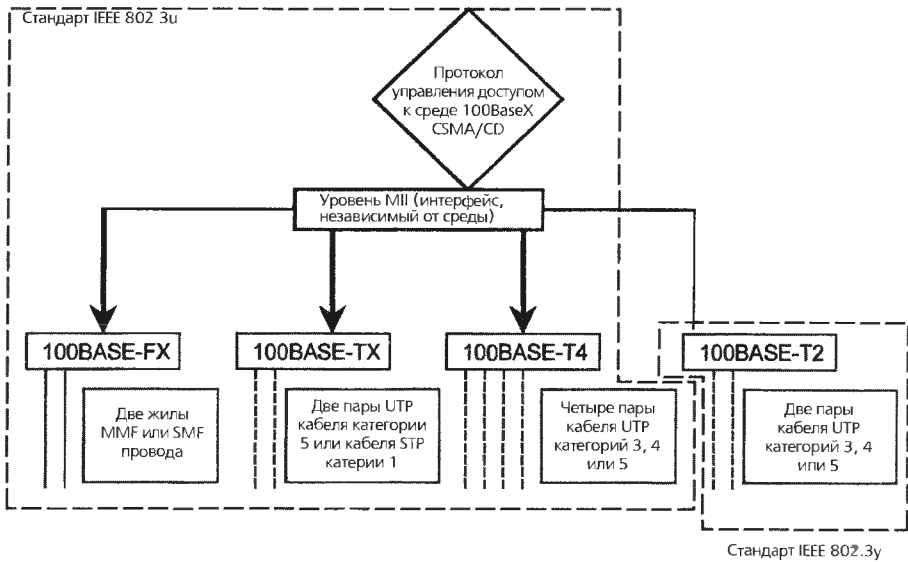


Рисунок 9.6
Краткий перечень стандартов 100BaseT

нены вместе с помощью мостов сохранения и передачи информации, таких, как мосты, роутеры или коммутаторы. Однако наличие мостов не является недостатком, поскольку кадры разделяют трафик в пределах каждой области коллизий и тем самым уменьшают количество коллизий в сети. Мосты и роутеры для разделения трафика часто используются в промышленных CSMA/CD сетях.

Наиболее распространенной системой 100BaseT является 100BaseTX, на которую приходится около 95% всех поставок быстрых сетей Ethernet. Системы 100BaseT4 были разработаны для использования четырех пар проводов категории 3; однако запасные части имели очень небольшое количество пользователей, и, кроме того, системы T4 неспособны к полнодуплексной работе, поэтому они широко не использовались. Система 100BaseT2 в это время на рынке еще не появилась, однако заложенные в ней технологии, применяющие методы цифровой обработки сигнала (DSP), стали применяться в системах 1000BaseT, использующих две пары проводов категории 5. При использовании кабелей категории 3, которые постепенно теряют свою значимость, системы 100BaseT2 вряд ли будут распространяться.

Для сигналов сети Ethernet используются схемы манчестерского кодирования. Этот метод обеспечивает выделение приемником тактовой частоты, необходимой для синхронизации процесса передачи/приема. Кодирование производится выполнением операции исключения ИЛИ для тактового сигнала 20 МГц и потока данных. В результирующем сигнале 0 представляется перепадом сигнала от высокого уровня к низкому, а 1 представляется перепадом от низкого уровня к высокому уровню в центре однобитового кадра.

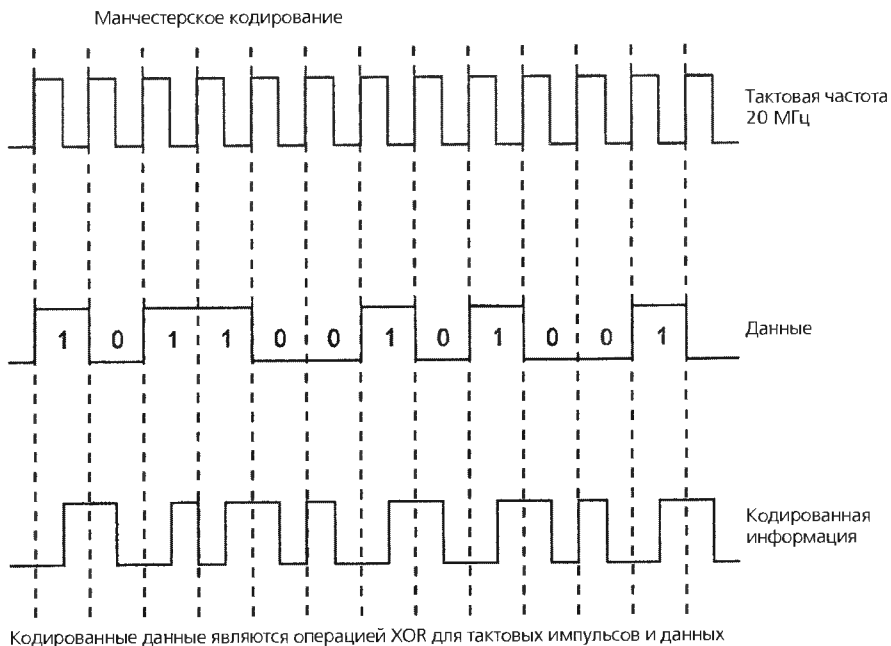


Рисунок 9.7
Манчестерское кодирование

В начальном кадре перепады могут быть, а могут и не быть, но приемником они игнорируются. Переходы в каждом кадре обеспечивают выделение тактовой частоты и синхронизацию с передатчиком.

В оригинальной спецификации перепады напряжений составляли от $-0,225$ до $-1,825$ вольт. В стандарте 802.3 размах напряжения на коаксиальных кабелях происходит между 0 и $-2,05$ вольт с временем нарастания и спада 25 нс (при скорости передачи 10 Мбит/с).

9.3 Контроль над доступом к каналу передачи данных

В основном этот вопрос связан с конфликтными ситуациями. Как было описано ранее, каждый узел подключается к общей шине с помощью трансивера. Будучи трансивером, это устройство может передавать и принимать одновременно. В любой момент времени каждый узел может находиться в одном из трех состояний:

- Простой (или прием)
- Передача
- Конфликтная ситуация

В состоянии простоя узел просто принимает информацию шины (слушает), контролируя весь проходящий трафик. Если узел захочет передать ин-

формацию, она будет откладываться до тех пор, пока на шине не прекратится какая-либо активность, поскольку этот «контроль несущей» присущ архитектуре. В какой-то момент времени активность шины прекращается, и узел, ощущая это, начнет передачу своей информации. Теперь он становится передающим узлом и будет передавать и слушать сигнал одновременно. Это происходит потому, что нет никакой гарантии в том, что другой узел в какой-то другой точке шины также не начал передачу, обнаружив отсутствие трафика. После небольшой задержки, пока сигналы распространяются друг к другу по кабелю, произойдет коллизия сигналов. Вполне очевидно, что две передачи не могут сосуществовать на общей шине, поскольку нет механизма разделения двух смешанных аналоговых сигналов. Ретранслятор быстро обнаруживает этот конфликт, поскольку он контролирует вход и выход и распознает различие. Теперь узел переходит в третье состояние — конфликтную ситуацию. Узел в течение короткого времени продолжает передавать мешающий сигнал, чтобы другой передающий узел обязательно обнаружил конфликт, и затем выполняет алгоритм отсрочки передачи, чтобы определить, когда еще раз попытаться передать отложенное сообщение.

Если должен быть передан кадр данных, то производится контроль шины на предмет доступа к каналу передачи в ожидании окончания трафика. Спустя время, соответствующее 96 бит и известное как межкадровый интервал, которое позволяет проходящему кадру быть принятым и обработанным узлом назначения, процесс передачи возобновляется. Поскольку время распространения из одного конца кабеля в другой конец ограничено, то вследствие этого все узлы распознают занятость канала, и, пока производится передача, трансивер включает схему обнаружения коллизии. Фактически, после того как некоторое количество битов было передано (в системе со скоростью 10 Мбит/с это 576 бит), при условии, что сетевые спецификации сегмента кабеля были соблюдены, схема обнаружения конфликтов может быть отключена. Если после этого произойдет коллизия, то запрос на ретрансляцию возлагается на протоколы более высокого порядка — действующие гораздо медленнее, чем аппаратное обнаружение конфликта. Таким образом, необходимо обязательно соблюдать требования спецификаций, относящихся к сегменту кабеля! Этот начальный «опасный» период, называемый «конфликтным окном», эффективен в течение двойного временного интервала первого бита любой передачи, распространяющегося во все части сети. Время канала (slot time) для сети определяется как время задержки для наихудшего случая, которое узел должен ожидать, прежде чем он сможет с достоверностью знать о возникновении коллизии. Оно определяется следующим образом:

$$\text{Время канала} = 2 * (\text{задержка, требующаяся на прохождение пути}) + \text{запас надежности}$$

Для системы со скоростью передачи 10 Мбит/с время канала ФИКСИРОВАНО и составляет 512 бит, или 64 байта.

Трансивер каждого узла постоянно контролирует шину на предмет наличия сигнала передачи. Как только сигнал будет обнаружен, сетевая интерфейсная плата активизирует сигнал контроля несущей, чтобы указать на то, что передачу производить нельзя. Первые биты протокола управления доступом к среде являются заголовком и состоят из 56 бит из 1010 и т.п. Обнаружив это, приемник синхронизирует свою тактовую частоту и преобразует сигнал, закодированный с использованием манчестерского кода, снова в двоичную форму. Восьмой байт является началом межкадрового интервала и используется для указания приемнику того, что необходимо удалить первые восемь байтов и, считывая адрес назначения, начать определение, предназначен ли кадр для этого узла. Если адрес распознан, данные загружаются в буфер кадра, находящийся на интерфейсной карте. Затем производится дальнейшая обработка, включающая вычисления и сравнение CRC кадра с переданным CRC, проверка того, что кадр состоит из целого числа байтов и что он не слишком короткий и не слишком длинный. Если все корректно, фрейм передается на верхний подуровень для дальнейшей обработки.

Коллизии являются обычной частью работы CSMA/CD сети. Мониторинг и обнаружение коллизий являются способом, посредством которого узел обеспечивает уникальный доступ к разделяемому каналу. Проблема возникает только в том случае, когда имеется много коллизий. Это уменьшает реальную ширину полосы кабеля и замедляет работу системы, когда производятся попытки повторной ретрансляции. Существует много причин для большого количества коллизий, которые будут скоро рассмотрены. Возникновение коллизии и ее обнаружение показаны на рисунке ниже.

Допустим, что узел 1 и узел 2 находятся в состоянии ожидания (слушают), и узел 1 имеет очередь кадров, которые необходимо передать. Весь предыдущий трафик прекратился, т. е. несущей нет, и межкадровый интервал от последней передачи закончился. Узел 1 теперь начинает передавать свою преамбулу, которая начинает распространяться по кабелю в левую и правую стороны. На левом конце передача поглощается нагрузочными резисторами, но в правую сторону сигнал продолжает распространяться. Однако подуровню протокола управления доступом к среде узла 2 также был дан кадр для передачи от верхнего подуровня, и, поскольку он «видит» кабель свободным, он также начинает передавать свою преамбулу. Снова сигналы распространяются по кабелю, и спустя некоторое время они «сталкиваются». Почти сразу передатчик узла 2 обнаруживает, что сигналы в кабеле испорчены, и логика сетевой интерфейсной платы активизирует сигнал обнаружения коллизии. Это побуждает узел 2 послать испорченный сигнал из 32 бит и затем прекратить передачу. Фактически стандарт позволяет передавать любые данные, если это только не CRC поле кадра. Получается так, что большинство узлов будут передавать следующие 32 бита кадра данных как заведомо неправильные, поскольку они все присутствуют в данный момент.

Этот некорректный сигнал начинает распространяться по кабелю как конфликтный, поскольку он смешан с сигналом, все еще передаваемым узлом 1. В конце концов узел 1 обнаруживает коллизию и выполняет те же самые про-

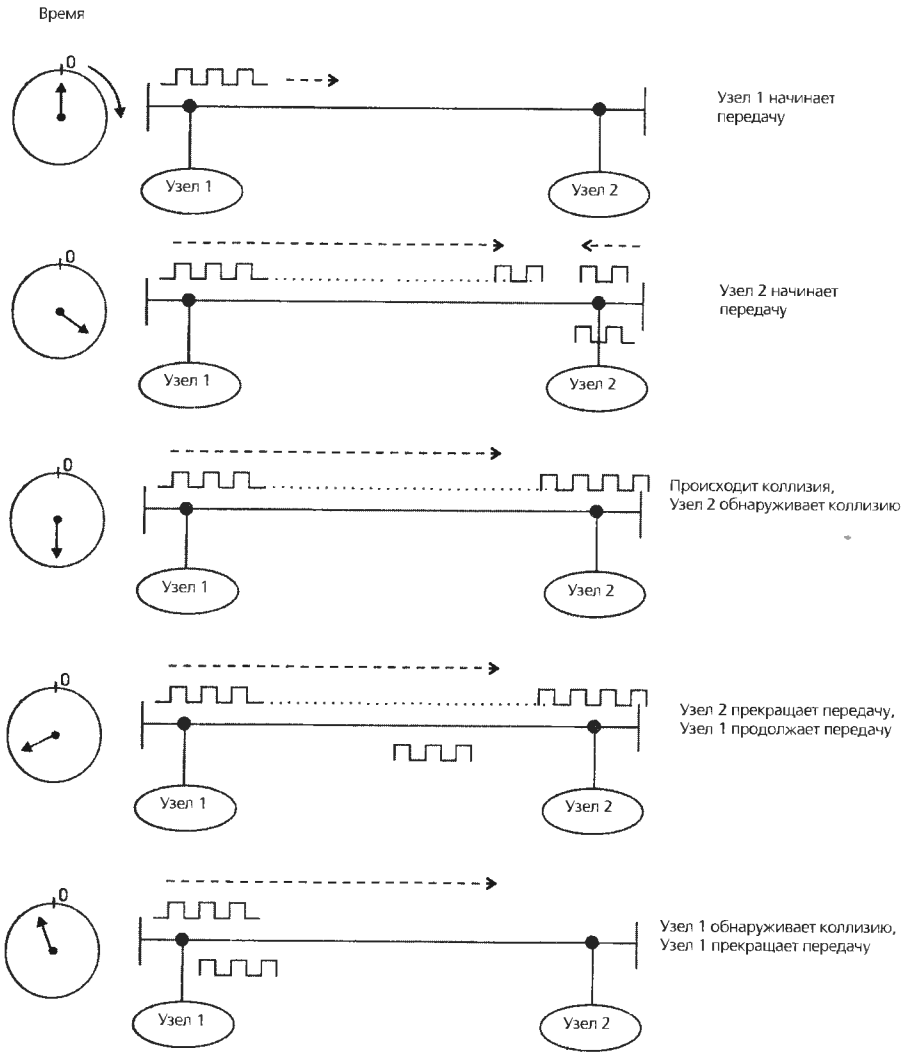


Рисунок 9.8
Коллизии CSMA/CD

цедуры, что и узел 2. Из этого следует, что кадр с узла 1 должен быть, по крайней мере, вдвое больше времени распространения от одного конца сети до другого, иначе обнаружение коллизии будет происходить некорректно. Ошибочный сигнал от узла 1 будет продолжать распространяться по сети до тех пор, пока не поглотится на дальнем конце согласующим сопротивлением, что означает, что время уязвимости системы составляет три времени распространения сигнала от одного конца линии до другого конца.

После того как ошибочный сигнал был передан, передача прекращается. Затем узел планирует попытку повторной ретрансляции спустя произволь-

ное время, определяемое процессом, известным как усеченный бинарно-экспоненциальный алгоритм задержки. Продолжительность задержки выбирается из компромисса между уменьшением вероятности появления другой коллизии и задержки повторной ретрансляции на недопустимое время. Задержка всегда кратна времени канала. При первой попытке узел выберет случайным образом задержку в 1 или 0 времени канала. Если происходит другой конфликт, то время задержки будет выбрано произвольно, в 0, 1, 2 или 3 времени канала, уменьшая, таким образом, вероятность возникновения дальнейших конфликтов. Для данного узла этот процесс может продолжаться в течение 10 попыток с удвоением диапазона времени канала при каждой попытке. После 10 попыток узел произведет еще 6 повторов, но времена канала, задаваемые для каждой задержки, будут оставаться такими, какими они были на 10-й попытке. 16 попыток показывают, что имеется проблема с сетью и узел прекращает попытки ретрансляции информации.

9.4 Формат кадра протокола управления доступом к среде

Базовый формат кадра для сетей стандарта 802.3 показан ниже. Каждый кадр состоит из восьми полей, которые будут подробно описаны.

- **Заголовок**

Это поле состоит из 8 байтов данных типа 10101010. Оно используется приемником для синхронизации с тактовой частотой передатчика.

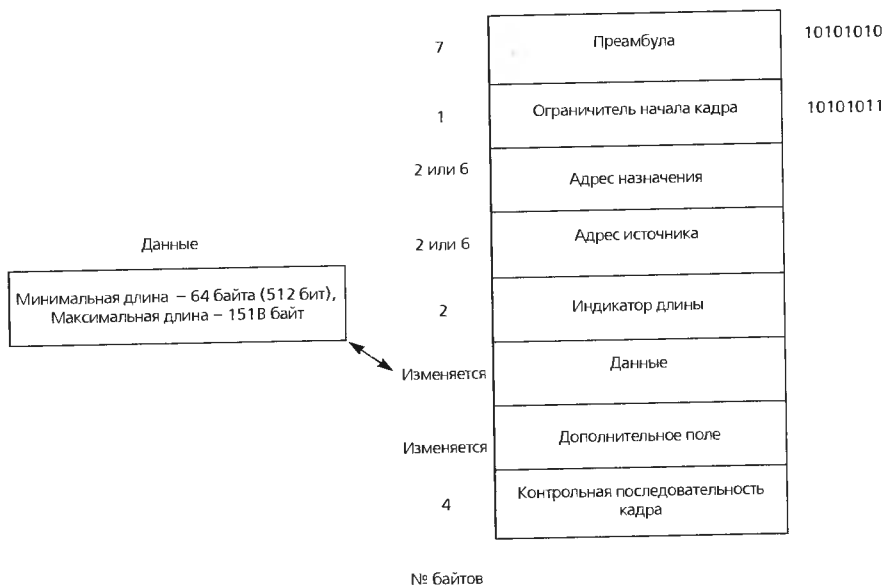


Рисунок 9.9

Формат кадра протокола управления доступом к среде

- **Ограничитель начала кадра**

Это поле из одного байта состоит из данных 10101011. Оно позволяет приемнику определить начало адресных полей.

- **Адреса источника и назначения**

Эти поля представляют физические адреса узла источника и назначения. Поля могут иметь длину 2 или 6 байт, хотя больше распространен 6-байтовый стандарт. 6-байтовое поле разделяется на два 3-байтных блока. Первые три байта описывают номер блока, к которому принадлежат все сетевые интерфейсы этого типа. Этот номер лицензируется, и все платы, изготовленные данной компанией, имеют одинаковые номера. Второй блок относится к идентификатору устройства, и каждая плата должна иметь уникальный адрес, соответствующий условиям лицензии производителя. Это означает, что для Ethernet плат имеются 2^{48} уникальных адресов.

Возможны три режима адресации:

1. Ретрансляция — адрес назначения устанавливается для всех 1 или FFFFFFFFFFFFFF.

2. Широкое вещание — первый бит адреса назначения устанавливается равным 1. Это обеспечивает коммуникацию, ограниченную группами.

3. Индивидуальная передача, или от точки к точке — первый бит адреса устанавливается равным 0, а остальные биты устанавливаются в соответствии с целевым назначением узла.

- **Длина**

Это поле является двухбайтным и содержит длину поля данных. Оно необходимо потому, что конечного ограничителя фрейма нет.

- **Информация**

Это поле является информацией, которая передается от верхнего подуровня канального уровня.

- **Дополнительное поле**

Поскольку минимальная длина передаваемого кадра составляет 64 байта (512 бит или 576 бит, если включена преамбула), то для обеспечения работы механизма обнаружения коллизий любой кадр, не удовлетворяющий минимальной спецификации, будет заполнен незначащей информацией. Это поле, если оно включено, обычно является случайной информацией. Для данных этого поля производится контроль с помощью циклического избыточного кода (CRC). Если CRC контроль проходит нормально, то принимающий узел отбрасывает произвольные данные, которые определяются по значению, задаваемому в поле длины.

- **Контрольная последовательность кадра**

Эта последовательность представляет 32-разрядное значение CRC, которое вычисляется аппаратным образом на стороне передатчика и добавляется к кадру. Это тот же самый алгоритм, который используется стандартами 804.4 и 802.5.

9.5 Различие стандартов 802.3 и Ethernet

Как уже было показано, между сетями стандартов 802.3 и Ethernet (описывается Синей Книгой) имеются различия. Эти различия главным образом заключаются в структуре кадра и приводятся в таблице ниже.

Таблица 9.1

Различия между сетями IEEE 802.3 и Ethernet (версия 2.0) (описывается Синей Книгой)

Сеть 802.3	Сеть Ethernet
Топология «звезды», реализуемая с помощью неэкранированной витой пары или оптоволокна	Поддерживает только шинную технологию
Узкополосная и широкополосная передача сигналов	Только узкополосная передача
Уровень звена данных разделен на верхний подуровень канального уровня и протокол управления доступом к среде	Нет верхнего подуровня канального уровня
7 байтов преамбулы плюс байт ограничителя начала кадра	8 байтов заголовка без ограничителя начала кадров
Поле длины в кадре данных	Поле, используемое для указания того, что протокол верхнего уровня использует сервис звена данных
Для управления сетью используется ошибка категоризаций сигнала (SQE)	Ошибка категоризации сигнала может использоваться только в версии 2.0

Значительным отличием в построении кадра является поле длины в стандарте 802.3 и поле протокола верхнего уровня в Ethernet. Поскольку кадр стандарта 802.3 не может превышать 1500 бит, то значения в поле типа протокола кадра Ethernet начинаются с 1500. Это позволяет анализаторам протокола отличить один тип кадра от другого.

9.6 Уменьшение количества коллизий

Главными причинами увеличения количества коллизий в сети Ethernet являются следующие:

- Количество пакетов, передаваемых в секунду
- Время распространения сигнала между передающими узлами
- Количество станций, инициирующих передачу пакетов
- Использование полосы пропускания

Возможны несколько рекомендаций по уменьшению количества коллизий в сети Ethernet:

- Минимальная длина всех кабелей
- Максимально близкая установка источников с наибольшей активностью и мест назначения их сигналов

Возможная изоляция таких узлов от магистральной сети с помощью мостов/роутеров, позволяющая уменьшить магистральный трафик

- Использование буферизованных, а не битовых повторителей
- Проверка мешающих передаваемых пакетов, которые направлены в несуществующие узлы
- Необходимость учета того, что управляющее оборудование, которое производит контроль сетевого трафика, может вносить свой вклад в трафик (и увеличивать количество коллизий)

9.7 Правила разработки сетей Ethernet

Ниже приводятся правила для определения длины сегмента кабеля, размещения узла и использования аппаратного обеспечения. Эти правила необходимо неукоснительно соблюдать.

9.7.1 Длина сегмента кабеля

Важно соблюдать общие требования стандарта Ethernet, касающиеся длины кабеля. Каждый сегмент имеет максимально допустимую длину. Например, стандарт 10BASE-2 допускает длину не более 200 м. Рекомендуемая максимальная длина обычно составляет 80% от этого значения. Некоторые производители рекомендуют не обращать внимания на этот предел при использовании их оборудования. Это рискованная стратегия, и лучше все-таки придерживаться стандарта.

Таблица 9.2

Система	Максимальная длина	Рекомендуемая длина
10Base5	500 м	400 м
10Base2	185 м	150 м
10BaseT	100 м	80 м
1Base5	500 м	400 м

Сегменты кабелей не обязательно должны состоять из единого однородного отрезка кабеля, а могут включать различные куски, сочлененные с помощью разъемов (два штырьковых разъема и один цилиндрический переходник, имеющий с двух сторон гнезда). Хотя кабели ThickNet (10BASE-5)

и ThinNet (10BASE-2) имеют одинаковое волновое сопротивление 50 Ом, но для достижения максимальной длины сегмента 10BASE-2 на нем следует использовать кабель только одного типа.

Для достижения максимальной производительности на сегментах кабеля 10BASE-5 желательно, чтобы весь сегмент состоял из одного куска кабеля или из нескольких секций кабеля одной партии. Если для изготовления сегмента кабеля отдельные его секции будут от разных производителей, то следует использовать стандартные отрезки 23,4 м, 70,2 м или 117 м ($\pm 0,5$ м), которые кратны длине 23,4 м (половина длины волны в кабеле на частоте 5 МГц). Отрезки такой длины обеспечат минимальные отражения и, соответственно, фазовые искажения, которые могут возникнуть на однородностях стыка различных кабелей. Только использование таких отрезков кабелей позволит создать полноценный сегмент длиной до 500 м.

Если кабель состоит из кусков от разных производителей и есть подозрение на потенциальное несоответствие их характеристик, то в этом случае необходимо убедиться в том, что отражения сигнала, вызванные несоответствием внутренних сопротивлений, не превышают уровня 7% от падающего сигнала.

9.7.2 Максимальная длина кабеля трансивера

В системах 10BASE-5 максимальная длина кабелей трансиверов составляет 50 м, но необходимо отметить, что это требование применимо только к специализированным кабелям, предназначенным для работы со стандартом IEEE 802.3. Другие ленточные или офисные кабели АUI должны использоваться только для коротких расстояний (не более 12,5 м), поэтому проверяйте представляемые на них спецификации производителя!

9.7.3 Правила расположения узлов

Подключение модулей доступа к кабелю связи (MAU) приводит к отражениям сигнала, вызванным их импедансом. Расположение модулей MAU должно быть, следовательно, вполне определенным, чтобы обеспечить минимальные отражения от них, приводящие к фазовым искажениям сигнала.

В системах 10BASE-5 модули MAU разделены расстояниями, кратными 2,5 м, совпадающими с метками на кабеле.

В системах 10BASE-2 минимальное расстояние между модулями MAU составляет 0,5 м.

9.7.4 Максимальная длина передачи

Максимальная длина передачи состоит из пяти сегментов, соединенных четырьмя повторителями (репитерами). Общее количество сегментов может состоять не более чем из трех коаксиальных звеньев, содержащих стационарные узлы, и двух звеньев, не имеющих промежуточных узлов. Кратко эта конфигурация описывается, как правило, 5 — 4 — 3 — 2.

Таблица 9.3

Правило 5—4—3—2

5 сегментов 4 повторителя 3 коаксиальных сегмента 2 соединительных сегмента	ИЛИ	5 сегментов 4 повторителя 3 соединительных сегмента 2 коаксиальных сегментов
--	-----	---

Важно убедиться в том, что приведенные выше правила передачи удовлетворяются для всех отрезков между любыми двумя узлами сети.

Необходимо отметить, что сеть максимальной длины, поддерживающая стандарт IEEE 802.3 и состоящая из четырех повторителей, может сталкиваться с проблемами синхронизации. Максимальная конфигурация ограничивается временем распространения сигнала.

Следует также отметить, что сегменты 10BASE-2 не должны использоваться для связи сегментов 10BASE-5.

9.7.5 Максимальный размер сети

- 10BASE-5 — 2800 м от узла до узла (5 × 500 м сегменты + 4 кабеля повторителей + 2 AUI)
- 10BASE-2 — 925 м от узла до узла (5 × 185 м сегменты)
- 10BASE-T — 100 м от узла до узла

9.7.6 Правила использования повторителей

Повторители подключаются к трансиверам, которые считаются на сегментах одним узлом. Для подключения повторителей используются специальные трансиверы, которые не выполняют проверку на наличие ошибки категоризации сигнала (SQE).

Имеются оптоволоконные повторители, поддерживающие линии связи, работающие со скоростью 10 Мбит/с, длиной до 3000 м. Необходимо сверяться со спецификациями поставщика на предмет соответствия повторителей стандарту IEEE 802.3, а также на соответствие стандартам на оптоволоконные повторители (FOIRL).

9.7.7 Система заземления кабелей

Смысл заземления заключается в обеспечении безопасности и уменьшении помех. Стандарт 802.3 утверждает, что экранирующий проводник каждого коаксиального кабеля должен иметь электрический контакт с эффективным заземлением только в одной точке.

Единственная точка заземления для системы Ethernet обычно находится рядом с одним из согласующих резисторов (терминаторов). Большинство терминаторов для сети Ethernet имеют винтовую клемму, к которой может быть присоединен наконечник заземления, выполненного с помощью кабеля в оплетке.

Необходимо убедиться в том, что все остальные места соединений, выполненные «внахлест», отводы или терминаторы были изолированы, чтобы не было никаких других контактов с металлическими предметами. Во избежание непреднамеренных контактов с землей для всех коаксиальных разъемов внутри линии необходимо использовать изолирующие колпачки или трубки.

9.8 Полевые шины

Сейчас существует несколько гибридных аналоговых и цифровых стандартов, распространяющихся на коммуникации между полевыми устройствами, а также между полевыми устройствами и главной системой. Но только полностью совместимый цифровой коммуникационный стандарт может обеспечить конечным пользователям максимальные преимущества, и одним из таких стандартов, предлагаемых в настоящее время, является Foundation FieldBus.

Полезно задать вопрос: почему вкладывается столько усилий, времени и денег в поиск «идеальной» цифровой коммуникационной сети? Почему существует несколько подходов, а усилия не сосредотачиваются в одном направлении? Не достаточно ли уже разработано стандартов, и чем плохи существующие стандарты?

Современный подход к кабельному хозяйству типичной управляющей системы показан на рисунке 9.10. Необходимо отметить, что каждый измерительный прибор или исполнительное устройство соединены с аппаратной комнатой (с контроллером) с помощью отдельной пары проводов.

Поддерживаемая в настоящее время стратегия должна заменить все это хозяйство коммуникационным кабелем, который соединяет все измерительные приборы и исполнительные механизмы и имеет несколько перечисленных ниже важных достоинств. Каждый измерительный прибор или исполнительный механизм теперь становится «интеллектуальным устройством». Интеллектуальным устройством может считаться устройство с управлением от компьютера, которое воспринимает аналоговые данные (например, измеритель потока), производит с ними какие-либо операции (например, извлечение квадратного корня) и передает их через коммуникационную сеть к

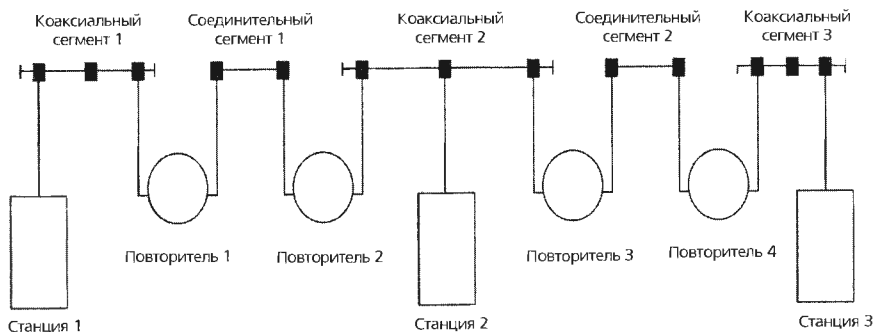


Рисунок 9.10

Максимальная длина канала передачи

другому устройству (устройствам), которому необходимы эти данные. Аналогично интеллектуальное исполнительное устройство может поддерживать определенное состояние клапана с помощью данных, передаваемых через коммуникационную сеть с другого устройства.

Ответ на все эти вопросы заключается в потенциальной выгоде и в меньшей степени в понимании того, что более старые стандарты были разработаны для конкретных задач и могут не подходить к требованиям, предъявляемым к современным коммуникационным системам.

Достоинства

Новые сети обладают следующими реальными достоинствами:

- Значительно уменьшенная стоимость проводки
- Меньшее время установки и пуска в эксплуатацию
- Улучшенные он-лайн мониторинг и диагностика
- Более простая замена и расширение устройств
- Улучшенный «интеллект» устройств
- Расширенная возможность взаимодействия сетей разных производителей

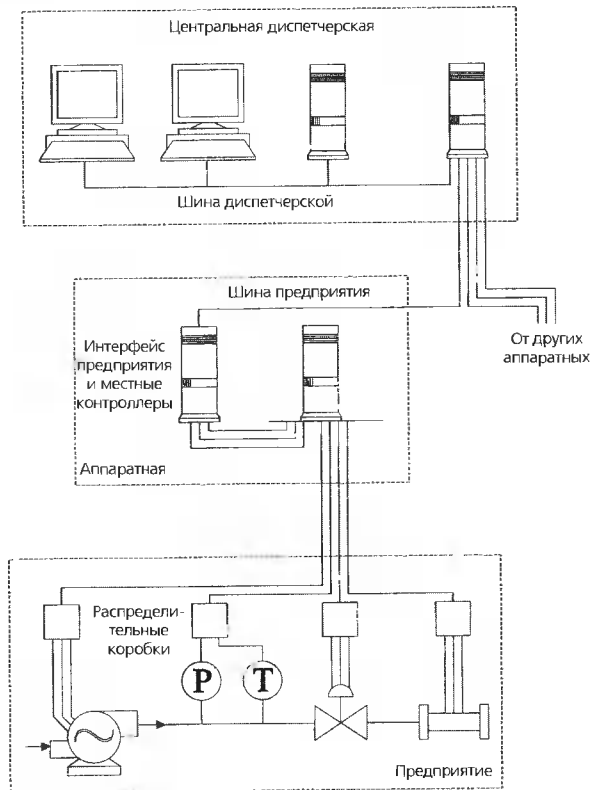


Рисунок 9.11

Современный подход к организации кабельных соединений типичной управляющей системы

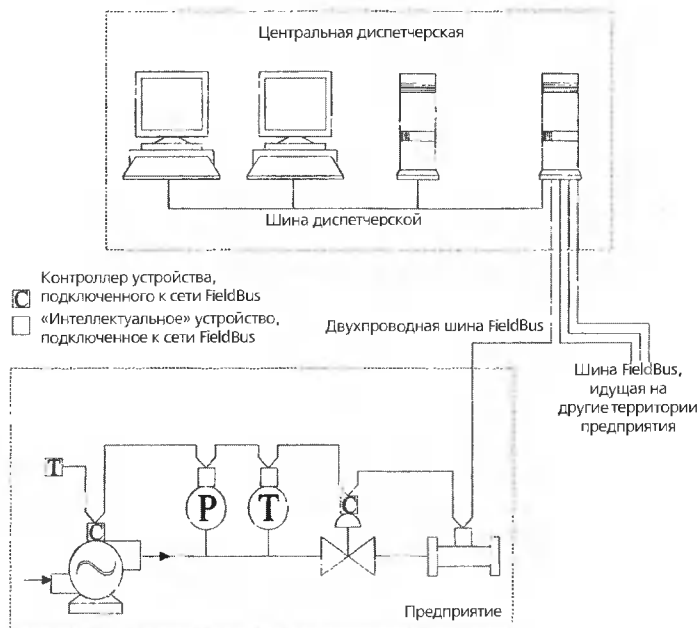


Рисунок 9.12

Организации кабельных соединений типичной управляющей системы на основе полевой шины

Прочие системы

Точно так же, как и в любой другой технологии, каждый предпринятый подход имеет свои достоинства и недостатки. На первый взгляд может показаться, что единственная цифровая шина была бы выгодна всем пользователям, но это не так. Очень простые полевые устройства (бесконтактные выключатели, концевые выключатели и основные исполнительные устройства), например, требуют для передачи состояний «включено» или «выключено» только несколько бит цифровой информации и обычно связаны с реальными приложениями, в которых все эти обновления достаточно проводить с интервалом в несколько миллисекунд. Электроника, выполняющая все необходимые действия и обеспечивающая связь с этими устройствами, является простой, компактной, достаточно недорогой и может быть встроена в само устройство.

И наоборот, сложные устройства вроде программируемого логического контроллера (PLC), операционных станций (иногда называемых интерфейсом между человеком и машиной, MMI) и распределенные управляющие системы (DCS) требуют длинных сообщений (в некоторых системах до 256 байт) и в зависимости от приложения могут требовать на обновление информации от 10 до 100 мс. Сопутствующая электроника является более дорогой и имеет больший объем, что ограничивает возможность ее встраивания в очень маленькие устройства.

Решением может быть выбор такой цифровой коммуникационной системы, которая лучше всего подходит для данного приложения и передачи информации по скоростной сети. За несколько последних лет были разработаны разные подходы к цифровым сетям, каждый из которых рассчитан на разные конечные применения, скорость и технологию.

Все эти подходы обычно сводятся к цифровой сети или полевым шинам и обычно разбиваются на категории по длине «сообщения», требуемого устройствами для адекватной передачи информации к главному компьютеру или сети.

Этот метод категоризации позволяет все сети отнести к одному или нескольким классам:

- Бит (датчик)
- Байт (устройство)
- Сообщение (поле)

Например, бит-ориентированные системы используются с простыми устройствами бинарного типа, такими, как бесконтактные выключатели, замыкатели (контактные датчики давления, поплавковые выключатели и т.п.), простые кнопки и пневматические исполнительные устройства. Такие типы сетей известны также как «шины датчиков», и определяются природой используемых устройств (датчики и исполнительные механизмы). Хорошим примером системы такого типа является ASI (интерфейс датчиков и исполнительных устройств).

Байт-ориентированные системы используются в более распространенных приложениях, таких, как пускатели двигателей, устройства считывания штрихкода, передатчики температуры и давления, хроматографы и приводы с регулируемой скоростью, что обусловлено их большей адресной способностью и форматом сообщений, имеющих длину в несколько байт. Эти сети называются также «шинами приборов». Хорошим примером такого подхода являются сети CANBus или DeviceNet.

Системы, ориентированные на сообщения, то есть системы, содержащие в одном сообщении более 16 байтов, находят применение в соединении нескольких интеллектуальных систем типа ПК, PLC, операторских терминалов и инженерных рабочих станций, которые требуют конфигурации устройств или передачи информации в обе стороны, а также для связи описанных выше сетей вместе. Эти системы представляют наиболее совершенные из новых чисто цифровых сетей, предназначенных для промышленных условий, и обобщенно называются полевыми системами или сетями. Примерами этих систем являются Interbus-S, Profibus и Foundation Fieldbus.

Универсальная последовательная шина (USB)

10.1 Введение

23 сентября 1998 года компании Microsoft, Intel, Compaq и NEC опубликовали Редакцию 1.1 стандарта для универсальной последовательной шины. Целью этой редакции была стандартизация подключения входных/выходных устройств к компьютеру IBM PC, таких, как принтеры, мыши, клавиатуры и акустические системы. В то время не предполагалось подключение систем сбора данных (СДА) к шине USB. Но это не означает, что шину USB нельзя использовать для подключения систем СДА. Во многих отношениях шина USB очень хорошо подходит для СДА в лаборатории или в других не очень крупных системах.

Небольшим системам СДА традиционно не хватало удобной и стандартизированной шины для подключения программируемых СДА устройств. Наиболее подходящей была система IEEE 488 GPIB. Система GPIB достаточно дорога, и используются очень старые технологии. Возникла необходимость в удобной, недорогой и стандартизированной шине для подключения устройств некрупной системы СДА. Всем этим требованиям удовлетворяет интерфейс USB. Поскольку он поддерживает функцию plug and play («подключи и работай»), то его очень легко реализовать и использовать. В настоящий момент интерфейс USB является стандартом для всех IBM-совместимых компьютеров. Хотя он и не такой дешевый, как интерфейс RS-232, но вполне приемлем.

Применение шины USB для систем СДА несколько ограничено его природой. Наибольшей проблемой является максимальная длина соединительных кабелей. Медленнодействующий вариант ограничен 3 метрами, а быстродействующий — максимальной длиной 5 м. Это требование ограничивает возможность использования USB на больших территориях завода или фабрики. Для подобных предприятий обычно требуются системы СДА, охватывающие расстояния порядка одного километра. Из-за требований синхронизации интерфейса USB длина кабеля не может быть увеличена с помощью повторителей. Эти требования ограничивают применение интерфейса USB лабораториями и настольными системами.

10.2 Общая структура USB шины

USB является синхронизованной, полудуплексной шинной системой с взаимодействием типа главное/подчиненное устройство. Эта шина была разработана для подключения близко расположенных периферийных устройств и хабов к IBM-совместимому компьютеру. Она работает со скоростью либо 1,5 Мбит/с (низкая скорость), либо 12 Мбит/с (высокая скорость). Программа ПК, использующая драйверы устройства, создает пакеты информации, которые должны быть переданы на USB шину. USB драйверы отводят на информацию некоторое время в пределах передаваемого фрейма. Пакет помещается в этот фрейм продолжительностью 1 мс, который может содержать несколько пакетов. Один фрейм может содержать информацию для нескольких устройств или только для одного устройства. Затем с помощью USB драйверов фрейм передается на физический уровень и далее на шину.

Устройство принимает свою часть пакета и, если необходимо, формирует отклик. Затем оно выставляет этот отклик на шину. USB драйверы ПК обнаруживают отклик на шине и подтверждают корректность фрейма с помощью CRC (контроль с помощью циклического избыточного кода). Если CRC указывает на то, что фрейм корректен, программа ПК принимает отклик.

Устройства, подключенные к шине USB, могут питаться от кабеля шины, причем потребляемый ток не должен превышать 500 мА. Все это хорошо работает для некрупных СДА систем; большие СДА системы обычно используют внешний источник питания. И питание, и обмен информацией производятся через один кабель.

USB систему составляют множество элементов, обеспечивающих коммуникационный процесс:

- Главные хабы (host hub)
- Внешние хабы
- Разъем типа А
- Разъем типа В
- Кабели для низкой скорости передачи данных
- Кабели для высокой скорости передачи данных
- USB устройства
- Контроллер и драйвер главного хаба
- USB драйвер
- Драйверы устройств

10.2.1 Топология

USB использует топологию в виде пирамиды, в которой все начинается с главного хаба. Главный хаб обычно состоит из двух USB портов, расположенных на задней панели ПК. Эти порты в основном параллельны друг другу. Каждый порт является 4-контактным гнездом с двумя контактами, зарезервированными для питания, и двумя для передачи информации. Кабели



Рисунок 10.1
Топология шины USB

от внешних хабов или от USB устройств вставляются в порты главного хаба. Можно использовать один или оба порта. Если производится только одно подключение, то не имеет значения, какой из этих портов используется. Если внешнее устройство или хаб имеют съемный кабель, то для подключения используется кабель типа «А в В». Штекер А подключается к задней панели ПК (главный хаб), а штекер В подключается к устройству или внешнему хабу. Если внешний хаб или устройство имеют встроенный кабель, то штекер А вставляется в порт главного хаба. Гнездо главного хаба имеет ключ (направляющие), поэтому штекер вставляется только определенным образом. Штекеры В не подходят к гнездам А и наоборот.

Для USB систем очень важна длина кабеля. Все кабели, даже если они идут от хабов-повторителей, должны считаться общей длиной кабеля.

10.2.2 Главные хабы

ИС контроллера главного хаба обычно устанавливаются на материнской плате внутри ПК (хотя хаб может быть на PCI-плате). Главный контроллер производит преобразование параллельной шины в последовательную и наоборот, оно происходит при передаче информации между PCI шиной и USB разъемом. Для увеличения эффективности USB систем иногда используется дополнительная обработка сигнала. Сочетание главного контроллера и разъема называется корневым хабом или главным хабом. Функцией главного хаба является передача информации от PCI шины к линиям данным (+D и -D) USB гнезда и обратно. Главный контроллер может управлять скоростью, с которой работает USB шина. Он также подает на USB устройство через линии питания USB кабеля (+5 В и землю). Внешним USB устройством может быть другой USB хаб или USB устройство типа принтера.

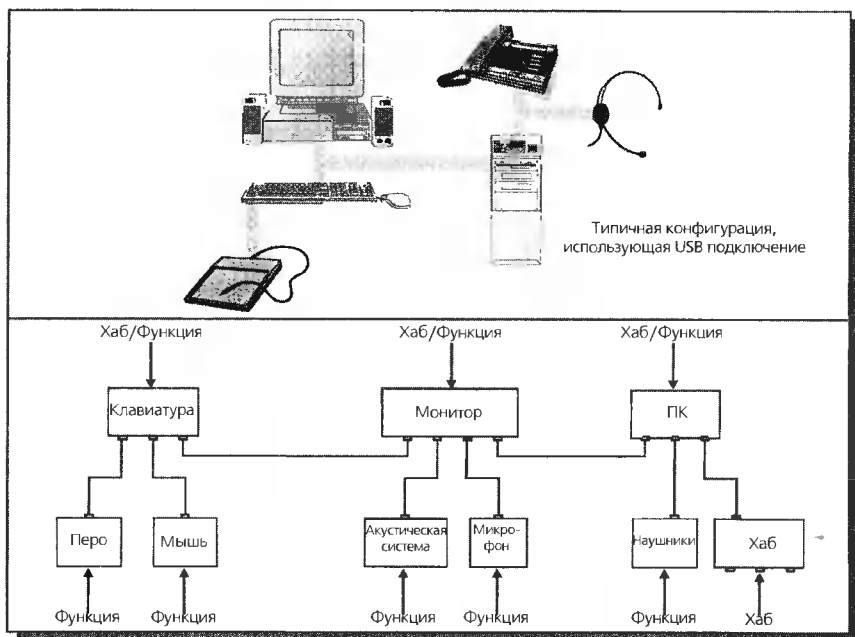


Рисунок 10.2
Блок-схема главного хаба

Корневой хаб осуществляет полный контроль над USB портами. Этот контроль включает следующие функции:

- Инициализация и конфигурация
- Включение и отключение портов
- Определение скорости устройств
- Обнаружение подключения устройства
- Получение информации от прикладного программного обеспечения
- Создание пакета и затем фрейма
- Передача информации на шину
- Ожидание и подтверждение отклика
- Коррекция ошибок
- Обнаружение отключения устройства
- Использование порта в качестве повторителя

10.2.3 Разъемы

(тип А и В)

Существуют два типа разъемов — тип А и тип В. Причина того, что имеются два типа разъемов, заключается в том, что одни устройства имеют встроенные кабели, а другие съемные. Если бы кабели были одинаковыми, то было возможным соединение порта главного хаба с другим портом хаба.

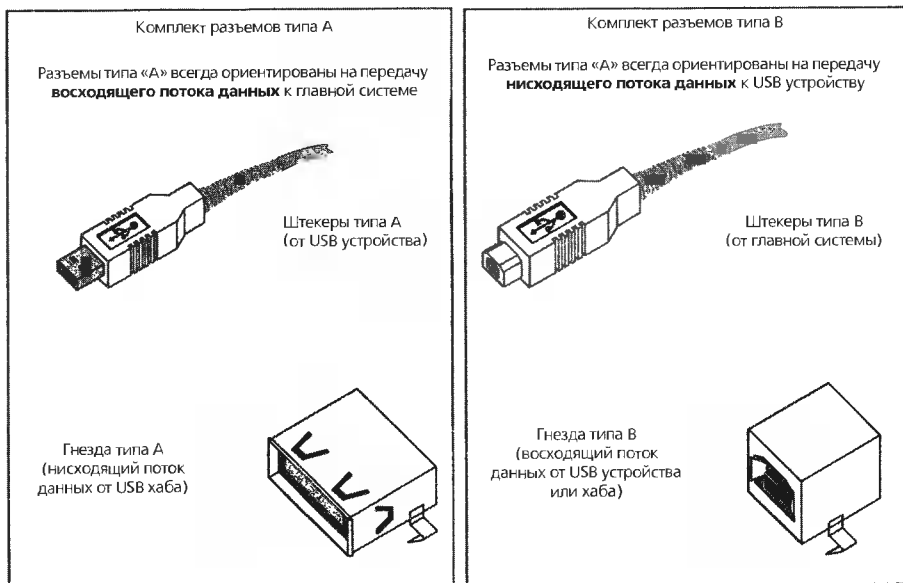


Рисунок 10.3
USB разъемы

Из-за полярности разъемов +5 вольт могли бы замкнуться на землю. Чтобы этого не произошло, порты хаба используют разъемы типа А, а входные порты устройства используют разъемы типа В. Это означает, что невозможно соединить один порт хаба с другим портом хаба. На внешнем хабе вход будет иметь разъем типа В, если только кабель хаба не фиксирован (нет разъема).

10.2.4 Кабели для низкой и высокой скоростей передачи данных

USB стандарт утверждает, что интерфейс USB будет работать либо со скоростью 1,5 Мбит/с (низкая скорость), либо со скоростью 12 Мбит/с (высокая скорость). Интерфейс USB должен иметь кабели как для низкой, так и для высокой скорости. Это обусловлено различием импедансов, зависящих от скорости передачи данных. Медленндействующий интерфейс использует неэкранированные кабели из невитых пар проводов. Пара проводов для передачи данных соответствует стандарту 28 AWG (диаметр провода — 0,3–0,35 мм), а провода для передачи питания соответствуют стандарту 20–28 AWG (диаметр провода — 0,35–0,8 мм). Кабели, поддерживающие низкую скорость, используются для таких устройств, как клавиатуры и мыши. Максимальная длина такого кабеля может достигать 3 м. Быстродействующий интерфейс использует экранированные витые пары. Пара проводов для передачи данных соответствует стандарту 28 AWG (диаметр провода — 0,3–0,35 мм), а провода для передачи питания соответствуют

стандарту 20–28 AWG (диаметр провода — 0,35–0,8 мм). Максимальная задержка при распространении сигнала должна быть не более 30 нс. Максимальное расстояние для скоростного USB составляет 5 м.

10.2.5 Внешние хабы

Внешние хабы используются для увеличения количества устройств, подключаемых к системе. Обычно они имеют четыре выходных USB порта и либо один входной разъем типа B, либо специализированный кабель. Этот кабель снабжен штекером типа A. Он обычно подключается к главному хабу, но может также подключаться к выходному гнезду (типа A) другого внешнего хаба. Даже если внешний хаб является повторителем, он не может превышать общую максимальную длину системы. Это определяется требованиями синхронизации USB стандарта.

Внешний хаб является интеллектуальным устройством, которое может управлять коммуникационными линиями и подавать питание на свои USB порты. Он является двунаправленным повторителем для информации, поступающей от главного хаба и от USB устройств. Внешний хаб передает информацию к главному хабу и по отношению к нему действует как внешнее USB устройство. Он играет составную часть в конфигурации устройств при включении системы. На количество хабов нет никаких ограничений.

10.2.6 USB устройства

USB система поддерживает любые периферийные устройства, которые можно подключить к ПК. Она также была приспособлена к такому оборудованию, которое обычно не считается периферийным. К нему относятся такие устройства сбора данных, как цифровые модули ввода/вывода, а также модули ввода и вывода аналогового сигнала. Все USB устройства должны быть интеллектуальными. Они, очевидно, стоят больше, чем старые неинтеллектуальные интерфейсы RS-232 и RS-485. Но за большие деньги пользователь получает больше функций, удобство использования и возможность подключения к ПК большего количества устройств. При использовании старых не-USB систем компьютер был ограничен несколькими устройствами. USB система позволяет одновременно подключить к ПК до 127 устройств. Имеются два типа USB устройств — медленнодействующие и быстродействующие.

Медленнодействующие устройства

Медленнодействующие устройства не только имеют ограниченную скорость, но они обладают и меньшими возможностями. К ним относятся клавиатуры, мыши и цифровые джойстики. Поскольку эти устройства выдают небольшое количество информации, то они опрашиваются реже и работают медленнее других устройств. Если к USB шине получает доступ быстродействующее устройство, то коммуникация с медленнодействующими устройствами прекращается. Отключение портов медленнодействующих устройств

или внешних хабов отключает медленнодействующие устройства. Хабы вновь подключают медленнодействующие порты только после получения специального заглавного пакета.

Быстродействующие устройства

Быстродействующие устройства, такие, как принтеры, CD-ROM приводы и акустические системы, требуют шины со скоростью 12 Мбит/с, чтобы передавать большее количество информации, требуемой этими устройствами. Все быстродействующие устройства видят весь трафик шины. Они никогда не отключаются в отличие от медленнодействующих устройств. Когда устройство типа микрофона «подключено» к акустическим системам, большинство трафика и, следовательно, пакетов будет использоваться аудиосистемой. Другому трафику, например от клавиатуры и мыши, придется подождать. Драйвер контроллера главного хаба решает, какое устройство должно ждать и как долго.

10.2.7 Аппаратное обеспечение и драйвер контроллера главного хаба

Всеми транзакциями управляют аппаратное обеспечение и драйвер контроллера главного хаба. Аппаратное обеспечение контроллера главного хаба обеспечивает физическое соединение PCI шины с USB разъемом. Оно включает и инициализирует главные порты, а также определяет скорость и направление передачи данных обоих главных портов. Главный контроллер в сочетании с программным драйвером главного хаба определяет содержимое фрейма, приоритеты устройств, а также количество передаваемых фреймов.

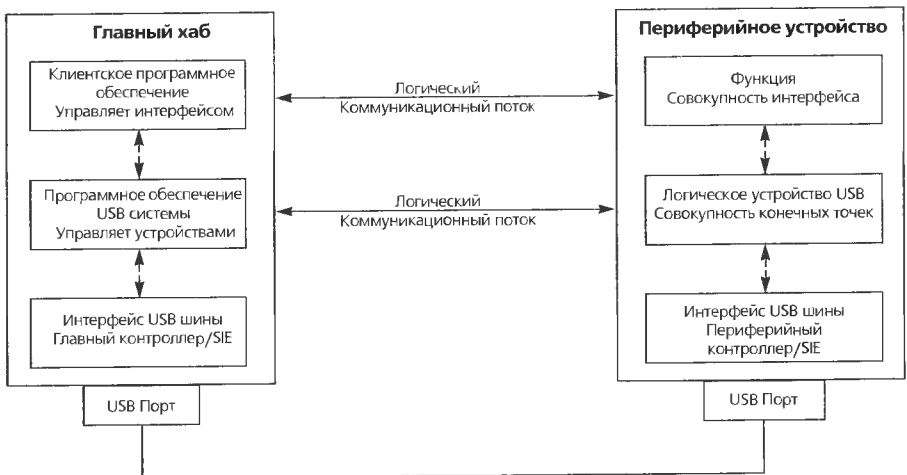


Рисунок 10.4
Схема контроллера главного хаба

10.2.8 USB драйвер

Программный драйвер USB управляет интерфейсом между USB устройствами, драйверами устройств и драйвером главного хаба. Когда он получает запрос от драйвера устройства в ПК на доступ к некоторому устройству, то он организует запрос вместе с запросами других устройств от прикладной программы ПК. Он работает с драйвером контроллера главного хаба, чтобы назначить приоритеты пакетам, прежде чем они будут загружены во фрейм. Программный USB драйвер получает информацию от USB устройств во время конфигурации устройства. Он использует эту информацию, чтобы сообщить контроллеру главного хаба, как осуществлять коммуникации с этим устройством.

10.2.9 Драйверы устройств

Для каждого USB устройства в ПК должен быть загружен соответствующий драйвер. Драйвер устройства является программным интерфейсом между внешним USB устройством и прикладной программой, программным драйвером USB и драйвером контроллера главного хаба. Он имеет информацию о нуждах конкретного устройства и других драйверах. Эта информация используется для определения типа, скорости (хотя портами хаба эта информация может быть определена физически), приоритета, функции устройства, а также размера пакета, необходимого для передачи данных.

10.2.10 Поток данных

Как было упомянуто выше, USB система является полудуплексной, синхронной коммуникационной шиной, имеет структуру главное/подчиненное устройство и предназначена для подключения периферийных устройств к внешним хабам. Это означает, что периферийные устройства не могут инициировать передачу информации по USB шине. Главный хаб имеет полный контроль над транзакциями. Он инициирует все коммуникации с хабом и устройствами. USB работает в синхронном режиме, поскольку все фреймы передаются в пределах временного интервала, равного 1 мс. Драйвер главного хаба в совокупности с программным USB драйвером определяет размер пакета и количество времени, которое каждое устройство получает в одном фрейме.

Если прикладная программа хочет передать или принять некоторую информацию от устройства, то она инициализирует передачу с помощью драйвера устройства. Драйвер устройства поставляется либо производителем устройства, либо он поступает вместе с операционной системой. Программный USB драйвер производит запрос и помещает его в то место памяти, где находятся запросы от драйверов других устройств. Работая вместе, USB драйвер, драйвер главного хаба и контроллер главного хаба произво-

дят запрос и помещают данные и пакеты от драйверов-устройств в фреймы продолжительностью 1 мс. Затем главный контроллер передает данные последовательно к портам главного хаба. Поскольку все устройства подключены к USB шине параллельно, то информацию слышат все устройства (за исключением медленнодействующих устройств, если только это не медленная передача информации. Медленнодействующие устройства выключаются, когда они не опрашиваются). Затем главный хаб ждет отклика (если необходимо). USB устройство реагирует определенным пакетом информации. Если устройство не видит никакой активности шины в течение 3 мс, то оно переходит в режим ожидания.



Рисунок 10.5
Пример USB пакета

Имеются четыре типа IN пакетов (входящие пакеты, получение информации от устройства) и три типа OUT пакетов (выходящие пакеты, передача информации к устройству). Некоторые устройства типа мышей и клавиатур требуют опроса (IN пакеты), но не слишком частого. Программный USB драйвер знает об этих устройствах и составляет расписание их регулярного опроса. В отклик включены три уровня коррекции ошибок. Такой тип передачи информации очень надежен. Эти периферийные устройства обычно являются медленнодействующими устройствами и, следовательно, нуждаются в особых медленных пакетах. Эти пакеты называются заголовочными пакетами. Заголовочный пакет передается перед каждым опросом. Медленнодействующие устройства отключаются до тех пор, пока они не примут этот заголовочный пакет. Как только они будут включены, они обнаружат опрос и отреагируют. USB не имеет возможности для организации многочисленных ответов от устройств.

С другой стороны, имеются устройства, которые нуждаются в постоянном внимании, но постоянный опрос для них невозможен. К таким устройствам относятся микрофоны (IN пакеты), акустические системы (OUT пакеты) и CD-ROM приводы (оба типа пакетов — IN и OUT). Для этих устройств скорость передачи очень важна, и очевидно, что они будут использовать максимальную скорость. Они будут также использовать большую часть фрейма (до 90%). Принимающие устройства НЕ дают отклика на передачу данных. Такая передача данных является односторонней или «симплексной». Это означает, что коррекция ошибок для таких типов передачи информации отключается.

10.3 Физический уровень

Физический уровень универсальной последовательной шины основан на дифференциальной коммуникационной системе ± 3 В постоянного тока. Это некоторым образом очень напоминает стандарт напряжений интерфейса RS-485. К сожалению, диапазон USB меньше диапазона интерфейса RS-485. И это не из-за используемого типа проводов и не из-за стандарта напряжения самого интерфейса USB — все вызвано требованиями синхронизации протокола USB. Чтобы удовлетворить всем требованиям периферии к шине USB, необходимо соблюдать очень жесткие требования к синхронизации. Физический стандарт USB предоставляет пользователю много преимуществ. Это скорость 12 МГц. Это очень помехоустойчивый и очень надежный интерфейс (пока пользователь следует правилам использования кабелей). При использовании стандартных кабелей и разъемов пользователю очень трудно что-либо испортить в USB системе.

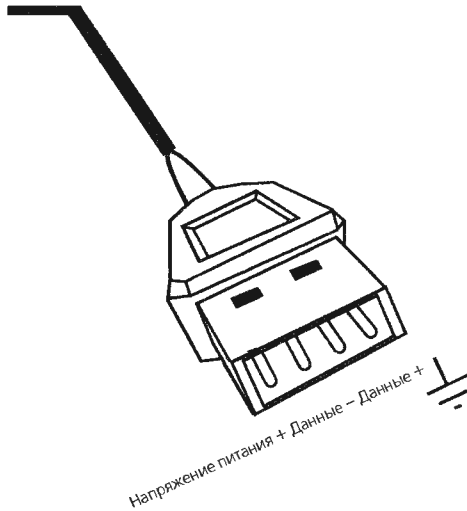


Рисунок 10.6
Контакты USB разъема

Существует история, что однажды Билл Гейтс наблюдал, как монтажники принесли ему новый компьютер. Когда он увидел все провода, выходящие с задней панели компьютера, он позвонил генеральному директору Intel и сказал: «Мы должны избавиться от этой путаницы кабелей и разъемов». И, как говорят, остальное является делом истории.

10.3.1 Разъемы

Штекеры и гнезда USB шины имеют два провода для передачи данных и два провода для питания. Использование устройств с питанием от шины не обязательно. Контакты на штекере имеют разную длину. Контакты питания

имеют длину 7,41 мм, а информационные контакты — 6,41 мм. Это означает, что если кабель вставляется во включенное устройство, то питание на устройство будет подано до подключения информационных линий. Более важным является то, что при отключении кабеля первыми отключаются коммуникационные линии и только потом — питание. Это уменьшает возможность порчи оборудования противодействующей ЭДС. Существуют два типа USB разъемов: тип А и тип В.

Разъем типа А является несколько скругленным прямоугольным разъемом с направляющими, который используется в главных портах, внешних хабах и устройствах. Разъем типа В с направляющими является полукруглым и несколько меньшим, чем разъем типа А. Необходимо отметить, что разъемы и типа А, и типа В имеют на верхней части символ USB. Он предназначен для ориентации разъема.

Все хабы и устройства имеют гнездовые разъемы, а кабели имеют штекер типа А на одном конце и тип В на другом конце. Это вызвано тем, что если бы на обоих концах кабеля был разъем типа А, то было бы возможным соединение двух гнезд главного хаба или гнезд внешнего хаба. Несъемные кабели устройств или внешний хаб имеют на одном конце только разъем типа А.

10.3.2 Кабели

Кабели для USB шины бывают предназначены либо для низкой, либо для высокой скорости передачи сигналов. И те, и другие кабели имеют разъемы типа А, но только быстродействующие устройства могут использовать разъемы типа В. Таким образом, съемные кабели всегда предназначены для высокой скорости.

Вследствие того, что импеданс кабеля определяется отчасти скоростью передачи сигнала, то для разных скоростей необходимы разные кабели. Внешние хабы всегда являются быстродействующими блоками, но они будут работать как с медленными, так и с быстрыми кабелями. Медленнодействующие устройства типа клавиатур будут подключаться только к другим медленнодействующим устройствам с помощью медленных кабелей. Порты на хабах могут автоматически определять скорость устройства, подключенного к другому концу. Если линия D+ имеет высокий потенциал (от +3,0 В до +3,6 В постоянного напряжения), то устройство считается быстродействующим. Если линия D- имеет высокий потенциал, то устройство считается медленнодействующим.

Медленный интерфейс (1,5 Мбит/с) использует неэкранированные кабели данных из невитых проводов. Коммуникационная пара проводов соответствует стандарту 28 AWG (диаметр провода — 0,3–0,35 мм), но из-за того, что провода невитые и неэкранированные, общий диаметр медленного кабеля меньше, чем диаметр быстрого кабеля. Максимальное расстояние для медленного кабеля составляет 3 метра. Сюда входит все расстояние от

порта главного хаба до внешнего хаба, а также от внешнего хаба до устройства. Обычно для систем передачи данных более медленная скорость передачи данных означает более длинное расстояние. В данном случае кабель не защищен от наводок, и из-за ограничений, накладываемых Федеральной комиссией по связи США на коммуникации со скоростями от 1 до 16 Мбит/с, его длина строго ограничена.

Быстродействующие кабели (12 Мбит/с) используют экранированную витую пару проводов, соответствующих стандарту 28 AWG. Максимальная длина таких кабелей составляет 5 м. И опять в эту длину входит полная длина кабеля от хаба до хаба и от хаба до устройства. Внутренний экран соединен с корпусом на обоих концах кабеля. Обычно для систем передачи данных земля соединяется только на одном конце, но поскольку расстояние небольшое, то в данном случае это проблем не вызовет.

ПРИМЕЧАНИЕ: Прежде чем производить подключение, рекомендуется измерить разницу земляных потенциалов обоих устройств.

Пара проводов питания как медленных, так и быстрых кабелей соответствует стандарту 20–28 AWG (диаметр провода — 0,35–0,8 мм). К внешним устройствам по этим проводам может быть подано питание при напряжении +5 В постоянного напряжения и токе от 100 до 500 мА. Каждый порт хаба предоставляет это питание для устройств, если только его обеспечивает сам хаб. Все хабы могут определить, подано ли на разъем питание. Если внешний хаб сам питается от шины, то он поделит ток 500 мА между портами и обеспечит каждому порту ток 100 мА.

10.3.3 Передача сигналов

Если к хабу подключается какое-либо устройство, то порт хаба сразу же определяет скорость устройства. Порт проверяет напряжение на линиях D– и D+. Если линия D+ имеет положительный потенциал, то порт знает, что устройство является быстродействующим. Если линия D– становится положительной, то устройство является медленнодействующим. Если же напряжения и линии D+, и линии D– падают ниже 0,8 В постоянного напряжения более чем на 2,5 мкс, то хаб считает, что устройство отключено. А если напряжение на любом конце линии поднимется выше 2 В постоянного тока более чем на 2,5 мкс, то порт считает это условие подключением устройства.

Состояния паузы для медленных и быстрых устройств противоположны друг другу. Для медленнодействующего устройства состояние паузы характеризуется тем, что линия D+ имеет потенциал 0 вольт, а линия D– имеет положительный потенциал. Для быстродействующего устройства состояние паузы характеризуется тем, что линия D+ имеет положительный потенциал, а линия D– имеет нулевой потенциал. В большинстве случаев передачи данных положительное напряжение указывает на нулевое (0) со-

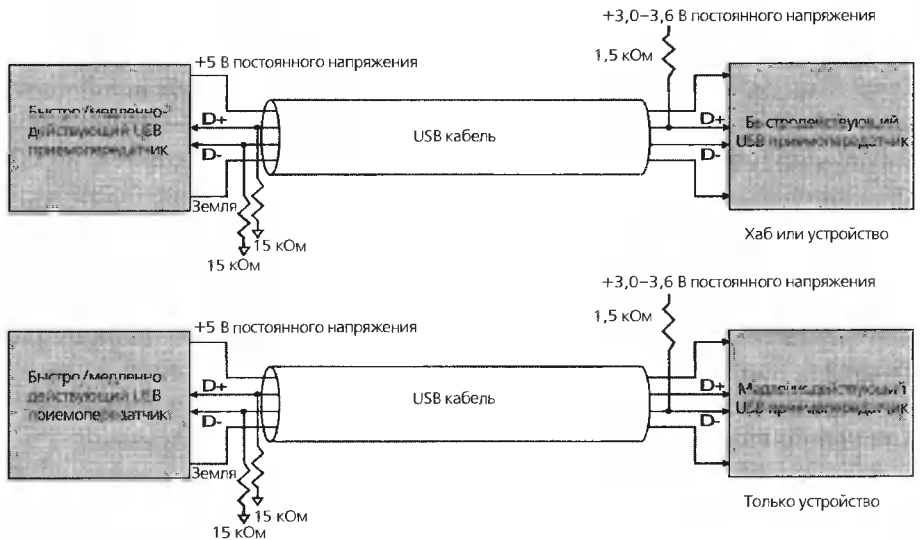


Рисунок 10.7

Схема подключения проводов шины USB

стояние, а отрицательное — на единицу (1). Для USB системы это неприменимо, поскольку она использует систему кодирования NRZI (без возвращения к нулю и с инверсией).

Напряжения, используемые для дифференциальной передачи сигнала, являются следующими:

- Максимальное передаваемое напряжение — +3,6 В (постоянное)
- Минимальное передаваемое напряжение — +2,8 В (постоянное)
- Минимальное напряжение, необходимое для распознавания перехода — $+/-2$ В (постоянное)
- Типичное напряжение линии, получаемое приемником, — $+/-3$ В (постоянное)

10.3.4 Система NRZI и битовое заполнение

USB использует систему кодирования без возвращения к нулю и с инверсией (NRZI). В NRZI системе «1» определяется как «отсутствие изменений» или «перепада» напряжения, а «0» является изменением или перепадом напряжения. Строка нулей приводит к потоку данных типа тактовой частоты. Система передачи сигнала USB шины использует переход от одного напряжения к другому для синхронизации приемников. Поток единиц, следовательно, не будет означать никаких изменений. Это приведет к тому, что приемник потеряет синхронизацию. Чтобы преодолеть эту проблему, USB использует технологию заполняющих битов (от 6 до 7). Если шесть или больше единиц должны быть переданы подряд, то передатчик вставляет ну-

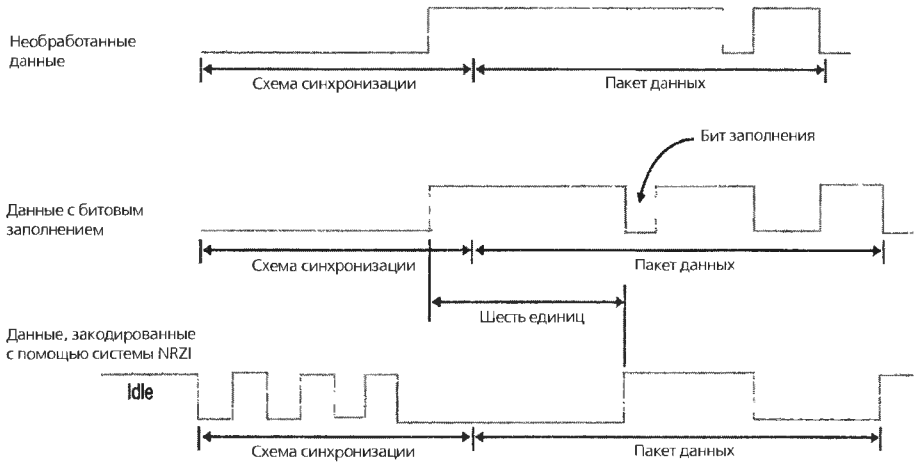


Рисунок 10.8
Пример NRZI кодирования

ли (перепад). Если приемник видит шесть единиц подряд, то он знает, что следующий перепад (нуль) необходимо проигнорировать.

10.3.5 Распределение питания

Такие устройства, как клавиатуры и мыши, для своей работы требуют питания. Необходимое питание обеспечивается USB системой через кабели и хабы. Внешние хабы могут иметь либо свое питание, либо питаться от шины. Напряжение, выдаваемое USB хабом, составляет +5 В постоянного тока. Хабы должны обеспечивать не менее 100 мА и не более 500 мА потребляемого тока для каждого порта. Если внешний хаб с четырьмя портами питается от шины, то он будет делить ток 500 мА между всеми портами. Четыре порта по 100 мА составляют 400 мА. Это оставляет 100 мА на работу самого хаба. Нельзя подключить два хаба, питаемых от шины, вместе, если только устройства, подключенные к последнему хабу, не имеют самостоятельного питания. Если внешний хаб имеет самостоятельное питание, то есть питается от сети, он должен обеспечивать ток 500 мА для каждого порта.

10.4 Уровень передачи данных

Уровень канала передачи данных в соответствии со спецификацией USB определяет USB как полудуплексную синхронную коммуникационную шинную систему, работающую по принципу главное/подчиненное устройство. Этот канал предназначен для соединения близко расположенных периферийных и внешних шин. Аппаратные и программные устройства, такие, как драйвер и электроника контроллера главного хаба, программный

USB драйвер и драйверы устройств, — все вносят вклад в уровень канала передачи данных USB.

Совместная работа этих устройств обеспечивает следующее:

- Сбор данных с PCI шины с помощью драйвера устройства
- Обработку информации
- Контроль, определение и выполнение различных типов передачи данных
- Вычисление и проверку на наличие ошибки в пакетах и фреймах
- Помещение различных пакетов в 1 мс фрейм
- Обнаружение начала разделителей фреймов
- Передачу пакетов на физический уровень
- Прием пакетов с физического уровня

Таблица 10.1

Блок-схема уровня канала передачи данных USB

Номер контакта	Название сигнала	Цвет провода
1	Напряжение питания	Красный
2	- Данные	Белый
3	+ Данные	Зеленый
4	Земля	Черный

10.4.1 Типы передачи данных

При рассмотрении уровня канала передачи данных USB удобно начать с четырех различных типов передачи данных. Большой спектр устройств, имеющих интерфейс USB, требует различных типов передачи данных. К ним относятся:

- Передача с использованием прерываний
- Изохронная передача
- Управляющая передача
- Поточковая передача

Как говорилось выше, данные в USB системах могут передаваться на двух скоростях. Главным образом уровень канала передачи данных для этих режимов одинаков, за исключением небольших отличий. Причина этого станет очевидной в следующих разделах.

Передача с использованием прерываний

Тип передачи данных с использованием прерываний применяется для таких устройств, которые традиционно используют линии IRQ. Устройства типа клавиатуры, мыши и платы СДА используют линии IRQ для сообщения компьютеру, что их необходимо обслужить. Шина USB не поддерживает устройства, которые выдают запросы в компьютер. Чтобы преодолеть эту проблему, драйвер USB инициирует опрос тех устройств, которые требуют

периодического внимания. Этот опрос должен производиться достаточно часто, чтобы данные не потерялись, но и не слишком часто, чтобы зря не занимать линию. При установке устройство определяет свои минимальные требования по опросу. Устройства, которые требуют опросов, редко опрашиваются с каждым фреймом. Клавиатура является типичным устройством, опрашиваемым с каждым 100-м фреймом.

Изохронная передача

Изохронная передача используется в тех случаях, когда на устройства или от него передается информация с постоянной скоростью. К таким устройствам относятся микрофоны и акустические системы. Передача информации может производиться асинхронно, синхронно или еще каким-либо образом, в зависимости от используемого устройства. Это постоянное внимание требует, чтобы большая часть фрейма была передана в пользование одного или двух устройств. Если одновременно производится слишком большое количество данных, то они могут потеряться. Этот тип передачи не критичен к качеству данных. Коррекция ошибок или потеря данных игнорируется. Медленнодействующие устройства не могут использовать изохронный тип передачи из-за небольшого количества передаваемых данных. Используя медленнодействующие устройства, невозможно передавать данные достаточно быстро. При изохронной передаче максимальное количество данных, которое может быть помещено в один пакет, составляет 1023 байта. Ограничений по количеству передаваемых пакетов нет.

Управляющая передача

Управляющая передача используется для передачи специальных запросов и информации к специфическим устройствам. Этот метод используется главным образом во время циклов конфигурации и инициализации. Такие передачи являются критическими по отношению к данным и требуют отклика или подтверждения от устройства. Для управляющего типа передачи данных производится полная коррекция ошибок. Так или иначе все устройства используют этот тип передачи. Эти передачи используют очень небольшую часть канала, но поскольку устройство должно выдавать ответ главному хэбу, то фреймы посвящены этой одной передаче данных.

Потоковая передача

Потоковая передача используется для передачи больших блоков данных к устройствам, которые не зависят от времени, но для которых важны сами данные. Типичным устройством, использующим потоковую передачу, являются пишущий CD привод и принтер. Эти устройства требуют большого количества информации, но для них нет ограничения по времени передачи, как, например, для акустической системы. Если данные поступают на такие устройства в первые 10 мс или в следующие, разницы нет. Но это должны быть корректные данные, поэтому такой тип передачи данных включает квитирование и полную коррекцию ошибок.

10.4.2 Пакеты и фреймы

USB протокол может и часто действительно использует многопакетный многофреймовый формат. USB фрейм состоит из трех частей. Один фрейм эквивалентен одной транзакции.

Пакеты бывают следующих типов:

- Пакет-признак
- Пакет данных
- Пакет квитирования

Каждый фрейм начинается с пакета-признака. Пакет-признак включает другие меньшие пакеты: схему синхронизации, идентификатор типа пакета и тип пакета-признака.

Существуют четыре типа пакета-признака — начало фрейма, входные пакеты, выходные пакеты и пакеты настройки. Начало фрейма/пакета-признака указывает начало всего пакета. Он сообщает приемнику, что это начало 1 мс фрейма. Входные пакеты являются пакетами, которые будут передавать данные от устройств к ПК. Выходные пакеты являются пакетами, которые будут передавать данные от ПК к устройству. Настроечные пакеты используются для запроса устройств или хабов о начале информации и содержат информацию для устройств или хабов.

Специальный пакет используется только для медленных передач. Он называется заголовочным пакетом. Этот пакет короче пакета, который используется при скоростной передаче данных. Он содержит только 64 байта данных и всегда использует квитирование. Этот пакет имеет три разновидности: входной пакет, выходной пакет и настроечный пакет.

В конце всех пакетов, за исключением использования изохронных фреймов, имеется пакет для коррекции ошибок. При быстрой скорости передачи информации применяется 16-разрядный контроль с помощью циклического избыточного кода (CRC). Медленнодействующие устройства используют 5-разрядный CRC, поскольку их пакеты невелики. Если устройство или хаб видит конец фрейма, то оно проверяет CRC. Если CRC корректен, то устройство считает это концом сообщения. Если CRC некорректен и предел ожидания не был достигнут, то устройство продолжает ожидать. Если же CRC некорректен, а предел ожидания был достигнут, то приемник считает, что фрейм некорректен.

10.5 Уровень приложения (уровень пользователя)

Уровень приложения можно разделить на два подуровня — операционная система (например, WIN 2000) и прикладная программа устройства (например, программа для работы модема). Уровень приложения стандарта USB, по сути, является уровнем пользователя. Это потому, что USB стандарт фактически не определяет настоящий уровень приложения. Что он определяет, так это уровень пользователя, который может быть использован

(программистом прикладного обеспечения) для создания прикладного уровня.

Пользовательский уровень операционной системы включает:

- Команды
- Программные драйверы
- Конфигурацию хаба
- Распределение пропускной способности

Программа для устройства должна включать:

- Команды
- Драйверы устройства
- Конфигурацию устройства

Специфическую информацию о пользовательском уровне можно найти в спецификациях на универсальную последовательную шину, представленную на веб-странице форума разработчиков USB устройств <http://www.usb.org>.

10.6 Заключение

Разработанная как интерфейс для подключения периферии ПК, универсальная последовательная шина может быть приспособлена для систем сбора данных. Теперь, когда промышленность США разрабатывает все более и более интеллектуальные системы управления и сбора данных, USB шина легко приспособляется к современным США. Устройства могут быть как медленно-, так и быстродействующими, но они быстро и удобно подключаются к ПК. В продаже существует множество устройств, количество которых в будущем может только расти. Особенно заинтересованными в этом являются инженерные работники, поскольку им не придется тратить много времени и сил на создание и запуск систем сбора данных. При наличии в USB устройствах функции plug and paly пользователь больше не должен тратить часы или даже дни на конфигурацию системы сбора данных, хотя экономленное время часто проявляется в дополнительной стоимости устройств.

Как было сообщено группой учредителей, состоящей из компаний Compaq, Hewlett-Packard, Intel, Lucent, Microsoft, NEC и Philips, предельной скоростью шины USB 2.0 является 480 Мбит/с. Сообщение о максимальной скорости совпадает с предварительным выпуском для разработчиков спецификации USB 2.0.

10.6.1 Благодарность

Приведенные выше разделы содержат информацию из следующих источников информации.

Спецификация универсальной последовательной шины — веб-страница форума разработчиков USB устройств

<http://www.usb.org>

Архитектура универсальной последовательной шины — Дон Андерсон (Don Anderson) из MindShare, Inc:

<http://www.amazon.com>

Спецификации USB продуктов Intel 8×930 и 8×931 на периферийные USB контроллеры:

<http://www.intel.com/design/usb/prodbref/29776501.htm>

Другие использованные веб-сайты:

<http://www.lucent.com/micro/suite/usb.html>

<http://www-us.semiconductors.philips.com/usb/>

Специальные технологии

11.1 Замкнутые и разомкнутые контуры управления

По определению, система управления и сбора данных необходима не только для получения информации от устройства или процесса, но она необходима и для активного воздействия на них. В промышленном окружении методы и технологии, используемые для выполнения необходимых действий в любой данный момент времени, часто чрезвычайно важны. Грубые или неточные управляющие действия могут неблагоприятно повлиять на работу системы и в действительности могут быть оценены очень дорого. Одним из часто используемых методов управления системой или процессом, в которой текущее состояние системы возвращается к контроллеру (то есть ПК), является замкнутый контур управления. Этот метод и использование пропорционального интегрально-дифференциального [ПИД-] регулирования для его реализации обсуждаются в следующем разделе.

11.1.1 Определения

Управляющие системы классифицируются как разомкнутые и замкнутые системы регулирования. Это различие зависит от способа управления, ответственного за активизацию системы и выдачу ею необходимого выходного сигнала. Разомкнутые системы управления характеризуются тем, что в них управляющее действие не зависит от выходного сигнала. Этот тип систем управления не имеет обратной связи с процессом, определяемой результатами управляющего действия.

Разомкнутые системы управления характеризуются двумя особенностями:

- Способность точного действия систем определяется их внутренней точностью и калибровкой. Калибровка – это перепроверка связи входного и выходного сигнала, позволяющая получить необходимую точность системы
- В этих системах обычно не возникает вопроса об их устойчивости

Замкнутая система управления является такой системой, в которой управляющее действие зависит от выходного сигнала. В управляющих систе-

мах такого типа постоянно действует обратная связь между процессом и управляемым действием.

Наиболее важными особенностями замкнутых систем управления являются:

- Повышенная точность
- Уменьшенная зависимость входного и выходного сигналов (характеристика передачи) от внутренних изменений системы
- Уменьшенное влияние нелинейности
- Увеличенная ширина полосы
- Тенденция к колебаниям и неустойчивости

11.1.2 Замкнутая система контроля уровня жидкости

Рассмотрим простую замкнутую систему контроля, показанную на рисунке 11.1, в которой жидкость, находящаяся в емкости, используется в технологическом процессе. Этот процесс требует, чтобы уровень жидкости в емкости оставался на одном уровне.

Требуемый уровень жидкости называется опорным уровнем, или уставкой и является входной величиной $\{s(t)\}$ системы. В зависимости от требований к уровню жидкости опорный уровень может изменяться со временем. Реальный уровень жидкости является выходным сигналом этой системы $\{l(t)\}$, и он изменяется со временем в зависимости от расхода воды из емкости.

Входным сигналом контроллера является разница $\{e(t)\}$ между требуемым уровнем $\{s(t)\}$ и реальным выходным уровнем $\{l(t)\}$.

Выходной сигнал контроллера $\{m(t)\}$ управляет механизмом клапана и обеспечивает большую или меньшую подачу воды в емкость в зависимости от текущего уровня воды в емкости.

Если уровень воды в емкости ниже заданного уровня, то значение разницы является положительным. Положительный сигнал подается на клапан, чтобы открыть его и увеличить поток воды в емкость. И наоборот, если уровень жидкости в емкости больше заданного, то величина разности стано-

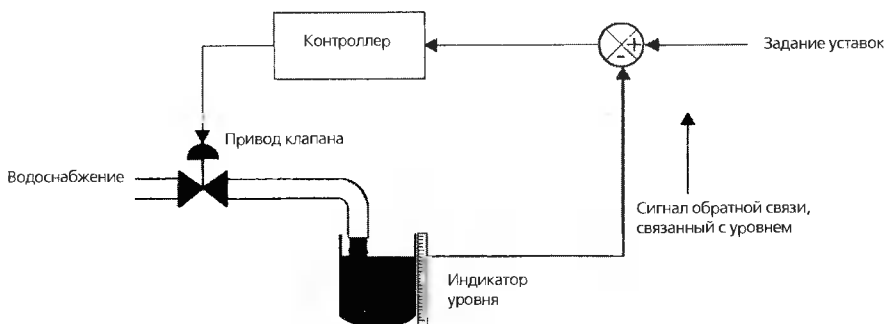


Рисунок 11.1

Замкнутая система контроля уровня жидкости

вится отрицательной. Отрицательный сигнал, подаваемый на клапан, закрывает его и ограничивает поток жидкости в емкость.

Система, в которой выходной сигнал вычитается из опорного, называется системой с отрицательной обратной связью.

11.1.3 Пропорциональный интегрально-дифференциальный алгоритм управления

Описанная выше замкнутая система управления процессом может быть представлена блок-схемой, показанной на рисунке 11.2.

Одним из эффективных методов вычисления выходного сигнала контроллера $m(t)$ для данного управляемого процесса является ПИД (пропорциональный интегрально-дифференциальный алгоритм), определяемый суммой четырех членов. Он описывается двумя следующими уравнениями – для непрерывных процессов реального времени и для дискретных временных процессов:

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} + \text{Смещение},$$

где:

$m(t)$ – выходной сигнал

K_p – константа пропорционального усиления (1/сек.)

K_i – константа интегрального усиления (1/сек.)

K_d – константа дифференциального усиления (сек.)

$e(t) = (SP - PV)$ [уставка – переменная величина процесса]

«Смещение» – константа, определяемая эмпирическим путем

$$m(i) = K_p e(i) + T \times K_i \sum_{k=0}^{i-1} e(k) + K_d + \frac{[e(i) - e(i-1)]}{T} \times \text{Смещение},$$

где:

$m(i)$ – выходной сигнал во время i -й выборки ($=i \cdot T$)

K_p – константа пропорционального усиления (1/сек.)

K_i – константа интегрального усиления (1/сек.)

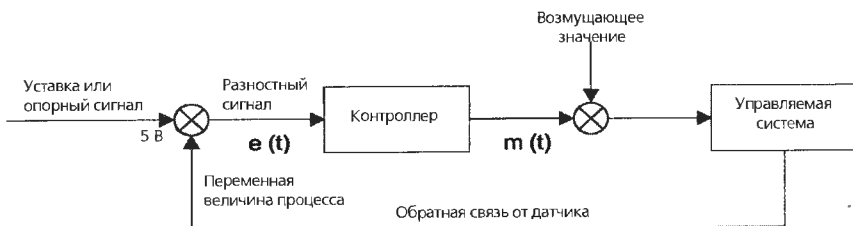


Рисунок 11.2
Блок-схема замкнутой системы управления

K_d – константа дифференциального усиления (сек.)

T – период выборки

i – количество выборок

$e(i)$ – ошибка для i -й выборки

$e(i - 1)$ – ошибка предыдущей выборки

«Смещение» – прямая связь или константа смещения

$e(i)$ – точка уставки (i) – переменная процесса (i) (измеряемая для i -й выборки)

Первый член (пропорциональный) этих уравнений обратно пропорционален текущей ошибке процесса. Значение пропорциональной константы (K_p) определяет жесткость реакции системы на разницу между уставкой и фактической переменной процесса.

Простое пропорциональное управление не может учитывать изменения нагрузки управляемого процесса. Он управляется интегральным членом ПИД уравнения, который суммирует постоянно действующую ошибку (m) системы и добавляет корректирующее значение к выходу контроллера, пропорциональное интегральной константе (K_i).

Скорость изменения ошибки процесса компенсируется дифференциальным членом. Это приводит к более быстрому отклику процесса. Дифференциальный член приводит к более жесткому отклику управления, когда член ошибки имеет противоположный знак и демпфирует эффект, если член ошибки имеет такой же знак.

Это можно описать по-другому. Если значение ошибки становится больше, то дифференциальный член будет добавлять положительную поправку к выходу; при этом величина поправки пропорциональна скорости, с которой увеличивается значение ошибки. И наоборот, если ошибка уменьшается, то дифференциальный член становится отрицательным. Если скорость, с которой дифференциальный член уменьшается, слишком велика, то выход контроллера будет уменьшен, что обеспечивает демпфирование выходного сигнала.

Член смещения просто является значением выходного сигнала контроллера, который необходим для заданного необходимого сигнала выхода в точке уставки.

11.1.4 Переходная характеристика — реакция на ступеньку

Отклик замкнутой системы на ступенчатое изменение входного опорного сигнала называется реакцией системы на скачок. Это показано на рисунке 11.3. Реакция системы на скачок позволяет оценить переходную характеристику системы, в частности скорость отклика и относительную устойчивость.

Перерегулирование – это максимальное отклонение переходной характеристики от стационарного уровня управляемой системы. Перерегулирование является мерой устойчивости системы.

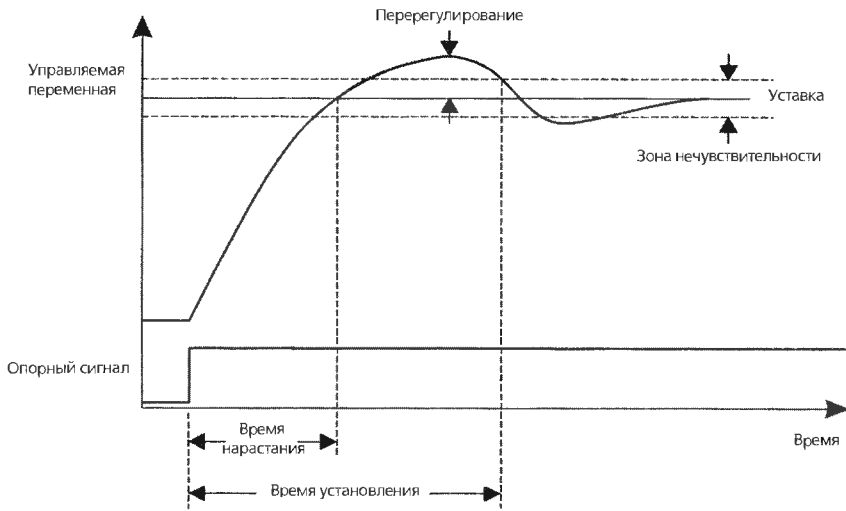


Рисунок 11.3
Отклик замкнутой системы на ступенчатое воздействие

Время нарастания определяется как время, необходимое выходному параметру увеличиться от 10 до 90% стационарного значения при ступенчатом воздействии на входе системы.

Время установления определяется как время, необходимое отклику системы на ступенчатое воздействие, чтобы достигнуть и оставаться в заданном процентном интервале его конечного значения (значение устойчивого состояния).

Значения времени нарастания и времени установления указывают на скорость отклика управляющей системы.

Величина коэффициентов K_p , K_i и K_d влияет на характеристику ступенчатого отклика. Это показано на рисунке 11.4.



Рисунок 11.4
Влияние демпфирования на отклик замкнутой системы на ступенчатое воздействие

11.1.5 Зона нечувствительности

Естественную тенденцию замкнутых систем колебаться относительно требуемого выходного значения можно видеть из реакции на ступенчатое воздействие. Помимо этого, имеется много реальных управляющих систем, в которых практически невозможно устранить ошибку регулирования полностью.

Такие системы имеют зону нечувствительности при переходе через нуль. Эта настраиваемая зона нечувствительности позволяет пользователю выбрать диапазон ошибки выше или ниже уставки, в которой выход системы изменяться не будет.

Зона нечувствительности полезна в обеспечении того, чтобы выход не колебался даже в случае наличия в системе небольшой ошибки.

11.1.6 Ограничение выходного уровня

Одно из свойств, которым обладают многие контроллеры, – это ограничение выхода, которое программа использует для ограничения уровня выходного сигнала ПИД от превышения некоторой величины.

В терминах алгоритма ПИД управления интегральный член исключается из дальнейших вычислений до тех пор, пока выход не возвратится к значению в пределах реального рабочего диапазона.

11.1.7 Ручное управление — плавная передача

Если система управления обеспечивает ручное управление выходным сигналом, то возврат к автоматическому управлению может привести к скачку на выходе контроллера и в последующем к скачку на выходе системы. Плавная передача позволяет системе переходить из ручного режима в автоматический режим (в котором выход определяется ПИД регулированием) без скачков выхода вниз или вверх. Это достигается тем, что управляющая программа определяет необходимый интегральный член ПИД уравнения автоматического режима, так что на выходе контроллера не возникает никаких скачков. Система просто медленно возвращается к заданному уровню, поддерживаемому автоматическим управлением.

11.2 Регистрация быстропротекающих переходных процессов

По самой природе переходные сигналы являются скоротечными. В частотном диапазоне импульс переходного сигнала содержит множество высокочастотных компонентов, причем чем уже импульс, тем шире полоса частот, которыми представляется импульс. Теоретически бесконечный импульс представляется всеми частотами спектра. Интуитивно очевидно, что чем уже импульс, тем выше скорость, с которой он должен оцифровываться, чтобы быть точно представленным. В следующих разделах приводятся спе-

специальные требования к аппаратуре сбора данных, необходимой для регистрации быстрых переходных сигналов, а также использование специальных способов записи.

11.2.1 Работа аналого-цифровой платы и требования к памяти

Рассмотрим систему с частотой дискретизации 10 МГц (т.е. период выборки составляет 100 нс), производящую 10 миллионов выборок в секунду. Помимо скоростных ограничений, которые могут помешать сохранению таких данных в памяти компьютера, очевидно, возникает вопрос о количестве сохраняемых данных, особенно если регистрируется переходный импульс длительностью всего 5 мкс.

Таким образом, для регистрации переходных сигналов используются быстродействующие системы сбора данных, состоящие из АЦП, данные с которого записываются в кольцевой буфер быстрой цифровой памяти, где значения выборок последовательно сохраняются. Кольцевой буфер используется вот по какой причине: сколько бы времени ни пришлось ожидать запускающего события, система непрерывно преобразует входной сигнал. Если запускающее событие так и не произойдет, то аналого-цифровая система будет бесконечно продолжать сохранять данные в буфере, непрерывно заменяя старые данные новыми.

Когда произойдет запускающее событие, информация кольцевого буфера может быть сохранена, запоминая, таким образом, последние «n» секунд для последующего отображения, анализа или длительного сохранения в памяти компьютера. Необходимое количество памяти определяется скоростью самого быстрого переходного процесса, который предполагается записывать (определяет скорость выборки), и количеством выборок до и после запускающего события, которые необходимо сохранить.

11.2.2 Режимы запуска (пред- и послезапуск)

Осциллографы старого типа позволяли наблюдать только переходный сигнал, происходящий после запускающего события (то есть послезапуск). В быстродействующих аналого-цифровых системах, в которых данные собираются непрерывно и сохраняются в кольцевом буфере, возможны регистрация и просмотр сигнала до запускающего события. Это называется предзапуском.

В зависимости от используемого оборудования возможны следующие способы запуска:

- **Послезапуск** — получение N выборок, следующих после запуска
- **Предзапуск** — получение данных в кольцевой буфер, оканчивающихся после запуска
- **Пред/послезапуск** — получение данных в буфер и N дополнительных выборок, следующих после запуска
- **Задержанный режим запуска** — получение N выборок спустя некоторое время после запуска

11.2.3 Источник и уровень сигнала запуска

Быстродействующие платы запуска выборки обеспечивают срабатывание от разных источников и программирование уровней запуска.

Режим запуска от аналогового сигнала

Начало сбора данных реализуется путем аналогового запуска по отдельному каналу платы или от внешнего источника аналогового сигнала.

Пороговый уровень или крутизна, по которым запускающее устройство начинает сбор данных, обычно программируются. ЦАПы высокого разрешения генерируют программным образом пороговое напряжение, которое затем сравнивается с аналоговым напряжением, поступающим на запускающий вход. Когда эти два уровня напряжения станут равными и знак наклона сигнала соответствует заданному, начинается сбор данных.

Если возможности запускающего устройства выше или ниже заданных параметров, то рассматриваются только аналоговый вход запускающего устройства и его уровень по отношению к запрограммированному порогу. Наклон запускающего сигнала игнорируется.

Режим цифрового запуска

Процесс сбора данных запускается от внешнего входа цифрового запуска, совместимого с TTL уровнями и программируемого на срабатывание как по положительному, так и по отрицательному фронту импульса. Для обеспечения режима цифрового запуска некоторые платы срабатывают только от импульса минимальной длительности — *имейте это в виду!*

Режим программного запуска

Процесс сбора данных начинается программным образом.

Режим запуска по нескольким условиям

Некоторые платы поддерживают различные режимы запуска, позволяя начинать сбор информации по комбинации запускающих условий. Сбор данных не будет начинаться до тех пор, например, пока на обоих запускающих входах сигнал не достигнет запрограммированного уровня.

Логические анализаторы и цифровые запоминающие осциллографы, которые допускают режимы запуска по нескольким событиям, нескольким уровням, или последовательные режимы запуска являются примерами оборудования, которое требует более сложных режимов запуска.

PCMCIA карты

Введение

Стандарт PCMCIA (PCMCIA означает Международная ассоциация производителей плат памяти для персональных компьютеров IBM PC) был разработан для обеспечения единообразия многих различных типов карт памяти, чтобы они подходили к интерфейсам всего ассортимента компьютеров. В 1995 году это название сменилось на простое – PC Card. PC Card может считаться стандартной сменной платой, которая используется для реализации различных типов устройств, включая флэш-память, аналого-цифровые преобразователи, интерфейс GPIB, цифровые устройства ввода/вывода, сетевые карты и модемы. Специальные драйверы для этих карт поставляются самими производителями PC Card. Все настройки, включая базовый адрес, IRQ и ПДП, если они имеются, осуществляются пользователем при установке программы. Для обеспечения постоянного доступа пользователя к карте используются резидентные программы (TSR). PC Card состоит из миниатюрной электронной схемы, заключенной в небольшую плоскую металлическую коробочку, имеющую на одном конце разъем. Разъем представляет стандартное гнездо из 68 двойных линий, которые подходят к адаптеру PC Card, имеющемуся на компьютере. Другой конец PC Card может иметь (а может и не иметь) второй разъем – это зависит от типа устройства.

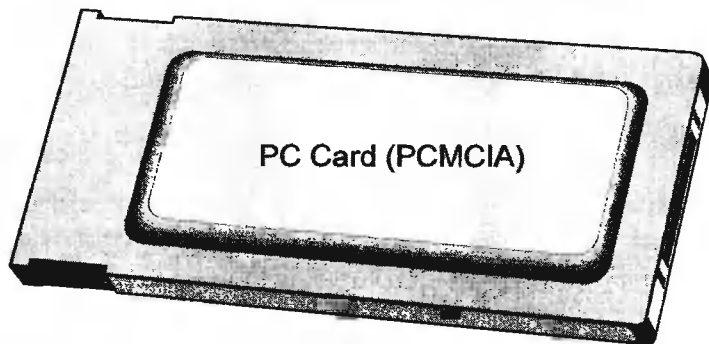


Рисунок 12.1
PCMCIA карта

12.1 История

В 1988 году представителями производителей карт и ИС памяти была образована Международная ассоциация производителей плат памяти для персональных компьютеров IBM PC. В Японии Ассоциация разработчиков электронной промышленности (JEIDA) работала над стандартом карт памяти с 1985 года. В 1989 году ассоциация PCMCIA приняла 68-контактное гнездо, представленное JEIDA. С тех пор JEIDA и PCMCIA работают в тесном сотрудничестве над совместимостью их стандартов. К 1990 году была выпущена версия 1.0 стандарта на PC Card. Этот стандарт определял карты памяти и гнездо виртуальных приводов (кардридеров). Идея заключалась в том, что карта памяти должна была со временем заменить дискету. Изначально спецификации были разработаны для компьютера IBM PC, но вскоре и другие типы компьютеров, такие, как Mac компании Apple, были вовлечены в разработку стандарта.

С выпуском версии 2.0 в ноябре 1992 года стандарт PCMCIA стал поддерживать возможность подключения таких устройств ввода/вывода, как модемы, жесткие диски и платы сбора данных. Приблизительно в это время ассоциация поняла, что для полной совместимости они должны включить в стандарт и программное обеспечение. Это программное обеспечение включало обслуживание карты и гнезда, необходимое для обеспечения интерфейса между картой и компьютером. В 1995 году Ассоциация карт памяти для персональных компьютеров решила, что акроним PCMCIA вносил большую путаницу, поэтому она предложила с этого момента PCMCIA карты называть PC Card. В связи с этим ассоциация выпустила новый стандарт (без номера версии). Этот новый стандарт называется Стандартом на PC Card. Ниже приводится список дат релизов стандартов на аппаратное и программное обеспечение.

Ноябрь 1990	Версия 1.0, карта памяти типа 1
Август 1991	Версия 1.0, программа обслуживания гнезда (Socket Service)
Сентябрь 1991	Версия 1.01, добавление типов I, II и III
Декабрь 1991	Версия 1.0 (проект), программа обслуживания карты (Card Service)
Ноябрь 1992	Версия 2.0, устройства ввода/вывода
Июль 1993	Версия 2.1, функция plug and play
1995	Переименование PCMCIA в PC Card (ПДП)
1996	Интерфейс CARDBUS (32 разряда)

Как и для большинства промышленных стандартов, часто трудно сказать, кто первым начал выпускать PC Card. Список производителей достаточно длинен, но можно сказать точно, что Intel имела не последнюю роль, поскольку они первыми начали проталкивать наборы ИС для памяти, что-

бы стимулировать производителей PC Card. Вскоре такие компании, как Cirrus и Vadem, подхватили «брошенный им мяч» и занялись этим. Необходимо также упомянуть, что отдел снабжения правительства США потребовал, чтобы все их компьютеры были снабжены интерфейсами для подключения PC Card, что помогло обеспечить будущее PC Card.

12.2 Возможности PC Card

12.2.1 Размеры и универсальность

С самого начала основными особенностями PC Card были их небольшие размеры и портативность. PC Card являются весьма небольшими, и их можно легко положить в карман рубашки. Неудивительно, что первыми адаптеры шины PCMCIA карты начали использовать в качестве стандартного компонента производители портативных компьютеров. PC Card можно использовать фактически с любым компьютером Mac или PC. Это устройство подключается к 16-разрядной шине одного из двух разъемов ноутбука или полноразмерного офисного компьютера. Кардридер может быть установлен на компьютере сразу либо позже в порядке модернизации. Кардридер настольного компьютера имеет кабель с краевым разъемом, который подключается к разъемам шины материнской платы. Эти кардридеры можно купить у третьесторонних производителей оборудования. Обычно кардридеры обеспечивают подключение двух карт типа I, двух карт типа II или одной карты типа III.

12.2.2 16-разрядные карты

Все PC Card, включая старые карты типа PCMCIA, являются 16-разрядными. Они имеют двадцать шесть адресных линий, которые обеспечивают обращение к 64 мегабайтам адресного пространства. CARDBUS является 32-разрядным устройством, которое может обращаться к 4,2 миллиарда адресов, что позволит (когда они станут достаточно дешевыми) поддерживать 4-гигабайтные карты памяти типа III.

12.2.3 Прямой доступ к памяти (ПДП)

Функция ПДП включена в стандарт PC Card, но ее не поддерживают версии 1, 2 и 2.1 PCMCIA карт. Она также включена в CARDBUS часть стандарта. ПДП является очень полезным инструментом передачи информации от устройства сбора данных, например карт аналого-цифровых преобразователей. Устройства СДА нуждаются в ПДП для передачи информации, получаемой при дискретизации сигналов со скоростями выше 40 кГц. PCMCIA карты версии 2.1 и более ранних версий могут переносить информацию, используя только механизм опроса или метод прерываний.

12.2.4 Многофункциональность и прозрачность по отношению к компьютеру

Одним из важных достоинств PC Card является то, что в одну карту могут быть встроены несколько различных приборов. Производители выпускают комбинированные PC Card, которые включают сотовый модем со скоростью 28,8 кбод, факс и Ethernet. В будущем вполне возможно, что на основе PC Card будут производиться любые приборы, вставляемые в компьютер. Многофункциональность PC Card позволяет на одной карте размещать файлы разных форматов, например файлы операционных систем DOS и Unix. После установки PC Card и загрузки необходимого программного обеспечения карта становится полностью прозрачной для системы.

ПК реагирует на PC Card, как если бы к его шине была подключена стандартная карта. Это позволяет устранить для пользователя все проблемы с работой карты. Для доступа можно использовать как «родное» программное обеспечение, так и программы третьих сторон, которые обеспечивают доступ к карте, словно это обычная стандартная сменная плата. Простой доступ позволяет устранить необходимость в покупке нового программного обеспечения для PC Card.

12.2.5 Низкое напряжение

Новые технологии промышленности ПК имеют дело с развитием низковольтных микропроцессоров. Новые PC Card работают от 5,0 и от 3,3 вольта и от того, что специалисты по PC Card называют «х.х» вольт. Эти «х.х» вольт помещены в стандарте с учетом будущих достижений производителей ИС для компьютеров. Шинные адаптеры (то есть компьютерные адаптеры) используют три разных типа напряжения: только 5 вольт, только 3,3 вольта и сочетание 5 и 3,3 вольта. Комбинированный адаптер может сам определить напряжение, необходимое карте, и автоматически настроить питание, подаваемое на PC Card. Эта комбинация напряжений относится к функции plug and play.

12.2.6 Функция plug and play

Функция plug and play заключается в способности автоматического опознавания компьютером PC Card. Эта функция определяет, вставлена ли карта, тип карты и конфигурацию программного обеспечения, необходимого для работы карты. Программа позволяет разъему PC Card подстроить напряжение под уровень, необходимый карте. Истинная функция plug and play имеет возможность загружать и запускать встроенные, автоматически исполняемые пакетные файлы путем просмотра конфигурации программ, сохраненных на PC Card. Для полной реализации функции plug and play ПК, BIOS и PC Card должно соответствовать одинаковому стандарту на PC Card. Проблема заключается в том, что PC Card, ПК и программные пакеты производятся разными компаниями и заставить их добровольно следовать стандарту чрезвычайно трудно.

12.2.7 Выполнение на месте

Выполнение на месте означает, то любая PC Card, например флэш-карта, может запускать программу с карты, а не путем загрузки программы из памяти. Дискета может это делать, но, поскольку для нее время доступа велико, программа выполняется медленно. Флэш-карты имеют небольшое время доступа, и, следовательно, по времени почти все равно, находится ли программа в основной памяти или на флэш-карте. Автоматическое выполнение программ при установке PC Card в компьютер имеет свои собственные проблемы, которые не рассматриваются в данной книге.

12.2.8 Проблемы

Негативной стороной PC Card являются две проблемы. Первая заключается в том, что розничные продавцы сталкиваются с воровством карт, поскольку они слишком маленькие. Если вы хотите купить PC Card, то вам обычно придется просить продавца открыть ящик, в котором они хранятся. Другой проблемой является то, что внешний разъем очень мал. Это означает, что его можно легко сломать, даже приложив очень небольшое усилие. Лучше всего использовать PC Card в портативном ПК и устанавливать ПК в док-станцию или временный разъем, чтобы не трогать саму карту. Кабели, подключаемые к PC Card, должны располагаться таким образом, чтобы они не запутывались.

12.3 Устройства на основе PC Card

В самом начале PC Card были просто картами памяти, но вскоре стало очевидно, что этот новый формат очень хорошо подходит для любых других устройств. Производители обнаружили, что одна карта может обеспечивать выполнение нескольких функций. Ниже приводится короткий список производимых устройств. На одной PC Card могут быть разные комбинации этих устройств.

12.3.1 Карты памяти

Карты памяти включают флэш-память, ОЗУ и ПЗУ. Флэш-память используется для записи на нее данных, увеличения памяти устройства и переноса программ в такие устройства, как регистраторы данных. Карты ОЗУ используются в качестве виртуальных приводов дискет, а карты ПЗУ используются как карты с фиксированными программами.

12.3.2 Приводы дисков

Существуют два типа привода дисков для PC Card. Один является полностью электронным. Для сохранения информации такая карта использует ОЗУ. Другой использует измененную версию механического вращающегося магнитного диска. Оба типа жестких дисков имеют свои достоинства и недостатки. Привод на основе ОЗУ быстрее и не имеет движущихся частей,

но на данный момент он очень дорог. Механический привод недорог и в настоящее время вмещает большие объемы информации, но он медленен (время поиска — 12 мс) и склонен к поломкам из-за наличия движущихся элементов. В конце концов цена на карты памяти упадет, и механические жесткие диски так же отойдут, как и перфокарты.

12.3.3 Пейджеры

Карты пейджеров на портативных ПК используются в офисах и на фабриках и позволяют пользователям принимать и передавать сообщения либо в контроле офиса, либо по всему миру. Эта функция может быть дополнена другими функциями, что увеличит гибкость личных и деловых коммуникаций.

12.3.4 Локальные сети

Рынок локальных сетей является одним из быстрорастущих электронных рынков. PC Card, включающие сетевые устройства Ethernet или Token Ring, очень популярны. Самые новые PC Card поддерживают беспроводные локальные сети и могут подключаться к сети на расстояниях до 300 – 500 метров без повторителя. Такие PC Card используются в качестве модемов, факсов и адаптеров локальной сети, и все это на одной карте! На PC Card могут быть адаптеры таких локальных сетей, как 10 BASE 2, 10 BASE T, 100 BASE T, Token Ring и беспроводной сети Ethernet.

12.3.5 Модемы

В формате PC Card на рынке присутствуют три типа модемов: 14,4 кбит/с, 28,8 кбит/с и ISDN. Модель со скоростью 14,4 кбит/с является самой дешевой, и многие докажут, что этого достаточно для текущих коммуникаций. Однако более дальновидные и имеющие локальный веб-сервер понимают, что 28,8 кбит/с им подходит лучше. ISDN технология развивается с каждым днем и скоро будет присутствовать во всех областях. ISDN обеспечивает значительный прирост скорости при передаче информации по стандартным телефонным линиям. Большинство PC Card, имеющих в настоящее время, поддерживают функцию факса. Некоторые карты можно также подключать к сотовому телефону. Кабель для подключения карты к сотовому телефону следует заказывать после покупки модема у производителя PC Card, поскольку имеется огромное количество типов мобильных телефонов. Главными параметрами, на которые следует обращать внимание при покупке PC Card, являются скорость, страна использования и надежность кабельного соединения.

12.3.6 Сотовый телефон

Телефоны на PC Card разрабатывают производители сотовых телефонов. Он обеспечивает пользователю повсеместную мобильную связь в любой части света. Эта карта может включать функции модема, факса, голосовой почты и голосовых коммуникаций.

12.3.7 Платы сбора данных

Рынок устройств сбора данных за последние несколько лет сильно увеличился. Многие производители перешли от производства стандартных сменных плат на PC Card. С приходом стандарта на PC Card теперь стало возможным купить многофункциональную плату сбора информации, которая полностью заменяет стандартную сменную плату. Стоимость таких карт постоянно падает, и теперь часто бывает даже дешевле купить PC Card, чем полноразмерную плату. Почти все СДА платы теперь имеются в формате PC Card. PC Card СДА включают аналого-цифровые преобразователи, цифровые вход и выход, счетчики/таймеры, цифроаналоговые преобразователи и системы GPIB 488.

12.3.8 Цифровой мультиметр

Некоторые производители выпускают на PC Card специализированные устройства. Одним из таких устройств является цифровой мультиметр. Вольтметр PC Card имеет на одном конце несъемные проводники, с помощью которых пользователь измеряет напряжение в электронном оборудовании. Программы под Windows выводят на экран графическое изображение вольтметра. Теперь вы можете превратить ваш ноутбук за \$5000 в 29-долларовый вольтметр!

12.3.9 Системы GPRS

За последнее время несколько производителей разработали глобальную систему позиционирования, которая работает на PC Card. Это устройство выдает вам за несколько секунд точное местонахождение и время, в какой точке света вы бы ни находились. Цена таких карт скоро сравняется с ценой на автономные приборы. Вот-вот будут выпускаться многофункциональные карты с факсом, обеспечивающим загрузку со спутника карт местности и голосовую почту.

12.3.10 Карманный органайзер

Карманные органайзеры с каждым днем становятся все более мощными. Пользователи требуют большей универсальности и удобства в их использовании. Это подтолкнуло производителей к включению разъема для PC Card на карманных органайзерах. Английский органайзер OMNIGO100 как раз является одним из продуктов, который имеет разъем для подключения PC Card. Этот разъем обеспечивает пользователю доступ ко многим функциям, которые отсутствовали в органайзере. По мере развития технологии PC Card это также обеспечит будущее удобство использования карманного органайзера.

12.3.11 Автономные устройства

Хотя PC Card были разработаны в качестве интерфейса ПК, их преимущества не остались незамеченными производителями других устройств. Некоторые устройства используют карты памяти уже давно. Производители регистраторов используют карты памяти в своих устройствах для увеличения объема памяти, загрузки программ и данных. Банки сейчас начинают использовать PC Card для замены кредитных и платежных карточек. JVC производит жидкокристаллический проектор, который также имеет разъем для подключения PC Card. Это позволит пользователю переносить только проектор и PC Card, содержащие графическую и текстовую информацию, необходимую для чтения лекции. Говорят, что со временем почти все электронные приборы будут совместимы с PC Card.

12.3.12 Полноразмерные компьютеры

В настоящий момент основными пользователями PC Card являются пользователи портативных компьютеров, но это скоро изменится. Правительство США уже требует, чтобы все ПК были снабжены интерфейсами PC Card. Кардридеры можно купить по цене привода дискеты. Эти интерфейсы имеют кабель, который вставляется в стандартный разъем внутри компьютера. Производители компьютеров, таких, как IBM (модель Optiva), включают кардридеры в качестве стандартного оборудования. Тенденция такова, что в полноразмерных компьютерах PC Card будут вытеснять дискету и, в конце концов, жесткий диск.

12.4 Конструкция

С точки зрения пользователя конструкция PC Card кажется очень простой, но поскольку она невелика, то производителю это дается нелегко. Все электронные компоненты расположены в плоскости, а не в объеме, как у устройства обычного типа. Печатная плата должна быть очень тонкой, а это приводит к проблемам при пайке электронных компонентов к плате. Для PC Card были разработаны специальные платы, выдерживающие высокие температуры. Обычные печатные платы являются либо слишком толстыми, либо слишком гибкими. Большое количество компонентов, которые необходимо установить на плате, также создает свои собственные проблемы, но производители постоянно ищут пути их решения.

12.4.1 Размеры и типы

Размер 85,5 мм × 54,0 мм

Тип I – толщина 3,3 мм

Тип II – толщина 5,0 мм

Тип III – толщина 10,5 мм

Тип I (удлиненный) – толщина 3,3 мм

Тип II (удлиненный) – толщина 5,0 мм

12.4.2 Удлиненные PC Card

Стандарт допускает удлинение PC Card типа I и типа II, чтобы они торчали из кардридера на любую длину, и производитель согласен с этим. Карты получаются большего размера, и на такие карты может поместиться больше электроники. Единственным ограничением на это является то, что часть карты, выступающая из кардридера, не должна быть толще 10 мм.

12.5 Аппаратное обеспечение

Все PC Card имеют 85,5 мм в длину и 54,0 мм в ширину. Электронные компоненты обычно заключены в металлическую коробочку, имеющую на одном конце 68-контактный разъем. Это гнездо вставляется в разъем (адаптер шины) на компьютере, имеющий штырьки разной длины. Земляной контакт и контакт питания (GND и VCC) имеют длину 2,5 мм. Это позволяет подавать питание на карту до подключения входов/выходов. Основные интерфейсные контакты имеют длину 2,1 мм, а штырьки, предназначенные для обнаружения карты, имеют длину всего 1,5 мм. Это позволяет полностью подать питание на память и схему ввода/вывода до того, как компьютер определит подключение карты. PC Card работают при окружающих температурах от -20°C до 60°C и при 95 % влажности. В соответствии со стандартом карты должны выдерживать до 10000 циклов подключений. Контакты разъема должны выдерживать ток до 0,5 А.

Стандарт также предполагает термические удары, разряды статического электричества, облучение рентгеновскими лучами, радиопомехи, вибрации, удары, изгиб и скручивание, а также падение. Сюда можно добавить только один тест – тест на отключение внешнего кабеля, например кабеля к телефонному разъему модема. Эти внешние кабельные подключения к карте, по-видимому, являются самыми слабыми местами PC Card. PC Card мо-

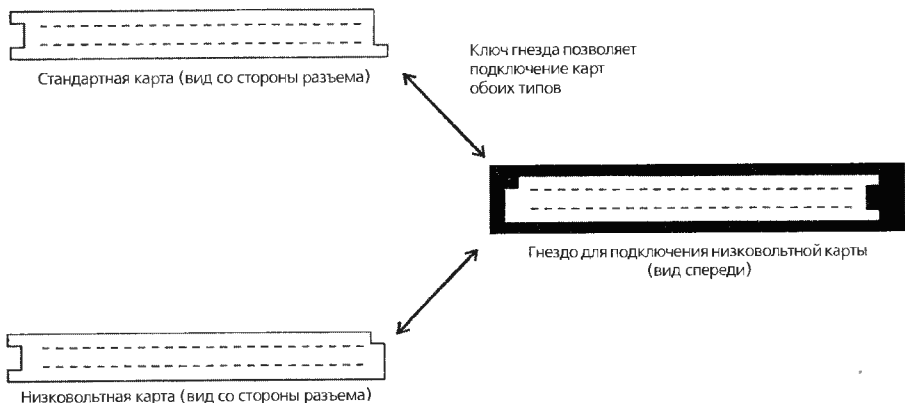


Рисунок 12.2

Схема ключей для стандартной и низковольтной карты

жет работать (в зависимости от типа карты) от 5 вольт, от 3,3 вольта или от какого-либо другого напряжения, которое может быть введено в будущем. Это означает, что имеются три типа карт, которые можно вставить в адаптер. Три различных типа ключей определены стандартом на PC Card: стандартная карта с питанием только от 5 вольт, низковольтная карта с питанием от 3,3 вольта или меньше и карта с двумя ключами, которая может работать от обоих напряжений.

12.5.1 Потребляемая энергия

Потребляемая энергия для PC Card и адаптеров шины может изменяться в широких пределах. Некоторые кардридеры потребляют питание, даже если карта не вставлена. Внешний жесткий диск на основе PC Card может использовать до 20% энергии батарей. Если это важно, то относительно мощности, потребляемой PC Card, можно проконсультироваться при ее покупке.

12.5.2 Назначение контактов

Для разных классификаций PC Card основные физические параметры отличаются незначительно. Существуют пять базовых типов PC Card:

- Карты, служащие только памятью (обычно тип I)
- Карты памяти и ввода/вывода (обычно тип II)
- Ввод/вывод с ПДП (обычно тип II)
- Интерфейс ATA (обычно тип III)
- Интерфейс AIMS (обычно тип III)

12.5.3 Карты, служащие только памятью

Пространство на PC Card памяти состоит из двух частей: память атрибутов и общая память. Память атрибутов – это та часть памяти, в которой хранится установочная информация. К ней относятся конфигурационные регистры и CIS (структура данных карты). Регистры конфигурации содержат такую информацию, как программный сброс, ширина шины, управление питанием, включением аудио и отложенные прерывания. CIS содержит информацию о синхронизации, адреса памяти, тип устройства, скорость устройства и размер общей памяти. Общая память – это рабочее адресное пространство, используемое для создания массивов памяти, которые хранят данные и/или программы. Контакты гнезда карты, являющейся только памятью, имеют следующее назначение.

12.5.4 Карты ввода/вывода

Интерфейс карт, предназначенных только для памяти, преобразуется в интерфейс ввода/вывода после того, как адаптер шины (HBA) обнаружит установку карты ввода/вывода. Контакты, использованные интерфейсом карт, предназначенных только для памяти, преобразуются в соответстwu-

Земля	→ 35	1	←	Земля
Плата обнаружена 1 (CD1) ¹	← 36	2	↔	3-й разряд данных ³
11-й разряд данных ³	↔ 37	3	↔	4-й разряд данных ³
12-й разряд данных ³	↔ 38	4	↔	5-й разряд данных ³
13-й разряд данных ³	↔ 39	5	↔	6-й разряд данных ³
14-й разряд данных ³	↔ 40	6	↔	7-й разряд данных ³
15-й разряд данных ³	↔ 41	7	←	Работа с платой разрешена 1 (CE 1) ⁴
Работа с платой разрешена 2 (CE 2) ⁴	→ 42	8	←	10-й разряд адреса ³
VS1 ² /Регенерация*	← 43	9	←	Разрешение выхода (OE) ⁴
Резерв	→ 44	10	←	11-й разряд адреса ³
Резерв	→ 45	11	←	9-й разряд адреса ³
17-й разряд адреса ³	→ 46	12	←	8-й разряд адреса ³
18-й разряд адреса ³	→ 47	13	←	13-й разряд адреса ³
19-й разряд адреса ³	→ 48	14	←	14-й разряд адреса ³
20-й разряд адреса ³	→ 49	15	←	Разрешение записи (WE) ⁴
21-й разряд адреса ³	→ 50	16	→	Готово (READY) ⁶
Напряжение питания (Vcc)	→ 51	17	←	Напряжение питания (Vcc)
Напряжение питания для программирования 2 (Vpp 2)	→ 52	18	←	Напряжение питания для программирования 1 (Vpp 1)
22-й разряд адреса ³	→ 53	19	←	16-й разряд адреса ³
23-й разряд адреса ³	→ 54	20	←	15-й разряд адреса ³
24-й разряд адреса ³	→ 55	21	←	12-й разряд адреса ³
25-й разряд адреса ³	→ 56	22	←	7-й разряд адреса ³
VS2 ² /Резерв*	← 57	23	←	6-й разряд адреса ³
Сброс платы в исходное состояние (RESET) ⁵	→ 58	24	←	5-й разряд адреса ³
Расширенный цикл шины (WAIT) ⁶	→ 59	25	←	4-й разряд адреса ³
Резерв	→ 60	26	←	3-й разряд адреса ³
Выбор регистра (REG) ⁴	→ 61	27	←	2-й разряд адреса ³
Напряжение аккумуляторной батареи обнаружено 2 (BVD2) ⁷	← 62	28	←	1-й разряд адреса ³
Напряжение аккумуляторной батареи обнаружено 1 (BVD1)	← 63	29	←	0-й разряд адреса ³
8-й разряд данных ³	← 64	30	←	0-й разряд данных ³
9-й разряд данных ³	← 65	31	←	1-й разряд данных ³
10-й разряд данных ³	← 66	32	↔	2-й разряд данных ³
Плата обнаружена 2 (CD2) ¹	← 67	33	→	Защита от записи (WP) ⁶
Земля	→ 68	34	←	Земля

1. Создается потенциал Vcc адаптером шины (R = 10 кОм)

2. Создается потенциал Vcc адаптером шины (R = 10 кОм – 100 кОм)

3. Создается низкий потенциал PC Card (R = 100 кОм)

4. Создается потенциал Vcc PC Card (R = 10 кОм)

5. Создается потенциал Vcc PC Card (R = 100 кОм)

6. Создается потенциал Vcc адаптером шины (R = 10 кОм)

7. Создается потенциал Vcc адаптером шины

Рисунок 12.3

Назначение контактов карт, предназначенных только для памяти

ющие контакты карты ввода/вывода. Устройства ввода/вывода включают модемы, карты сбора данных, а также PC Card для работы с локальными сетями. Ниже приводится перечень контактов, которые добавляются или назначение которых изменяется.

INPACK, контакт 60, добавлен

IORD, контакт 44, добавлен

IOWR, контакт 45, добавлен

IREQ, контакт 16, назначен вместо READY

IOIA 16, контакт 33, назначен вместо WP

SPKR, контакт 62, назначен вместо BVD2

STSCHG, контакт 63, назначен вместо BVD1

12.5.5 Карты ввода/вывода с ПДП

При добавлении ПДП адаптер шины изменяет назначение шести контактов. Эти контакты используются механизмом ПДП для передачи системе контроля на ПДП.

Контакты, назначение которых изменено:

Земля	→ 35	1	← Земля
Плата обнаружена 1 (CD1)	← 36	2	← 3-й разряд данных
11-й разряд данных	↔ 37	3	↔ 4-й разряд данных
12-й разряд данных	↔ 38	4	↔ 5-й разряд данных
13-й разряд данных	↔ 39	5	↔ 6-й разряд данных
14-й разряд данных	↔ 40	6	↔ 7-й разряд данных
15-й разряд данных	↔ 41	7	← Работа с платой разрешена 1 (CE 1)
Работа с платой разрешена 2 (CE 2)	→ 42	8	← 10-й разряд адреса
VS1	→ 43	9	← Разрешение выхода (OE)
Чтение из порта (IORD)	→ 44	10	← 11-й разряд адреса
Запись в порт (IOWD)	→ 45	11	← 9-й разряд адреса
17-й разряд адреса	→ 46	12	← 8-й разряд адреса
18-й разряд адреса	→ 47	13	← 13-й разряд адреса
19-й разряд адреса	→ 48	14	← 14-й разряд адреса
20-й разряд адреса	→ 49	15	← Разрешение записи (WE)
21-й разряд адреса	→ 50	16	← Запрос на прерывание (IRQ)
Напряжение питания (Vcc)	→ 51	17	← Напряжение питания (Vcc)
Напряжение питания для программирования 2 (Vpp 2)	→ 52	18	← Напряжение питания для программирования 1 (Vpp 1)
22-й разряд адреса	→ 53	19	← 16-й разряд адреса
23-й разряд адреса	→ 54	20	← 15-й разряд адреса
24-й разряд адреса	→ 55	21	← 12-й разряд адреса
25-й разряд адреса	→ 56	22	← 7-й разряд адреса
VS2	→ 57	23	← 6-й разряд адреса
Сброс платы в исходное состояние (RESET)	→ 58	24	← 5-й разряд адреса
Расширенный цикл шины (WAIT)	← 59	25	← 4-й разряд адреса
Подтверждение чтения (INPACK)	← 60	26	← 3-й разряд адреса
Выбор регистра (REG)	→ 61	27	← 2-й разряд адреса
Динамик (SPKR)	← 62	28	← 1-й разряд адреса
Изменение состояния (STSCNG)	← 63	29	← 0-й разряд адреса
8-й разряд данных	↔ 64	30	← 0-й разряд данных
9-й разряд данных	↔ 65	31	← 1-й разряд данных
10-й разряд данных	↔ 66	32	← 2-й разряд данных
Плата обнаружена 2 (CD2)	← 67	33	← Защита от записи (WP)
Земля	→ 68	34	← Земля

Рисунок 12.4. Назначение контактов карты ввода/вывода

DACK, контакт 61, назначен вместо **INPACK**

TC (WRITE), контакт 9, назначен вместо **OE**

TC (READ), контакт 15, назначен вместо **WE**. Может быть назначен любому из трех контактов

DREQ, контакт 60, назначен (возможно) вместо **INPACK**

DREQ, контакт 61, назначен (возможно) вместо **REG**

DREQ, контакт 33, назначен (возможно) вместо **IOIS16**

Изменения в назначении контактов интерфейса ПДП, показан ниже

Земля	→ 35	1	← Земля
Плата обнаружена 1 (CD1)	← 36	2	← 3-й разряд данных
11-й разряд данных	↔ 37	3	↔ 4-й разряд данных
12-й разряд данных	↔ 38	4	↔ 5-й разряд данных
13-й разряд данных	↔ 39	5	↔ 6-й разряд данных
14-й разряд данных	↔ 40	6	↔ 7-й разряд данных
15-й разряд данных	↔ 41	7	← Работа с платой разрешена 1 (CE 1)
Работа с платой разрешена 2 (CE 2)	→ 42	8	← 10-й разряд адреса
VS1/Регенерация	→ 43	9	← Разрешение выхода (OE) (TC)
Чтение из порта (IORD)	→ 44	10	← 11-й разряд адреса
Запись в порт (IOWD)	→ 45	11	← 9-й разряд адреса
17-й разряд адреса	→ 46	12	← 8-й разряд адреса
18-й разряд адреса	→ 47	13	← 13-й разряд адреса
19-й разряд адреса	→ 48	14	← 14-й разряд адреса
20-й разряд адреса	→ 49	15	← Разрешение записи (WE) (TC)
21-й разряд адреса	→ 50	16	← Запрос на прерывание (IRQ)
Напряжение питания (Vcc)	→ 51	17	← Напряжение питания (Vcc)
Напряжение питания для программирования 2 (Vpp 2)	→ 52	18	← Напряжение питания для программирования 1 (Vpp 1)
22-й разряд адреса	→ 53	19	← 16-й разряд адреса
23-й разряд адреса	→ 54	20	← 15-й разряд адреса
24-й разряд адреса	→ 55	21	← 12-й разряд адреса
25-й разряд адреса	→ 56	22	← 7-й разряд адреса
VS2/Резерв	← 57	23	← 6-й разряд адреса
Сброс платы в исходное состояние (RESET)	→ 58	24	← 5-й разряд адреса
Расширенный цикл шины (WAIT)	← 59	25	← 4-й разряд адреса
Принять запрос/Подтверждение чтения (DREQ/INPACK)	← 60	26	← 3-й разряд адреса
Данные приняты/Выбор регистра (DAC/REG)	→ 61	27	← 2-й разряд адреса
Принять запрос/Динамик (DREQ/SPKR)	← 62	28	← 1-й разряд адреса
Изменение состояния (STSCNG)	← 63	29	← 0-й разряд адреса
8-й разряд данных	↔ 64	30	← 0-й разряд данных
9-й разряд данных	↔ 65	31	← 1-й разряд данных
10-й разряд данных	↔ 66	32	← 2-й разряд данных
Плата обнаружена 2 (CD2)	← 67	33	← Принять запрос/16-разрядный ввод/вывод (DREQ/IOIS16)
Земля	→ 68	34	← Земля

Рисунок 12.5. Назначение контактов карты прямого доступа к памяти

12.5.6 Интерфейс ATA (АТ подключение)

АТА является интерфейсом, который используется для подключения жестких дисков и приводов дискеты к шине данных компьютера. Этот тип интерфейсных карт может быть только PC Card типа III.

Назначение контактов интерфейса АТА показано ниже:

Земля	→ 35	1	← Земля
Плата обнаружена 1 (CD1)	← 36	2	← 3-й разряд данных
11-й разряд данных	↔ 37	3	← 4-й разряд данных
12-й разряд данных	↔ 38	4	← 5-й разряд данных
13-й разряд данных	↔ 39	5	← 6-й разряд данных
14-й разряд данных	↔ 40	6	← 7-й разряд данных
15-й разряд данных	↔ 41	7	← Работа с платой разрешена 1 (CE 1)
Работа с платой разрешена 2 (CE 2)	↔ 42	8	← 10-й разряд адреса
VS1/Регенерация	← 43	9	← Разрешение выхода (OE)
Чтение из порта (IORD) ¹	← 44	10	← 11-й разряд адреса
Запись в порт (IOWD) ¹	→ 45	11	← 9-й разряд адреса
17-й разряд адреса	→ 46	12	← 8-й разряд адреса
18-й разряд адреса	→ 47	13	← 13-й разряд адреса
19-й разряд адреса	→ 48	14	← 14-й разряд адреса
20-й разряд адреса	→ 49	15	← Разрешение записи (WE)
21-й разряд адреса	→ 50	16	← Запрос на прерывание (IRQ)
Напряжение питания (Vcc)	→ 51	17	← Напряжение питания (Vcc)
Напряжение питания для программирования 2 (Vpp 2)	→ 52	18	← Напряжение питания для программирования 1 (Vpp 1)
22-й разряд адреса	→ 53	19	← 16-й разряд адреса
23-й разряд адреса	→ 54	20	← 15-й разряд адреса
24-й разряд адреса	→ 55	21	← 12-й разряд адреса
25-й разряд адреса	→ 56	22	← 7-й разряд адреса
VS2/Резерв	← 57	23	← 6-й разряд адреса
Сброс платы в исходное состояние (RESET)	← 58	24	← 5-й разряд адреса
Расширенный цикл шины (WAIT)	← 59	25	← 4-й разряд адреса
Подтверждение чтения (INPACK) ²	← 60	26	← 3-й разряд адреса
Выбор регистра (REG)	→ 61	27	← 2-й разряд адреса
Динамик (SPKR)	← 62	28	← 1-й разряд адреса
Изменение состояния (STSCHG)	← 63	29	← 0-й разряд адреса
8-й разряд данных	↔ 64	30	← 0-й разряд данных
9-й разряд данных	↔ 65	31	← 1-й разряд данных
10-й разряд данных	↔ 66	32	← 2-й разряд данных
Плата обнаружена 2 (CD2)	← 67	33	→ 16-разрядный ввод/вывод (IOIS16)
Земля	→ 68	34	← Земля

1. Создается потенциал Vcc адаптером шины ($R \geq 10 \text{ кОм}$)

2. Создается потенциал Vcc адаптером шины ($R \geq 10 \text{ кОм}$)

Рисунок 12.6

Назначение контактов интерфейса АТА

12.5.7 Интерфейс AIMS (массовая память с автоиндексацией)

Интерфейс AIMS поддерживает большие структуры данных, такие, как файлы мультимедиа с текстом и изображениями. Они также используются для хранения неподвижного изображения или фильмов с цифровых видеокамер. Карты AIMS требуют возможности передачи большого количества данных с помощью пакетного переноса. Для этого интерфейс AIMS требует 8-разрядной записи, чтобы загружать весь 32-разрядный адресный регистр.

На рисунке ниже показан минимальный набор сигналов, необходимых для работы AIMS интерфейса.

Земля	35	1	Земля
Плата обнаружена 1 (CD1)	36	2	3-й разряд данных
Не используется	37	3	4-й разряд данных
Не используется	38	4	5-й разряд данных
Не используется	39	5	6-й разряд данных
Не используется	40	6	7-й разряд данных
Не используется	41	7	Работа с платой разрешена 1 (CE 1)
Не используется	42	8	Не используется
Не используется	43	9	Разрешение выхода (OE)
Чтение из порта (IORD)	44	10	Не используется
Запись в порт (IOWD)	45	11	Не используется
Не используется	46	12	Не используется
Не используется	47	13	Не используется
Не используется	48	14	Не используется
Не используется	49	15	Разрешение записи (WE)
Не используется	50	16	Готов или Запрос на прерывание (READY или IREQ)
Не используется	51	17	Напряжение питания (Vcc)
Не используется	52	18	Напряжение питания для программирования 1 (Vpp 1)
Не используется	53	19	Не используется
Не используется	54	20	Не используется
Не используется	55	21	Не используется
Не используется	56	22	7-й разряд адреса
Не используется	57	23	6-й разряд адреса
Сброс платы в исходное состояние (RESET)	58	24	5-й разряд адреса
Расширенный цикл шины (WAIT)	59	25	4-й разряд адреса
Подтверждение чтения (INPACK)	60	26	3-й разряд адреса
Выбор регистра (REG)	61	27	2-й разряд адреса
Не используется	62	28	1-й разряд адреса
Изменение состояния (STSCNG)	63	29	Не используется
Не используется	64	30	0-й разряд данных
Не используется	65	31	1-й разряд данных
Не используется	66	32	2-й разряд данных
Плата обнаружена 2 (CD2)	67	33	Не используется
Земля	68	34	Земля

Рисунок 12.7
Назначение контактов интерфейса AIMS

12.6 Программная поддержка PC Card

На рисунке ниже показана блок-схема взаимодействия программного и аппаратного обеспечения PC Card

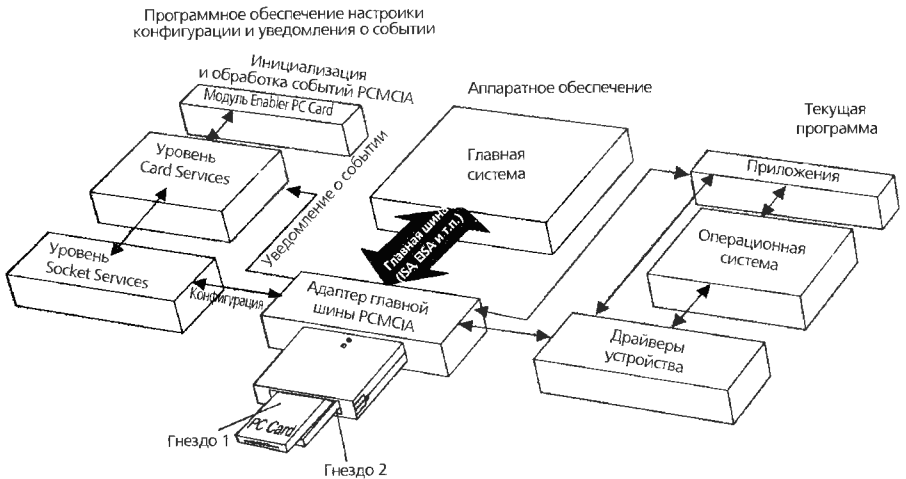


Рисунок 12.8
Блок-схема программного обеспечения PC Card

12.6.1 Окружение PC Card

PC Card разработана для подключения к различным маркам ПК. Для гарантированного взаимодействия каждой карты с различными марками ПК используются стандартные программные пакеты.

Обычно используются пять разных типов программного обеспечения. Модули Enabler PC Card включают:

- Уровень Card Services
- Уровень Socket Services
- Тестовые программы
- Драйверы

Кроме того, для обеспечения нормальной работы PC Card используются дополнительное программное обеспечение, а также встроенные программы:

- CIS (структура данных карты)
- TSR (резидентные программы)
- Операционные системы (например, Windows 95)
- Файлы config.sys
- DOS

12.7 Поддерживающее программное обеспечение и активизаторы PC Card

C&SS программное обеспечение для обслуживания карты и гнезда

Программное обеспечение для обслуживания карты и гнезда поставляется вместе с конкретной картой. Оно образует интерфейс между контроллером компьютера PC Card и самой PC Card. Программное обеспечение производит тестирование, настройку и контроль.

Уровень Socket Services

Программное обеспечение Socket Services обеспечивает интерфейс между сервисами карты и главным адаптером шины. Оно позволяет любому типу карты общаться с программным обеспечением сервиса карты. Программа Socket Services опрашивает PC Card и передает информацию программе Card Services. Она интерпретирует требования PC Card, относящиеся к конфигурации, и определяет наличие ресурсов, требуемых картой. Программа Socket Services контролирует такие изменения, как отключение карты, а также высвобождает ресурсы НВА при удалении карты.

Уровень Card Services

Программное обеспечение Card Services образует интерфейс между программным обеспечением Socket Services и модулем Enabler PC Card. Работа программного обеспечения Card Services заключается в уведомлении модуля Enabler о том, что карта вставлена или удалена, управлении ресурсами PC Card и запуске утилиты PC Card. Она также производит пакетную передачу данных к картам памяти от них.

Тестовое программное обеспечение

Тестовое программное обеспечение используется для проверки PC Card. Эти тесты могут включать обнаружение наличия карты, конфигурацию и/или настройку карты. Тестовые программы могут поступать с картой при ее покупке или могут быть произведены третьей стороной.

Драйверы

Драйверы предоставляются производителем карты, кардридера или третьей стороной. Эта программа является интерфейсом между прикладными программами и PC Card.

Структура данных на карте (CIS)

Структура информации на карте определяется программой, находящейся внутри PC Card, которая сообщает компьютеру тип карты, установленной в разъем.

12.8 Будущее PC Card

PC Card имеет потенциал, позволяющий ей заменить дискету, жесткий диск и CD-ROM. В один прекрасный день мы можем обнаружить, что PC Card будет называться просто «картой». Она имеет возможность объединения многих отдельных устройств в виде одной небольшой платы. В будущем все большее количество устройств будет комбинироваться на PC Card, и их размеры будут уменьшаться, пока весь компьютер, дисплей, ввод/вывод, телефон, модем, факс, GPS, видео, аудио и память не будут изготавливаться в виде PC Card.

12.8.1 Перечень журналов и адрес ассоциации PCMCIA

- PC Laptop Computer Magazine
- PC Magazine
- PC Card System Architecture —MindShare INC. Don Anderson

12.8.2 Международная ассоциация по картам памяти для персональных компьютеров

PC Card Headquarters
1030G East Duane Ave
Sunnyvale CA 94086 USA
Тел.: (408) 433 2273

Приложение А

Глоссарий

Данный глоссарий объясняет некоторые термины, относящиеся к технологиям передачи данных. В него также включены некоторые общие компьютерные термины, используемые в этой книге. Термины, выделенные *курсивом*, можно найти в этом словаре.

24-часовой временной режим, поддержка	Схема счетчика/таймера, которая может использоваться в режиме часов истинного времени. Может управлять запуском устройств на основе заранее составленного суточного расписания.
AFB	Доступ к буферу кадра.
ANSI	Национальный институт стандартизации. Главная организация, разрабатывающая стандарты США. Многие стандарты ANSI представляют большой интерес в области разработки аппаратуры и программного обеспечения.
AOI	Круг интересов.
AppleTalk	Собственный стандарт локальной сети компании Apple Computer, используемый для подключения компьютеров марки Macintosh и периферии (включая принтеры LaserWriting). Этот стандарт поддерживает скорость 230 кбит/с.
ARP	Протокол разрешения адресов. Протокол управления передачей/протокол Интернет (TCP/IP), обеспечивающий преобразование IP-адреса в Ethernet-адрес; TCP/IP требуется для работы с Ethernet.
ARQ	Автоматический запрос повторной передачи. Запрос от приемника к передатчику на повторную передачу блока или кадра вследствие ошибок, обнаруженных в первичном принятом сообщении.
ASCII	Американский стандартный код обмена информацией. Универсальный стандарт для кодирования цифробуквенных символов в 7 или 8 двоичных разрядах. Код был разработан ANSI для обеспечения совместимости между различными компьютерными системами.
Bell 212	Спецификация AT&T полнодуплексной, асинхронной или синхронной передачи данных со скоростью 1200 бит/с, используемая для телефонной сети.
BERT/BLERT	Тестирование на предмет определения числа ошибочных битов/блоков в единицу времени. Метод контроля ошибок, который сравнивает принятые данные с известными передаваемыми данными и используется для определения качества передающей линии.

BIOS	Базовая система ввода/вывода (БИОС) компьютера, обычно является встроенной в компьютер. Эта программа обеспечивает взаимодействие с аппаратным обеспечением ПК и изолирует операционную систему (ОС) от нижнего уровня активности аппаратного обеспечения. В результате этого прикладные программы становятся более независимыми от конкретного аппаратного обеспечения, на котором она работает, и, следовательно, является более машинезависимой.
BSC	Двоичная синхронная передача данных. Байт – или символ – ориентированный протокол связи, который стал промышленным стандартом (создан IBM). Для синхронной передачи двоичных данных между станциями коммуникационной системы он использует определенный набор управляющих символов.
BW	Ширина полосы частот
CCD	Прибор с зарядовой связью, ПЗС.
CCIR	Международный консультативный комитет по радиовещанию, МККР.
CCIT	Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии, МККТТ – организация, выпускающая международные стандарты (например, V.21, V.22, V.22 bis).
CGA	Адаптер цветной графики. Компьютерный стандарт, использующий цифровые сигналы и обеспечивающий разрешение 320 на 200 пикселей с палитрой 16 цветов.
CMRR	Коэффициент ослабления синфазного сигнала – способность платы измерять только разницу напряжений между проводами преобразователя и ослаблять общую компоненту, присутствующую на этих проводах. Чем выше CMRR, тем больше точность измерений.
CRC	Контроль с помощью циклического избыточного кода. Базовый механизм обнаружения ошибок, использующий полиномиальный алгоритм, основанный на сравнении содержимого кадра и информации передатчика, включенной в виде поля кадра. Этот контроль называют также CRC-16 или CRC-CCITT.
CSMA/CD	Коллективный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов. Если две станции одновременно передают сигнал в локальной сети, то они обе прекращают передачу и вырабатывают сигнал обнаружения коллизии. После этого каждая станция повторяет передачу спустя случайно заданный период времени.
DCE	Аппаратура передачи данных. Устройства, которые обеспечивают функции, необходимые для установления, поддержания и прекращения соединения для передачи данных. Обычно это понятие относится к модему.
DFB	Буфер кадра дисплея
DILUT	Таблица соответствия с двумя параметрами.
DIP	Акроним для интегральных схем и переключателей с двухрядным расположением выводов.
DR	Динамический диапазон. Отношение полного диапазона (FSR) преобразователя данных к самой маленькой величине, которую он может зарегистрировать. $DR = 2^n$, где n – разрешение устройства в битах.

DRAM	Динамическая память с произвольным доступом. См. ОЗУ.
DSR	Готовность данных. Управляющий сигнал интерфейса RS-232, который является индикатором того, что терминал готов к передаче данных.
DTE	Терминальное оборудование. Устройства, являющиеся источником данных, приемником данных или и тем, и другим.
EBCDIC	Расширенный двоично-десятичный код (для) обмена информацией. 8-разрядный код, используемый главным образом в оборудовании IBM. Код обеспечивает 256 разных битовых комбинаций.
EEPROM	Электрически-стираемое программируемое ПЗУ. Содержимое этой памяти может быть стерто с помощью электрических сигналов, подаваемых на ИС EEPROM, и потом перепрограммировано.
EGA	Усовершенствованный графический адаптер. Стандарт компьютерного дисплея, который обеспечивает разрешение 640 на 350 пикселей при палитре 64 цвета, причем при одновременной выдаче только 16 цветов.
EIA	Ассоциация электронной промышленности. Организация в США, специализирующаяся на электрических и функциональных характеристиках интерфейсного оборудования.
EMI/RFI	Электромагнитные, или радиопомехи. Фоновый «шум», способный исказить или полностью нарушить передачу данных.
EPROM	Долговременная полупроводниковая память, предназначенная только для чтения и стираемая с помощью ультрафиолетового света, после чего возможно ее перепрограммирование.
FCC	Федеральная комиссия связи (США)
FDM	Мультиплексор для передачи с частотным разделением каналов. Устройство, которое разделяет имеющийся диапазон частот передачи на узкие полосы, каждая из которых используется как отдельный канал.
GPIO	Интерфейсная шина общего назначения. Стандартная шина, используемая для управления измерительными приборами с помощью компьютера. Иногда называется также <i>IEEE-488</i> .
HDLC	Высокоуровневый протокол управления каналом. Международный коммуникационный протокол, разработанный ISO.
HPIB	Интерфейсная шина Hewlett-Packard; торговая марка, используемая компанией Hewlett-Packard для внедрения стандарта IEEE-488.
IEEE	Институт инженеров по электротехнике и электронике. Профессиональное объединение, основанное США, которое выпускает свои собственные стандарты; членами IEEE являются ANSI и ISO.
ILUT	Входная таблица соответствия.
ISA	Ассоциация США по измерениям
ISO	Международная ассоциация по стандартизации
ISR	Стандартная программа обслуживания прерываний. См. <i>Обработчик прерываний</i> .
LAN	Локальная сеть. Система передачи данных, ограниченная некоторой территорией, обычно в пределах 10 км, со средней скоростью передачи данных (от 100 кбит/с до 50 Мбит/с). Используется какая-нибудь технология коммутации; но общая несущая магистраль не используется.

LCD	Жидкокристаллический дисплей. Маломощный дисплей, используемый во многих портативных ПК и измерительных приборах.
LDM	Модем для ближней связи. Преобразователь сигнала, который формирует и усиливает цифровой сигнал таким образом, чтобы он мог быть передан дальше, чем обычный сигнал стандарта RS-232.
LED	Светоизлучающий диод. Полупроводниковый источник света, который излучает видимое, или инфракрасное излучение.
LPF	Фильтр низких частот. Фильтр, пропускающий диапазон частот от нуля до заданной частоты среза.
LSB	Самый младший (двоичный) разряд.
LUT	Таблица соответствия. Это понятие относится к памяти, которая сохраняет значения отдельных точек процесса. Входные значения являются значениями исходного изображения, а выходные значения являются пикселями, показываемыми на дисплее и измененными в соответствии с параметрами таблицы.
MAP	Протокол автоматизации производства. Набор сетевых протоколов, выпущенных компанией General Motors, который выделяет семь уровней модели OSI. Сокращенную реализацию этого протокола называют мини-MAP.
MSB	Наиболее значащий байт или наиболее значащий бит.
NMRR	Коэффициент подавления помех от сети питания – способность платы отфильтровывать помехи от внешних источников, например сети питания. NMRR фильтрация компенсирует изменения входного сигнала и обеспечивает большую точность. Чем выше NMRR, тем будет лучше фильтрация входного сигнала.
NRZ	Без возврата к нулю. Метод бинарного кодирования информации, при котором единичные биты представляются положительным значением, а нулевые отрицательным.
NTSC	Национальный комитет по телевизионным стандартам (США). Телевизионный стандарт, определяющий 525 строк и 60 полей в секунду.
OCR	Оптическое распознавание символов, оптическое устройство для считывания символов.
OLUT	Выходная таблица соответствия.
OR	Внешний радиус.
OSI	Взаимодействие открытых систем. Набор протокольных уровней со стандартным интерфейсом, который обеспечивает использование оборудования разных производителей.
PAD	Сборщик/разборщик пакетов. Интерфейс между терминалом или компьютером и коммуникационной сетью.
PAL	Построчное изменение фазы. Телевизионный стандарт, используемый в Европе и Австралии. Стандарт PAL поддерживает 25 кадров в секунду при 625 строках.
PIA	Адаптер сопряжения с периферийными устройствами. Иногда называется PPI (программируемый периферийный интерфейс).
PPI	См. PIA

RAM	Память с произвольной выборкой. Временная полупроводниковая память, обеспечивающая чтение и запись. Вообще говоря, существуют два основных типа полупроводниковой памяти: RAM (называемая также «энергозависимая память», ОЗУ) и ROM («энергонезависимая память», ПЗУ). Память RAM подразделяется еще на два типа: первым является «статическая память», или статическое ОЗУ (SRAM), состоящее из набора триггерных схем, которые могут находиться в состояниях 0 или 1. ИС статического ОЗУ сохраняют запомненные значения до тех пор, пока на ОЗУ подано напряжение. Вторым типом RAM является «динамическая память», или динамическое ОЗУ (DRAM). Динамическое ОЗУ является набором конденсаторов, которые в зависимости от их заряда хранят значение 0 или 1. Поскольку конденсатор со временем разряжается (для динамических ОЗУ это происходит за миллисекунды), то каждая ячейка требует регенерации каждые несколько секунд, которая производится с помощью специальной схемы. Несмотря на это, ИС динамического ОЗУ являются более дешевыми и потребляют меньше энергии, чем их статический эквивалент, поэтому они шире используются в современных ПК.
RAMDAC	Цифроаналоговый преобразователь с ОЗУ.
RGB	Красный/зеленый/синий. RGB сигнал имеет четыре отдельных компонента: сигналы красного, зеленого, синего и <i>синхронизации</i> . Отдельная передача сигналов обеспечивает более четкое изображение по сравнению с композитным сигналом – это обусловлено меньшими искажениями и помехами.
RLE	Кодирование длин серий. Метод кодирования цифровых изображений, при котором кодируется первый серый уровень каждой отдельной последовательной выборки и ее положение в последовательности серых уровней. Это кодирование используется в тех случаях, когда имеется тенденция повторения длинных серий оцифрованных серых уровней.
ROI	Регион, представляющий интерес.
ROM	Память, предназначенная только для чтения (ПЗУ). Компьютерная память, в которой данные могут считываться, но записываться они могут только однократно, с помощью специальных средств во время изготовления ROM. ROM используется только для хранения неизменяемых данных или программ.
RS	Рекомендуемый стандарт, например RS-232. Более новое обозначение использует EIA, например EIA-232.
RS-232	Интерфейс между DTE и DCE устройствами, использующий последовательную двоичную передачу данных. Типичные максимальные параметры передачи составляют 15 метров и скорость 19200 бод.
RS-422	Интерфейс между DTE и DCE устройствами, использующий электрические характеристики симметричных интерфейсных цепей напряжения.
RS-423	Интерфейс между DTE и DCE устройствами, использующий электрические характеристики несимметричных интерфейсных цепей напряжения.
RS-449	Интерфейс общего назначения между DTE и DCE устройствами (37- и 9-контактные), использующий последовательный двоичный обмен данными.
RS-485	Рекомендуемый стандарт EIA, который определяет электрические характеристики передатчиков и приемников, используемых в симметричных цифровых многоточечных системах.
SDLC	Синхронное управление передачей данных. Стандартный протокол IBM, замещающий синхронную познковую передачу данных.

S-Video	В этом формате компоненты яркости и цветности видеосигнала не связаны друг с другом, обеспечивая более четкое изображение с большим разрешением.
TCP/IP	Протокол управления передачей/протокол Интернет. Обобщенный термин для набора уровневых протоколов, обеспечивающих надежную передачу данных в Интернет (группа связанных маршрутизаторами сетей, способная функционировать как одна большая сеть). Изначально был разработан министерством обороны США в попытке создать сеть, которая могла бы противостоять атакам противника.
TDM	Мультиплексор с временным разделением. Устройство, которое принимает несколько каналов по одной линии связи путем поочередного подключения терминалов через регулярные промежутки времени, чередуя биты (бит TDM) или символы (символ TDM) с каждого канала.
UART	Универсальный асинхронный приемопередатчик. Электронная схема, которая преобразует формат данных между параллельным представлением в компьютере и последовательным способом передачи данных по каналу связи.
V.35	Стандарт ССИТТ, управляющий передачей данных со скоростью 48 кбит/с в полосах частот от 60 до 108 кГц.
VGA	Массив видеографики. Этот стандарт использует только аналоговые сигналы (между 0 и 1 В), обеспечивая разрешение 640 на 480 пикселей, палитру 256 цветов из общего набора 256000 цветов и возможность одно-временного вывода на экран 16 цветов.
VRAM	Энергозависимая память с произвольным доступом. См. <i>RAM</i> .
X.21	Стандарт ССИТТ, управляющий интерфейсом между DTE и DCE устройствами, обеспечивающий синхронную работу в сети передачи данных общественного пользования.
X.25	Стандарт ССИТТ, управляющий интерфейсом между DTE и DCE устройствами для терминалов, работающих в пакетном режиме по сети передачи данных общественного пользования.
X.25 Pad	Устройство, обеспечивающее передачу информации между приборами, не принадлежащими к стандарту X.25, и приборами сети X.25.
X-ON / X-OFF	Управляющие символы, используемые для контроля потока, разрешающие терминалу начать передачу (X-ON) или закончить передачу (X-OFF).
Абсолютная адресация	Режим адресации, содержащий и инструкцию, и место размещения (адрес) данных.
Автоматический выбор диапазона	Плату автоматического определения диапазона можно настроить на контроль входного сигнала и на автоматический выбор необходимого коэффициента усиления на основе анализа уровня входного сигнала.
Адрес	Указатель места нахождения данных в устройстве хранения; обеспечивает извлечение данных путем чтения содержимого заданного места памяти. Кроме того, адрес может идентифицировать периферийное устройство. Адреса (обычно уникальные) позволяют идентифицировать отдельные устройства, подключенные к коммуникационной линии, и реагировать на передаваемые им сообщения.
Адрес ввода/вывода	Способ, который позволяет ЦП различать платы системы. Все платы должны иметь разные адреса.

Адресный регистр	Регистр, содержащий адрес места в памяти, хранящего элемент данных, необходимых для выполнения инструкции.
Активное устройство	Устройство, способное обеспечить питание для цепи.
Активный фильтр	Совокупность активных устройств (обычно усилителей) и пассивных элементов (резисторы и конденсаторы), имеющая характеристики, которые ближе соответствуют идеальным фильтрам, чем пассивные фильтры.
Алгоритм	Обычно используется в качестве основы при написании компьютерной программы. Это набор правил, описывающих конечное число шагов, необходимых для решения какой-либо конкретной задачи.
АЛУ	Арифметико-логическое устройство.
Аналоговая величина	Непрерывное явление, происходящее в реальном времени, информационные параметры которого представляются непрерывным изменяющимся во времени сигналом.
Аналоговый канал, реагирующий на крутизну сигнала	Дискретизация может запускаться при достижении сигналом определенной крутизны, пороговое значение которой задается пользователем. Запуск может производиться и при достижении определенного порогового уровня, включая выбранные параметры крутизны.
Асинхронная связь	Передача данных, в которой символы могут передаваться в произвольный (несинхронный) момент времени и в которой промежутки времени между переданными символами могут быть разной продолжительности. Передача данных управляется стартовым и стоповым битами, передаваемыми в начале и в конце каждого символа.
АЦП	Аналого-цифровой преобразователь.
Базовый адрес	Адрес ячейки памяти, который служит ориентиром. Все остальные адреса определяются путем смещения относительно базового адреса.
Бинарная синхронная передача	См. <i>BSC</i> .
Биполярный диапазон, биполярный вход	Диапазон сигнала, который включает как положительные, так и отрицательные величины. Биполярные входы предназначены для измерения положительных и отрицательных напряжений. Например: ± 5 В.
Бит четности	Бит, который устанавливается в 0 или 1 для обеспечения того, чтобы суммарное количество битов 1 в поле данных было четным или нечетным.
Бит/с	Биты в секунду. Единица скорости передачи данных.
Биты и байты	Один бит представляет один двоичный разряд, либо двоичный 0, либо 1. Один байт является количеством памяти, необходимой для хранения одного символа информации (текста или чисел). Восемь бит составляют один байт (или символ), а 1024 байта составляют один килобайт (КБ). Один мегабайт (МБ) содержит 1024 килобайта. Обычно платы сбора данных воспринимают 2-байтовые выборки; плата сбора данных, производящая выборки со скоростью 20 кГц, получает фактически 40000 байтов в секунду.
Блок	В языках программирования, имеющих блочную структуру, раздел языка программирования или часть программного кода считается отдельным блоком.
Бод	Единица скорости передачи сигнала, получаемая из количества событий в одну секунду (обычно битов в секунду). Однако если с каждым событием связано несколько битов, то скорость в бодах и в битах/с неравна.

Буфер	Временное место хранения данных, которое устройство использует для компенсации разницы скорости передачи данных между двумя устройствами (иногда называется спулером, обеспечивающим интерфейс между компьютером и принтером).
Видикон	Небольшая телевизионная трубка, впервые разработанная для закрытых систем телевидения. Ее диаметр составляет около 2,5 см, а длина – 12,7 см. Управление видиконом несложное и может производиться необученным персоналом. Видиконы широко используются в телевещании.
Внешний запуск	Многие платы АЦП начинают производить выборки при запуске импульсом напряжения от внешнего источника.
Время аналого–цифрового преобразования	Время, необходимое плате на преобразование аналогового сигнала в цифровое значение. Максимальная теоретическая скорость (количество преобразований в секунду) является обратной величиной этого времени. См. <i>Скорость/Типичная производительность</i> .
Время отклика	Время задержки между генерацией последнего символа сообщения на терминале и получением первого символа отклика. Сюда входит задержка терминала и задержка сети.
Встроенные программы	Компьютерная программа (матобеспечение), постоянно хранящаяся в ПЗУ, ППЗУ или СППЗУ.
Входная аналоговая плата	Печатная плата, преобразующая поступающие на нее аналоговые сигналы в цифровые значения.
Выбор диапазона	Полный диапазон, который использует плата, выбирается одним из трех способов: с помощью программного обеспечения системы сбора данных, с помощью перемычек на плате или с помощью внешнего опорного напряжения.
Выбор диапазона	Свойство платы (либо с помощью программы, либо с помощью DIP переключателей или перемычек) изменять измеряемый диапазон входного или выходного аналогового напряжения.
Выделенная линия (или арендуемая линия)	Индивидуальная телефонная линия без возможности коммутации.
Выходная аналоговая плата	Печатная плата, преобразующая выходные цифровые значения в аналоговые сигналы.
Выходной сигнал	Аналоговый или цифровой управляющий сигнал от ПК к внешнему «реальному миру».
Гальваническая развязка	Электрическое разделение двух цепей. Например, оптическая изоляция позволяет сигналу с высоким потенциалом передаваться на низковольтный вход без электрического взаимодействия.
Гармоника	Периодические колебания, частота которых кратна основной частоте. Основная частота и гармоники образуют ряд Фурье основного сигнала.
Гистограмма	Графическое представление функции распределения, например частоты, с помощью прямоугольников, ширина которых представляет интервалы, на которые разделен диапазон наблюдения, а высота которых представляет количество наблюдений, попадающих в данный интервал.
Графический режим	В графическом режиме каждый пиксель изображения имеет свой адрес, и каждый пиксель имеет горизонтальную (ось X) и вертикальную (ось Y) координату.

Датчик-преобразователь	Любое устройство, которое генерирует электрический сигнал, вызываемый изменениями физических параметров окружающего мира. Примерами датчиков являются измерительные преобразователи линейных перемещений, тензодатчики, термопары и терморезистивные датчики. Общее название для датчиков и схем, обеспечивающих их работу.
Двоично-десятичное число (BCD)	Код, используемый для представления десятичных чисел с помощью двоичного кода.
Двухпортовое ОЗУ	Позволяет передавать данные из памяти платы в память компьютера с одновременной записью данных.
Двухточечная линия	Подключение только между двумя компонентами оборудования.
Девиация	Отклонение от требуемого значения.
Децибел	Логарифмическая мера отношения двух уровней сигналов, в которой $дБ = 20 \lg(V_1/V_2)$. Будучи отношением, эта мера не имеет единиц измерения.
Диагностическая программа	Вспомогательная программа, используемая для обнаружения неполадок с аппаратным и программным обеспечением ПК.
Диапазон	Разница между верхним и нижним пределами измеряемой величины.
Дискретизация	Преобразование аналогового сигнала в цифровой.
Дифференциальное подключение	См. <i>Количество каналов</i> .
Драйвер	Программа, действующая интерфейсом между структурой кодирования высокого уровня и нижним уровнем аппаратного/программного компонента компьютера.
Драйвер	Обычно набор программ или подпрограмм, позволяющих пользователю управлять основными функциями платы, такими, как настройка или сбор данных. Драйверы могут быть встроены в программы, написанные пользователем и позволяющие создать простую, но функциональную систему сбора данных. Большинство плат поступают с готовыми драйверами.
Дрейф	Постепенное смещение во времени от определенных входных/выходных условий.
Дуплекс	Одновременная передача и прием данных по одному каналу связи.
Загрузка счетчика	Перенос счета из счетного регистра таймера/счетчика к элементу счета.
Задание порога	Процесс задания конкретного уровня сигнала, для определения которого при двоичной обработке каждому пикселю назначаются два значения. Если яркость пикселя выше порогового уровня, то на изображении он будет казаться белым, если ниже порогового уровня – то черным.
Задняя панель	Панель, содержащая гнезда, в которые можно вставлять различные платы (такие, как карты ввода/вывода, карты памяти и источники питания).
Заземление	Электрически нейтральная цепь, имеющая тот же потенциал, что и земля. Заземление для электрической системы важно с точки зрения безопасности.
Заменитель модема	Устройство, используемое для подключения локального терминала и компьютерного порта вместо пары модемов (которые необходимы при обычном соединении), обеспечивающее подключение DTE и DTE данных и управляющего сигнала, что нелегко обеспечить с помощью стандартных кабелей или подключений.

Запуск счетчика/таймера	На плате счетчика/таймера может быть схема, позволяющая производить запуск сбора данных со скоростью, определенной пользователем, и в течение конкретного промежутка времени.
Запускающее условие	Передний фронт на стробирующем входе таймера/счетчика 8254.
Затвор	Механическое или электронное устройство, используемое для управления временем экспозиции светочувствительных материалов.
Значение, задаваемое по умолчанию	Величина или условие настройки, задаваемое автоматически, если специально не задается другое значение.
Импульсный входной сигнал	Прямоугольный сигнал, поступающий от устройств, преобразующих параметры окружающего мира, например измеритель потока, который посылает импульсы, частота которых пропорциональна скорости потока.
Интеллектуальный датчик	Преобразователь (или датчик) с микропроцессором на плате, позволяющий производить предварительную обработку входных сигналов. Он имеет также способность передачи цифровых данных на центральную управляющую станцию.
Интерфейс	Совместная граница, определяемая общими физическими характеристиками подключения, характеристиками сигналов и взаимными управляющими сигналами.
Исполнительное устройство	Управляющее устройство или элемент, используемые для регулирования (изменения) параметра процесса.
к	Аббревиатура слова «кило», префикс системы СИ, означающий «1 000». См. также К.
К	В компьютерной технологии К соответствует $2^{10} = 1024$. Это число отличается от множителя системы СИ к (кило), который равен 1000.
Кадр	Полное видеозображение, состоящее из двух полей. Кадр в системе PAL состоит из 625 строк (NTSC кадр состоит из 525 строк).
Канал аналогового запуска	Дополнительный аналоговый канал, который контролируется помимо входного канала и используется исключительно для запуска
Канал компенсации холодного спая	Этот дополнительный входной канал для сбора данных используется исключительно для целей компенсации холодного спая, оставляя все остальные стандартные каналы только для сбора данных. Многие платы сбора информации включают этот канал для увеличения точности и производительности.
Канальное усиление	Система, позволяющая задавать индивидуальный коэффициент усиления для каждого входного канала и тем самым расширять диапазон входных уровней и типов сигналов, не влияя на точность низкоуровневых сигналов.
Канальный уровень	Уровень 2 модели взаимодействия открытых систем (OSI), известный также как уровень канала передачи данных.
Квитирование	Обмен заранее определенными сигналами между двумя устройствами, устанавливающими соединение.
Клиновидный фильтр	Оптический фильтр, сконструированный таким образом, что его плотность увеличивается с нарастанием от одного края к другому или в зависимости от угла для кругового диска.
Код Бодо	Код передачи данных, в котором один символ определяется пятью битами. Этот код может представить 64 цифробуквенных символов. Код используется во многих телетайпных системах; он добавляет один стартовый бит и 1,42 стоповых бита.

Количество каналов	Количество входных линий, которые плата может оцифровывать. Однопроводные входы имеют одно общее соединение с землей; дифференциальные входы имеют отдельные двухпроводные входы для каждого входного сигнала, что обеспечивает большую точность и развязку сигнала. См. также <i>Мультиплексор</i> .
Коллектор	Источник напряжения транзистора, у которого база является управляющим источником, а эмиттер – управляемым выходом
Комбинированный канал	Линия или цепь, соединяющая пару мультиплексоров или концентраторов; цепь, передающая мультиплексированные данные.
Коммерческая сеть связи	Частная компания, эксплуатирующая сеть связи, которая предоставляет коммуникационные услуги населению.
Коммутируемая линия	Канал связи, в котором для каждого пользователя физический путь может быть разным, например обычная телефонная линия.
Компенсация холодного спая	На измерения термопары легко может повлиять интерфейс, к которому она подключена. Схема компенсации холодного спая позволяет уменьшить неточности, вводимые в процесс преобразования. Терминальные панели STT характеризуются устойчивым равновесным состоянием, обеспечивающим высокоточную компенсацию холодного спая.
Компилятор	Программа, преобразующая исходный код высокого уровня (например, язык Бейсик) в форму, исполняемую машиной и подходящую для ЦП.
Композитный сигнал	Видеосигнал, который содержит всю информацию о яркости, цвете и синхронизации, необходимую для воспроизведения изображения.
Контроль по четности	Дополнительные неинформативные биты, которые дополняют передаваемый блок и обеспечивают, чтобы суммарное количество битов 1 было всегда четным (проверка на четность) или нечетным (проверка на нечетность). Это необходимо для обнаружения ошибок при передаче.
Коэффициент объединения по входу	Нагрузка, создаваемая для сигнальной линии входами логических ИС
Коэффициент подавления синфазной помехи	Мера способности измерительного прибора подавлять помехи, вызываемые синфазным напряжением, действующим на входах относительно земли; измеряется в децибелах.
Коэффициент разветвления по выходу	Мера нагрузочной способности логического выхода ИС.
Кромка	На VGA дисплее кромка представляет область вокруг видимого изображения. Она обычно бывает черной.
Кросс-подключение	Схема соединения, которая позволяет общаться двум DTE или DCE устройствам. По существу, это подключение заключается в соединении двух устройств контакта 2 с контактом 3.
Кэш-память	Быстрая буферная память, которая находится между ЦП и более медленной основной памятью, позволяющая ускорить передачу данных в ЦП.
Линейность	Связь, при которой выход прямо пропорционален входу.
Линейный формирователь	Преобразователь сигнала, который формирует сигнал таким образом, чтобы обеспечить его надежную передачу на далекое расстояние.
Линии квитиования	Специализированные сигналы, которые позволяют двум разным приборам обмениваться информацией при асинхронном аппаратном управлении.
Люкс	Единица яркости системы СИ, равная одному люмену на квадратный метр.

Люкс-секунда	Единица оптического экспонирования системы СИ.
Магистраль	Единственная цепь между двумя точками, обе из которых являются коммутируемыми центрами или отдельными распределительными точками. Магистраль обычно имеет дело с несколькими каналами одновременно.
Манчестерское кодирование	Цифровой способ (определенный для сетевого стандарта IEEE 802.3), при котором период каждого бита разделен на две дополняющие половинки. Перепад напряжения от отрицательного к положительному по середине периода бита обозначает двоичную 1, а перепад от положительного напряжения к отрицательному представляет 0. Такой способ кодирования позволяет принимающему устройству восстанавливать из поступающего потока данных передаваемую тактовую частоту (автосинхронизацию).
Маска	Шаблон, закрывающий некоторую часть фоточувствительной среды при фотографической обработке.
Маскирование	Программный способ запрета использования некоторых разрядов регистра.
Маскирование	Установка для некоторых элементов изображения постоянного уровня – либо белого, либо черного. Также процесс выделения изображения с последующим сравнением его с тестовыми изображениями.
Метка	Эквивалент двоичной единицы.
Модем	Модулятор-демодулятор. Устройство, используемое для преобразования последовательных цифровых данных от передающего терминала в сигнал, подходящий для передачи по телефонной сети или для обратного преобразования переданного сигнала в последовательные цифровые данные для приемного терминала.
Модем для ближней связи	Преобразователь, который формирует цифровой сигнал, необходимый для надежной передачи через непрерывные отдельные информационные линии без влияния на соседние пары проводов в том же самом телефонном кабеле.
Моноканал	Одна коммуникационная линия или шина, используемая для подключения трех или большего количества точек.
Морфология	Изучение структуры/формы объекта на изображении.
Мультиплексирование	Способ, посредством которого несколько сигналов комбинируются в один канал. Далее эти сигналы могут быть демultipлексированы снова на исходные компоненты. При использовании нескольких мультиплексоров на одну 16-канальную плату можно подавать 64, 256 или даже большее количество каналов. Это приводит к уменьшению скорости выборки (пропускной способности платы), но позволяет экономичное построение очень больших систем сбора данных.
Мультиплексор	Устройство, используемое для разделения линии связи на два и большее количество каналов либо с помощью частотного, либо временного разделения.
Нагруженная линия	Телефонная линия, снабженная нагрузочными катушками, добавляющими индуктивности, минимизирующие амплитудные искажения.
Нагрузочная способность	Величина тока, который плата может выдать на цифровых выходах. При нагрузочной способности 10 – 12 мА (или больше) плата может включать и выключать реле. Цифровые платы, имеющие нагрузочную способность меньше 10 – 12 мА, могут передавать только цифровые данные и не могут осуществлять переключение реле.

Наложение	Один видеосигнал, наложенный на другой, как, например, в компьютере текст накладывается на изображение.
Насыщенность цвета	Количество и относительная яркость цвета (или оттенка) в видеосигнале.
Ненагруженная линия	Линия, к которой не подключены нагрузочные катушки, вследствие чего аудиочастоты могут передаваться с потерями.
Нуль-модем	Устройство, которое соединяет два DTE устройства напрямую, минуя физическое подключение DCE устройства.
Обработка информации	Процесс анализа большого количества данных с целью получения по заданному шаблону некоторого статистического результата.
Обработчик прерываний	Блок программы, который производит необходимые операции, связанные с обслуживанием прерывания, когда оно произойдет.
Обратная петля	Тип диагностического теста, в котором передаваемый сигнал возвращается к передающему устройству после прохождения всей (или только части) сети или коммуникационного звена. Этот тест обеспечивает сравнение возвращенного сигнала с переданным.
Общественная коммутируемая сеть	Любая коммутируемая коммуникационная система – например, Telex или общественная телефонная сеть, – которая обеспечивает подключение канала связи ко многим пользователям.
Одновременная выборка	Способность собирать и сохранять несколько сигналов одновременно. Разброс между выборками обычно составляет несколько наносекунд. Плата PC-30DS одновременно оцифровывает 16 сигналов с временным разбросом ± 20 нс.
Однополярные входы	При настройке на прием однополярного сигнала канал обнаруживает и преобразует только положительные напряжения (например, от 0 до +10 В).
Однопроводное подключение	См. <i>Количество каналов</i> .
Окантовка	Нежелательная краевая окраска объекта или символа бледными цветами в тех местах, где должны быть четкие границы.
Опрос	Способ управления устройствами ввода/вывода в многоточечной линии, в которой ЦП «опрашивает» устройства через равные интервалы времени, чтобы проверить наличие данных, ожидающих переноса (к ЦП). Этот способ является более медленным и менее эффективным, чем использование устройствами ввода/вывода механизма <i>прерываний</i> .
Оптическая развязка	Средство соединения двух сетей без электрического контакта; для этого используются оптоэлектронные передатчики и приемники.
Освещенность	Количество света, падающего на наблюдаемый объект.
Ослабление	Уменьшение величины или силы сигнала при его передаче от одной точки к другой.
Отношение сигнал/шум	Отношение силы сигнала к уровню шумов
Отношение сигнал/шум	Отношение амплитуды сигнала к амплитуде шумов (обычно и сигнал, и уровень шумов выражаются в вольтах).
Отраженная компонента	Количество света, отраженного наблюдаемым объектом
Отрицательная логика	Инверсия обычной логики, в которой отрицательное напряжение считается ИСТИНОЙ (или 1), а положительное состояние считается ЛОЖЬЮ (или 0).

Ошибка	Разность между уставкой (SetPoint) и измеряемой величиной.
Пакет	Набор битов (включающий данные, а также сигналы вызова и управления), передаваемый как единое целое по коммуникационной сети. Пакет обычно меньше передаваемого блока данных.
Память на ЦМД	Способ хранения данных в памяти, при котором данные представляются в виде намагниченных участков, называемых магнитными доменами, нанесенными на тонкую пленку из полупроводникового материала. Используется в жестких условиях промышленных предприятий, при высокой вибрации или высокой температуре.
Память, устанавливаемая на плате	Поступающие данные, прежде чем они будут переданы в память ПК, сохраняются во встроенной памяти. Быстродействующие платы обеспечивают сбор информации с более высокой скоростью, чем данные могут быть переданы в память ПК, поэтому они временно сохраняются в буферной памяти, располагающейся на плате.
Параллельная передача	Передача, в которой несколько бит данных передаются одновременно по отдельным параллельным линиям. Точная синхронизация достигается использованием синхронизирующего сигнала (строба). Параллельная передача используется для переноса данных только в одном направлении; примером является интерфейс Centronix принтера.
Пассивное устройство	Устройство, которое должно получать питание от подключенного оборудования.
Пассивный фильтр	Цепь, использующая только пассивные электронные компоненты, такие, как резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности.
Пауза	Отсутствие сигнала. Эквивалент двоичного нуля.
ПДП	Прямой доступ к памяти. Способ передачи данных между памятью компьютера и устройствами, подключенными к компьютерной шине без вмешательства ЦП.
Передатчик	Устройство, подключенное к шине GPIB, которое только посылает информацию на шину, не производя контроль шины.
Перекрестная помеха	Ситуация, при которой сигнал от одного канала связи создает помехи для других каналов.
Перемычка	Проводник в каналах связи, который идет через кабель и на обоих концах подключается к контактам с разными номерами.
Перемычка	Провод, соединяющий контакты одного конца кабеля.
Переходной процесс	Резкое изменение уровня напряжения в течение короткого времени.
Периферия	Входные/выходные устройства, а также устройства хранения данных, подключенные к компьютеру, такие, как дисководы, принтеры, клавиатура, дисплей, коммуникационные платы и т.п.
ПЗУ	Программируемая память, предназначенная только для чтения. Она программируется производителем, поскольку запомненные данные практически не могут быть изменены пользователем.
Пиксель	Один элемент оцифрованного изображения, иногда называемый элементом изображения – пел.
«Плавающая» земля	Считается, что устройство, которое не подключено к земле, имеет «плавающий» потенциал. Смысл плавающей земли заключается в устранении проблем, вызываемых синфазными помехами.

Плата захвата изображения	Периферийное устройство обработки изображения, которое производит выборку, оцифровывание и сохранение телевизионного кадра в памяти компьютера.
Побочная частота	Ложная низкочастотная составляющая, которая появляется в данных при их восстановлении из результатов, полученных при недостаточно высокой частоте дискретизации (меньше удвоенной максимальной частоты оригинального сигнала).
Подтверждение	Линия квитирования, которая используется принимающим устройством для сообщения того, что оно считало переданные данные.
Поле	Одна половинка видеоизображения (кадра), состоящая из 312,5 строки (для системы PAL). Кадр состоит из двух полей. Каждое поле показывается по очереди с частотой 25 герц (для системы PAL).
Полный дуплекс	Одновременная двухсторонняя независимая передача информации в оба направления (по четырем проводам).
Полосовой фильтр	Фильтр, который пропускает только заданный диапазон частот. Все остальные частоты, не попадающие в заданный диапазон (полосу), значительно ослабляются по амплитуде.
Полудуплекс	Передача данных в двух направлениях, но не одновременно.
Помехи	Нежелательные воздействия на полезный сигнал, уменьшающие его информационное содержание.
Порт	Место доступа устройства или сети, используемое для ввода/вывода цифровых и аналоговых сигналов.
Последовательная передача	Наиболее распространенный режим передачи данных, при котором информационные биты передаются последовательно по единственному каналу данных.
Предзапуск	Платы, поддерживающие «предзапуск», имеют кольцевой буфер, заполненный данными, поэтому при наступлении запускающего события используются данные, предшествующие запуску.
Преобразование сигнала	Обработка сигнала с целью обеспечения качества, необходимого для дальнейшей обработки многоцелевыми аналоговыми системами.
Прерывание	Внешнее событие, указывающее ЦП, что он должен отложить текущую задачу и обслужить обозначенную активность.
Приемник	Устройство, подключенное к шине GPIB, которое принимает информацию с шины.
Прикладная программа	Последовательность инструкций, написанных для решения конкретной проблемы. Обычно эти программы пишутся на языке высокого уровня и для выполнения задачи используют ресурсы операционной системы и аппаратного обеспечения.
Прикладной уровень	Самый верхний уровень 7-уровневой модели OSI, обеспечивающий работу всех пользовательских приложений и прикладных программ.
Проверка на четность	Метод проверки данных, обычно используемый в аппаратуре, в котором каждый символ должен иметь четное количество единичных битов.
Программируемое усиление	С помощью ИС усилителя на плате АЦП входной аналоговый сигнал увеличивается в соответствии с коэффициентом усиления усилителя. Например, если входной сигнал имеет диапазон от -250 мВ до $+250$ мВ, то напряжение после усилителя с коэффициентом усиления 10 будет иметь диапазон от $-2,5$ В до $+2,5$ В.

Программный ввод/вывод	Стандартный способ доступа к памяти, при котором каждый элемент данных является переменной, отдельно сохраняемой процессором ПК.
Программный запуск	Программное управление запуском сбора данных. Большинство плат поддерживают программное управление.
Пространственная фильтрация	При обработке изображения улучшение изображения путем увеличения или уменьшения его пространственных частот.
Пространственное разрешение	Мера детализации изображения видеосистем. Значение, выраженное в милях (тысячная доля дюйма) или дюймах, на пиксель, получается путем деления линейных размеров поля зрения (x и y, измеренные в плоскости изображения) на количество пикселей по x и y координатам массива изображения или устройства оцифровывания.
Протокол	Формальный набор соглашений, управляющих форматированием и относительной синхронизацией обмена сообщениями между двумя системами связи.
Работа в реальном времени	Система способна работать в режиме реального времени, если она является достаточно быстрой, чтобы реагировать на события, происходящие в реальном мире.
Разрешение	Количество разрядов, с помощью которых оцифрованное значение будет сохранено. Разрешение представляет количество участков, на которые будет разделен полный диапазон; например, диапазон 0 – 10 В с разрешением 12 разрядов будет иметь 4096 (2^{12}) участков по 2,44 мВ каждый ($10 \text{ В}/2^{12}$ или $10 \text{ В}/4096$).
Разрешение	Количество пикселей, из которых состоит изображение на экране.
Растр	Набор строк, образуемых путем прямолинейного сканирования в дисплеях.
Реверсирование линии	Реверсирование направления передачи от передатчика к приемнику или наоборот при использовании полудуплексной схемы.
Регистр данных счетчика	8-разрядный регистр таймера/счетчика (ИС 8254), который поставяет одному из двух битов состояние выходного триггера-защелки счетчика для операций чтения и регистр счетчика для операций записи.
Режим разделения времени	Режим работы компьютера, который позволяет нескольким интерактивным терминалам использовать один компьютер.
Самодиагностика	Встроенная диагностическая программа, которая тестирует большинство (если не все) функций платы при включении питания или по внешнему запросу.
Самокалибровка	Плата, поддерживающая самокалибровку, имеет очень стабильный опорный сигнал, который используется для калибровки аналого-цифровых и цифроаналоговых схем, что позволяет увеличить точность измерений.
Свертка	Метод улучшения изображения, при котором каждый пиксель подвергается математической обработке, которая группирует его с ближайшими соседями и в соответствии с этим вычисляет его значение.
СДА	Система сбора данных.
Сетевая архитектура	Набор принципов проектирования, включающий организацию функций и описание форматов данных и процедур, используемых в качестве базы для разработки и реализации сети (ISO).
Сетевая топология	Физическая и логическая связь узлов сети; схематическое расположение звеньев и узлов сети обычно использует топологию звезды, кольца или шины.

Сетевой уровень	Слой 3 в модели OSI; сущность — машина протокола, которая обслуживает транспортный уровень, ответственный за то, чтобы данные, переданные ей с транспортного уровня, направлялись и доставлялись через сеть.
Сеть	Соединенные между собой узлы или станции.
СИ	Международная метрическая система единиц (SI, <i>Système Internationale</i>).
Сигнал яркости	Черная и белая части видеосигнала, которые несут информацию о яркости и деталях изображения.
Символ	Буква, цифра, пунктуационный знак, управляющий код или любой другой знак в сообщении.
Симплексная передача	Передача данных только в одном направлении.
Синхронизация	Согласование активности нескольких элементов.
Синхронизация видео	Импульс синхронизации обеспечивает вывод информации на монитор синхронно с устройством, обеспечивающим данные, что позволяет вывести данные в нужном месте монитора. Например, импульс синхронизации используется при передаче изображения с камеры на дисплей и служит для того, чтобы начало изображения всегда приходилось на верх кадра.
Синхронизация видеосигналов	Этот процесс обеспечивает синхронизацию видеосигнала с опорным сигналом, что создает совместимость (связанность) всех сигналов друг с другом.
Синхронная передача	Передача, в которой биты данных передаются с фиксированной скоростью, когда передатчик и приемник синхронизованы. Синхронная передача не требует стартового и стопового битов.
Система управления	Система, в которой несколько измеренных величин используются для выработки решения о регулировании различных параметров системы, путем чего достигается поддержание некоторых величин на заданном уровне.
Сквозное соединение контактов	Конфигурация RS-232 и RS-422, которая обеспечивает соответствие DTE и DCE устройств (контакт 1 с контактом 1, контакт 2 с контактом 2 и т.д.).
Скорость обновления	Скорость, с которой информация обновляется на дисплее компьютера (ЭЛТ).
Скорость/типичная производительность	Максимальная скорость, с которой плата может оцифровывать и преобразовывать поступающие выборки. Типичная производительность разделяется между оцифровываемыми каналами и составляет выборки/секунду для каждого канала. Чтобы избежать неправильных результатов, количество выборок по каждому каналу в секунду должно быть больше двойной частоты измеряемого аналогового сигнала.
Слово	Стандартное количество битов, с которым процессор или память могут оперировать за один раз. Обычно слово состоит из 16 битов.
Состязание (за обладание ресурсами)	Средство, предусмотренное телефонными сетями или учрежденческой АТС с исходящей и входящей связью, которое позволяет нескольким терминалам состязаться на принципе «первый пришел, первого обслужили», подходящее для некоторых компьютерных портов.
Статистический мультиплексор	Мультиплексор, в котором загрузка данных с нескольких устройств происходит во времени случайным образом, в противоположность стандартному мультиплексору, в котором загрузка данных производится через регулярные, предсказуемые интервалы.
Строб	Линия квитирования, используемая для передачи приемному устройству сигнала о том, что на линиях выставлены данные для чтения.

Счетчик/таймер	Схема, встроенная во многие платы систем сбора данных, к которой имеет доступ пользователь и которую можно использовать для подсчета событий или измерения частоты.
Тактовые импульсы	Передний фронт и затем задний фронт (именно в таком порядке), подаваемые на тактовый вход таймера/счетчика 8254.
Тактовый генератор	Источник импульсных сигналов, необходимых для обеспечения синхронизации электронных событий, таких, как синхронная передача данных или работа ЦП в ПК.
Текстовый режим	Сигналы от аппаратного обеспечения на дисплей интерпретируются только как текстовые символы, что обеспечивает максимальное разрешение, определяемое количеством символов и количеством строк на экране. Текстовый режим может работать быстрее графического режима, но разрешение и тип отображаемой графики ограничены набором текстовых символов.
Теорема Найквиста о выборке	Для того чтобы восстановить всю информацию о сигнале, он должен оцифровываться с частотой, по крайней мере вдвое большей частоты изменения сигнала.
Токовая петля	Способ передачи данных, который позволяет передавать данные на большие расстояния с более высокой степенью защиты от помех, чем это обеспечивает стандарт RS-232, использующий в качестве сигнала напряжение. Метка (двоичная 1) представляется током, а пауза (или двоичный 0) представляется отсутствием тока.
Токовые входы	Плата, имеющая токовые входы, может воспринимать и формировать аналоговый ток без его преобразования в напряжение.
Точность	Близость измеренного значения к реальной измеряемой величине.
Узел	Точка подключения к сети.
Управление потоком	Процедура регулирования потока данных между двумя устройствами, позволяющая устранить потерю данных при заполнении буфера устройства.
Усиление	Увеличение; применительно к входному сигналу усиление проявляется в виде множителя к амплитуде сигнала; усиление позволяет плате использовать такие сигналы, которые без дополнительного усиления были бы слишком малы. Например, если усиление равно 10, то плата с диапазоном ± 5 В может использовать входные сигналы порядка $\pm 0,5$ В (± 500 мВ), а с усилением 20 диапазон становится равным ± 250 мВ.
Фазовая модуляция	Фаза синусоидальной волны или несущего сигнала, изменяющаяся во времени в соответствии с передаваемой информацией.
ФВЧ	Фильтр высоких частот. Фильтр, пропускающий диапазон частот от частоты среза (не равной нулю) до бесконечности.
Фильтр высоких частот	См. ФВЧ.
Фоновая программа	Прикладная программа, которая может выполняться в то время, когда ресурсы системы не заняты программами с большим приоритетом.
ЦАП	Цифроаналоговый преобразователь.
Цветность	Цветовая компонента видеосигнала.
Цветовой переход	Наложение на экране одного цвета на другой. Это часто бывает результатом наложения сильно- и слабонасыщенных цветов.
Целостность данных	Критерий качества, основанный на количестве обнаруженных ошибок.

Цифровой сигнал	Сигнал, который имеет определенные состояния (обычно два).
Чередование	Показ двух полей по очереди таким образом, что одно поле заполняет свободные места другого поля так, чтобы в совокупности они создавали единое изображение. Стандарт PAL выводит 25 видеокадров в секунду.
Чересстрочная развертка	Чересстрочная развертка – стандартный телевизионный способ сканирования <i>растра</i> , при котором изображение является результатом сложения двух полей, каждое из которых является последовательностью сканируемых строк, разделенных промежутком, равным одной строке. Таким образом, соседние строки принадлежат разным полям (полукадрам).
Шестнадцатеричная система счисления	Числовая система с основанием 16, обычно используемая в персональных компьютерах.
Шина	Информационный канал, разделяемый несколькими устройствами и имеющий один или несколько проводников для передачи сигналов, данных или напряжения питания. Шиной также называют расширительный разъем, имеющийся в компьютере. В этот разъем вставляются сменные платы, и весь обмен информацией между компьютером и платой происходит через шину компьютера. Существует несколько шин расширения, включая XT, AT и Micro-Channel для IBM-совместимых компьютеров и Nu-Bus для ПК типа Apple Macintosh II.
Шина RTSI	Объединяющая системная шина для режима реального времени является дополнительным разъемом, устанавливаемым на некоторых платах сбора информации и позволяющим подключение двух или большего количества дополнительных плат. Эта шина обеспечивает совместное использование данных, сигналов синхронизации и прерываний, а также ПДП передачу данных со скоростями до 2,4 Мб/с, разгружая шину ПК для других операций.
Ширина полосы	Диапазон частот, выражающийся разностью между самой верхней и самой нижней частотами (измеряется в герцах, сокращенно Гц).
Широкая полоса	Канал связи, который имеет большую полосу, чем звуковой диапазон, потенциально способен передавать данные с большой скоростью.
Шкала полутонов	При обработке изображения – диапазон уровней серого цвета разной плотности. В 8-разрядной системе шкала уровней серого описывается значениями от 0 до 255.
Штрихкод	Набор прямоугольных параллельных штрихов, разделенных разными промежутками, который предназначен для маркирования объектов с уникальными свойствами. Штрихкод содержит вводный неинформационный участок, начальный символ, один или несколько символов данных, включая контрольный символ, символ конца и конечный неинформационный участок.
Экранировка	Процесс защиты измерительного прибора или кабеля от воздействия внешних помех (или иногда защита окружающего оборудования от сигналов в кабеле).
Эмуляция	Моделирование компьютерной системы, выполняемое совокупностью аппаратного и программного обеспечения, которое позволяет запускать программы на несовместимых системах.
Энергозависимая память	Среда для хранения информации, все данные которой теряются при отключении питания.

Приложение Б

Спецификации шины компьютера IBM PC

Информация этого раздела будет полезна как программистам, так и пользователям, желающим отладить систему. Этот раздел включает следующие спецификации:

- Аппаратные прерывания
- Каналы ПДП
- Контроллер ПДП 8237
- Контроллер прерываний 8259
- Таймер/счетчик 8253/8254
- Информация об адресах
- Информация о сигналах шины
- Размеры плат
- Стандартный интерфейс Centronics

Б.1 Аппаратные прерывания

Таблица Б.1

Аппаратные прерывания

Название	Номер прерывания	Описание
NMI	-	Четность*
0	8	Таймер*
1	9	Клавиатура*
IRQ2	A	Резерв (XT), Int. 8 – 15 (AT)
IRQ3	B	COM или SDLC (синхронное управление передачей данных)
IRQ4	C	COM или SDLC

IRQ5	D	Жесткий диск (XT), LPT (AT)
IRQ6	E	Привод гибкого диска
IRQ7	F	LPT
(Следующие прерывания действительны только для компьютеров AT)		
IRQ8	70	Часы реального времени
IRQ9	71	Перенаправление на IRQ2
IRQ10	72	Не назначено
IRQ11	73	Не назначено
IRQ12	74	Не назначено
IRQ13	75	Сопроцессор 80287
IRQ14	76	Жесткий диск
IRQ15	77	Не назначено

Прерывания, помеченные символом *, существуют только на системной плате, и в шине они не присутствуют.

Б.2 Каналы ПДП

Таблица Б.2
Каналы ПДП

Канал	Использование
0	Регенерации памяти
1	SDLC (синхронное управление передачей данных)
2	Привод гибкого диска
3	Не назначено
4	Не назначено
5	Не назначено
6	Не назначено
7	Не назначено

Б.3 Каналы ПДП ИС 8237

Таблица Б.3

Контроллер 1: 8 разрядов (порты 000 – 00F)

Страничный регистр	Адреса ввода/вывода
Канал 0 (АТ)	087
Канал 1	083
Канал 2	081
Канал 3	082

Таблица Б.4

Контроллер 2: 16 разрядов (только для АТ – порты 0C0 – 0DF)

Страничный регистр	Адреса ввода/вывода
Канал 5	08B
Канал 6	089
Канал 7	08A

Регенерация (АТ) 08F

Регистры контроллера:

Таблица Б.5

Контроллеры ПДП

Адрес контроллера		Коды команд
1	2	
000	0C0	Канал 0/4, начальный и текущий адрес
001	0C2	Канал 0/4, начальный и текущий адрес циклов
002	0C0	Канал 0/4, начальный и текущий адрес
003	0C6	Канал 0/4, начальный и текущий адрес циклов
004	0C8	Канал 0/4, начальный и текущий адрес
005	0CA	Канал 0/4, начальный и текущий адрес циклов
006	0CC	Канал 0/4, начальный и текущий адрес
007	0CE	Канал 0/4, начальный и текущий адрес циклов

008	0D0	Чтение регистра состояния/запись регистра команд
009	0D2	Запись в регистр запросов
00A	0D4	Запись бита маски одного из каналов
00B	0D6	Запись регистра режимов одного из каналов
00C	0D8	Сброс (очистка) регистра-защелки
00D	0DA	Чтение рабочего регистра/Программный сброс контроллера
00E	0DC	Очистка битов масок
00F	0DE	Запись регистра масок всех каналов

Б.4 Контроллер прерываний 8259

Программируемый контроллер прерываний обеспечивает доступ к внутренним регистрам с помощью двух портов ввода/вывода. Контроллер 8259 инициализируется загрузкой четырех управляющих байтов. После этого он начинает обслуживать запросы на прерывание. В зависимости от аппаратного обеспечения управляющие байты могут различаться. Ниже показано использование портов в рабочем режиме.

Контроллер прерываний 1, порты 20 – 21.

Контроллер срабатывает по положительному фронту.

Порт 20 используется для подтверждения и отмены запрета ИС 8259.

Для того чтобы послать код сброса неспециального прерывания:

```
mov al,mask
out 20h,al
```

Порт 21 используется для установки/сброса регистра маскирования.

Маскирующий бит = 0 => включение, 1 => отключение конкретного IRQ.

Для того чтобы прочитать регистр маски

```
in al,21h бит 7 – 0 = IRQ 7 – 0.
```

Для того чтобы записать регистр маски прерывания

```
mov al,mask
out 21h,al.
```

Для 2-й ИС 8259 (только для компьютеров AT)

Контроллер прерываний 1, порты A0 – A1

Контроллер срабатывает по положительному фронту.

Порт A0 используется для подтверждения и отмены запрета ИС 8259

Для того чтобы послать код сброса неспециального прерывания:

```
mov al,mask
out A0h,al
```

Порт A1 используется для установки/сброса регистра маскирования.
 Маскирующий бит = 0 => включение, 1 => отключение конкретного IRQ
 Для того чтобы прочитать регистр маски

```
in al,A1h бит 7 – 0 = IRQ 15 – 8.
```

Для того чтобы записать регистр маски прерывания

```
mov al,mask  
out A1h,al.
```

Б.5 Счетчик/таймер 8253/8254

Таблица Б.6

Счетчик/таймер 8253/8254

Порт	Секция	Описание
40	Счетчик 0	Системные часы времени суток = 0FFFFh Выход на IRQ0 каждые 53 мс (18,2 импульса в секунду)
41	Счетчик 1	Регенерация содержимого динамической памяти = 0012h (регенерация приблизительно каждые 15 мкс)
42	Счетчик 2	Выход на динамик
43	Управляющий регистр	
	Разряд 7, 6	Выбор счетчика 0, 1, 2
	Разряд 5, 4	Защелка, LSB (младший разряд), MSB (старший разряд), LSB-MSB
	Разряд 3, 2, 1	Режим
	0 – Прерывание по счетчику	
	1 – Программируемый ждущий мультивибратор	
	2 – Программируемый генератор импульсов	
	3 – Генератор прямоугольного сигнала	
	4 – Программно запускаемый одновибратор	
	5 – Аппаратно запускаемый одновибратор	
	Разряд 0	Двоичный/двоично-десятичный счет

Бит Б.7
Регистры ИС 8250

Регистр	Порт	Номер рег.	7	6	5	4	3	2	1	0
DATA	BA+0	0	Разряд 7	Разряд 6	Разряд 5	Разряд 4	Разряд 3	Разряд 2	Разряд 1	Разряд 0
DLL	BA+0	0	Скорость (бод)	Генератор LSB	ДелиТЕЛЬ	Счетчик (DLAB=1)				
DLH	BA+1	1	Скорость (бод)	Генератор MSB	ДелиТЕЛЬ	Счетчик (DLAB=1)				
IER	BA+1	1	0	0	0	–	Прерывание модема включено	Прерывание линии RX включено		
IIR	BA+2	2	0	0	0	0	0	Активизация прерывания разряд 1	Активизация прерывания разряд 1	Задержка прерывания
LCR	BA+3	3	DLA В разряд делителя или защелки	Прекращение установки	Режим четности разряд 2	Режим четности разряд 1	Режим четности разряд 0	Длина стопового бита разряд 0	Длина символа разряд 1	Длина символа разряд 0
MCR	BA+4	4	0	0	0	Возврат назад	–OUT2	0	–RTS	–DTR
LSR	BA+5	5	0	TEMP	THRE	Прекращение	Формирование кадра	Четность	Переполнение	RxRdy
MSR	BA+6	6	DCD	RI	DSR	CTS	DDCD	TERI	DDSR	DCTS
SCR	BA+7	7								

BA – начальный адрес

COM1 BA = 3F8 hex

COM2 BA = 2F8 hex

COM3 BA = 3E8 hex

COM4 BA = 2E8 hex

Описание внутренних регистров микросхемы 8250:

БА + 0 Если включен режим передачи/приема данных (разряд 7 регистра управления линией равен 0): регистр ДАННЫХ передатчика/приемника

Если режим передачи/приема данных выключен: младший байт ДЕЛИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ, только для записи

БА + 1 Если включен режим передачи/приема данных: регистр РАЗРЕШЕНИЯ ПРЕРЫВАНИЙ, только запись

Если режим передачи/приема данных выключен: старший байт ДЕЛИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ, только для записи

БА + 2 Для чтения: регистр ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРЕРЫВАНИЯ

БА + 3 Регистр УПРАВЛЕНИЯ ЛИНИЕЙ

БА + 4 Регистр УПРАВЛЕНИЯ МОДЕМОМ

БА + 5 Регистр СОСТОЯНИЯ ЛИНИИ, только чтение

БА + 6 Регистр СОСТОЯНИЯ МОДЕМА, только чтение

Таблица Б.8

Распределение памяти компьютера PC/XT/AT

FFFFF 100000	Расширенная память AT (15 М)	
FFFFF F0000	ROM	
FFFFF E0000	Резерв в PC/XT (64 К)	
FFFFF D0000	Рекомендуется для размещения памяти по спецификации «LIM» Дополнительная память (64 К)	
FFFFF C800	жесткий диск, только XT (20 К) (см. таблицу Б.7)	
C7FFF	расширение ROM (26 К) (см. таблицу Б.6)	
C3FFF	Резерв (16 К)	Буферы EGA дисплея и ROM
AFFFF A0000	Резерв (64 К)	Буферы EGA дисплея и ROM
AFFFF A0000	Резерв (64 К)	Буферы EGA дисплея и ROM
9FFFF 80000		
7FFFF	Расширение 512 К RAM	
00400	DOS (см. таблицу Б.4) BIOS (см. таблицу Б.3)	
003FF	Вектора прерываний (см. рисунок Б.2)	

Таблица Б.9
Вектора прерываний

00000 – 00003 = Прерывание 0, ошибка деления на ноль
00004 – 00007 = Прерывание 1, прерывание пошагового режима 386, используется для отладки программ
Исключительная ситуация
00008 – 0000B = Прерывание 2, аппаратное немаскируемое прерывание
0000C – 0000F = Прерывание 3, прерывание для трассировки
00010 – 00013 = Прерывание 4, переполнение
00014 – 00017 = Прерывание 5, печать копии экрана
00018 – 0001B = Прерывание 6, резерв
0001C – 0001F = Прерывание 7, резерв
00020 – 00023 = Прерывание 8, прерывание интервального таймера, возникает 18,2 раза в секунду
00024 – 00027 = Прерывание 9, клавиатура
00028 – 0002B = Прерывание A, резерв
0002C – 0002F = Прерывание B, коммуникационный порт
00030 – 00033 = Прерывание C, коммуникационный порт
00023 – 00037 = Прерывание D, альтернативный принтер
00038 – 0003B = Прерывание E, прерывание генерируется контроллером НГМД после завершения операции ввода/вывода
0003C – 0003F = Прерывание F, управление принтером
00040 – 00043 = Прерывание 10, обслуживание видеоадаптера (BIOS)
00044 – 00047 = Прерывание 11, определение конфигурации устройств в системе (BIOS)
00048 – 0004B = Прерывание 12, определение размера оперативной памяти (BIOS)
0004C – 0004F = Прерывание 13, обслуживание дисковой системы (BIOS)
00050 – 00053 = Прерывание 14, работа с асинхронным последовательным адаптером RS-232
00054 – 00057 = Прерывание 15, обслуживание кассетного накопителя ввода/вывода, дополнительные процедуры AT (BIOS)
00058 – 0005B = Прерывание 16, обслуживание клавиатуры (BIOS)
0005C – 0005F = Прерывание 17, обслуживание принтера (BIOS)
00060 – 00063 = Прерывание 18, запуск BASIC в ПЗУ, если он есть
00064 – 00067 = Прерывание 19, перезагрузка операционной системы

00068 – 0006B	= Прерывание 1A, обслуживание часов
0006C – 0006F	= Прерывание 1B, обработчик прерывания, активизируемый при нажатии комбинации клавиш <Ctrl+Break>
00070 – 00073	= Прерывание 1C, программное прерывание, вызывается 18,2 раза в секунду обработчиком аппаратного прерывания таймера
00074 – 00077	= Прерывание 1D, адрес видеотаблицы для контроллера видеоадаптера
00078 – 0007B	= Прерывание 1E, указатель на таблицу параметров диска
0007C – 0007F	= Прерывание 1F, указатель на графическую таблицу
00080 – 00083	= Прерывание 20, обслуживание окончания программы DOS
00084 – 00087	= Прерывание 21, обслуживание всех вызовов функций DOS
00088 – 0008B	= Прерывание 22, используется DOS, активизируется по концу программы
0008C – 0008F	= Прерывание 23, используется DOS, активизируется при нажатии кнопки <Break>
00090 – 00093	= Прерывание 24, используется DOS, активизируется при возникновении критической ошибки
00094 – 00097	= Прерывание 25, используется DOS, обслуживает абсолютную процедуру чтения диска
00098 – 0009B	= Прерывание 26, используется DOS, обслуживает абсолютную процедуру записи диска
0009C – 0009F	= Прерывание 27, используется DOS, заканчивает программу и оставляет программу в памяти
000A0 – 000FF	= Прерывание 28 – 3F, резерв
000A0 – 00103	= Прерывание 40, обслуживание ввода/вывода с диска (XT)
00104 – 00107	= Прерывание 41, фиксированные параметры диска (XT)
00108 – 00123	= Прерывание 42 – 48, резерв
00124 – 00127	= Прерывание 49, адрес дополнительной таблицы клавиатуры
00128 – 0017F	= Прерывание 50 – 5F, резерв
00180 – 0019F	= Прерывание 60 – 67, определяются пользователем
<i>Большинство плат сбора данных могут быть запрограммированы на использование любых прерываний в диапазоне 60 – 67</i>	
<i>Прерывание 67 используется программой управления дополнительной памяти</i>	
001A0 – 001FF	= Прерывание 68 – 7F, не используется
00200 – 00217	= Прерывание 80 – 85, зарезервировано для BASIC
00218 – 003C3	= Прерывание 86 – F0, интерпретатор BASIC
003C4 – 003FF	= Прерывание F1 – FF, не используется

Таблица Б.10

Область переменных BIOS

00400 – 00401 = Адрес 1 адаптера RS-232
00402 – 00403 = Адрес 2 адаптера RS-232
00404 – 00405 = Адрес 3 адаптера RS-232
00406 – 00407 = Адрес 4 адаптера RS-232
00408 – 00409 = Адрес 1 адаптера принтера
0040A – 0040B = Адрес 2 адаптера принтера
0040C – 0040D = Адрес 3 адаптера принтера
0040E – 0040F = Адрес 4 адаптера принтера
0041D – 00411 = Флаг оборудования
00412 – 00414 = Индикатор теста производителя
00413 – 00414 = Используемый размер памяти в К
00415 – 00416 = Память канала ввода/вывода
00417 – 00418 = Биты состояния клавиатуры
00419 = Альтернативная цифровая клавиатура (будущее использование)
0041A – 0041B = Адрес заголовка буфера клавиатуры
0041C – 0041B = Адрес конца буфера клавиатуры
0041E – 0043D = Буфер клавиатуры
0043E = Состояние поиска привода гибкого диска
0043F = Состояние двигателя привода гибкого диска
00440 = Истечение времени работы для двигателя привода гибкого диска
00441 = Состояние привода гибкого диска
00442 – 00448 = Байты состояния контроллера привода гибкого диска
0449 = Код режима CRT (ЭЛТ)
0044A – 0044B = Ширина столбца ЭЛТ
0044C – 0044D = Длина буфера обновления ЭЛТ
0044E – 0044F = Начальный адрес буфера обновления
00450 – 00451 = Положение курсора для 1 страницы ЭЛТ
00452 – 00453 = Положение курсора для 2 страницы ЭЛТ
00454 – 00455 = Положение курсора для 3 страницы ЭЛТ
00456 – 00457 = Положение курсора для 4 страницы ЭЛТ
00458 – 00459 = Положение курсора для 5 страницы ЭЛТ
0045A – 0045B = Положение курсора для 6 страницы ЭЛТ

0045C – 0045D = Положение курсора для 7 страницы ЭЛТ
0045E – 0045F = Положение курсора для 8 страницы ЭЛТ
00460 – 00461 = Режим курсора
00462 = Номер активной страницы
00463 – 00464 = Адрес текущего адаптера дисплея
00465 = Режим ЭЛТ
00466 = Настройка палитры
00467 – 00468 = Счетчик времени
00469 – 0046A = Регистр CRC
0046B = Последнее введенное значение
0046C – 0046D = Младшее слово таймера
0046E – 0046A = Старшее слово таймера
00470 = Динамический регистр таймера
00490 – 004CF = Используется режимом COM
00471 = Индикатор нажатия клавиши <Break>
00472 – 00473 = Индикатор перезагрузки (нажатия клавишей <Alt-Ctrl-Del>)
00474 – 00477 = Область данных жесткого диска (XT)
00478 = Истечение времени работы принтера 1 (XT)
00479 = Истечение времени работы принтера 2 (XT)
0047A = Истечение времени работы принтера 3 (XT)
0047B = Истечение времени работы принтера 4 (XT)
0047C = Истечение времени работы 1 платы RS-232
0047D = Истечение времени работы 2 платы RS-232
0047E = Истечение времени работы 3 платы RS-232
0047F = Истечение времени работы 4 платы RS-232
00480 – 00483 = Адреса дополнительных буферов клавиатуры (XT)
00484 – 004A8 = Буфер EGA BIOS
00484 = Количество строк символов
00485 = Количество байтов в символе
00487 = Байт состояния
00488 = Биты признаков, DIP переключатели
004A8 = Адрес сохранения
004D0 – 004EF = Резерв
004F0 – 004FF = Область внутренних перемещений

Таблица Б.11

Область переменных DOS и BASIC

00500 = Состояние кнопки <PrnScg>
00504 = Состояние одного привода (привода А или В)
00510 – 00511 = Адрес сегмента данных, используемый по умолчанию BASIC
00512 – 00513 = IP вектора прерывания для BASIC
00514 – 00515 = CS вектора прерывания для BASIC
00516 – 00517 = IP прерывания <Ctrl-Break> для BASIC
00518 – 00519 = CS прерывания <Ctrl-Break> для BASIC
0051A – 0051B = IP прерывания неисправимой ошибки для BASIC
0051C – 0051D = CS прерывания неисправимой ошибки для BASIC
00600 – XXXXX = DOS и «все остальное»

Таблица Б.12

Область расширения RAM

7FFF = Верх 512 К
80000 – 9FFFF = AT, область расширения RAM, 128 К
9FFFF = Верх 640 К, конец области расширения памяти

Таблица Б.13

Буферы экрана ЭЛТ

A0000 – AFFFF = Буферы экрана усовершенствованного графического адаптера (EGA)*
B0000 – B7FFF = Монохромный адаптер EGA
B0000 – B0FFF = Буфер монохромного экрана
B1000 – B7FFF = Буферы, зарезервированные для экрана
B8000 – BBFFF = Цветной/графический адаптер (CGA) или EGA
B8000 – BBFFF = Буфер CGA
BC000 – BFFFF = Буферы экрана CGA/EGA
C0000 – C3FFF = BIOS EGA

Таблица Б.14*Область пользователя*

C4000 – C7FFF = Область расширения ROM
C8000 – CFFFF = Управление жестким диском (XT)
CD000 – CFFFF = PROM пользователя, ввод/вывод с отображением в памяти
D0000 – DFFFF = PROM пользователя, место, рекомендуемое спецификациями «LIM»
E0000 – EFFFF = Область расширения ROM, опциональный ввод/вывод для PC/XT

Таблица Б.15*ROM*

F0000 – F0FFF = ROM BASIC
FE000 – FFFD9 = BIOS
FFFF0 – FFFF4 = Первая команда, исполняемая при включении питания
FFFF5 – FFFFС = Дата выпуска BIOS
FFFFE – FFFFF = Идентификационный код компьютера

Таблица Б.16*Расширенная память AT*

100000 – FFFFFFF = Память канала ввода/вывода (расширенная память PC/AT, не более 15 М)

Таблица Б.17*Карта ввода/вывода IBM PC/XT*

000 – 00F = Контроллер ПДП (8237A)
020 – 021 = Контроллер прерываний (8259A)
040 – 043 = Таймер (82253)
060 – 063 = Программируемый периферийный интерфейс (8255A)
080 – 083 = Страничный регистр ПДП (74LS612)
0A0 = Регистр маски NMI (немаскируемое прерывание)
200 – 20F = Джойстик (игровой манипулятор)
210 – 217 = Модуль расширения
2F8 – 2FF = Последовательный порт (вторичный)
300 – 31F = Макетная плата
320 – 32F = Жесткий диск
378 – 37F = Параллельный принтер (первичный)
380 – 38F = SDLC (синхронное управление передачей данных)
3B0 – 3BF = Монохромный адаптер/принтер
3D0 – 3D7 = Цветной/графический адаптер
3F0 – 3F7 = Контроллер гибкого диска
3F8 – 3FF = Последовательный порт (первичный)

Таблица Б.18

Карта ввода/вывода IBM

000 – 01F = Контроллер ПДП (8237A-5)
020 – 30F = Контроллер прерываний (8259A)
040 – 05F = Таймер (8254)
060 – 06F = Клавиатура (8042)
070 – 07F = Регистр маски NMI, часы реального времени
080 – 09F = Страничный регистр ПДП (74LS612)
0A0 – 0BF = Контроллер прерываний 2 (8259A)
0C0 – 0DF = Контроллер ПДП 2 (8237A)
0F0 – 0FF = Математический сопроцессор
1F0 – 1F8 = Жесткий диск
200 – 207 = Джойстик (игровой манипулятор)
258 – 25F = Плата расширенной памяти Intel Above Board
278 – 27F = Параллельный принтер (вторичный)
300 – 31F = Макетная плата
360 – 36F = Резерв
378 – 37F = Параллельный принтер (первичный)
380 – 38F = Синхронная или бисинхронная передача данных (вторичная)
3A0 – 3AF = Бисинхронная передача данных (первичная)
3B0 – 3BF = Монохромный адаптер/принтер
3C0 – 3CF = EGA зарезервировано
3D0 – 3DF = Цветной/графический адаптер
3F0 – 3F7 = Контроллер привода гибкого диска
3F8 – 3FF = Последовательный порт (первичный)

Б.6 Информация о сигналах шины

62-контактный разъем ПК (со стороны планки платы)

Назначение линий 62-контактного разъема ПК

Земля	←	B1	A1	←	-I/O CHCH	Проверка канала ввода/вывода. При низком уровне устройство, подключенное к шине, обнаружило ошибку, выявленную контролем по четности
+Сброс	←	B2	A2	↔	SD7	7-й разряд данных
+5 вольт	←	B3	A3	↔	SD6	6-й разряд данных
+IRQ2/9	→	B4	A4	←	SD5	5-й разряд данных
-5 вольт	←	B5	A5	↔	SD4	4-й разряд данных
+DRQ2	→	B6	A6	←	SD3	3-й разряд данных
-12 вольт	←	B7	A7	↔	SD2	2-й разряд данных
-OWS	↔	B8	A8	←	SD1	[1] ноль тактов ожидания. Устройства с быстрой шинной памятью устанавливают на этой линии низкий уровень, чтобы ЦП не вставлял дополнительные такты ожидания для 16-разрядных устройств и два такта для 8-разрядных устройств
+12 вольт	←	B9	A9	↔	D0	1-й разряд данных
Земля	←	B10	A10	←	I/O CHRDY	Готовность канала ввода/вывода. Устройство на шине, требующее больше времени, удерживает низкий потенциал. Задержка не может превышать более 10 тактов. Циклы удлиняются на время, пропорциональное тактовым импульсам CLK
-S<E<W	←	B11	A11	↔	AEN	Разрешение адреса. При высоком уровне контроллер ПДП управляет линиями адреса, данных, записи/чтения в память и линиями записи/чтения устройства ввода/вывода
-SMEMR	←	B12	A12	↔	SA19	Запись в память. Эта команда информирует устройства памяти, подключенные к шине, о необходимости сохранения данных, выставленных на шине. Активным является низкое состояние
-IOW	↔	B13	A13	↔	SA18 C	Команда записи в устройство ввода/вывода. Эта линия разрешает устройству ввода/вывода, подключенному к шине, сохранить выставленные на линиях данные
-IOR	↔	B14	A14	↔	SA17 O	Команда чтения устройства ввода/вывода. Эта линия разрешает устройству ввода/вывода, подключенному к шине, выставить данные. Активным является низкое состояние

-DACK3	↔	B15	A15	↔	SA16 M	
S+DRQ3	↔	B16	A16	↔	SA15 P	
0-DACK1	↔	B17	A17	↔	SA14 O	
L+DRQ1	↔	B18	A18	↔	SA13 N	
D-DACK0	↔	B19	A19	↔	SA12 E	
ECLK	↔	B20	A20	↔	SA11 N	Системная частота. Либо это сигнал с рабочим циклом 50% при частоте 6 МГц (АТ), либо 33% при частоте 4,77 МГц (ХТ)
R+IR17	↔	B21	A21	↔	SA10 T	
+IRQ6	↔	B22	A22	↔	SA9	
S+IRQ5	↔	B23	A23	↔	SA8 S	
I+IRQ4	↔	B24	A24	↔	SA7 I	
D+IRQ3	↔	B25	A25	↔	SA6 D	
E-DACK2	↔	B26	A26	↔	SA5 E	
+T/C	←	B27	A26	↔	SA4	Окончание счета. Этот сигнал становится высоким, когда по какому-либо каналу ПДП будет окончен счет
+BALE	←	B28	A28	↔	SA3	Разрешение на фиксацию адреса на шине. Этот сигнал разрешается тогда, когда контроллер ПДП становится задающим устройством на шине и сообщает всем остальным устройствам о том, что на шине выполняются циклы ПДП. Активным является высокий уровень
+5 вольт	←	B29	A29	↔	SA2	
OSC	←	B30	A30	↔	SA1	Генератор. Тактовый сигнал с рабочим циклом 50% и частотой 14,31818 МГц
Земля	←	B31	A31	↔	SA0	

По контакту В43 подается сигнал прерывания **IRQ2** для компьютера ХТ. По контакту В4 подается сигнал прерывания **IRQ9** для компьютера АТ, который перенаправляется как **IRQ2**.

Таблица Б.20

Назначение линий 36-контактного разъема

-memcs16	→	D1	C1	→	SBHE	Команда сообщает задатчику шины о том, что память является 16-разрядной, используется один такт ожидания
-I/OCS16	→	D2	C2	↔	LA23	Команда сообщает задатчику шины о том, что устройство ввода/вывода является 16-разрядным, используется один такт ожидания
+IRQ10	→	D3	C3	↔	LA22	
+IRQ11	→	D4	C4	↔	LA21 O	
S+IRQ12	→	D5	C5	↔	LA20 M	
O + IRQ15	→	D6	C6	↔	LA19 P	
L + IRQ14	←	D7	C7	↔	LA18 O	
D – DACK0	←	D8	C8	↔	LA17 N	
E + DRQ0	→	D9	C9	→	MEMRE	
R – DACK5	←	D10	C10	→	MEMWN	
+DRO5	→	D11	C11	↔	SD08 T	
S – DACK6	←	D12	C12	↔	SD09	
I + DRQ6	→	D13	C13	↔	SD10 S	
D – DACK7	←	D14	C14	↔	SD11 I	Линии ODMA подтверждения используются для подтверждения ПДП запросов (DRQ). Сигнал DACK0 предназначен для выполнения функции DRAM REFRESHMENT. Активным является низкое состояние
E + DRO7	→	D15	C15	↔	SD12 D	
+ 5 вольт		D16	C16	↔	SD13 E	
-MASTER	→	D17	C17	↔	SD14	Процессор или канал ввода/вывода могут использовать этот сигнал совместно с DRQ, чтобы получить контроль над линиями адреса, данных или управления. Управляющие линии могут потребоваться процессору на регенерацию системной памяти каждые 15 мкс
Земля		D18	C18	↔	SD15	

Стрелки, указывающие к разъему, обозначают сигналы, приходящие на системную плату (от устройств, подключенных к шине), и наоборот. Символ ↔ отмечает двунаправленные сигналы.

ПРИМЕЧАНИЕ: В компьютерах PC и PC/XT шина состоит только из 62-контактной части разъема. Названия некоторых сигналов отличаются, но их назначение одинаково.

Б.7 Размеры плат

Физические размеры плат для стандартов PC/XT и PC/AT даются ниже.

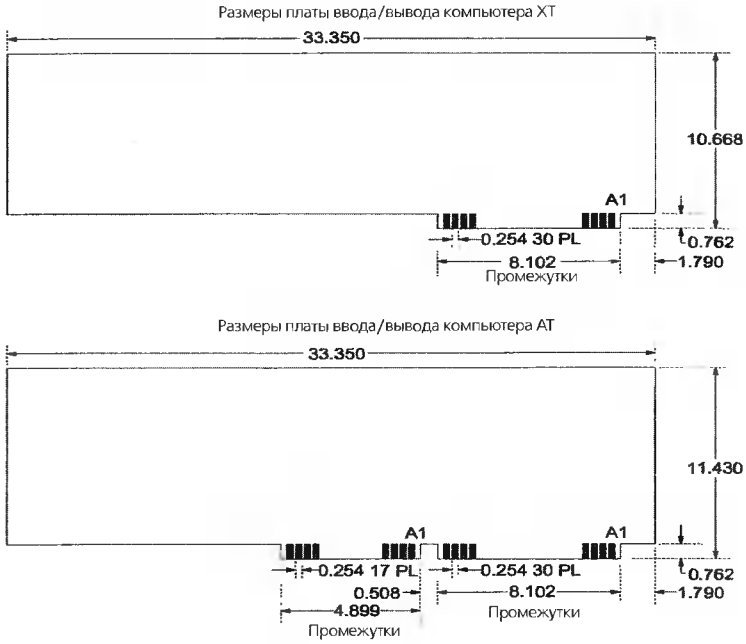


Рисунок Б.1

Размеры плат для компьютеров PC/XT и PC/AT

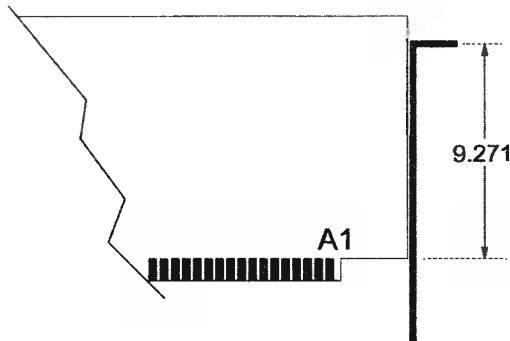


Рисунок Б.2

Схема расположения планки для крепления платы

Б.8 Стандартный интерфейс Centronics

Стандарт параллельного принтера или интерфейс Centronics, который использует 36-контактный разъем, обычно не представляет никаких трудностей. Полное определение сигналов приводится в таблице Б.23. Этот интерфейс используется главным образом для подключения принтеров к компьютерам или к другим интеллектуальным устройствам. Интерфейс имеет ограниченное расстояние, поскольку он использует низковольтные сигналы (+5 вольт).

Таблица Б.23

Назначение контактов разъема Centronics

Название сигнала	Сигнальный контакт	Обратный контакт	Описание сигнала
*DSTB (строб)	1	19	Импульс низкого уровня длительностью не менее 0,5 мкс используется для стробирования сигналов DATA (данные), подаваемых на принтер. Принтер считывает данные при низком уровне этого сигнала. Перед выдачей следующего сигнала –data strobe должен быть возвращен сигнал подтверждения –acknowledge. Если сигнал BUSY имеет высокий уровень, то –data strobe игнорируется
*DATA 1 – 8 (данные)	2 – 9	20 – 27	Восемь линий данных от главного устройства. Высокий уровень сигнала представляет двоичную 1, а низкий уровень – двоичный 0. Старшим разрядом является DATA 8. Сигнал должен иметь высокий уровень не менее чем за 0,5 мкс до заднего фронта сигнала строба и удерживаться не менее 0,5 микросекунды после переднего фронта
Acknowledge (подтверждение)	10	28	Импульс низкого уровня длительностью от 2 до 6 микросекунд указывает на ввод символа в буфер данных принтера или окончание операции
BUSY (занят)	11	29	Высокий уровень сигнала указывает на то, что принтер не может принимать данные. Типичными условиями, которые приводят к высокому уровню сигнала BUSY, являются заполнение буфера или состояние ERROR
PE (отсутствие бумаги)	12		Высокий уровень сигнала указывает на то, что в принтере закончилась бумага
SLCT (выбор)	13		Высокий уровень сигнала указывает на то, что принтер находится в режиме ON LINE

* AUTO FEED XT (автоматическая подача)	14		Низкий уровень сигнала указывает на то, что после каждого кода CR (возврат каретки) подается код LF (перевод строки)
Не подключен	15		Зарезервированная линия
Земля сигнала		16	Логический/сигнальный земляной уровень (0 вольт)
Корпус		17	Земляная линия корпуса принтера/каркаса
Не подключен			Зарезервированная линия
Земля сигнала		19 – 30	Обратные провода витой пары
*INIT (инициализация)	31		Импульс низкого уровня длительностью не менее 50 мкс очищает буфер и инициализирует принтер
ERROR (ошибка)	32		Низкий уровень сигнализирует о том, что принтер находится в режиме OFF LINE, у него кончилась бумага (PAPER OUT) или он обнаружил ошибку (ERROR)
Земля сигнала	33		Логический/сигнальный земляной уровень (0 вольт)
Не подключен	34		Не используется
+5 вольт (управление)	35		Подключен к источнику +5 вольт через резистор 3,3 кОм
*SLCT IN (—select in)	36		Сигнал низкого уровня является индикатором того, что при включении питания принтер перешел в режим ON LINE (выбран)

* означает, что сигнал вырабатывается главной системой (например, ПК)

Приложение В

Описание ИС программируемого периферийного интерфейса 8255

Этот раздел содержит краткую информацию, относящуюся к ИС программируемого периферийного интерфейса (PPI) 8255. Из-за очень широкого использования этой ИС в платах сбора данных ей посвящено все это приложение. Для получения более детальной информации о работе ИС 8255 и связанной с ней ИС таймера/счетчика (подробное описание которой приводится в следующем приложении) необходимо связаться с компанией Intel и получить у них спецификации на эти ИС.

ИС 8255 используется в качестве интерфейса между периферийными устройствами, связанными с окружающим миром, и шиной главного компьютера. Периферийными устройствами могут быть датчики переключателей, реле, измерительные приборы с цифровым выводом информации и управлением, промышленные приборные стойки с устройствами ввода/вывода, шины других компьютеров и т.п.

Эта ИС имеет 24 программируемые цифровые линии ввода/вывода. 24 линии разделены между тремя 8-разрядными портами (называемыми порт А, порт В и порт С). Порты могут программироваться либо как две группы по 12 линий (группа А и группа В), либо как три отдельных 8-разрядных порта. Порты/группы могут работать в трех режимах: простой ввод/вывод (режим 0), стробуемый ввод/вывод (режим 1) и двунаправленный ввод/вывод (режим 2). ИС 8255 позволяет также установку и сброс отдельных разрядов порта С.

ИС 8255 занимает четыре последовательных адреса в адресном пространстве устройств ввода/вывода компьютера. Они определяют регистры данных портов А, В и С и регистр управления ИС 8255, как показано ниже:

Таблица В.1
Регистры ИС 8255

Смещение	Запись	Чтение
0	Порт А (CIOA)	Порт А (DIOA)
1	Порт В (DIOB)	Порт В (CIOB)
2	Порт С (DIOC)	Порт С (DIOC)
3	Управляющий регистр	

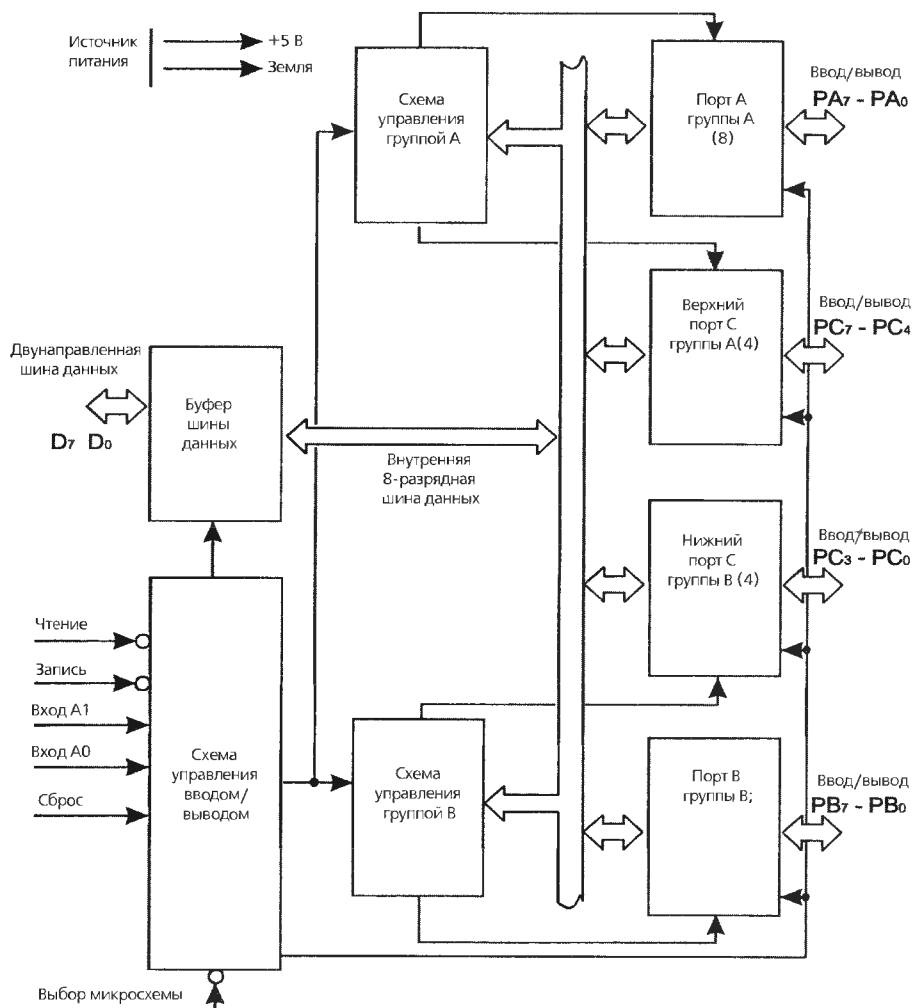


Рисунок В.1
Блок-схема ИС 8255

Прежде чем производить любой ввод/вывод, необходимо установить режим работы и направление передачи информации портов/групп ИС 8255. Это делается простой записью одного байта конфигурационной информации в управляющий регистр ИС 8255. После этого ИС 8255 работает в заданном режиме до тех пор, пока этот режим не будет сброшен или пока в управляющий регистр не будет записана новая конфигурационная информация. Формат этого регистра показан ниже, после которого представлены формат регистров данных и описание того, как использовать ИС в разных режимах.

В.1 DIOCTRL – управляющий регистр ИС 8255

Этот регистр имеет две функции: установку режимов работы трех портов ИС, а также установку и сброс отдельных разрядов порта С. Таким образом, функции и названия разрядов регистра зависят от установки разряда 7. Формат регистра показан ниже.

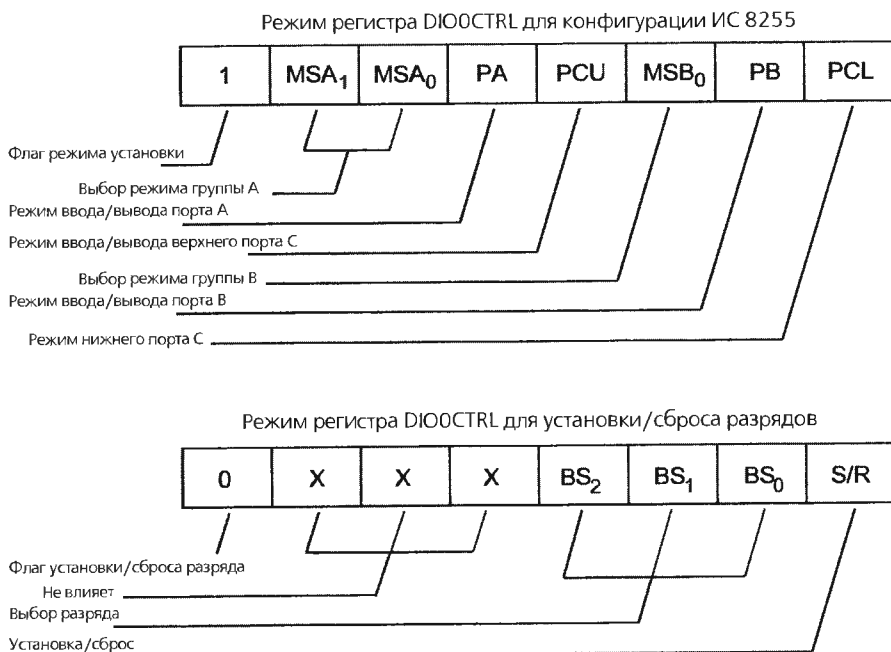


Рисунок В.2

Формат управляющего регистра DIOCTRL ИС 8255

Разряд 7, выбор функции: Если этот разряд содержит 1, то регистр будет находиться в режиме конфигурации. Если же этот разряд содержит 0, то регистр будет находиться в режиме установки/сброса (см. ниже). Функции оставшихся разрядов описываются ниже; сами функции зависят от установки 7-го разряда.

Режим конфигурации, разряд 7

Настройка конфигурации позволяет установить режим работы каждой из двух групп ИС 8255 и направление передачи данных для отдельных портов. Следует отметить, что направление порта С программируется независимо для двух полубайтов.

Разряды 6 – 5, выбор режима группы А: Два этих разряда определяют режим работы портов группы А. К ним относятся порт А и четыре верхние линии порта С. Комбинации разрядов могут быть следующими:

Таблица В.2

Пример выбора группы А

MSA_1	MSA_0	Режим ввода/вывода группы А
0	0	Режим 0, простой ввод/вывод
0	1	Режим 1, стробированный ввод/вывод
1	X	Режим 2, двунаправленная шина

Разряд 4, направление ввода/вывода порта А: Если этот разряд установлен в 1, то порт А работает как вход, а если это 0, то порт А настроен на выход.

Разряд 3, направление ввода/вывода верхнего порта С: Если этот разряд установлен в 1, то четыре верхних линии порта С функционируют как входы, а если это разряд 0, то линии работают на выход.

Разряд 2, выбор режима работы группы В: Этот разряд устанавливает режим работы группы портов В. К ней относятся порт В и четыре нижние линии порта С. Комбинации разрядов могут быть следующими:

Таблица В.3

Пример выбора группы В

MSA_B	Режим ввода/вывода группы В
0	Режим 0, простой ввод/вывод
1	Режим 1, стробируемый ввод/вывод

Необходимо отметить, что группа В может использоваться только для простого и стробируемого ввода/вывода. Режим конфигурации, разряд 7 содержит 1.

Разряд 1, направление ввода/вывода порта В: Если этот разряд установлен в 1, то порт В работает на ввод. Если это 0, то порт В настроен на вывод.

Разряд 0, направление ввода/вывода нижнего порта С: Если этот разряд установлен в 1, то четыре нижних линии порта С работают на ввод. Если разряд равен 0, то линии становятся выходами.

Режим установки/сброса разрядов, разряд 7 сброшен

Разряды 6 – 5: Эти разряды на данную функцию не влияют.

Разряды 3 – 1, выбор разряда: Эти разряды определяют разряд порта С, который должен быть изменен. Код 000 выбирает установку или сброс

линии 0 порта С, код 001 выбирает линию 1 и т.д. до кода 111, который выбирает линию 7.

Разряд 0, установка/сброс: Этот разряд определяет состояние, в которое должна быть установлена линия выбранного порта. Запись 1 переведет линию в высокое состояние, а 0 переведет ее в низкое состояние. Эта операция не влияет на другие линии порта С.

В.2 DIOA – порт А ИС 8255 (смещение 0, чтение/запись)

Этот регистр является регистром данных порта А ИС 8255. Порт может работать в режиме простого ввода/вывода, стробируемого ввода/вывода или в режиме двунаправленной шины – режимах 0, 1 или 2.

A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
----	----	----	----	----	----	----	----

Рисунок В.3
Порт А ИС 8255

Разряды от А7 (MSB, старший) до А0 (LSB, младший) отражают состояние линий ввода/вывода порта. В зависимости от запрограммированного режима ввода/вывода порта линии могут работать на ввод, вывод или быть двунаправленными.

В.3 DIOB – порт В ИС 8255 (смещение 1, чтение/запись)

Этот регистр является регистром данных порта В ИС 8255. Порт может работать в режиме простого ввода/вывода и стробированного ввода/вывода – режимах 0 или 1.

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
----	----	----	----	----	----	----	----

Рисунок В.4
Порт В ИС 8255

Разряды от В7 (MSB) до В0 (LSB) отражают состояние линий ввода/вывода порта. В зависимости от запрограммированного режима порта эти линии могут работать на ввод или на вывод.

В.4 DIOC – порт С ИС 8255 (смещение 2, чтение/запись)

Этот регистр является портом С ИС 8255. Он может работать в режиме простого ввода/вывода, а также использовать некоторые или все линии для квитирования портов А и В, когда эти порты работают в режимах 1 и 2 и, следовательно, не действуют как линии ввода/вывода. Более правильным будет называть их в соответствии с функциональными именами, приведенными в следующей таблице, за которой следует описание этих линий.

C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	C0
----	----	----	----	----	----	----	----

Рисунок В.5
Порт С ИС 8255

Разряды от C7 (MSB) до C0 (LSB) отражают состояние имеющихся линий ввода/вывода порта. В зависимости от запрограммированного режима ввода/вывода порта линии могут быть входами или выходами. Другие линии могут использоваться для квитирования или для запроса прерываний.

Таблица В.4
Использование линий порта С

Линия порта С	Простой ввод/вывод: режим 0	Строблируемый ввод: режим 1	Строблируемый вывод: режим 1	Двухнаправленная шина: режим 2
C7	Ввод/вывод	Ввод/вывод	/OBF _A	/OBF _A
C6	Ввод/вывод	Ввод/вывод	/ACK _A	/ACK _A
C5	Ввод/вывод	IBF _A	Ввод/вывод	IBF _A
C4	Ввод/вывод	/STB _A	Ввод/вывод	/STB _A
C3	Ввод/вывод	INTR _A	INTR _A	INTR _A
C2	Ввод/вывод	/STB _B	/ACK _B	Ввод/вывод
C1	Ввод/вывод	IBF _B	/OBF _B	Ввод/вывод
C0	Ввод/вывод	INTR _B	INTR _B	Ввод/вывод

Символ «/» перед сигналом означает, что активным является низкий уровень.

Если ИС 8255 используется в одном из режимов квитирования, то линии /STB и IBF используются для синхронизации передачи входных данных. Линии /OBF и /ACK используются для синхронизации выходных сигналов. Сигналы, представленные в таблице ниже, имеют следующие функции:

Таблица В.5
Функции линий порта С

Название	Тип	Описание
/STB	Внешний вход	Строб: внешнее устройство, задающее низкий потенциал на этой линии, загружает данные с периферийной шины во входные защелки портов ИС 8255
IBF	Внешний выход	Входной буфер заполнен: ИС 8255 выставляет на этой линии высокий потенциал, чтобы показать внешнему устройству, что его данные были загружены во входную защелку порта ИС 8255
/ACK	Внешний вход	Подтверждение: внешнее устройство выставляет на этой линии низкий потенциал для указания того, что выходные данные порта ИС 8255 были прочитаны
/OBF	Внешний выход	Выходной буфер заполнен: ИС 8255 выставляет на этой линии низкий потенциал, чтобы указать внешнему устройству, что из порта необходимо считать данные. Эта линия может использоваться для стробирования данных при подаче на внешнее устройство
INTR	Внутренний выход	Запрос на прерывание: этот сигнал становится активным (высокий потенциал), когда ИС 8255 запрашивает обслуживание от главного компьютера. Для входных операций он указывает на то, что в соответствующем порту имеются данные, которые должны быть считаны главным компьютером. Для выходных операций он указывает на то, что внешнее устройство считало данные, и, таким образом, главный компьютер может записать в порт 8255 другой байт. В ИС 8255 должны быть посланы соответствующие биты разрешения прерывания, чтобы позволить этому сигналу достигнуть главного компьютера
/RD	Внутренний вход	Сигнал чтения: этот сигнал генерируется управляющими линиями главного компьютера. Он должен активизироваться, когда программа выполняет входную инструкцию из регистра ИС 8255
/WR	Внутренний вход	Сигнал записи: этот сигнал генерируется управляющими линиями главного компьютера. Он активизируется, когда программа выполняет выходную инструкцию для любого регистра ИС 8255

Термин «внешний» используется по отношению к внешней периферии, а «внутренний» – по отношению к шине главного компьютера. Вход является сигналом или данными, подаваемыми на ИС 8255, а выход является сигналом или линией, активизируемой ИС 8255.

Следующий раздел описывает три режима работы портов/групп ИС 8255 и операцию установки/сброса разрядов с точки зрения разработчика программы. Считывание из порта или запись в порт обычно выражаются одной из следующих инструкций:

Таблица В.6

Инструкции чтения из порта записи в порт,

Язык	Чтение из порта	Запись в порт
С	<code>data = inp (addr)</code>	<code>outp (addr, data)</code>
Паскаль	<code>data := part[addr]</code>	<code>port [addr] := data</code>
Бейсик	<code>data = INP (addr)</code>	<code>OUT addr, data</code>
Ассемблер	<code>mov al, data</code> <code>mov dx, addr</code> <code>in al, dx</code>	<code>mov al, data</code> <code>mov dx, addr</code> <code>out dx, al</code>

где:

`addr` – адрес регистра ИС 8255 в пространстве адресов ввода/вывода главного компьютера.

`data` – прочитываемый или записываемый байт данных.

В.5 Режим 0: простой ввод/вывод

Этот режим используется для операций простого ввода или вывода каждого порта, при этом не требуется никакого квитирования или прерывания. Данные просто считываются из выбранного порта или записываются в выбранный порт.

Режим 0 характеризуется следующим:

- Два 8-разрядных порта (порты А и В) и два 4-разрядных порта (верхний и нижний полубайты порта С)
- Любой порт можно сконфигурировать на ввод или вывод
- Выходы защелкиваются, входы не защелкиваются
- Перенос данных путем опрашиваемого ввода/вывода

В.6 Программирование режима 0

Чтобы использовать ИС 8255 в режиме 0, необходимо проделать следующее:

- Записать единственный байт в управляющий регистр, чтобы установить ИС 8255 в режим 0, при котором три порта сконфигурированы на необходимое направление передачи данных
- Затем прочитать или записать из порта ввода/вывода, соответствующего порту ИС 8255 (порт А, В или С), столько раз, сколько необходимо для получения или передачи требуемого количества данных.

В.7 Режим 1: стробируемый ввод/вывод

В этом режиме передача данных управляется сигналами квитирования и аппаратными прерываниями. Некоторые линии порта С используются для этих управляющих сигналов, поэтому они принимают другие функции и имена. Режим 1 характеризуется следующим:

- Две группы, группа А и В. Каждая группа состоит из 8-разрядного порта данных и трех управляющих линий
- Некоторые линии порта С имеют специальные функции
- Порты данных могут работать либо на ввод, либо на вывод
- И входы, и выходы фиксируются защелками
- Один 2-битный простой порт ввода/вывода
- Передача данных с помощью прерываний или опрашиваемого ввода/вывода

Если обе группы настроены на режим 1, то одна ИС 8255 может читать или записывать 16-разрядные данные.

В.8 Программирование режима 1

Чтобы использовать ИС 8255 на вход в режиме 1 с прерываниями:

- Чтобы сконфигурировать ИС 8255 на работу в режиме 1 и задать группу для ввода данных, необходимо записать байт в управляющий регистр
- С помощью операции установки/сброса разрядов (см. ниже) необходимо записать 1 в триггер разрешения прерывания (INTE) необходимого порта ИС 8255
- Внешнее устройство выдает низкий сигнал на линии стробирования входа (/STB). По заднему фронту сигнала производится загрузка данных во входной порт
- Выходная линия заполнения входного буфера (IBF) выставляет высокий потенциал, указывающий на то, что во входную защелку загружены данные
- Когда внешнее устройство установит потенциал линии /STB высоким, сигнал линии запроса на прерывание (INTR) становится высоким. Это указывает главной системе на то, что из ИС 8255 необходимо прочесть данные
- Используя служебную подпрограмму прерывания (ISR), компьютер считывает данные, а сделав это, автоматически сбрасывает сигналы INTR и IBF
- Внешнее устройство может теперь перевести импульс /STB в низкое состояние, чтобы загрузить в ИС 8255 другой байт данных

Если группа ИС 8255 работает на ввод в режиме 1, состояние линий квитирования и сигналов прерывания может быть получено путем чтения порта С. Считанный байт содержит следующую информацию:

C7	C6	IBF _A	INTE _A	INTR _A	INTE _B	IBF _B	INTR _B
----	----	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	------------------	-------------------

Рисунок В.6

Информация состояния порта С, работающего на ввод в режиме 1

ИС 8255 может использоваться в режиме 1 и для чтения данных путем опроса (программного). Это производится следующим образом:

- Сначала записывается байт в управляющий регистр, чтобы сконфигурировать ИС 8255 в режим 1 и подходящую группу для ввода данных
- Программа непрерывно отслеживает соответствующую линию IBF путем чтения порта С
- Внешнее устройство выставляет низкий потенциал на входной линии /STB цифрового разъема ввода/вывода, что позволяет загрузить данные во входной порт
- Потенциал выходной линии IBF на разъеме ввода/вывода становится высоким, что указывает на то, что данные загружены во входные защелки
- Это также приводит к установке соответствующего бита IBF порта С, что информирует программу о возможности чтения данных
- Чтение данных приводит к переводу линии IBF в низкое состояние, таким образом, внешний прибор может снова выставить низкий потенциал на линии /STB, чтобы загрузить другой байт данных в ИС 8255

Программа может также активизировать линию INTR с триггером INTE и контролировать линию INTR, а не IBF. В этом случае для главного компьютера прерывания от ИС 8255 не разрешены.

Чтобы использовать ИС 8255 на выход в режиме 1 с прерываниями, необходимо преодолеть следующее:

- Чтобы сконфигурировать ИС 8255 в режим 1 и подходящую группу для вывода данных, необходимо записать байт в управляющий регистр
- С помощью операции установки/сброса разряда записать 1 в триггер разрешения прерывания (INTE) необходимого порта соответствующей ИС 8255
- После этого выход линии запроса на прерывание ИС 8255 (INTR) становится высоким
- Главный компьютер обнаруживает активную линию INTR. С помощью программы обслуживания прерывания (ISR) он записывает байт в выходной порт. Это автоматически сбрасывает сигнал на линии INTR
- Линия заполнения выходного буфера (/OBF) переходит в низкое состояние, чтобы указать внешнему устройству на данные, которые необходимо считать из ИС 8255

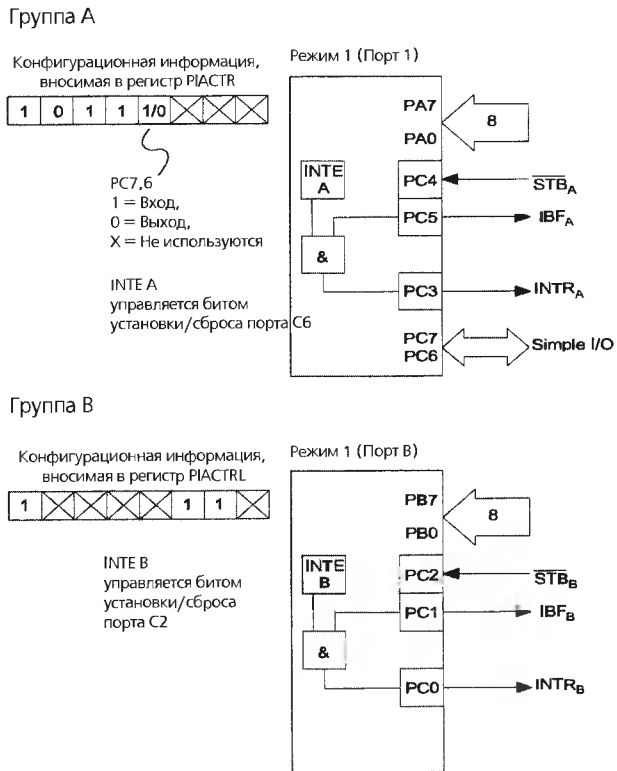


Рисунок В.7
Группы А и В ИС 8255 являются входами в режиме 1

- Внешнее устройство переводит сигнал подтверждения (/ACK) в низкое состояние и затем снова в высокое, указывая на то, что оно прочитало данные
- Это переводит сигналы INTR и /IOF снова в высокое состояние, и цикл может повторяться до тех пор, пока все необходимые данные не будут записаны

Если группа ИС 8255 находится в выходном режиме 1, то состояние линий квитирования и сигналов прерывания может быть получено с помощью чтения порта С. Считанный байт содержит следующую информацию:

/OBF _A	INTE _A	C5	C4	INTR _A	INTE _B	/IOF _B	INTR _B
-------------------	-------------------	----	----	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Рисунок В.8
Информация о состоянии порта С, работающего на выход в режиме 1

ИС 8255 может использоваться в режиме 1 и в режиме переноса данных, записываемых методом опроса (программно). Для этого необходимо выполнить следующие процедуры:

- Записать байт данных в управляющий регистр, чтобы сконфигурировать ИС 8255 на режим 1 и задать соответствующую группу для вывода данных
- Программа будет непрерывно отслеживать линию /OBF путем чтения порта C, ожидая ее перевода в высокое состояние. Высокий уровень указывает на то, что последние данные, записанные в порт, были считаны внешним устройством
- Далее программа может записать в порт новые данные
- Линия /OBF снова перейдет в низкое состояние, указывая на то, что имеются данные, которые должны быть считаны внешним устройством с ИС 8255
- Внешнее устройство переводит сигнал /ACK в низкое состояние, а потом в высокое, чтобы считать данные
- Это переводит линию /OBF в высокое состояние, и цикл может повторяться до тех пор, пока все необходимые данные не будут записаны

Программа может также активизировать линию INTR с помощью триггера INTE и затем контролировать линию INTR, а не /OBF. В этом случае прерывания, направляемые в главный компьютер, отключаются.

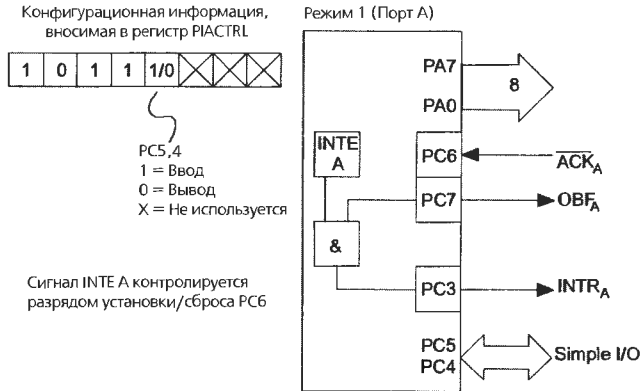
В.9 Режим 2: стробируемая двунаправленная шина ввода/вывода

Этот режим предоставляет средства для общения с внешним устройством с помощью 8-разрядной шины как для приема, так и для передачи данных. И входные, и выходные сигналы квитирования аналогичны сигналам режима 1 и используются для поддержания шинного порядка. Аппаратные прерывания сигнализируют главному компьютеру о том, что порт требует внимания.

Режим 2 характеризуется следующим:

- В режиме 2 работает только группа A
- Один 8-разрядный двунаправленный порт функционирует как на ввод, так и на вывод
- Пять линий порта C имеют специальные функции
- Входы и выходы защелкиваются
- Один 3-байтный простой порт ввода/вывода
- Передача данных с помощью прерываний или опрашиваемого ввода/вывода

Группа А



Группа В

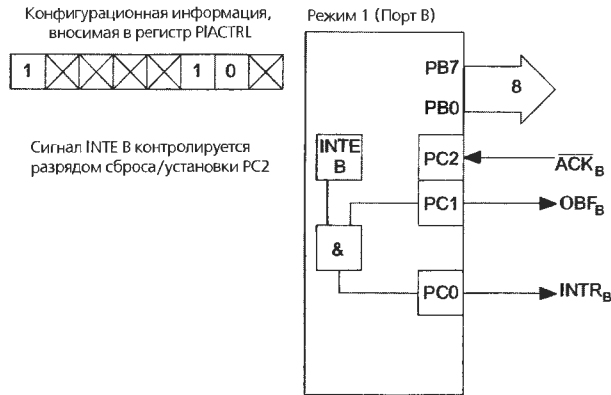


Рисунок В.9
Группы А и В ИС 8255, работающие на выход в режиме 1

В.10 Программирование режима 2

Чтобы применять ИС 8255 в режиме 2 для передачи информации с использованием аппаратных прерываний, необходимо выполнить следующее:

- Записать байт в управляющий регистр, чтобы сконфигурировать ИС 8255 на режим работы 2
- Используя операцию установки/сброса бита, необходимо записать 1 в первый триггер разрешения прерываний (INTE1), чтобы разрешить вывод прерываний. Далее необходимо записать 1 во второй триггер разрешения прерываний (INTE2), чтобы обеспечить вход прерываний. И входные, и выходные прерывания могут быть активизированы одновременно

- При включенных триггерах прерываний линии запроса прерываний в главный компьютер активизируются в том случае, если внешнее устройство выставило строб данных на входную защелку ИС 8255 или если внешнее устройство прочитало выходные данные с выходной защелки
- Главный компьютер обнаруживает, что линия $INTR_A$ активна. Подпрограмма обслуживания прерывания (ISR) определяет, было ли это входное или выходное прерывание путем проверки бита 5 (IBFA) информации состояния режима 2 для порта С (см. ниже). Если линия IBF имеет высокий потенциал (бит 5 установлен), то это входное прерывание; в противном случае это выходное прерывание
- Программа ISR просто считывает или записывает данные в ИС 8255
- Это генерирует необходимые сигналы квитирования от ИС 8255
- Цикл продолжается до тех пор, пока не будет выдано следующее прерывание

Всякий раз, когда ИС 8255 находится в режиме 2, состояние линий квитирования и сигналов прерывания может быть получено путем чтения порта С. Считанный байт содержит следующую информацию:

$/OBF_A$	$INTE_1$	IBF_A	$INTE_2$	$INTR_A$	C2	C1	C0
----------	----------	---------	----------	----------	----	----	----

Рисунок В.10

Информация о состоянии порта С в режиме 2

ИС 8255 может использоваться в режиме 2 для чтения данных и их записи путем программируемого опроса. Это производится следующим образом:

- Чтобы сконфигурировать ИС 8255 для работы в режиме 2, в управляющий регистр записывается байт
- Программа непрерывно отслеживает обе линии IBF_A и $/OBF_A$ путем чтения порта С
- Если бит порта С, соответствующий IBF_A , установлен, то это указывает на то, что внешнее устройство записало данные во входную защелку. Следовательно, программа должна считать данные из порта А
- Если бит порта С, соответствующий $/OBF_A$, установлен, то это указывает на то, что устройство считало данные, записанные программой в порт А, и, следовательно, должно записать следующие данные в порт А
- Этот процесс может повторяться до тех пор, пока не будет прочитано и записано необходимое количество данных

Прерывание в главный компьютер не должно активизироваться, если данные передаются путем опрашиваемого ввода/вывода.

Группа А

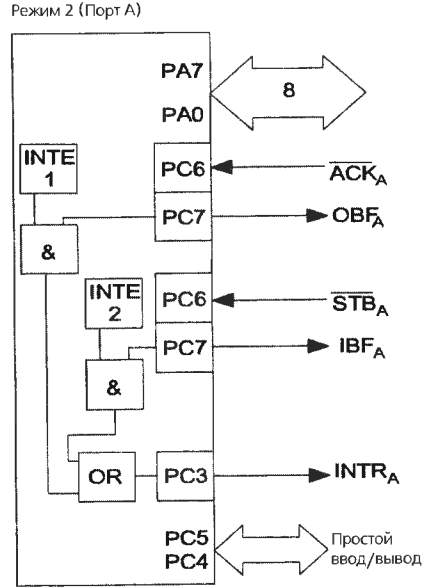
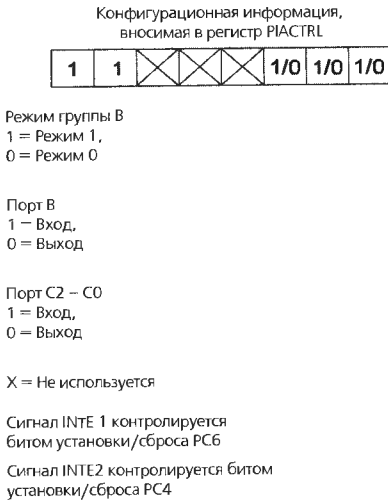


Рисунок В.11
 Работа группы А ИС 8255 в режиме 2

В.11 Однобитовая установка/сброс

Любой из восьми разрядов порта С можно устанавливать и сбрасывать с помощью одной инструкции регистра DIOCTRL. Если порт С используется для выдачи состояния/контроля порта А или В, то любой из этих разрядов можно устанавливать или сбрасывать, как если бы они были выходными портами данных. Формат байта, записываемого в регистр DIOCTRL и используемого для установки и сброса разрядов порта С, показан ниже.

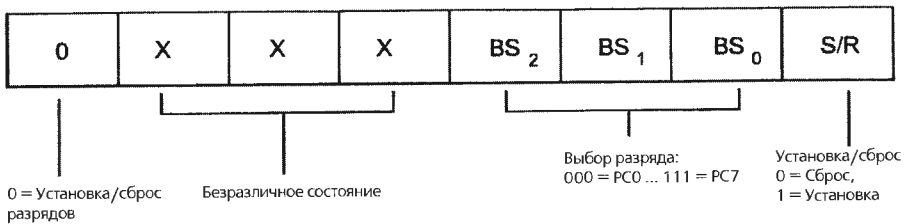


Рисунок В.12
 Регистр DIOCTRL – режим установки/сброса разрядов

В.12 Программирование смешанного режима

ИС 8255 не ограничена работой только в одном режиме. Порт А, например, может работать в режиме 2, а порт В может работать либо в режиме 1, либо в режиме 0. Для любой комбинации некоторые или все линии порта С используются для управления или контроля состояния. Остальные линии порта С можно использовать в режиме 0 либо для ввода, либо для вывода.

Операция чтения из порта С возвращает все линии порта С за исключением линий /АСК и /STB. Вместо них появится состояние триггеров разрешения прерываний (INTEX). Это иллюстрируется рисунками В.10 и В.11 сверху и байтами состояния, следующими за этими рисунками.

Операция записи в порт С будет только влиять на линии, запрограммированные на выход в режиме 2. Чтобы записать в любой выходной порт С, запрограммированный на работу в режиме 1, или чтобы изменить состояние триггера разрешения прерывания, необходимо использовать операцию установки/сброса битов.

Используя команду установки/сброса разрядов, можно произвести установку любой линии порта С, запрограммированного на выход (включая INTR, IBF и /OBF), а также можно установить или сбросить флаг разрешения прерывания. На линии, запрограммированные на выход (включая /АСК и /STB), эта команда не влияет.

Запись на эти линии будет влиять на флаги разрешения прерываний.

В.13 Временные диаграммы режимов 1 и 2 ИС 8255

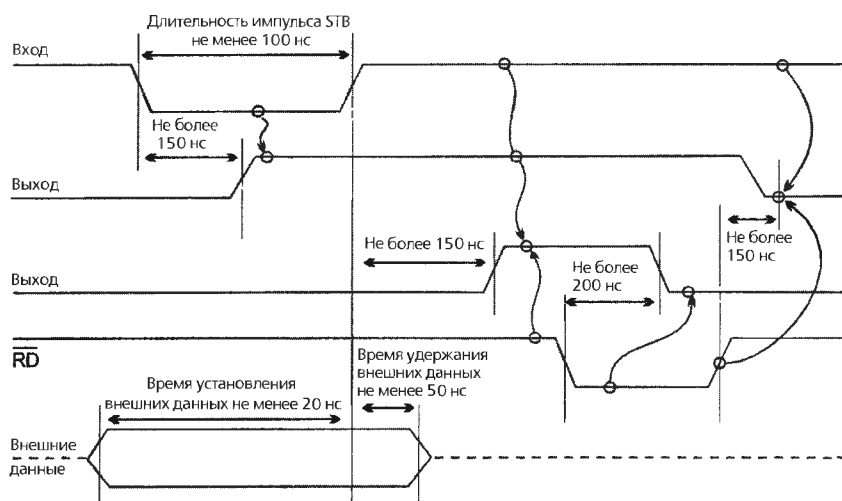


Рисунок В.13
Стробруемый вход (режим 1)

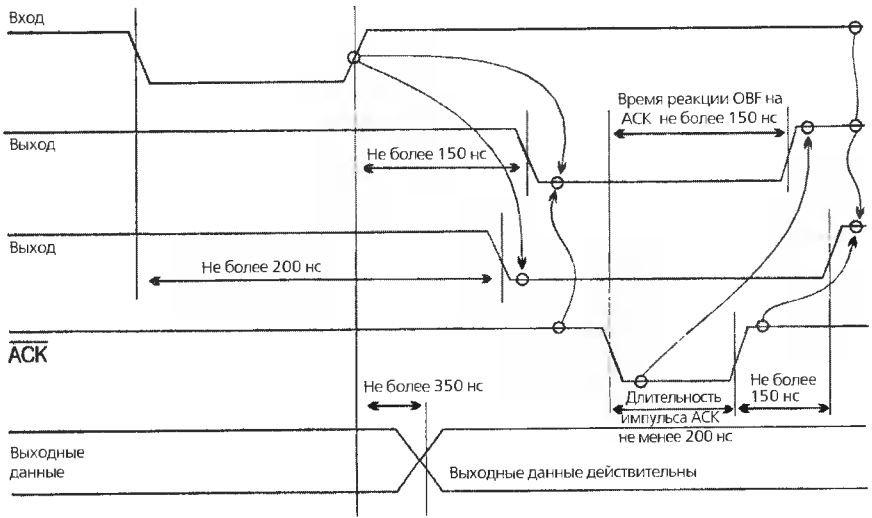
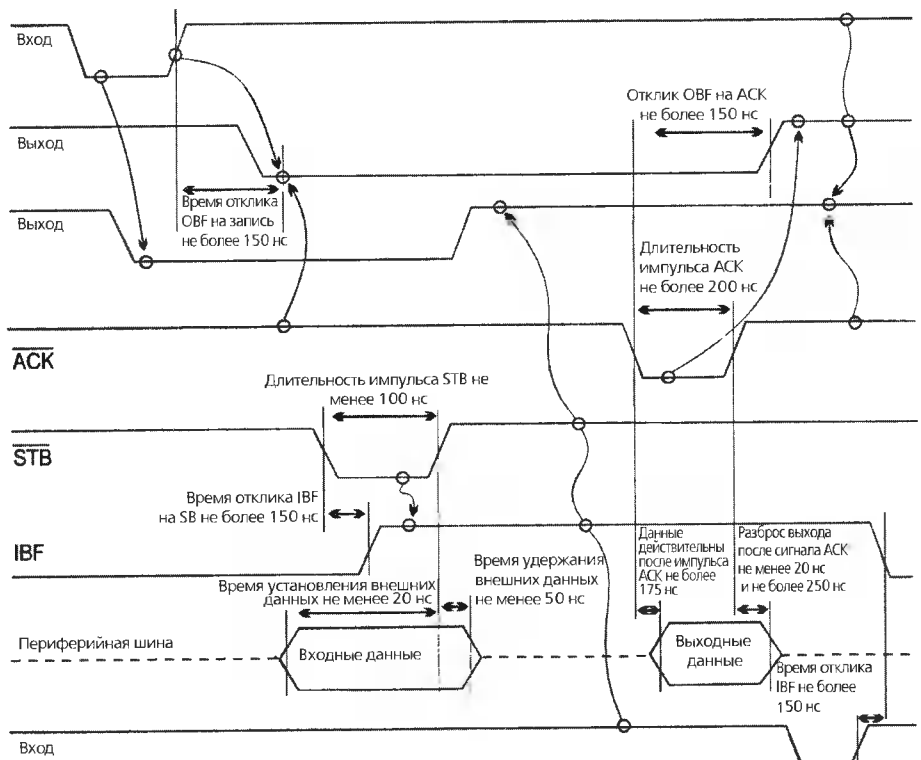


Рисунок В.14
Стробируемый выход (режим 1)



Любая последовательность, в которой программа записывает данные перед поступлением импульса АСК, а импульс STB активизируется до разрешения программного считывания данных. (INTR = IBF*INTE2*STB*RD + OBF*INTE1*ACK*WR)

Рисунок В.15
Двухнаправленная шина (режим 2)

Приложение Г

Описание ИС таймера-счетчика 8254

В этом разделе содержится краткая качественная информация о программируемом таймере-счетчике Intel 8254. Поскольку эта ИС чрезвычайно широко используется в платах сбора информации, то весь раздел будет посвящен именно ей. Более подробную информацию о работе ИС 8254 и связанной с ней ИС программируемого интерфейса периферийных устройств 8255 (подробно рассмотрена в предыдущем приложении) можно получить, связавшись с компанией Intel и запросив у нее соответствующие спецификации.

Это приложение описывает архитектуру ИС 8254, а потом подробно рассматриваются регистры ИС 8254, как они видны из главного компьютера. Далее описывается программирование ИС, и, наконец, приводится объяснение шести различных режимов работы счетчика.

Г.1 Архитектура ИС 8254

ИС 8254 является 3-канальным таймером/счетчиком общего назначения. Каждый таймер/счетчик полностью независим, и каждый может программироваться для работы в разных режимах и с разными форматами данных. Поскольку все три таймера идентичны, приведенная здесь информация применима в равной степени к каждому таймеру/счетчику. Работа таймера/счетчика (далее он будет называться просто таймером) происходит следующим образом:

Компьютер записывает 16-разрядное слово, называемое начальным счетом, в таймер. При каждом поступлении на таймер тактового импульса счет таймера уменьшается на единицу.

По отношению к внешней системе таймер использует три подключения:

- Вход тактовых импульсов
- Стробирующий вход
- Выход таймера

Поведение выхода таймера зависит от режима счета таймера.

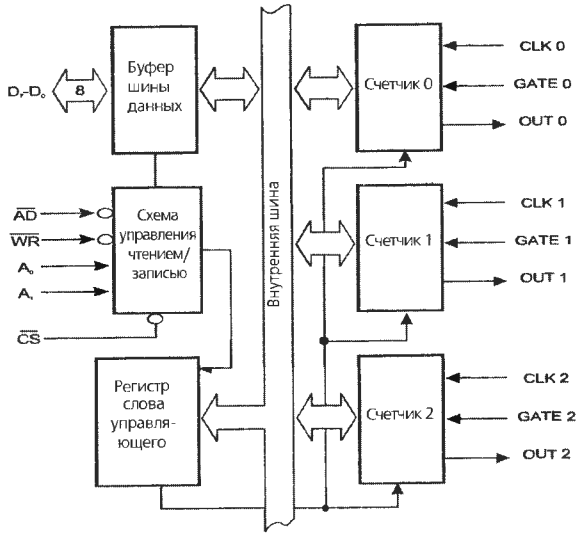


Рисунок Г.1
Блок-схема ИС 8254

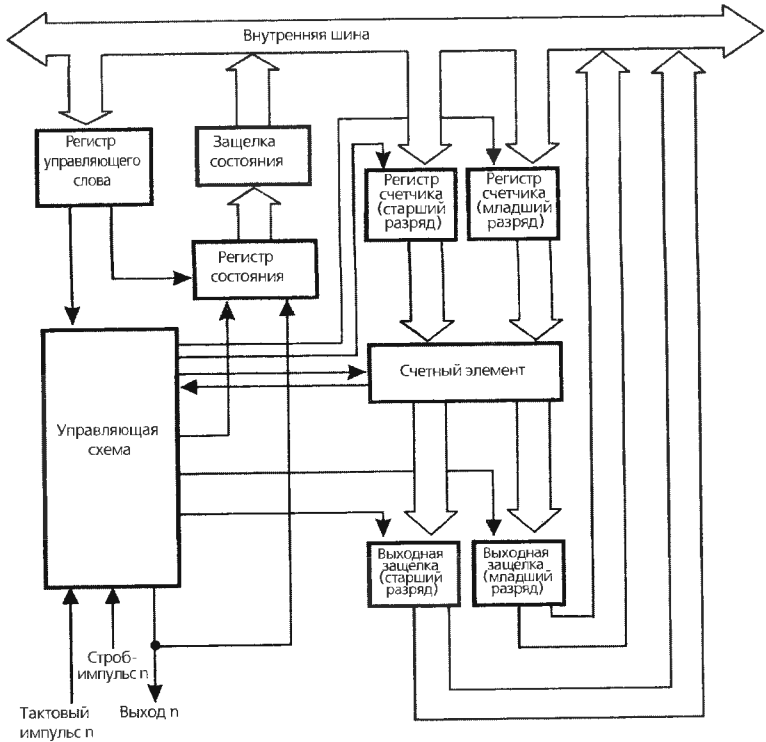


Рисунок Г.2
Блок-схема таймера/счетчика

ИС таймера/счетчика состоит из регистра управляющего слова, некоторой управляющей логики и трех счетчиков.

Каждый счетчик, в свою очередь, состоит из 2-байтного регистра счетчика, 16-разрядного счетного элемента и 2-байтной выходной защелки.

Регистр счетчика (CR)

Регистр счетчика сохраняет начальный 16-разрядный записанный счет. Он состоит из 2-байтных регистров, которые записываются отдельно. Когда производится программирование счетчика управляющим словом, регистр счетчика сбрасывается. Оба байта регистра счетчика передаются (загружаются) в счетный элемент одновременно.

Счетный элемент (CE)

Счетный элемент – это просто 16-разрядный предварительно устанавливаемый синхронный счетчик, считающий вниз. Считать из него или записать в него напрямую нельзя. Он автоматически загружается при определенных условиях из регистра счетчика. Значение счета всегда считывается с выходной защелки.

Выходная защелка (OL)

Выходная защелка обычно следует за счетным элементом. Она состоит из 2-байтных регистров, считывание из которых производится отдельно. Если в счетчик будет подана соответствующая команда на защелку (см. ниже), то текущее состояние счета фиксируется выходной защелкой и остается в таком виде до тех пор, пока не будет прочитан регистр данных счетчика (TC2, TC1 или TC0). После этого выходная защелка продолжает следовать за счетным элементом.

Г.2 Регистры ИС 8254

ИС 8254 занимает четыре последовательных адреса в адресном пространстве устройств ввода/вывода главного компьютера. Это регистры данных таймеров 0, 1 и 2 и регистр управления ИС 8254, показанные ниже.

Таблица Г.1
Регистры ИС 8254

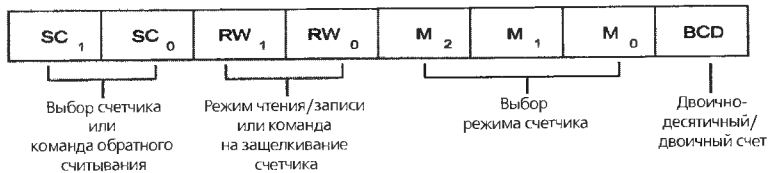
Смещение	Запись	Чтение
0	Таймер-счетчик 0 (TC0)	Таймер-счетчик 0 (TC0)
1	Таймер-счетчик 1 (TC1)	Таймер-счетчик 1 (TC1)
2	Таймер-счетчик 2 (TC2)	Таймер-счетчик 2 (TC2)
3	Управляющий регистр (TCCTRL)	–

Управляющий регистр TCCTRL таймера/счетчика (смещение 3, только запись)

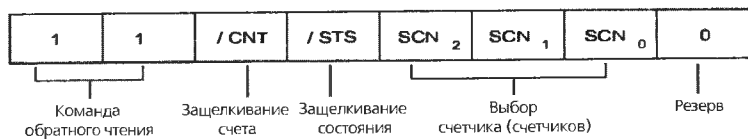
Управляющий регистр таймера/счетчика используется для программирования (каждого счетчика) режима счета, количества читаемых/записываемых байтов, а также формата счета – двоичного или двоично-десятичного. Кроме того, этот регистр может использоваться для выполнения команд обратного чтения и команды на защелкивание. Следует отметить, что функция и названия разрядов регистра различаются в зависимости от выбранного режима: режим конфигурации, команда на защелкивание счета или команда обратного чтения – это относится к разрядам 7 – 6 (SC_1 и SC_0) и разрядов 5 – 4 (RW_1 и RW_0).

Команды обратного чтения и защелкивание счета, а также функции различных режимов счетчика описываются ниже.

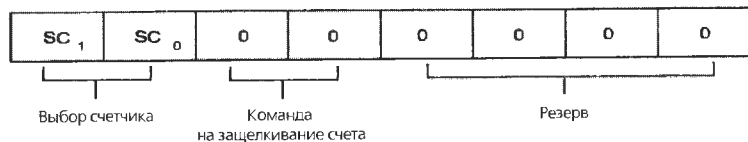
Функции остальных разрядов описываются ниже и зависят от установки разрядов 7, 6, 5 и 4.



а) Регистр TCCTRL – режим конфигурации



б) Регистр TCCTRL – команда обратного чтения



в) Регистр TCCTRL – команда на защелкивание счета

Рисунок Г.3
Регистр TCCTRL

Режим конфигурации

Разряды 7 – 6, выбор счетчика (SC): Эти два бита определяют таймер/счетчик, на который действуют остальные разряды регистра TCCTRL. Биты SC определяются следующим образом:

Таблица Г.2
Выбор счетчика

SC ₁	SC ₀	Выполняемая операция
0	0	Выбор счетчика 0
0	1	Выбор счетчика 1
1	0	Выбор счетчика 2
1	1	Команда обратного чтения

Разряды 5 – 4, режим чтения/записи (RW): Два этих бита задают режим чтения/записи для выбранного таймера/счетчика. Биты RW определяются следующим образом:

Таблица Г.3
Режим чтения/записи

RW ₁	RW ₂	Выполняемая операция
0	0	Команда на защелкивание счета
0	1	Чтение/запись только младшего байта
1	0	Сначала чтение/запись младшего байта
1	1	Сначала чтение/запись младшего байта, затем старшего байта

Разряды 3–1, выбор режима работы счетчика (M): Эти три бита задают режим работы таймера/счетчика, выбранного разрядами 7–6. Биты режима определены следующим образом:

Таблица Г.4
Выбор режима работы счетчика

M ₂	M ₁	M ₀	Режим работы
0	0	0	Режим 0
0	0	1	Режим 1
0	1	0	Режим 2
0	1	1	Режим 3
1	0	0	Режим 4
1	0	1	Режим 5

Разряд 0, выбор режима счета (BCD): Этот разряд определяет режим работы счетчика – двоичный или двоично-десятичный (BCD). 0 задает 16-разрядный двоичный счет, а 1 задает двоично-десятичный счет.

Команда обратного чтения

Если команда обратного чтения определена, то разряды регистра TCCTRL могут иметь следующие значения:

- Разряд 7 – 6** Оба этих разряда должны быть установлены в 1, чтобы активизировать команду обратного чтения.
- Разряд 5** Счетчик (/CNT): Установка этого разряда в 0 приводит к фиксации результатов счета для счетчиков, заданных разрядами 3 – 1 этого регистра (см. ниже).
- Разряд 4** Состояние (/STS): Установка этого разряда в 0 приводит к фиксации информации о состоянии счетчиков, заданных разрядами 3–1 этого регистра (см. ниже). Формат байта состояния показан на рисунке Г.10.
- Разряды 3–1** Выбор счетчика (SCN): Установка одного или нескольких этих разрядов приводит к фиксации выходного регистра и/или информации о состоянии при использовании команды обратного чтения. Установка SCN_2 фиксирует информацию счетчика 2, SCN_1 – счетчика 1, а SCN_0 – счетчика 0.
- Разряд 0** Этот разряд не производит никакого действия и должен быть установлен в 0.

Команда на фиксацию счетчика

При задании команды фиксации счетчика разряды регистра TCCTRL могут быть следующими:

- Разряды 7–6** Выбор счетчика (SC): Эти два разряда выбирают таймер/счетчик, чей результат должен быть зафиксирован.
- Разряды 5–4** Оба этих разряда должны быть установлены в 0, чтобы задать команду на фиксацию счета.
- Разряды 3–0** Четыре этих разряда не производят никакого действия и должны быть установлены в 0.

ТСО – таймер/счетчик 0 (смещение 0, чтение/запись)

Это регистр данных первого счетчика/таймера.

Перед чтением из регистра или перед записью в него в управляющий регистр таймера/счетчика необходимо записать управляющее слово. Затем «чтение» и «запись» в этот регистр должны следовать формату, определенному управляющим словом.

TC0 ₇	TC0 ₆	TC0 ₅	TC0 ₄	TC0 ₃	TC0 ₂	TC0 ₁	TC0 ₀
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Рисунок Г.4
Регистр TC0

Разряды от TC0₇ (MSB) до TC0₀ (LSB) отражают старший байт или младший байт данных «считанных из» или «записанных в» этот счетчик.

TC1 — таймер/счетчик 1 (смещение 1, чтение/запись)

Это регистр данных второго счетчика/таймера.

Перед чтением из регистра или перед записью в него в управляющий регистр таймера/счетчика необходимо записать управляющее слово. Затем «чтение» и «запись» в этот регистр должны следовать формату, определенному управляющим словом.

TC1 ₇	TC1 ₆	TC1 ₅	TC1 ₄	TC1 ₃	TC1 ₂	TC1 ₁	TC1 ₀
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Рисунок Г.5
Регистр TC1

Разряды от TC1₇ (MSB) до TC1₀ (LSB) отражают старший байт или младший байт данных «считанных из» или «записанных в» этот счетчик.

TC2 — таймер/счетчик 2 (смещение 2, чтение/запись)

Это регистр данных третьего счетчика/таймера.

Перед чтением из регистра или перед записью в него в управляющий регистр таймера/счетчика необходимо записать управляющее слово. Затем «чтение» и «запись» в этот регистр должны следовать формату, определенному управляющим словом.

TC2 ₇	TC2 ₆	TC2 ₅	TC2 ₄	TC2 ₃	TC2 ₂	TC2 ₁	TC2 ₀
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Рисунок Г.6
Регистр TC2

Разряды от TC2₇ (MSB) до TC2₀ (LSB) отражают старший байт или младший байт данных «считанных из» или «записанных в» этот счетчик.

Г.3 Программирование счетчика

При включении питания или при сбросе состояние ИС 8254 не определено. Прежде чем таймер/счетчик сможет производить какие-либо операции, он должен быть запрограммирован с помощью управляющего слова, которое записывается в управляющий регистр. Это позволяет задать следующее:

- Режим работы (режим 0–5)
- Формат счета (двоично-десятичный или двоичный)
- Формат чтения/записи (только LSB, только MSB или сначала LSB, а потом MSB).

Запрограммированный счетчик затем работает в заданном режиме до тех пор, пока он не будет сброшен или пока в управляющий регистр не будет записана новая конфигурационная информация. Формат этого регистра, используемый для конфигурирования счетчика, повторен снизу для справки.

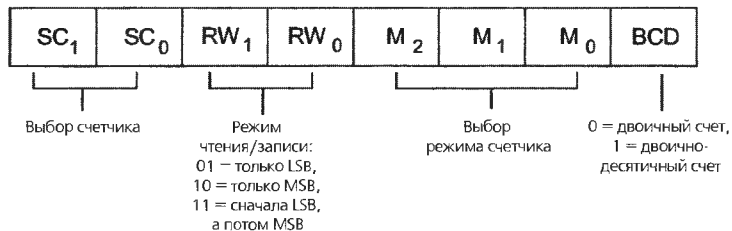


Рисунок Г.7

Регистр TCCTRL – режим конфигурации

Формат передачи данных

Используя управляющее слово, каждый счетчик может быть запрограммирован на передачу данных от главного компьютера тремя различными способами:

- Чтение/запись только младшего байта
- Чтение/запись только старшего байта
- Чтение/запись сначала младшего, а потом старшего байтов

Новый начальный счет может быть записан в счетчик без воздействия на программирование счетчика. На счет будет оказано влияние в том виде, как это описывается ниже.

Запись 1-байтного начального счета заключается просто в помещении байта в регистр данных счетчика. Запись 2-байтного счета состоит из записи первого байта (младший байт) в регистр данных счетчика и затем, в более позднее время, записи второго или старшего байта в тот же самый регистр данных.

Вход тактовых импульсов

Вход тактовых импульсов является физическим входом, куда подаются тактовые импульсы на счетчик. Тактовые импульсы определяются импульсом, у которых сначала идет нарастающий фронт, а потом спадающий, именно в этом порядке. Новые отсчеты загружаются, и счет убывает по спадающему фронту тактового импульса.

Стробирующий вход

В зависимости от режима работы счетчика стробирующий вход можно использовать для включения/выключения счета, инициализации счета (запуск) или для установки/сброса выхода таймера.

Г.4 Операции чтения

Часто бывает необходимо прочитать значение или состояние счетчика, не влияя на процесс счета. Существуют три способа:

- Простая операция чтения
- Команда на фиксацию счета
- Команда обратного чтения

Результаты операции чтения считываются из регистра данных счетчика в запрограммированном формате (LSB, MSB или сначала LSB, а потом MSB).

Эти операции называются *чтением счетчика* и могут занимать «одну инструкцию чтения ЦП» (LSB или MSB) или «две инструкции чтения ЦП» (сначала LSB, а потом MSB).

Операция простого чтения

Операция простого чтения заключается в чтении содержимого необходимого регистра данных. Вход тактовых импульсов счетчика на это время должен быть отключен, в противном случае счетчик может находиться в процессе изменений, когда будет производиться чтение, и возвратит ошибочные результаты. Вход тактовых импульсов может быть отключен с помощью стробирующего входа или с помощью внешней логической схемы.

Команда фиксации счета

Команда на фиксацию счета активизируется записью специального управляющего слова в управляющий регистр таймера/счетчика, TCCTRL.

Формат управляющего слова для команды на фиксацию счета показан ниже.

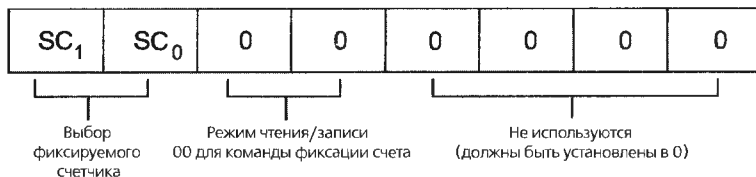


Рисунок Г.8

Команда фиксации счета – регистр TCCTRL

Разряды SC₁ и SC₀ выбирают счетчик, счет которого должен быть зафиксирован. Код 00 выбирает счетчик 0, 01 – счетчик 1 и 10 – счетчик 2.

Выбранный счетчик фиксирует счет на момент времени, когда будет получена команда фиксации счета. Счет удерживается в регистре-защелке до тех пор, пока он не будет считан (или пока не будет перепрограммирован счетчик). Затем фиксация автоматически выключается, и выход защелки возвращается к следующему элементу счета. Для фиксации нескольких счетов могут использоваться несколько команд фиксации. Каждый зафиксированный счетчик удерживает свой счет до тех пор, пока он не будет прочитан. Команды на фиксацию счета не влияют на программирование.

Если счетчик зафиксирован, то любая последующая команда на фиксацию счета в этот же самый счетчик, произведенная до того, как счет будет прочитан, будет игнорироваться. При чтении значение счета, полученное из счетчика, будет соответствовать счету, когда команда на фиксацию была подана первый раз.

Команда обратного чтения

Команда обратного чтения активизируется путем записи специального управляющего слова в управляющий регистр таймера/счетчика, TCCTRL. Команды обратного чтения могут использоваться для фиксации одного или нескольких текущих значений счета и/или информации о состоянии.

Формат управляющего слова для команды обратного чтения показан ниже.



Рисунок Г.9

Регистр TCCTRL – команда обратного чтения

Установка любого или всех разрядов 3 – 1 (SCN₂ – SCN₀) выбирает счетчик (счетчики), к которому будет применена эта команда. Установка разряда счетчика (/CNT) в 0 приводит к тому, что текущий счет выбранного счетчика (счетчиков) будет зафиксирован, а установка разряда состояния (/STS)

в 0 приведет к фиксации байта состояния выбранного счетчика (счетчиков); установка обоих разрядов в 0 приведет к фиксации как текущего счета, так и состояния (см. ниже).

Фиксация нескольких счетчиков

Команда обратного счета используется для фиксации текущего счета нескольких счетчиков. Она реализуется установкой 0 для разряда счета управляющего слова этой команды. Эта одна команда функционально эквивалентна нескольким командам на фиксацию счета. Каждый зафиксированный счет удерживается до тех пор, пока он не будет считан (или пока не будет перепрограммирован счетчик). При считывании фиксация счетчика автоматически снимается, но остальные счетчики остаются зафиксированными до тех пор, пока они не будут считаны. Если команды чтения считывания подаются на один и тот же счетчик без выполнения считывания, то все эти команды, кроме первой, игнорируются. Возвращаемый счет является текущим счетом, который был на момент первой подачи команды обратного чтения.

Информация о состоянии счетчика

Команда обратного чтения может также использоваться для фиксации информации о состоянии выбранного счетчика (счетчиков) соответствующими защелками выхода. Это производится установкой в управляющем слове этой команды разряда состояния в 0.

Байт состояния счетчика, когда он будет прочитан, обеспечивает информацию, показанную на рисунке ниже.

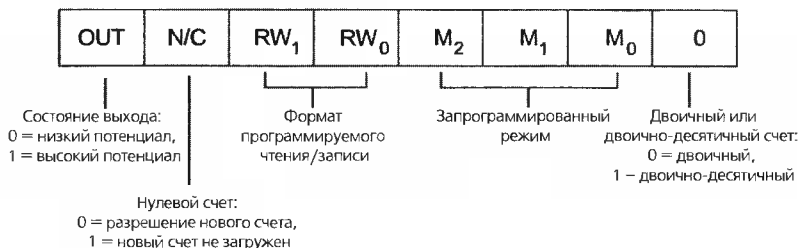


Рисунок Г.10

Байт состояния – регистр TCX

Разряды M₂ – M₀ возвращают двоичное число, соответствующее запрограммированному режиму счетчика.

Бит нулевого счета показывает, был ли загружен в счетный элемент последний счет, записанный в регистр счетчика. Если счет еще не был загружен, то он не может быть считан, и бит нулевого счета будет установлен в 1. Чтение счета, когда бит нулевого счета был установлен, возвратит текущий

счет от предыдущего начального счета, записанного в регистр счета. Точное время, когда новый счет будет загружен, зависит от режима работы счетчика (см. ниже), но «сброс бита нулевого счета» указывает на то, что был загружен новый счет.

Бит 7 (OUT) отражает состояние выхода счетчика, что позволяет программному обеспечению управлять этим битом.

Защелкивание состояния и текущего счета

Установка битов состояния (/STS) и счета (/CNT) в 0 приводит к тому, что байты состояния и текущего счета выбранного счетчика (счетчиков) одновременно защелкиваются. Функционально это аналогично одновременной выдаче двух отдельных команд обратного чтения. Если состояние и текущий счет защелкнуты, то первая операция чтения регистра данных счетчика возвратит байт состояния счетчика, вне зависимости от того, что было защелкнуто первым. Следующие одна или две операции чтения (в зависимости от того, на одно- или двухбайтный счет был запрограммирован счетчик) возвращают защелкнутый счет. Последующие операции чтения возвращают незащелкнутый счет.

Г.5 Описание режимов работы счетчика

В шести следующих разделах подробно рассматриваются различные режимы счета ИС счетчика/таймера 8254. В приведенном ниже описании понятие *выхода* относится к состоянию выходного контакта устройства, а понятие *строб* относится к состоянию входного стробирующего контакта счетчика. Оба типа сигналов от всех трех счетчиков присутствуют на дополнительном разъеме.

Слово *запуск* относится к переднему фронту строба счетчика, под *загрузкой счетчика* понимается перенос начального счета из регистра счетчика в счетный элемент, а под *тактовым импульсом* понимается передний, а затем задний фронт входного сигнала счетчика.

Режим 0: прерывание по конечному счету

После того как байт режима записан в управляющий регистр, выход становится низким. После записи начального счета выход остается низким до тех пор, пока счетчик не досчитает до нуля. Затем выход становится высоким и остается таким до тех пор, пока не будет записан новый счет или счетчик не будет заново перепрограммирован. Стробирующий вход запрещает счет при низком потенциале, а при высоком потенциале разрешает счет.

После записи управляющего слова и начального счета счетчик загружается по следующему тактовому импульсу. Этот тактовый импульс не уменьшает счет на единицу, поэтому для начального счета N выход становится высоким спустя $N + 1$ тактовых импульсов после записи начального счета.

Если в счетчик записан новый счет, то он будет загружен по следующему тактовому импульсу, и процесс счета продолжится с нового счета. Если записан двухбайтовый счет, то первый байт отключает процесс счета и устанавливает на выходе низкий потенциал. После записи второго байта полный счет загружается по следующему тактовому импульсу. Это позволяет выполнять программную синхронизацию счетной последовательности. И необходимо повторить еще раз: высокий уровень на выходе появляется после $N + 1$ тактовых импульсов.

Если начальный счет записан когда на стробирующем входе низкий потенциал, то он будет загружен по следующему тактовому импульсу. Когда уровень строба становится высоким, выход также становится высоким спустя N тактовых импульсов.

При использовании внутреннего генератора или шинной тактовой частоты этот режим может применяться для генерации положительного фронта на внешнем выходе спустя запрограммированное время или, если на плате имеются перемычки для прерываний, генерировать прерывание спустя запрограммированное время.

Этот режим может также использоваться для счета событий или частоты следования импульсов.

Режим 1: аппаратно перезапускаемый одновибратор

После программирования счетчика на выходе становится высокий уровень. Запись начального счета приводит счетчик в состояние готовности, и последующий запуск загружает счетчик. На выходе появляется низкий потенциал со следующим тактовым импульсом и остается низким до тех пор, пока счетчик не достигнет нуля. Затем выход становится высоким и остается высоким до появления следующего тактового импульса после очередного запуска.

Начальный счет N приводит к импульсу одновибратора длиной N тактовых импульсов. Одновибратор допускает повторный запуск; поэтому выход будет оставаться низким в течение N тактовых импульсов после любого запуска. Импульс одновибратора может быть повторен без перезаписи начального счета в счетчик. Стробирующий вход на выход не оказывает никакого влияния.

Если во время импульса одновибратора в счетчик будет записан новый счет, то на текущем импульсе одновибратора это не скажется, если счетчик не перезапущен. В этом случае счетчик загружается новым счетом, и текущий импульс одновибратора продолжается до тех пор, пока не кончится новый счет.

Режим 2: генератор с регулируемой частотой

После того как счетчик будет запрограммирован, уровень на выходе станет высоким. Начальный счет N загружается по следующему тактовому импульсу, и, когда он уменьшится до 1, выходной потенциал становится

низким на длительность *одного* тактового импульса. Затем выходной потенциал становится высоким, счетчик автоматически перезагружает начальный счет, и этот процесс повторяется бесконечно долго. Последовательность повторяется каждые N тактовых импульсов.

Стробирующий вход позволяет производить счет при высоком и запрещает счет при низком потенциале. Если во время действия выходного импульса стробирующий потенциал станет низким, то на выходе сразу установится высокий уровень. Запуск перезагружает начальный счет по следующему тактовому импульсу, и выходной потенциал становится низким в течение одного тактового импульса после N тактовых импульсов. Таким образом, стробирующий вход можно использовать для синхронизации счетчика.

Запись нового счета не влияет на текущую счетную последовательность. Если впоследствии приходит запуск до окончания текущего периода, то счетчик будет перезагружен по следующему тактовому импульсу, и процесс счета продолжится с нового счета. В противном случае новый счет будет загружен в конце текущего цикла. В этом режиме начальный счет, равный 1, недействителен.

Режим 2 функционирует как счетчик деления на N . Он также может использоваться для генерации выходных импульсов с заданной частотой или периодических прерываний.

Режим 3: генератор прямоугольного сигнала

Режим 3 аналогичен режиму 2 за исключением другого рабочего цикла выхода. После того как счетчик запрограммирован, на выходе будет высокий потенциал. Начальный счет N загружается по следующему тактовому импульсу. Когда начальный счет уменьшится наполовину, выходной потенциал становится высоким на время оставшегося счета. Затем выходной потенциал становится высоким, счетчик автоматически перезагружает начальный счет, и этот процесс продолжается бесконечно долго. Результатом будет прямоугольный сигнал с периодом N тактовых импульсов.

Стробирующий вход разрешает счет, когда он имеет высокий потенциал, и запрещает при низком потенциале. Если стробирующий потенциал становится низким, когда выход также имеет низкий уровень, то выход сразу становится высоким. Запуск перезагружает счетчик начальным счетом по следующему тактовому импульсу. Таким образом, стробирующий вход можно использовать для синхронизации счетчика.

Запуск нового счета не влияет на текущую последовательность счетчика. Если впоследствии запуск будет принят до окончания текущего полуцикла прямоугольного сигнала, то счетчик будет загружен по следующему тактовому импульсу, а процесс счета будет продолжен с нового счета. В противном случае новый счет будет загружен в конце текущего полуцикла.

Режим 3 функционирует немного по-разному для четных и нечетных значений начального счета.

Для четных счетов: выходной потенциал является высоким. По очередному тактовому импульсу загружается начальный счет. По следующим тактовым импульсам счет будет уменьшаться на *две единицы*. Когда счет дойдет до нуля, выход переключается, и счетчик перезагружается начальным счетом. Этот процесс повторяется бесконечно долго.

Для нечетных счетов: изначально выходной уровень является высоким. По следующему тактовому импульсу загружается начальный счет *минус один* (четное число). По следующим тактовым импульсам он уменьшается на *две единицы*. В течение одного тактового импульса, *после* того как счетчик дойдет до нуля, на выходе становится низкий потенциал, и счетчик перезагружается начальным счетом минус один. Последующие тактовые импульсы продолжают уменьшать значение счета по два. Когда счетчик дойдет до нуля, выходной потенциал становится снова высоким, и счетчик перезагружается начальным счетом минус один. Этот процесс продолжается до бесконечности. Таким образом, для четных счетов выходной уровень будет высоким $(N + 1)/2$ счетов и низким в течение $(N - 1)/2$ счетов или высоким на один счет длиннее, чем низким.

Режим 3 обычно используется для генерации выходной частоты.

Режим 4: программное стробирование

После того как в управляющий регистр записан байт режима, выходной уровень становится высоким. Когда начальный счет будет записан, выход остается высоким до тех пор, пока счетчик не досчитает до нуля. После этого выход становится низким на время *одного* тактового импульса, а затем снова становится высоким. Процесс счета запускается путем записи начального счета.

Стробирующий вход запрещает процесс счета при низком потенциале и разрешает счет при высоком. На выход этот вход не оказывает никакого влияния.

После того как управляющее слово и начальный счет были записаны, счетчик загружается по следующему тактовому импульсу. Этот тактовый импульс не уменьшает счет, поэтому для начального счета N выход становится низким спустя $N + 1$ тактовых импульсов после записи начального счета.

Если во время процесса счета был записан новый счет, то он будет загружен по следующему тактовому импульсу, и процесс счета продолжится с нового счета. Если записан двухбайтовый счет, то первый записанный байт на счет не влияет. Только после записи второго байта полный счет загружается по тактовому импульсу. Это позволяет программный перезапуск счетной последовательности. И опять необходимо повторить, что выход становится низким после $N + 1$ тактовых импульсов.

Используя внутренний генератор или шинные тактовые импульсы, этот режим может применяться для генерации отрицательного импульса на внешнем выходе спустя запрограммированное время. При внешнем источнике тактовых сигналов можно генерировать импульс после запрограммированного числа событий.

Режим 5: аппаратно запускаемый импульс

Этот режим аналогичен режиму 4, за исключением того, что счет запускается нарастающим фронтом импульса на стробирующем входе счетчика.

После того как управляющее слово и начальный счет будут записаны, выходной уровень становится высоким. Счетчик загружается по следующему тактовому импульсу после прихода запуска. Этот тактовый импульс не уменьшает счета. Выход остается высоким до тех пор, пока счетчик не досчитает до нуля. Затем выход становится низким на *один* тактовый импульс и затем снова становится высоким. Следовательно, для начального счета N выход кратковременно становится низким спустя $N + 1$ тактовых импульсов после записи начального счета.

Счетная последовательность перезапускается: запуск заставляет счетчик загрузить начальный счет по следующему тактовому импульсу. На выходе не будет низкого напряжения до тех пор, пока не пройдет $N + 1$ тактовых импульсов после запуска. На выход стробирующий вход не влияет.

Если во время процесса счета будет загружен новый счет, то он не будет влиять на текущий процесс счета. Если запуск придет после записи нового счета, но до окончания текущего счета, то счетчик перезагрузится по следующему тактовому импульсу, и процесс счета продолжится с этого счета.

Используя внутренний генератор или шинные тактовые импульсы, этот режим можно применить для генерации отрицательного импульса на выходе спустя запрограммированное время после внешнего запуска.

Таблица Г.5

Краткое описание функций стробирующего импульса

Режим работы	Низкий уровень или переключение в низкий	Нарастающий фронт	Высокий уровень
0	Запрещает счет	–	Разрешает счет
1	–	Иницирует счет и сбрасывает выход после следующего тактового импульса	–
2	Запрещает счет и сразу же устанавливает на выходе высокий уровень	Иницирует счет	Разрешает счет
3	Запрещает счет и сразу же устанавливает на выходе высокий уровень	Иницирует счет	Разрешает счет
4	Запрещает счет	–	Разрешает счет
5	–	Иницирует счет	–

Г.6 Обработка прерываний

Каждый таймер/счетчик может конфигурироваться на выработку запросов на прерывания (IRQ) главному компьютеру. В принципе это аналогично использованию любого другого устройства для генерации прерываний ПК:

- Программирование счетчика и выполнение других необходимых настроек
- Сохранение состояния (включенное или выключенное) выбранного уровня прерывания на системной плате ПК и затем его отмена
- Сохранение старого вектора прерывания и установка нового, который будет показывать на подпрограмму обработки прерывания, обслуживающую прерывания таймера

Включение уровня прерывания в контроллере прерываний ПК. Теперь программное обеспечение может продолжать выполнение других задач. Подпрограмма обработки прерывания должна:

- Производить необходимую обработку
- Либо последовательно использовать другую подпрограмму обработки прерывания, если линия прерывания разделяема, либо записать команду окончания прерывания в контроллер прерываний системной платы ПК.

Чтобы сбросить прерывания после использования, необходимо:

- Отключить уровень прерывания
- Восстановить вектор прерывания, который был раньше
- Восстановить предыдущее состояние уровня прерывания

Следует отметить, что некоторые режимы таймера/счетчика больше подходят для генерации прерываний (например, режим 0), чем другие.

Приложение Д

Таблицы термопар

Стандарт IPTS определяет напряжение термопары в виде функции температуры, описываемой следующим полиномиальным уравнением:

$$V = C_0 + C_1T + C_2T^2 + C_3T^3 + \dots + C_nT^n,$$

где:

V – напряжение термопары в мкВ (10^{-6} В или микровольты)

T – температура термопары в градусах Цельсия

$C_0, C_1, C_2, C_3, \dots C_n$ – коэффициенты полинома

Термопара типа В

Количество диапазонов 1

Диапазон 1 от 0 до 1820 °С

Степень полинома 8

Степень T	Коэффициент
0	0,0000000000000000/e+0000
1	-2,467460162000000E-0001
2	5,910211116900000E-0003
3	-1,43071234 300000E-0006
4	2,15091497500000E-0009
5	-3,17578007200000E-0012
6	2,40103674590000E-001 5
7	-9,09281481590000E-0019
8	1,32995051370000E-0022

Термопара типа ВР

Количество диапазонов 1

Диапазон 1 от 0 до 1820 °С

Степень полинома 8

Степень Т	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	4,81936208460000E+0000
2	1,57022351980000E-0002
3	-2,28024 80120000E-0005
4	3,12472605770000E-0008
5	-2,75501226440000E-001 1
6	1,50248318750000E-001 4
7	-4,448020196440000E-001 8
8	6,12181360300000E-0022

Термопара типа ВN

Количество диапазонов 1

Диапазон 1 от 0 до 1820 °С

Степень полинома 8

Степень Т	Коэффициент
0	0,0000000000000000+0000
1	5,06610810080000E-0000
2	9,79202408090000E-0003
3	-2,13717056690000E-0005
4	2,90963456020000E-0008
5	-2,43743525730000E-0011
7	-3,73873871480000E-0018
8	4,79186308940000E-0022

Термопара типа E

Количество диапазонов 2

Диапазон 1 от -270 до 0 °C

Степень полинома 13

Степень T	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	5,86958577990000E+0001
2	5,16675177050000E-0002
3	-4,46526833470000E-0004
4	-1,73462709050000E-0005
5	-4,87193684270000E-0007
6	-9,88965504470000E-0009
7	-1,09307673750000E-0010
8	-9,17845350390000E-0013
9	-5,25751585210000E-0015
10	-2,01696019960000E-0017
11	4,95021387820000E-0020
12	-7,01779806330000E-0023
13	-4,36718084880000E-0026

Диапазон 1 от 0 до 1000 °C

Степень полинома 9

Степень T	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	5,86958577990000E+0001
2	4,31109454620000E-0002
3	5,72203582020000E-0005
4	-5,40206680850000E-0007
5	0,54259221110000E-0009
6	-2,48500891360000E-0012
7	2,33897214590000E-0015
8	1,19462968150000E-0018
9	2,55611274970000E-0022

Термопара типа J

Количество диапазонов 2

Диапазон 1 от -210 до 760 °С

Степень полинома 7

Степень T	Коэффициент
0	0,000000000000000+0000
1	5,03727530270000E+0001
2	3,04254912840000E-0002
3	-8,5669750460000E-0005
4	1,33488257350000E-0007
5	1,70224059660000E-0010
6	1,94160910010000E-0013
7	-9,63918448590000E-0017

Диапазон 2 от 760 до 1200 °С

Степень полинома 5

Степень T	Коэффициент
0	2,97217517780000+0005
1	-1,50596328730000E+0003
2	3,20510642150000E+0000
3	-3,22101742300000E-0003
4	1,59499687880000E-0006
5	-3,12398017520000E-0010

Термопара типа JP

Количество диапазонов 1

Диапазон 1 от -270 до 760 °С

Степень полинома 7

Степень T	Коэффициент
0	0,000000000000000+0000
1	1,79103202040000E+0001
2	4,66477610970000E-0003
3	-7,11724606090000E-0005
4	1,33722172380000E-0007
5	1,50457626900000E-0010
6	1,53390150110000E-0013
7	7,52579474320000E-0017

Термопара типа JN

Количество диапазонов 1

Диапазон 1 от -210 до 760 °C

Степень полинома 7

Степень T	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	3,24624328230000E+0001
2	2,57607151740000E-0002
3	-1,44972898550000E-0005
4	-2,33915030000000E-0010
5	-1,97664327600000E-0011
6	4,07707598990000E-0014
7	-2,11338974270000E-0017

Термопара типа K

Количество диапазонов 2

Диапазон 1 от -210 до 0 °C

Степень полинома 10

Степень T	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	3,94754331390000E+0001
2	2,74652511380000E-0002
3	-1,65654067160000E-0004
4	1,51909123920000E-0006
5	-2,45816709240000E-0008
6	-2,47579178160000E-0010
7	-1,55852761730000E-0012
8	-5,97299212550000E-0015
9	-1,26888-012160000E-0017
10	-1,13827973740000E-0020

Диапазон 2 от 0 до 1372 °C

Степень полинома 8

Степень T	Коэффициент
0	-1,85330632730000E+0001
1	3,89183446120000E+0001
2	1,66451543560000E-0002
3	-7,87023744480000E-0005
4	2,28357855570000E-0007
5	-3,57002312580000E-0010
6	2,99329091360000E-0013
7	-1,28498487980000E-0016
8	2,22399743360000E-0020

Термопара типа КР

Количество диапазонов 2

Диапазон 1 от -270 до 0 °C

Степень полинома 12

Степень T	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	2,58357101330000E+0001
2	2,72021464150000E-0002
3	-3,83456376440000E-0004
4	-1,68410656320000E-0005
5	-4,46541645150000E-0007
6	-7,01614640110000E-0009
7	-7,01141755030000E-011
8	-4,57112620930000E-0013
9	-1,93669015050000E-0015
10	-5,13480975620000E-0018
11	-7,72685151860000E-0021
12	-5,02907385360000E-0024

Диапазон 2 от 0 до 1372 °С

Степень полинома 6

Степень T	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	2,58357101330000E+0001
2	2,61221522880000E-0002
3	-3,35533237550000E-0005
4	1,59014010170000E-0008
5	-6,03749339390000E-0013
6	-1,20875015000000E-0015

Термопара типа KN

Количество диапазонов 1

Диапазон 1 от -270 до 0 °С

Степень полинома 12

Степень T	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	1,36397230060000E+0001
2	2,63104723000000E-0004
3	2,17802309280000E-0004
4	1,53219743930000E-0005
5	4,21959974230000E-0007
6	6,76856722290000E-0009
7	6,85556478860000E-0011
8	4,51139628800000E-0013
9	1,92400134930000E-0015
10	5,12342695880000E-0018
11	7,72685151860000E-0021
12	5,02907385360000E-0024

Термопара типа R

Количество диапазонов 4

Диапазон 1 от -50 до 630,74 °C

Степень полинома 7

Степень T	Коэффициент
0	0,0000000000000000+0000
1	5,28913950590000E+0000
2	1,3911099470000E+0002
3	-2,4005238430000E-0005
4	3,62014105950000E-0008
5	-4,46450193600000E-0011
6	3,84976918650000E-0014
7	-1,53726415590000E-0017

Диапазон 2 от 630,74 до 1064,43 °C

Степень полинома 3

Степень T	Коэффициент
0	-2,64180070250000E+0002
1	8,04686807470000E+0000
2	2,98922937230000E-0003
3	-2,68760586170000E-0007

Диапазон 3 от 1064,43 до 1665 °C

Степень полинома 3

Степень T	Коэффициент
0	1,49017027020000E+00003
1	2,86398675520000E+0000
2	8,08236311890000E-0003
3	-1,93384776380000E-0006

Диапазон 4 от 1665 до 1767,6 °C

Степень полинома 3

Степень T	Коэффициент
0	9,54455599100000E+0004
1	-1,66425003590000E+0002
2	1,09757432390000E-0001
3	-2,22892169800000E-0005

Термопара типа S

Количество диапазонов 4

Диапазон 1 от -50 до $630,74$ °C

Степень полинома 6

Степень T	Коэффициент
0	0,0000000000000000+0000
1	5,39957823460000E-0002
2	1,251970000000000E-0002
3	-2,2544821799700E-0005
4	2,84521649490000E-0008
5	-2,24405845440000E-0011
6	8,50541669360000E-0015

Диапазон 2 от $630,74$ до $1064,43$ °C

Степень полинома 2

Степень T	Коэффициент
0	02,98244816150000E+0002
1	8,23755282210000E+0000
2	1,64539099420000E-0003

Диапазон 3 от $1064,43$ до 1665 °C

Степень полинома 3

Степень T	Коэффициент
0	1,27662921750000E+0003
1	3,49709080410000E+0000
2	6,38246486660000-0003
3	-1,57224245990000E-0006

Диапазон 4 от 1665 до $1767,6$ °C

Степень полинома 3

Степень T	Коэффициент
0	9,78466553610000E+0004
1	-1,70502956320000E+0002
2	1,10886997680000E-0003
3	-2,24940708490000E-0005

Термопара типа Т

Количество диапазонов 2

Диапазон 1 от -270 до 0 °С

Степень полинома 14

Степень Т	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	3,87407738400000E+0001
2	4,41239324820000E-0002
3	1,14052384980000E-0004
4	1,99744065680000E-0005
5	9,04454011870000E-0007
6	2,27660185040000E-0008
7	3,62474093800000E-0010
8	3,86489242010000E-0012
9	2,82986785190000E-0014
10	1,42813833490000E-0016
11	4,88332543640000E-0019
12	1,08034746830000E-0021
13	1,39492910260000E-0024
14	7,97958931560000E-0028

Диапазон 2 от 0 до 400 °С

Степень полинома 8

Степень Т	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	3,87407738400000E+0001
2	3,31901980920000E-0002
3	2,07141836450000E-0004
4	-2,19458348230000E-0006
5	1,10319005500000E-0008
6	-3,09275818980000E-0011
7	4,56533371650000E-0014
8	-2,76168780400000E-0017

Термопара типа ТР

Количество диапазонов 2

Диапазон 1 от -270 до 0 °С

Степень полинома 14

Степень Т	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	5,88026174000000E+0000
2	1,96585611920000E-0002
3	1,77122842010000E-0004
4	2,04796118410000E-0005
5	9,45106050990000E-0007
6	2,46395271480000E-0008
7	4,01667592050000E-0010
8	4,32562514960000E-0012
9	3,16195042210000E-0014
10	1,57848625730000E-0016
11	5,30107830900000E-0019
12	1,14549637510000E-0021
13	1,43860091110000E-0024
14	7,97958931560000E-0028

Диапазон 2 от 0 до 400 °С

Степень полинома 9

Степень Т	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	5,88062617400000E+0000
2	1,62014049810000E-0002
3	1,16368154490000E-0004
4	-1,63847540040000E-0006
5	9,48870459000000E-0009
6	-2,84437817350000E-0011
7	4,33143650190000E-0014
8	-2,64222483580000E-0017
9	-2,55611274970000E-0022

Термопара типа ТН

Количество диапазонов 2

Диапазон 1 от -270 до 0 °С

Степень полинома 13

Степень Т	Коэффициент
0	0,0000000000000000+0000
1	3,28601476660000E+0001
2	2,44653712900000E-0002
3	-6,30704570300000E-0005
4	-5,05205273000000E-0007
5	-4,06520391200000E-0008
6	-1,87350864360000E-0009
7	-3,91934982500000E-0011
8	-4,60732739460000E-0013
9	-3,32082570160000E-0015
10	-1,50347922400000E-0017
11	-4,17752872630000E-0020
12	-6,51489067700000E-0023
13	-4,36718084880000E-0026

Диапазон 2 от 0 до 1000 °С

Степень полинома 9

Степень Т	Коэффициент
0	0,0000000000000000E+0000
1	3,28601476660000E+0001
2	1,69887931740000E-0002
3	9,07736819560000E-0005
4	-5,56108081870000E-0007
5	1,54319596040000E-0009
6	-2,48380016340000E-0023
7	2,33897214590000E-00015
8	-1,19462968150000E-0018
9	2,55611274970000E-0022

Приложение Е

Системы счисления

Е.1 Введение

Все операции, выполняемые микропроцессором программируемых логических устройств управления, производятся в двоичной форме, характеризуемой двумя состояниями – «0» и «1». Память микропроцессора обычно имеет тысячи ячеек, называемых словами. Каждое слово хранит двоичные данные в виде двоичных чисел или битов. Термин «биты» является сокращенной формой «binary digits» (двоичные цифры). Каждое слово памяти обычно состоит из 16 бит, но может состоять из 64, 32, 16 или даже 8 бит длиной. (8 бит обычно называют байтом или октетом.)

Программируемые устройства управления используют несколько систем счисления, чтобы преобразовывать числовую информацию пользователя в двоичные числа для хранения в памяти и управления выходными сигналами. Аналогично данные из памяти преобразуются в выбранную пользователем систему счисления, которую удобно интерпретировать.

Наиболее распространены следующие пять систем счисления:

- Двоичная
- Шестнадцатеричная
- Восьмеричная
- Двоично-десятичная
- Двоично-восьмеричная

Ниже, после предварительных обсуждений обобщенной системы счисления, эти пять систем будут рассмотрены подробнее. Кроме того, кратко будет затронут вопрос преобразования чисел между различными системами.

Е.2 Обобщенная система счисления

Числовая система образуется путем назначения символам специальных числовых значений. Может использоваться любая группа символов, причем суммарное количество символов числовой системы называется основанием системы. Больше всего распространены три следующих основания:

- Основание 2 – двоичная система с двумя символами (0 и 1)
- Основание 16 – шестнадцатеричная система с шестнадцатью символами (0, 1, 2 ... 9, A, B ... F)
- Основание 10 – десятичная система с десятью символами (0, 1, 2 ... 9)

Если в одном описательном тексте используются числа с разными основаниями, то они иногда имеют подстрочный индекс, указывающий используемое основание, как в примере $3421,19_{10}$, где число 10 указывает на основание.

Чтобы представлять другие числа, числовые символы должны комбинироваться некоторым образом. Десятичная система счисления имеет структуру, представленную в таблице Е.1 и показывающую весовой коэффициент каждого элемента в числе $3421,19_{10}$ в виде цифр, написанных вместе.

Здесь используется показательная запись, где, например, 10^2 означает 100, а 10^{-3} означает 0,001.

Таблица Е.1

Десятичная система весовых коэффициентов

Весовой коэффициент	10^4	10^3	10^2	10^1	10^0	–	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
	0	3	4	2	1	–	1	9	0	0	0

Самая значащая цифра (MSD) в этом числе является 3. Это относится к самой левой ненулевой цифре, которая имеет самый большой весовой коэффициент (10^3 или 1000).

Наименее значащей цифрой (LSD) в этом числе является 9. Она является самой правой ненулевой цифрой, которая имеет наименьший весовой коэффициент (10^{-2} или 0,01).

Таким образом, запись представляет следующее число:

$$0 \times 10^4 + 3 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 1 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 9 \times 10^{-2} + 0 \times 10^{-3} + \dots$$

Е.3 Двоичные числа

Двоичные числа обычно используются в компьютерах или системах передачи данных, поскольку они представляются только двумя состояниями – либо ВКЛЮЧЕНО, либо ВЫКЛЮЧЕНО. Например, стандарт RS-232 поддерживает два напряжения, предназначенных для индикации состояния: ВКЛЮЧЕНО (например, –5 вольт) или ВЫКЛЮЧЕНО (например, +5 вольт). Любые другие напряжения вне узкого диапазона, не принадлежащего к этим значениям, считаются неопределенными значениями.

Термин «бит», который часто упоминается в литературе, является сокращением «binary digit» (двоичный разряд).

Для представления двоичных чисел справедливы те же самые принципы, которые были описаны в предыдущем разделе. Например, число $1011,1_2$ означает следующее (см. таблицу Е.2):

Таблица Е.2

Двоичная система весовых коэффициентов

Весовой коэффициент	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	–	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	2^{-5}
	0	1	0	1	1	–	1	0	0	0	0

Это дает следующее число:

$$\dots 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + \dots$$

Наиболее значащим битом (MSB) в этом числе является самый левый и равен 1 с весовым коэффициентом 2^3 . Самый правый бит является наименее значимым (LSB) и равен единице с весовым коэффициентом 2^{-1} .

Е.3.1 Преобразование между десятичными и двоичными числами

В таблице Е.3 представлен пример преобразования между десятичными и двоичными числами. Следует отметить, что двоичный эквивалент десятичного числа 15 записывается в двоичном виде как 1111 (используются 4 бита). Эта 4-битовая двоичная группа будет иметь значение для рассматриваемой дальше шестнадцатеричной арифметики. Как можно предположить, двоичный 0 эквивалентен десятичному 0.

Таблица Е.3

Эквиваленты двоичных и десятичных чисел

Двоичное число	Десятичное число
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

Процедура преобразования двоичного числа в десятичное число очень проста. Например, чтобы преобразовать двоичное число $1101,01_2$ в десятичное, необходимо использовать весовые коэффициенты каждого бита.

$$1101,01_2 = 1 \times (2^3) + 1 \times (2^2) + 0 \times (2^1) + 1 \times (2^0) + 0 \times (2^{-1}) + 1 \times (2^{-2})$$

Это эквивалентно следующему:

$$1101,01_2 = 1 \times (8) + 1 \times (4) + 0 \times (2) + 1 \times (1) + 0 \times (1/2) + 1 \times (1/4),$$

что дает:

$$1101,01_2 = 8 + 4 + 0 + 1 + 0 + 0,25$$

$$1101,01_2 = 13,25$$

Процедура преобразования десятичного числа в двоичное немного сложнее. Эта процедура заключается в повторном делении десятичного числа на два до тех пор, пока частное (результат деления) не будет равно нулю. Каждый из остатков образует отдельные биты двоичного числа.

Например, для примера можно преобразовать десятичное число 43_{10} в двоичный вид:

Таблица Е.4

Пример преобразования десятичного числа в двоичное

2	43 остаток 1 (LSB)
2	21 остаток 1
2	10 остаток 0
2	5 остаток 1
2	2 остаток 0
2	1 остаток 1 (MSB)
	0

Таким образом, преобразование числа 43_{10} в двоичное число дает 101011_2 .

Е.4 Шестнадцатеричные числа

Большинство операций, выполняемых компьютерами и системами передачи данных, основано на шестнадцатеричной системе счисления, поскольку двоичное число легко преобразовывать в его шестнадцатеричный эквивалент. Основанием этой системы является 16, при этом используется следующий набор символов:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F

Следовательно, число $FA9,02_{16}$ будет представлено следующим образом (см. таблицу Е.5):

Таблица Е.5*Шестнадцатеричная система весовых коэффициентов*

Весовой коэффициент	16^4	16^3	16^2	16^1	16^0	–	16^{-1}	16^{-2}	16^{-3}	16^{-4}	16^{-5}
	0	0	F	A	9	–	0	2	0	0	0

Это число преобразуется в следующее:

$$\begin{aligned}
 0 \times 16^4 + 0 \times 16^3 + F \times 16^2 + A \times 16^1 + 9 \times 16^0 + 0 \times 16^{-1} + 2 \times 16^{-2} + \dots &= \\
 &= 15 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 9 \times 1 + 2/256 = \\
 &= 15 \times 256 + 10 \times 16 + 9 \times 1 + 2/256 = \\
 &= 4009,0078125
 \end{aligned}$$

Самой значащей цифрой (MSD) в примере выше является самый левый символ F с весовым коэффициентом 16^2 . Наименее значимой цифрой (LSD) является самая правая цифра 2 с весовым коэффициентом 16^{-2} .

Е.4.1 Преобразование между двоичными и шестнадцатеричными числами

Преобразование между двоичными и шестнадцатеричными числами производится путем модификации таблицы Е.3 и получения таблицы Е.6:

Таблица Е.6*Взаимосвязь между десятичными, двоичными и шестнадцатеричными числами*

Десятичное число	Шестнадцатеричное число	Двоичное число
0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
10	A	1010
11	B	1011
12	C	1100
13	D	1101
14	E	1110
15	F	1111

Как можно видеть из таблицы, для самого значащего шестнадцатеричного символа двоичные числа сгруппированы по четверкам. Аналогичный подход группировки битов по четверкам используется в выражении двоичного числа в виде шестнадцатеричного числа.

При преобразовании двоичного числа 1000010011110111_2 в его шестнадцатеричный эквивалент необходимо следовать следующей процедуре. Сначала нужно разбить двоичное число на группы из четырех цифр, начиная с наименее значащего бита. Затем каждой группе необходимо сопоставить эквивалентный шестнадцатеричный символ (hex) (берется из таблицы Е.6 выше).

Тогда число 1000010011110111_2 становится:

$$\begin{array}{c} 1000\dots0100 \dots 1111\dots0111_2 \\ 84F7_{16} \end{array}$$

Или $84F7_{16}$

Чтобы преобразовать шестнадцатеричное число назад в двоичное, необходимо использовать процедуру, обратную приведенной выше.

Например, при преобразовании числа $C9A4_{16}$ в двоичный вид получаем:

$$\begin{array}{c} C\dots9\dots A\dots4_{16} \\ 1100\dots1001\dots1010\dots0100_2 \end{array}$$

Или

$$1100100110100100_2$$

Е.5 Восьмеричная система счисления

Некоторые старые вычислительные устройства использовали для кодирования восьмеричную систему, которая использует следующий набор символов:

$$0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$$

Таким образом, число $23471,6_7$ будет представляться следующим образом:

Таблица Е.7

Восьмеричная система весовых коэффициентов

Весовой коэффициент	8^4	8^3	8^2	8^1	8^0	-	8^{-1}	8^{-2}	8^{-3}	8^{-4}	8^{-5}
	2	3	4	7	1	-	6	0	0	0	0

Это восьмеричное число переводится в следующее десятичное:

$$2 \times 8^4 + 3 \times 8^3 + 4 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 1 \times 8^0 + 6 \times 8^{-1} = 10041,7510$$

Е.6 Двоично-десятичное кодирование (BCD)

Двоично-десятичное кодирование может использоваться для преобразования чисел в двоичную форму, при этом каждой десятичной цифре назначаются четыре двоичных разряда.

Например, 4 десятичных цифры могут быть представлены следующим образом:

	Старшая значащая цифра (MSD)				Младшая значащая цифра (LSM)										
Весовой коэффициент	2^3	2^2	2^1	2^0	2^3	2^2	2^1	2^0	2^3	2^2	2^1	2^0			
	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1

Здесь представлены четыре десятичных числа, вычисляемые следующим образом:

$$0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 5741_{10}$$

В этой системе кодировки имеется некоторая расточительность, поскольку максимальной 4-битовой двоичной комбинацией BCD является 1001 или 9_{10} , а двоичные комбинации от 1010 до 1111 в системе кодирования BCD не используются (и запрещены).

Запись BCD полезна в некоторых приложениях, где требуется абсолютная точность (в отличие от записи с плавающей запятой, которая дает высокую точность, но нет гарантии абсолютной точности). К сожалению, в систему приходится встраивать специальный способ выполнения математических операций, поскольку обычная двоичная арифметика для этих чисел не подходит.

Е.7 Двоично-восьмеричные системы

Двоично-восьмеричная система использует 8 бит для представления 3 восьмеричных чисел от 000_8 до 377_8 . В настоящее время этот подход используется не часто.

Самое большое двоично-восьмеричное число может быть представлено как:

	Старшая значащая цифра (MSD)			Младшая значащая цифра (LSM)					
Весовой коэффициент	2^1	2^0		2^2	2^1	2^0	2^2	2^1	2^0
	1	1		1	1	1	1	1	1

Эта таблица представляет три восьмеричных числа:

$$1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 377_8$$

Е.8 Внутреннее представление информации

Как обсуждалось ранее, имеется два вида информации, которая должна использоваться внутри программируемых устройств:

- Программа
- Данные

Имеется два вида данных:

- Числовые
- Буквенно-цифровые или символьные

Е.8.1 Числовые данные

Числовые данные также можно разделить на два вида:

- Целые числа
- Числа с плавающей запятой

Каждый из этих типов должен также иметь знак. Существуют несколько способов кодирования таких числовых данных:

Величина со знаком

В этом примере самый старший бит представляет бит знака. Тогда 2 в 8-разрядной записи будет иметь вид:

$$00000010$$

A –2 будет представлено как:

$$10000010$$

Хотя и удобная для визуализации, такая кодировка не очень популярна из-за сложности выполнения арифметических операций с такой записью.

Дополнение

В этом случае, чтобы получить его отрицательное значение, используется математическое дополнение числа. Например, число 2 будет представлено как:

$$00000010,$$

a –2 будет представлено как (используя дополнение показанного выше байта):

$$1111101$$

(В этом примере старший разряд все еще является знаковым битом – это 1, указывающая на отрицательное число.)

К сожалению, при таком подходе правила обычной двоичной арифметики не работают, если знаки чисел разные.

Дополнение до двух

Это, вероятно, самый эффективный подход, который реализуется следующим образом:

- Необходимо взять число и образовать дополнение для каждого бита
- К самому младшему разряду добавить «1»

Например,

«+2» представляется как	0000	0010
«-2» представляется как (1-е дополнение)	1111	1101
(2-е дополнение)	1111	1110
Проверкой того, правильно ли полученное число, будет сложение +2 и -2		
Прибавляем «+2» к «-2»	0000	0010
	<u>1111</u>	<u>1110</u>
	0000	0000

Единица переноса в конце операции отброшена.

Дробные числа

Принцип записи с плавающей запятой заключается в назначении частей слова мантиссе, знаку мантиссы, показателю (степени) и знаку показателя.

Мантисса должна быть нормирована до числа между 2^{-1} и 1.

В показанной ниже таблице восемь (8) бит назначены показателю, включая знак, и 32 бита мантиссе, включая знак:

0	1	7	8	9	31
Знак	Показатель		Знак	Мантисса	

Е.8.2 Буквенно-цифровое представление данных

Для кодирования буквенно-цифровых символов используются два стандарта – это коды ASCII и EBCDIC. Наиболее распространен, вероятно, код ASCII, имеющий 128 возможных уникальных символов. Хотя для представления всех символов ASCII используются 7 бит, обычно используется восьмой бит для кодирования информации о четности. Это приводит к использованию 8-битового байта. Имеется и расширенная версия ASCII, которая использует все 8 бит, но в программируемых устройствах она не очень распространена.

Е.9 Двоичная арифметика

Сложение

Понятие о двоичном сложении полезно, хотя эта процедура достаточно громоздка. Она основана на четырех следующих комбинациях, возникающих при сложении двоичных чисел:

00	1	1	
01	0	1	
01	1	0	и единица переноса

Единственным трудным моментом этого процесса является единица переноса (или бит). Это добавление отдельных битов числа должно производиться последовательно от младшего к старшему разряду (как и в обычной десятичной арифметике).

Ниже приводится пример сложения.

$$1010001001_2$$

$$0011101010_2$$

$$1101110011_2$$

Вычитание

Наиболее часто используемым методом двоичного вычитания является дополнение до 2. Это означает, что вместо вычитания двух двоичных чисел (с сопутствующими проблемами, такими, как «заемный» бит) выполняется процедура сложения.

Например, можно взять два числа и вычесть одно из другого:

12	которое эквивалентно	1100
-4	вычитаемое	<u>-0100</u>
8	результат	1000

Дополнение до 2 (как обсуждалось выше) находится сначала дополнением всех битов вычитаемого и затем добавление 1 к самому младшему разряду.

Дополнение числа 0100 дает 1011.

Добавление к младшему разряду 1 дает дополнение этого числа до 2: 1100.

Сложим числа 1100_2 и 1100_2 :

1100	
<u>1100</u>	
1000	перенос 1

(Чтобы получить результат, аналогичный полученному выше, необходимо отбросить единицу переноса.)

Операция Исключающее ИЛИ (XOR)

Исключающее ИЛИ – очень широко распространенная процедура, используемая при передаче данных для обнаружения ошибок. Результат операции XOR для любых двух двоичных чисел аналогичен *сложению* двух чисел *без учета бита переноса*.

Таким образом, эта операция иногда называется сложением по модулю 2. Таблица истинности для операции XOR показана ниже.

Таблица Е.8

Таблица истинности операции Исключающее ИЛИ

Бит 1	Бит 2	XOR
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Предметный указатель

D

DCE 250

E

EIA 250

EIA-232

CTS 253

DSR 253

DTR 253

EIA-232-C 250

EIA-232-D/E 251

RTS 253

анализатор протокола 274

возвращающая заглушка 274

квитирование

аппаратное 253

программное 253

линейные формирователи

(передатчики) 252

назначение контактов 255

назначение линий 256

нуль-модем 273

разъемы

- DB-25 255

DB-9 254

скорость передачи 254

Ethernet

10BaseT 346

10Base2 343

10Base5 340

10BaseF 345

10BaseFB 346

10BaseFL 345

10BaseFP 345

IEEE 208.3 339

IEEE 802.3 354

время канала 349

заземление кабелей 357

интерфейс устройств доступа
(AUI) 340

Контроль над доступом к каналу
передачи данных 348

множественный доступ с
контролем несущей и
обнаружением коллизий
(CSMA/CD) 346

ошибка качества сигнала
(SQE) 342

правила использования
повторителей 357

правила разработки 355

правило 5-4-3-2 356

протокол управления доступом к
среде 352

I

IEEE-488

IEEE 488.1 314

IEEE 488.2 314, 326

адресация 324

квитирование 322

контроллеры 319

конфигурация шины 320

передатчики 318

приемники 319

P

PCMCIA

аппаратное обеспечение 397

программное обеспечение 402

функциональные
возможности 391

A

Аналоговые сигналы

сигналы переменного тока 36

Аналого-цифровой преобразователь
(АЦП) 36

АЦП – аналого-цифровые
преобразователи 26

З

- Замкнутый контур управления
 - алгоритмы управления 383
 - зона нечувствительности 386
 - определения 381
 - переходная характеристика 384, 386
 - ручное управление 386

К

- Коммуникационные кабели 19
- Коммутационный бокс 273
- Компьютер
 - главный 23
 - операционная система 24
 - системная память 23
- Контроллеры
 - распределенные, автономные 27

М

- Манчестерское кодирование 348
- Метка четности 248
- Мост Уитстона 54
 - активный элемент 55
 - дополнительные резисторы 55
 - ошибки измерения 61
 - полный мост 58
 - половинный мост 57
 - равновесие 54
 - схемы подключения 58
 - температурные поправки 61
 - четвертной мост 56

О

- Обнаружение ошибок
 - контроль пакета по избыточности 270
 - контроль с использованием циклического избыточного кода 271
 - контроль символов по избыточности 270
 - проверка на нечетность 248
 - проверка на четность 248
 - проверка на четность и нечетность 271
- Операционные системы 101
 - Microsoft Windows 104

- виртуальные измерительные приборы 107

- виртуальная память 107
- графический интерфейс пользователя 106
- многозадачность 106

- Операционная система UNIX 108

- командный процессор 108
- файловая система 108

П

- Память

- базовая память 140
- дополнительная память 142
- расширенная память 142

- Передача данных

- биты данных 249
- биты четности 249
- скорость двоичной передачи (в бодах) 249
- скорость передачи данных 249
- стартовые биты 249
- стоповые биты 249

- Перенос данных с последовательным опросом 125

- Полевые шины 358

- Преобразование сигналов

- гальваническая развязка 65
- классы 72
- линеаризация 72
- прямое двухпроводное модульное подключение 73
- сменные платы 72
- усиление 64
- фильтрация 66

- Преобразователи последовательного интерфейса 265

- Прерывания

- аппаратные прерывания 109
- контроллеры прерываний 110
- маскированные прерывания 110
- немаскированные прерывания 109
- обработка запросов на прерывания 112

- подпрограммы обработки прерываний 114
- разделение прерываний 115
- Протоколы
 - ETX/ACK 267
 - XON/XOFF 267
 - протоколы на основе кода ASCII 267
- Прямая запись 23
- Прямой доступ к памяти
 - инициализация 118
 - режимы запроса устройств ввода/вывода 120
 - двухканальный режим без пауз 121
 - кольцевой буфер 121
 - стандартный режим 122
- пауза четности 248
- передача данных
 - формат 247
- полудуплексный режим 243
- полудуплексная система 243
- Р**
 - Разомкнутый контур управления 381
 - Распределенный ввод/вывод 26
 - Регистраторы/контроллеры
 - UART (универсальный асинхронный приемопередатчик) 287
 - автономная работа 279
 - аппаратное обеспечение (автономные операции)
 - Ethernet подключение 297
 - аналоговые входы 290
 - встроенное программное обеспечение 298
 - коммуникационный интерфейс
 - RS-232 293
 - RS-485 295
 - программируемый таймер 290
 - узкие места канала связи 295
 - форматы данных (на основе кода ASCII) 301
 - форматы команд (на основе кода ASCII) 300
 - цифровой ввод/вывод 290
 - использование карт PCMCIA 278
 - источник питания 288
 - коммуникационный интерфейс
 - RS-232 260
 - коммуникационный интерфейс RS-485 263
 - микропроцессоры 284
 - память 285
 - программное обеспечение
 - канальные команды 302
 - программное обеспечение ПК 310
 - разработка 298
 - расписание 305
 - системные команды 302
 - сообщение об ошибках 301
 - прямое подключение к ПК 279
 - схема управления питанием 289
 - удаленное подключение к ПК 282
 - часы реального времени 286
- Резидентная программа (TSR) 23
- С**
 - Скорость передачи данных 139
 - Соединительные провода 19
 - Стандартные шины расширения
 - аппаратное обеспечение шины
 - декодирование адреса 165
 - емкостная нагрузка 164
 - синхронизация 166
 - шина ISA 143
 - шина PCI – шина compactPCI – шина PXI 156
- Т**
 - Терморезистивные датчики
 - температуры
 - линейность 41
 - схемы измерения
 - двухпроводная 42
 - саморазогрев 44
 - трехпроводная 44
 - четырёхпроводная 43
 - характеристики 40
 - Токовая петля 264

У

Универсальная последовательная
шина (USB)

- внешние хабы 367
- главные хабы 364
- кабели 372
- общая структура 363
- разъемы 365, 371
- топология 363
- физический уровень 371

Усиление сигналов 20

управляющие коды ASCII 244

Ф

Фильтры

- параметры
 - добротность 67
 - крутизна спада 66
 - частота среза 66
- типы
 - Баттерворта 71

высоких частот 68

низких частот 67

полосовой 69

режекторный 70

Ц

ЦАП – цифроаналоговые
преобразователи 26

Цифроаналоговый преобразователь
(ЦАП) 36

Цифровые сигналы

- последовательность цифровых
импульсов 34
- транзисторно-транзисторная
логика (TTL) 34

Ш

Шина

- аппаратное обеспечение шины
 - шина EISA 156
 - микроканальная шина 155

Переводное издание

**Джон Парк
Стив Маккей**

Сбор данных в системах контроля и управления
Практическое руководство

Переводчики **В.В. Савельев,
В.Ф. Кузнецова**
Выпускающий редактор **Е.А. Дубровская**
Верстка **Н.И. Салюк**
Обложка **Е.А. Егорова**
Корректор **Е.Б. Фрунзе**

ООО «Группа «ИДТ»
123060, Москва, ул. Расплетина, д. 5
Главный редактор Стась К. Н.
Исполнительный директор Фионичев А.В.
Тел./факс (495) 609-68-99
www.techizdat.ru

Подписано в печать 17.11.06 г. Формат 70x100^{1/16}.
Печать офсетная. Бумага офсетная № 1. Усл. печ. л. 40,95.
Тираж 1000 экз. Заказ № 2759.

Отпечатано с предоставленного оригинал-макета
на ОГУП «Областная типография «Печатный двор».
432049, г. Ульяновск, ул. Пушкарева, 27.