

**САРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

Факультет информационных технологий и электроники

Кафедра вычислительной и информационной техники

В.А. Павлов

Периферийные устройства ЭВМ. Часть 1.

Состав и структура систем ввода-вывода. Интерфейсы систем ввода-вывода. Логическая организация ввода-вывода. Система ввода-вывода аналоговых сигналов и связи с объектами управления. Система ввода-вывода речевой информации. Системы и устройства ввода-вывода текстовой и графической информации.

Учебное пособие

Рекомендовано учебно-методическим объединением вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальности 220100 - Вычислительные машины, комплексы, системы и сети

**Саров
СарФТИ
2001г.**

УДК 681.3
ББК 32.973
П12

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор кафедры МО ЭВМ Нижегородского
государственного университета Ю.Л. Кетков;
к-т техн. наук, доцент кафедры "Компьютерные системы и сети" МГТУ
им. Н.Э. Баумана И.В. Баскаков;
кафедра "Вычислительная техника" Нижегородского государственного
технического университета

Павлов Виктор Александрович

П12. Периферийные устройства ЭВМ Учебное пособие: Часть 1. СарФТИ,
Саров, 2001. -231 с.: ил.

В учебном пособии рассмотрены основные проблемы общения ЭВМ и объектов внешнего мира, роль и место периферийных устройств (ПУ) в вычислительных системах. Большое внимание уделено вопросам организации совместной работы центральных и периферийных устройств, системам аппаратных интерфейсов. Достаточно подробно представлены интерфейсы персональных компьютеров класса IBM PC, принципы организации систем ввода-вывода аналоговых сигналов, а также речевой, текстовой и графической информации.

3.2. Логическая организация СВВ в мини- и микроЭВМ..	..	..	114
3.2.1.Способы организации обмена в мини ЭВМ, микроЭВМ и ПЭВМ. ..	..	..	116
3.2.2.Контроллеры ввода-вывода..	..	..	117
Контрольные вопросы. ..	..	..	120
4. СИСТЕМА ВВОДА-ВЫВОДА АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ И СВЯЗИ С ОБЪЕКТАМИ УПРАВЛЕНИЯ. ..	..	..	121
4.1. Выбор параметров аналого-цифрового преобразования. ..	..	..	121
4.2. Компоненты системы ввода-вывода аналоговых сигналов. ..	..	..	123
4.3. Структура и управление системой ввода-вывода аналоговых сигналов.	..	..	131
Контрольные вопросы. ..	..	..	133
5. СИСТЕМЫ ВВОДА-ВЫВОДА РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ.	..	..	134
5.1. Механизмы формирования и восприятия речи человеком. ..	..	..	134
5.2. Структура речевого сигнала. ..	..	..	135
5.3. Формирование речевых сообщений и устройства вывода речи. ..	..	..	136
5.4. Система ввода речевых сообщений. ..	..	..	142
Контрольные вопросы. ..	..	..	144
6. УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ ВВОДА-ВЫВОДА ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ. ..	..	..	145
6.1. Кодирование текстовой информации. ..	..	..	145
6.2. Устройства ручного ввода. ..	..	..	148
6.2.1. Клавиатура. ..	..	..	148
6.2.1.1. Устройство клавиатуры. ..	..	..	148
6.2.1.2. Схемы управления. ..	..	..	159
6.3. Устройства ввода с промежуточного носителя. ..	..	..	151
6.4. Устройства автоматического ввода текстовой информации. ..	..	..	152
6.4.1. Принцип автоматического чтения текстовой информации. ..	..	..	153
6.4.1.1. Осмотр и восприятие изображения. ..	..	..	153
6.4.1.2. Выделение существенных признаков и составление описания. ..	..	..	153
6.4.1.3. Распознавание символа. ..	..	..	153
6.4.1.4.Специальные шрифты для ЧА.. ..	..	..	154
6.4.1.5. Методы и алгоритмы распознавания символов в ЧА. ..	..	..	156
6.4.2.Структура и основные узлы ЧА. ..	..	..	157
6.5. Устройства регистрации текстовой информации. ..	..	..	158
6.5.1. Классификация и основные характеристики ПчУ. ..	..	..	159
6.5.2. Способы регистрации. ..	..	..	159
6.5.3. Способы формирования изображения символов. ..	..	..	162
6.5.4. Последовательные ПчУ. ..	..	..	163
6.5.4.1. Структура последовательного ПчУ. ..	..	..	164
6.5.4.2. Печатающие устройства последовательного типа для РС. ..	..	..	167
6.5.5. Параллельные ПчУ. ..	..	..	172
6.5.5.1. Структурная схема. ..	..	..	172
6.5.5.2. Система приказов параллельного ПчУ. ..	..	..	174
6.5.6. Устройства постраничной печати для РС. ..	..	..	175
6.5.6.1. Краткая история развития лазерного принтера. ..	..	..	175
6.5.6.2. Лазерные технологии печати. ..	..	..	175
6.5.6.3. Основные характеристики лазерных принтеров. ..	..	..	177
6.5.6.3.1. Качество печати. ..	..	..	178
6.5.6.3.2. Скорость печати. ..	..	..	181
6.5.6.3.3. Удобство в эксплуатации. ..	..	..	184
6.5.6.3.4. Экономичность в работе. ..	..	..	186
6.5.6.3.5. Дополнительные возможности. ..	..	..	187
6.5.6.4. Развитие технологии лазерной печати. ..	..	..	188

6.5.7. Системы микрофильмирования.	..	..	..	..	188
6.6. Устройства отображения текстовой информации.	..	..	..	..	188
6.6.1. Классификация устройств отображения.	..	..	..	..	189
6.6.1.1. Основные типы индикаторов.	..	..	..	..	189
6.6.1.2. Физические принципы получения видимого изображения...	..	..	..	..	189
6.6.2. Управление формированием символов на экране.	..	..	..	..	192
6.6.2.1. Управление индикаторами, выполненными в виде блока знакомест.	..	..	..	..	192
6.6.2.2. Управление индикаторами со сканированием.	..	..	..	..	193
6.6.2.2.1. Структурная схема дисплея на основе ЭЛТ.	..	..	..	..	193
6.6.2.2.2. Операции редактирования.	..	..	..	..	195
6.7. Пульты ЭВМ.	..	..	..	..	196
Контрольные вопросы.	..	..	..	..	197
7. УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ ВВОДА-ВЫВОДА ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.	..	..	..	..	198
7.1. Классификация и структурные схемы графических дисплеев.	..	..	..	..	198
7.2. Графические дисплеи с произвольным сканированием.	..	..	..	..	199
7.2.1. Точечные ГД.	..	..	..	..	199
7.2.2. Векторные ГД.	..	..	..	..	200
7.2.2.1. Принципы организации ГД.	..	..	..	..	200
7.2.2.2. Генератор векторов.	..	..	..	..	202
7.2.2.3. Математические основы векторной машинной графики.	..	..	..	..	203
7.3 Графические дисплеи растрового типа.	..	..	..	..	207
7.3.1. Структура растрового ГД.	..	..	..	..	208
7.3.2. Основы растровых преобразований.	..	..	..	..	210
7.3.3. Требования к компонентам растровых ГД.	..	..	..	..	212
7.3.4. Примеры структур ГД.	..	..	..	..	215
7.4. Средства для диалогового взаимодействия.	..	..	..	..	216
7.5. Методы и средства ввода графической информации.	..	..	..	..	218
7.5.1. Автоматический ввод графической информации.	..	..	..	..	219
7.5.2. Методы полуавтоматического ввода графической информации.	..	..	..	..	220
7.5.3. Современные устройства ввода графической информации.	..	..	..	..	223
7.5.3.1. Сканеры.	..	..	..	..	223
7.5.3.1.1. Черно-белые и цветные сканеры.	..	..	..	..	223
7.5.3.1.2. Ручной сканер.	..	..	..	..	224
7.5.3.1.3. Барабанные сканеры...	..	..	..	..	225
7.5.3.1.4. Листовые сканеры.	..	..	..	..	225
7.5.3.1.5. Планшетные сканеры.	..	..	..	..	226
7.5.3.1.6. Программное обеспечение.	..	..	..	..	226
7.5.3.2. Цифровые камеры.	..	..	..	..	226
7.6. Методы и средства регистрации графической информации.	..	..	..	..	227
7.6.1. Классификация средств регистрации.	..	..	..	..	227
7.6.2. Обобщенная структурная схема системы вывода графической информации.	..	..	..	..	227
7.6.3. Примеры построения ГРП.	..	..	..	..	227
7.6.4. Характеристики ГРП.	..	..	..	..	229
Контрольные вопросы.	..	..	..	..	229
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.	..	..	..	..	230

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Периферийные устройства являются самой внешней, периферийной частью электронных вычислительных машин (ЭВМ) и входят в состав их систем ввода-вывода (СВВ).

Учебные материалы построены так, что в них в той или иной мере нашли отражение все основные компоненты СВВ, включая и периферийные устройства (ПУ). Акцент сделан на особенности построения СВВ персональных компьютеров класса IBM PC.

Материалы разбиты на две части.

В первой части рассмотрены состав, структура и логическая организация СВВ, интерфейсы, используемые для взаимодействия ее компонентов, системы ввода-вывода аналоговых сигналов, связи с объектами управления, ввода-вывода речевой информации а также устройства и СВВ текстовой и графической информации.

Во второй части рассмотрены системы внешней памяти, а так же вопросы, связанные с организацией работы ПУ в вычислительных комплексах, системах и сетях. Достаточно большое внимание уделено таким специфическим устройствам, как модемы и сетевые принтеры.

За основу учебных материалов было взято учебное пособие: Ларионов А.М., Горнец Н.Н. Периферийные устройства в вычислительных системах: Учебное пособие для вузов по спец. «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети». –М.: Высшая школа, 1991г. Основные изменения и дополнения материала касаются в основном современных персональных компьютеров и устройств, используемых совместно с ними.

Учебные материалы являются расширенной версией курса лекций «Интерфейсы периферийных устройств», читаемого автором в Саровском физико-техническом институте (СарФТИ) в рамках специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети» и других родственных специальностей и предназначены для обеспечения студентов СарФТИ основной и дополнительной информацией по этому курсу.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Передача различных сведений, полученных в результате накопления знаний и опыта, между отдельными людьми и от поколения к поколению лежит в основе развития человека и общества в целом. В течение длительного времени передача сведений, или информации, осуществлялась посредством устной речи, графики, печатных или рукописных текстов. Обработка информации производилась исключительно мозгом человека, а ее восприятие и выдача — его периферийными системами: органами зрения, слуха, голосовым трактом и т.д., при этом изучение способов представления и обработки информации мозгом носило лишь познавательный характер. Появление ЭВМ нарушило монополию человека на обработку информации и потребовало создания средств для загрузки и выгрузки информации в обрабатывающую часть машины; при этом способы ее представления и обработки в машине существенно отличаются от тех, которые используются мозгом человека и другими, внешними по отношению к обрабатывающей части машины, объектами.

Взаимодействие ЭВМ с внешним миром. Общие понятия. Обрабатывающую (**центральную часть ЭВМ**) упрощенно можно представить совокупностью арифметико-логического устройства (АЛУ), оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) и устройства управления (УУ). АЛУ и УУ образуют **центральный процессор (ЦП)**, предназначенный, в первую очередь, для решения прикладных задач пользователя, хотя он выполняет и множество других функций, связанных с управлением вычислительным процессом, контролем и т.п. Информация в ЦП представляется в виде **текстов, закодированных символами**; каждый символ в свою очередь кодируется **фиксированной последовательностью единиц и нулей**; им соответствуют высокие и низкие потенциалы в определенных точках схем машины. Решение задач в ЦП осуществляется выполнением последовательности **команд**, предписывающих порядок передачи сигналов между его определенными узлами. Эта последовательность команд, или **программа**, составлена в соответствии с определенными условностями, понятными машине, т.е. на **внутреннем машинном языке**.

Внешний мир по отношению к ЭВМ представляет собой совокупность всех источников и потребителей информации. **Компонентами внешнего мира** являются человек, объекты управления, другие ЭВМ, а также носители внешней памяти (гибкие и жесткие магнитные диски, оптические и магнито-оптические диски, магнитные ленты и т.п.). Внешний мир характеризуется большим разнообразием **объектов** и различными **формами представления информации**: графической, текстовой, речевой (для человека), в виде аналоговых или дискретных сигналов (для систем управления). По аналогии с человеком, устройства ЭВМ, предназначенные для восприятия и выдачи информации объектам внешнего мира, называются **периферийными**. Этот термин появился в 60-х годах, когда наиболее дорогая по тем временам центральная часть машины размещалась в отдельной стойке, к которой посредством кабелей подключались различные периферийные устройства (ПУ). В настоящее время многие ПУ выполняются в одном корпусе с центральной частью машины и принадлежность к ПУ теперь определяется только выполняемыми функциями по приему и выдаче объектам внешнего мира различных сведений.

Сведения, представленные в **формализованном виде**, часто называют **данными**; формализованное представление их осуществляется посредством **квантов информации**. Под **квантом информации** будем понимать некоторый ее объем, наиболее удобный при описании объекта (или совокупности объектов), а также при передаче, хранении и обработке. Кванты информации различны для внешнего мира и ЦП. В вычислительной технике, помимо указанного выше толкования термина «данные», принято и более узкое, служащее для различения обрабатываемой (исходные, промежуточные данные, конечные результаты) и управляющей (команды, адреса) информации, которая предназначена для организации вычислительного процесса. **Обмен данными** между различными компонентами ЭВМ, а также между компонентами ЭВМ и объектами внешнего мира выполняется посредством **сообщений**. **Сообщением** будем называть произвольное количество информации, с явно или неявно указанными началом и концом, предназначенное для передачи. В дальнейшем будем рассматривать в основном **дискретные сообщения**. В них данные представлены конечным числом квантов информации в виде последовательности **символов** из некоторого набора, называемого **алфавитом**. **Алфавит** может включать цифры, буквы, различные специальные символы.

Внешний мир и центральная часть ЭВМ обмениваются сообщениями посредством **системы ввода-вывода (СВВ)**. **Под СВВ следует понимать совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих получение данных от источников во внешнем мире и размещение их в ОЗУ, т.е. ввод данных, а также извлечение данных из определенных областей ОЗУ и передачу их потребителям информации во внешнем мире, т.е. вывод данных**. В процессе обмена СВВ выполняет преобразование

внешних для ЭВМ конкретных объектов мира в *описания образов абстрактного пространства* при вводе и обратные преобразования при выводе. Если нет необходимости указывать направление передачи сообщений между ЭВМ и объектами внешнего мира, то используют термин *обмен*. **Преобразование исходного языка внешнего мира в машинный язык представляет самостоятельную задачу, не включаемую в число функций СВВ.**

При обмене информацией можно выделить процессы **преобразования способа ее представления** (речи в текст, текста в графическое изображение и т.п.); **кодирования** (замены алфавитно-цифровых символов их кодовыми эквивалентами); **преобразования формы представления кодированной информации** (например, комбинации пробивок на перфокарте в комбинацию высоких и низких электрических потенциалов); **передачи сигналов** между ОЗУ и средствами СВВ. Функции автономного преобразования форм и способов представления данных и их кодирования выполняются периферийными устройствами, являющимися компонентами СВВ. Если ПУ содержат значительные собственные аппаратно-программные средства предварительной обработки информации, то они называются **интеллектуальными**. К числу **неинтеллектуальных ПУ** можно отнести устройства ввода с перфоленки, содержащие электромеханические узлы и узлы считывания пробивок, клавиатуру с микропроцессорным управлением для кодирования символов; к числу *интеллектуальных* — синтезаторы речи, системы внешней памяти, графические дисплейные станции, современные модемы принтеры и т.п.

В передаче сообщений и управлении обменом участвуют также и **другие компоненты СВВ**. К ним можно отнести систему внутренних и внешних **аппаратных интерфейсов, контроллеры и адаптеры**.

Под **интерфейсом**, в общем случае, понимают совокупность **средств и правил**, обеспечивающих взаимодействие устройств цифровой вычислительной системы и (или) программ. К **средствам аппаратных интерфейсов** относится *система линий связи*, по которым передаются сигналы, *разъемные соединения и схемы управления*, реализуемые, как правило, на базе специализированных вычислительных устройствах - **контроллерах**; к **правилам** можно отнести **протокол** взаимодействия, порядок разводки сигналов по разъемам, параметры сигналов, поддерживаемые методы связи (синхронный или асинхронный), поддерживаемые режимы обмена (дуплексный, полудуплексный, симплексный) и т.п. Под **протоколом** понимают совокупность правил и соглашений, определяющих работу функциональных устройств (контроллеров, адаптеров, периферийных устройств и т.п.) и процедур в процессе связи (взаимодействия).

Под **адаптером** понимают устройство сопряжения между собой устройств с различными способами представления данных либо устройств, использующих различные виды унифицированных сопряжений (интерфейсов). Адаптеры, как правило, выполняются на базе универсальных или специализированных контроллеров и поддерживают соответствующие интерфейсы на своих входах и выходах.

Преобразование способов представления и кодирование данных могут выполняться в ПУ либо полностью автоматически, либо с участием человека-оператора. Во втором случае на оператора возлагают наиболее трудно поддающиеся автоматизации функции по преобразованию способов представления информации. В недалеком прошлом с помощью автономно работающих устройств, входящих в **систему подготовки данных (СПД)**, оператор кодировал информацию и переносил ее на **промежуточный носитель** (перфоленку, перфокарту, магнитную ленту, гибкий магнитный диск и т.п.). На промежуточном носителе информация представлялась в закодированной форме, но способ представления, например, зоны противоположной намагниченности на поверхности гибкого магнитного диска, не позволял непосредственно использовать ее для обработки в ЭВМ, т.е. требовался еще одно преобразование. Это преобразование осуществлялось ПУ СВВ непосредственно в процессе выполнения операции ввода. Наличие промежуточного носителя позволяло осуществлять повторный ввод, а также обмен данными между различными ЭВМ на уровне этого носителя. Для этого носители **стандартизировали**. Стандартизировались геометрические размеры, расположение и размеры кодирующих элементов, допуски на них и коды. С появлением персональных ЭВМ и развитием сетевых технологий как таковые устройства подготовки данных на промежуточных носителях исчезли, но сами промежуточные носители, такие как гибкие магнитные диски, магнитные ленты, и новые их разновидности - оптические диски, флеш-накопители и т. п. широко используются в системах внешней памяти, для обмена информацией между машинами и для поставки программного обеспечения.

Кванты информации и кодирование. Кванты информации внешнего мира обычно связывают с удобством описания каких-либо объектов при решении задачи пользователя. Рассмотрим совокупность объектов, сведения о которых подлежат обработке. Назовем **атрибутом** некоторое свойство или параметр объекта. Так, при расчете стипендии атрибутами объекта (студента) являются фамилия, результаты сдачи сессии, курс, на котором учится студент; при управлении производственным процессом — величина сигнала от датчика; атрибутами графического образа — координаты принадлежащей ему точки и т.д.

Каждый атрибут характеризуется **именем и значением**. Имя определяет, какой обработке должно подвергаться значение атрибута. Значение представляется в виде **поля** (FD), которое логически неделимо, хотя физически обработка поля может выполняться поэлементно. Обычно поле образуется последовательностью символов, кодируемых в виде байтов (B). **Байт** образует неделимую для обработки совокупность двоичных разрядов, так как содержит код одного символа.

Отдельные поля объединяют в **запись** (R), которая характеризует целиком весь объект для решения заданной задачи:

$$R = \{FD_1, FD_2, \dots, FD_n\},$$

где n — число подлежащих обработке атрибутов.

Одно из полей каждой записи R_i служит для того, чтобы можно было различить отдельные записи и найти нужную. Это поле называют полем ключа. В качестве ключа можно использовать фамилию студента, название измеряемого параметра, название графического образа и т.д. Чтобы найти нужную запись, необходимо задать значение ключа. Задаваемое значение сравнивается с содержимым полей ключа для всех записей последовательно. В искомой записи эти значения совпадают.

Однотипные записи, т.е. содержащие одноименные поля для совокупности объектов, объединяют в **файл** (FL)

$$FL = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}$$

где m — число объектов.

Поле, запись и файл являются основными информационными квантами пользователя (внешнего мира).

Основным информационным квантом в ЭВМ является **машинное слово** (W), т.е. совокупность бит, которые могут быть обработаны аппаратными средствами машины одновременно под управлением одной команды. Длина машинного слова зависит только от конкретной реализации ЭВМ и определяется необходимой точностью вычислений, быстродействием, ориентацией на числовую или текстовую обработку и т.п. В ЭВМ длина машинного слова обычно выбирается кратной целому числу байт, что позволяет сравнительно просто организовать переход от кванта пользователя (например, поля) к машинному слову; при обработке текстов. ЦП может работать с отдельными байтами (символами). Минимальным информационным квантом машины является **бит**, соответствующий одной двоичной цифре. Название «бит» получено в результате сокращения английских слов «двоичная цифра» (binary digit = bit).

Таким образом, внешний мир в качестве информационных квантов использует файлы, записи, поля и символы, а ЦП — слова, байты, биты.

В процессе обмена с ПУ передача осуществляется **сообщениями-блоками** постоянной или переменной длины (блок данных, блок данных порта, блок записей и т.п.). Блок характеризует особенности размещения информации на носителе (например, объем одного сектора на магнитном диске - 512 байт). Помимо информации пользователя он может содержать дополнительную информацию, используемую компонентами машины для управления. Наиболее часто блок содержит одну запись, хотя возможны переходящие записи, занимающие несколько блоков, возможно также размещение нескольких записей в одном блоке. Файлы обычно сохраняют на носителях внешних запоминающих устройств (ВЗУ), т.е. на магнитных лентах (МЛ) или на магнитных дисках (МД). Полный объем информации на МЛ или МД, называемый **томом**, характеризует возможности системы по обмену файлами без вмешательства человека для смены носителя.

Любой квант пользователя образуется совокупностью байтов; каждый байт служит для представления кода символа из заданного набора. Широко распространенный восьмиразрядный байт позволяет кодировать до 256 различных символов. Набор всех символов, с помощью которых может быть составлено произвольное сообщение, называется **алфавитом**; а полное число символов — его **мощностью**. При кодировании каждому символу должна быть поставлена в соответствие **двоичная кодовая комбинация**, отличающая его от всех других символов алфавита. Соответствие символов и двоичных кодовых комбинаций (код) задается с помощью **кодовой таблицы**. Наиболее распространены двоичный и двоично-десятичный числовые коды и алфавитно-цифровые ДКОИ, КОИ-8, КОИ-7 и др. Использование того или иного кода определяется классом решаемых задач и особенностями периферийного оборудования.

Классы задач и режимы взаимодействия ЭВМ с внешним миром. Все многообразие задач принято делить на три класса: **научно-технические** (расчетного характера); **информационно-справочного, логического и статистического характера**; **управления объектами и процессами**. Они различаются характеристиками алгоритмов, требуемой точностью расчетов, допустимыми интервалами времени на получение результата, мощностью алфавитов и потребностями ввода-вывода.

Класс научно-технических задач характеризуется весьма сложными алгоритмами, требующими

большого количества вычислений и высокой точности. При этом объемы входной (исходные данные и тексты программ) и выходной (результаты расчетов) информации сравнительно невелики — на каждое вводимое в ЭВМ исходное значение приходится десятки и сотни операций обработки. Основными способами представления результатов для этих задач являются текстовый и графический; алфавит входных и выходных сообщений ограничен.

Класс задач информационно-справочного, логического и статистического характера иногда называют задачами обработки данных. Для задач этого класса характерны сравнительно короткие алгоритмы обработки и значительные объемы входных и выходных сообщений — на каждое вводимое значение приходится обычно не свыше десятка операций обработки. Кванты информации обычно имеют переменную длину, а алфавит входных и выходных сообщений содержит большое число символов. Задачи обработки данных требуют разнообразных ПУ для ввода-вывода информации в виде текста, графиков и речи, а также внешней памяти для хранения больших объемов справочной информации.

Классы научно-технических задач и обработки данных можно отнести к задачам с неограниченным допустимым временем решения, для которых интервал времени на получение результата определяется только экономическими или психофизиологическими факторами.

Класс задач управления объектами и процессами, решается в **режиме реального времени**, т.е. за предопределенный интервал времени или к заданному сроку, определяемому характером процесса управления; они требуют быстрой реакции на изменение его параметров. Задачи этого класса обычно характеризуются сравнительно простыми алгоритмами и низкой точностью вычислений, информация во внешнем мире для них наиболее часто представляется в виде аналоговых сигналов, ввод и вывод которых осуществляются **устройствами сопряжения с объектом (УСО)**.

Контрольные вопросы.

1. Что относится к центральной части ЭВМ?
2. Чем представляется информация в ЦП?
3. Что относится к внешнему миру по отношению к ЭВМ? Каковы его характеристики?
4. Каково назначение периферийных устройств?
5. Что такое квант информации и сообщение?
6. Что понимается под СВВ?
7. Перечислить основные процессы, реализуемые при обмене информацией.
8. Какова роль ПУ в реализации процессов обмена информацией?
9. Что такое интеллектуальное ПУ?
10. Что такое интерфейс?
11. Что относится к средствам и правилам аппаратного интерфейса*?
12. Что такое контроллер и что такое адаптер?
13. Что такое поле, запись и файл?
14. Что относится к квантам информации ЭВМ?
15. Что такое мощность алфавита?
16. Каковы классы задач, решаемых на ЭВМ?
17. Каковы характеристики взаимодействия с ЭВМ при решении различных классов задач?

1. СОСТАВ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ВВОДА-ВЫВОДА

Набор функций СВВ практически не зависит от типа ЭВМ, однако их конкретное распределение между различными аппаратными и программными компонентами СВВ в значительной мере определяется назначением ЭВМ, условиями и режимами использования, ее архитектурой, характеристиками производительности, стоимости и т.д. Это распределение функций при выполнении операций ввода-вывода называется структурной организацией СВВ.

1.1. Переменный состав оборудования и классы ЭВМ

Современные ЭВМ строятся как системы с переменным составом оборудования, что позволяет на одной и той же машине решать, хотя и с разной степенью эффективности, задачи различных классов. Система с переменным составом оборудования строится из некоторого набора устройств-модулей, включающего ЦП, модули ОЗУ; различные компоненты-модули СВВ. Изменение конфигурации ЭВМ обеспечивается за счет кабельных соединений и модификации программ управления аппаратными модулями. Концепция переменного состава оборудования требует **стандартизации форматов сообщений, алгоритмов управления обменом между аппаратными модулями, способов добавления новых программных модулей**. Такая стандартизация определяет **архитектуру системы** (семейства или ряда) ЭВМ, которая допускает в определенных пределах изменение количества и состава модулей (в первую очередь ПУ) и обеспечивает при этом *информационную и программную совместимость*. (Под архитектурой вычислительной системы при этом понимают *общую логическую организацию цифровой вычислительной системы, определяющую процесс обработки данных, методы кодирования, состав, назначение, принципы взаимодействия технических средств и программного обеспечения*). Информационная совместимость всех ЭВМ одной системы достигается едиными способами кодирования информации и единым форматом данных. Программная совместимость означает возможность выполнения программ (без каких-либо изменений) в различных конфигурациях ЭВМ, что достигается единой системой команд и одинаковой организацией операционных систем. *Аппаратная совместимость* модулей обеспечивается унифицированной системой сопряжения — интерфейсами различных уровней — и едиными способами управления.

Реализация ЭВМ в виде системы с переменным составом оборудования позволяет расширить номенклатуру ПУ и упростить общение пользователя с машиной при решении научных задач за счет расширения алфавита сообщений и представления результатов в виде таблиц с комментариями и графиков; при решении задач управления становится возможным отображать и документировать ход процесса управления.

Система ЭВМ объединяет различные модели, ориентированные на решение преимущественно одного класса задач, хотя эти модели и различаются по производительности. В моделях ЭВМ различных систем могут использоваться ПУ одного функционального назначения, но существенно отличающиеся по своим характеристикам. С точки зрения ориентации машин на тот или иной класс задач, организации СВВ, состава и характеристик основных ПУ можно выделить следующие классы ЭВМ.

Персональные ЭВМ (ПЭВМ) предназначены для работы с одним пользователем в режиме индивидуального доступа. Этот класс охватывает широкий круг ПЭВМ от профессиональных до домашнего пользования. СВВ персональных ЭВМ отличаются сравнительной простотой организации, наличием ограниченного числа дешевых ПУ, среди которых наиболее распространены клавиатуры и манипуляторы для ввода информации, дешевые устройства отображения для вывода, ВЗУ на гибких магнитных дисках (ГМД) и жестких магнитных дисках типа "Винчестер", а также последовательные устройства печати (ПЧУ). Большинство современных ПЭВМ оборудуются средствами подключения к локальным сетям; они ориентированы на непрофессионального пользователя, поэтому одно из основных требований к СВВ заключается в организации наиболее естественного общения — в форме диалога, посредством графики, а в будущем - посредством и речи.

Управляющие микроЭВМ ориентированы на работу в реальном масштабе времени по управлению объектами и технологическими процессами. СВВ управляющих микроЭВМ должна обеспечивать быструю реакцию на изменения в состоянии управляемых объектов. Характерными ПУ для ЭВМ этого класса являются цифроаналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые (АЦП) преобразователи и УВВ дискретных сигналов, входящие в состав УСО; кроме того, управляющие микроЭВМ часто объединяют с другими ЭВМ в многомашинные вычислительные комплексы (ВК) и системы (ВС) посредством различных устройств сопряжения, включая локальные сети. Конструктивно микроЭВМ часто выполняют в виде модулей, встраиваемых в системы управления.

Мини ЭВМ вначале предназначались для управления сложными объектами и технологическими процессами, однако с ростом вычислительных возможностей основными областями использования мини ЭВМ стали многопользовательские системы для автоматизации проектно-конструкторских работ, разработки программного обеспечения МП систем и т.п. СВВ мини ЭВМ сохранили черты управляющих

машин, однако состав ПУ значительно расширился. Мини ЭВМ могли работать как в режиме реального времени, при этом в качестве основных ПУ использовались УСО, так и в диалоговом режиме коллективного доступа, при этом наиболее распространенными ПУ являлись дисплеи, ПчУ, ВЗУ большой емкости, а также устройства сопряжения с каналами связи для организации дистанционного доступа. Наиболее характерными примерами мини ЭВМ являлись машины семейств СМ (например, СМ-2М), СМ-4 (СМ-1420) и СМ-1700.

ЭВМ общего назначения предназначались для решения широкого круга задач научного, инженерного и экономического характера. На базе ЭВМ этого класса создавались вычислительные центры коллективного пользования. СВВ в ЭВМ общего назначения были ориентированы на работу в пакетном режиме и в режиме коллективного доступа; в состав СВВ входили разнообразные сложные ПУ высокой производительности и устройства сопряжения с каналами связи. При проектировании СВВ этого класса машин одним из основных требований являлось обеспечение сбалансированности СВВ и средств обработки. Под сбалансированностью понимают такое соотношение между производительностью ЦП и пропускной способностью СВВ, при котором объем перерабатываемой за единицу времени информации соответствует объему введенной и выведенной информации за тот же интервал времени. При условии полной сбалансированности ЦП и СВВ работают без простоев, чем достигается наилучшее отношение производительности к стоимости оборудования. Примерами ЭВМ этого класса могут служить машины ЕС ЭВМ и комплексы «Эльбрус».

СуперЭВМ по существу представляют собой высокопроизводительные проблемно-ориентированные ВС, предназначенные для выполнения достаточно узкого класса задач. В зависимости от класса решаемых задач суперЭВМ, быстродействие которых в настоящее время достигает сотен и тысяч миллиардов операций в секунду, могут комплектоваться различными, порой очень сложными и дорогими ПУ. При создании суперЭВМ основной задачей является достижение максимального быстродействия. Чтобы разгрузить центральную часть суперЭВМ от участия в выполнении операций ввода-вывода, часто организацию и управление этими операциями возлагают на дополнительные ЭВМ.

1.2. Классификация и характеристики периферийных устройств

Периферийные устройства можно классифицировать по способу представления преобразуемой информации, по функциональному назначению и направлению обмена, по быстродействию и характеру цикла, по способу использования одним или несколькими пользователями.

По способу представления информации во внешнем мире и назначению все ПУ можно разделить на устройства ввода-вывода речевой, графической и текстовой информации, ввода-вывода аналоговых сигналов, внешней памяти и системы межмашинных связей. В зависимости от направления обмена все ПУ делят на устройства ввода (УВв), вывода (УВыв) и двустороннего обмена. В отдельную функциональную группу было принято выделять устройства подготовки данных (УПД), входившие в состав СПД и непосредственно не связанные с ЭВМ. Каждая из перечисленных функциональных групп включает в себя широкую номенклатуру ПУ, различающихся характеристиками, параметрами и принципами действия.

В состав СВВ помимо ПУ входят устройства управления обменом. По своему функциональному назначению они могут быть подразделены на группы процессоров ввода-вывода (ПВВ) и контроллеров (устройств управления ПУ).

На структурную организацию СВВ наибольшее влияние оказывают быстродействие ПУ и способ его использования. Возможны два способа: ПУ предоставляется в индивидуальное пользование одному пользователю на все время решения задачи либо в коллективное пользование нескольким пользователям. Если ЭВМ выполняет несколько задач (в режиме разделения времени), результаты которых выдаются на одно ПчУ, то печать результатов от различных задач не должна перемежаться. Такое ПУ может быть отнесено к устройствам коллективного пользования, закрепляемым на время выполнения за одной программой. В отличие от ПчУ дисплей каждого пользователя отдается ему на весь период работы с машиной: такие ПУ являются устройствами индивидуального пользования. Для ПУ коллективного пользования должны быть предусмотрены специальные меры, исключающие одновременно использование их несколькими программами.

У ПУ можно выделить следующие характерные этапы работы:

- подготовка кванта информации,
- передача подготовленного кванта между регистром данных (РгД) ПУ и соответствующим регистром в центральной части СВВ;
- ожидание (для некоторых типов ПУ), в течение которого действия в ПУ приостанавливаются до получения сигналов разрешения от ЦУ.

Переход от этапа к этапу осуществляется под воздействием сигналов управления в определенной последовательности, повторяющиеся элементы которой образуют полный цикл работы ПУ. В общем

случае полный цикл ПУ, состоит из этапов подготовки, ожидания и передачи. Особенности цикла ПУ и его длительность оказывают непосредственное влияние на организацию СВВ в целом и на способы подключения конкретного ПУ.

С точки зрения *длительности цикла* все ПУ можно разделить на следующие группы:

— низкоскоростные, быстродействие которых составляет менее 100 симв/с. В эту группу входят УВВ непосредственной связи с пользователем — клавиатуры, консоли и т.п. Для ПУ этой группы характерным квантом информации является символ, кодируемый в виде байта. Быстродействие таких ПУ в основном ограничивается возможностями человека—оператора;

— среднескоростные, быстродействие которых может достигать 1000 симв/с и выше. К ним относят ПЧУ различных типов, графопостроители, УСО, УО, аппаратуру передачи данных (АПД) и т.д., а также различные интеллектуальные ПУ. За один цикл может быть подготовлен квант информации из одного байта или группы байт. В первом случае ПУ называют последовательным, во втором — параллельным (например, последовательное и параллельное ПЧУ);

— высокоскоростные, быстродействие которых может достигать 1 Мбайт/с. Эта граница, как и указанные выше, условна и изменяется с развитием элементной базы и техники ПУ. Наиболее характерными представителями этой группы ПУ являются ВЗУ на МД, сложные системы графического взаимодействия с пользователем. Характерной особенностью ПУ этого типа является обмен достаточно большими квантами информации — блоками, состоящими из множества байт. Первоначальная подготовка блока требует значительных затрат времени, а подготовка байта в пределах блока выполняется достаточно быстро;

— сверхбыстродействующие устройства со скоростью передачи выше 1 Мбайт/с. К числу таких ПУ можно отнести ВЗУ на ЖМД типа "Винчестер".

В соответствии с *характером* цикла все ПУ делятся на группы *синхронных* и *асинхронных* устройств. Для синхронных ПУ цикл постоянен и обычно включает в себя только два этапа: подготовки и передачи. Для асинхронных ПУ цикл имеет переменную длительность, причем непостоянство длительности полного цикла ПУ объясняется непостоянством времени подготовки или ожидания.

В любом обмене участвуют два устройства — передатчик и приемник; моменты времени передачи и приема (с учетом задержки на линиях связи) должны совпадать. В некоторых случаях для обеспечения этого условия в ПУ предусматривают буферное ЗУ небольшого объема, позволяющее в некоторой степени произвольно задерживать момент приема кванта информации относительно момента его выдачи. Такие ПУ называют буферизованными.

Таким образом, в соответствии с характером цикла ПУ и наличием в нем буфера, а также величиной подготавливаемых квантов информации все ПУ можно подразделить на синхронные и асинхронные, буферизованные и не буферизованные, с байтовой или блоковой организацией.

1.3. Функции системы ввода-вывода и ее структура.

Задача СВВ (ее внутренней части) состоит в организации и управлении процессом передачи информации от ПУ в ОП машины при вводе и в обратном направлении при выводе, т.е. в выполнении операций ввода-вывода.

Основные функции СВВ и способы их реализации. С точки зрения СВВ любое ПУ представляет собой генератор или потребитель данных (ГенД) квантов данных $[D_i]$, который может запускаться в работу сигналами $[C_i]$ от управляющих компонентов СВВ и сообщать им о своем состоянии сигналами $[S_i]$, как показано на рис 1.1.

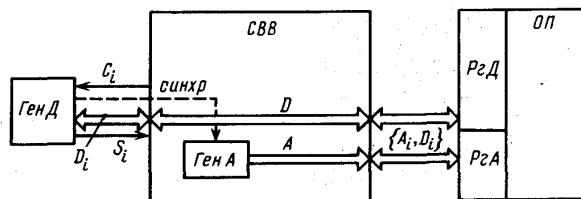


Рис 1.1 Взаимодействие СВВ с ОП и ПУ.

Длительность интервалов формирования последовательных квантов информации в таком генераторе и кванты данных существенно отличаются от длительности интервалов обработки и квантов в центральных устройствах машины. Поэтому **основные функции СВВ** можно сформулировать следующим образом:

- преобразование квантов (или форматов) информации, принимаемых от ПУ при вводе, в форматы ЦП и ОП; обратное преобразование - при выводе;
- определение места в ОП, где должен быть размещен сформированный машинный квант при вводе

или откуда должен быть выбран при выводе, т.е. формирование текущего адреса ОП. Таким образом, средства СВВ могут рассматриваться как генератор адресов ГенА оперативной памяти $[A_i]$, формируемых синхронно для каждого генерируемого в ПУ кванта данных $[D_i]$. ГенД и ГенА связаны с регистрами данных РгД и адреса РгА в ОП машины;

— формирование управляющих сигналов $\{C_i\}$ для работы ПУ в различных режимах, задание типа выполняемой операции в ПУ и т.д.;

— получение и обработка сигналов $\{S_i\}$, характеризующих состояние ПУ, возможность выполнения им тех или иных действий;

— получение приказов от центральных устройств на выполнение операций ввода-вывода, формирование сообщений о состоянии СВВ;

— синхронизация процессов в ЦУ и ПУ, согласование скоростей их работы.

Простейшая реализация перечисленных функций возможна при **центрально-синхронном принципе управления**. При этом синхронизация всех устройств ЭВМ осуществляется от единого центрального УУ, а все передачи данных от ПУ или к нему производятся через АЛУ. Структура ЭВМ с центрально-синхронным принципом управления показана на рис. 1.2. Обработывающая (центральная) часть машины заштрихована, сплошными линиями показаны связи для передачи данных и адресов; штриховыми — связи для управляющих сигналов и команд.

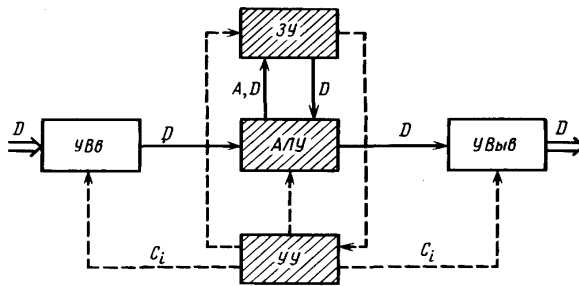


Рис 1.2 Центрально-синхронное управление

При центрально-синхронном управлении все операции обработки и ввода-вывода должны выполняться последовательно. В системе команд машины должны быть предусмотрены специальные команды операций ввода-вывода. Одна выполняемая команда служит для передачи одного кванта информации; при необходимости передачи массива информации должны быть организованы циклические программы. Поскольку в операциях ввода-вывода участвуют устройства с существенно различным быстродействием, то длительность единичной операции $T_{вв}$ определяется быстродействием самого медленного устройства (т.е. ПУ) и существенно превышает длительность операции обработки T_a . Длительность решения задачи для такой ЭВМ непосредственно зависит от быстродействия используемых ПУ и доли операций ввода-вывода. Центрально-синхронный принцип управления требует меньших аппаратных затрат; он был характерен для первых ЭВМ, используемых в научных расчетах. Увеличение доли операций ввода-вывода при переходе к задачам обработки данных делало этот принцип практически непригодным. Кроме того, при использовании этого принципа невозможно построение систем с переменным составом оборудования.

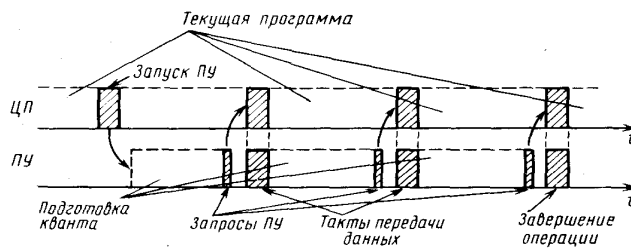


Рис 1.3 Временная диаграмма параллельной работы ЦП и ПУ.

Улучшить производительность ЭВМ можно за счет организации параллельного выполнения операций обработки и ввода-вывода. При наличии средств автономного управления работой ПУ непосредственное участие центральных устройств в обмене информацией с ПУ может ограничиваться тактом передачи ПУ, который, как указывалось выше, значительно короче такта подготовки. Кроме того, при операциях обработки лишь часть времени выполнения команды в АЛУ уходит на обращение к ОЗУ,

поэтому выделение специальных средств управления и доступа к памяти со стороны ПУ позволяет существенно повысить производительность ЭВМ.

Однако при этом должен быть реализован **асинхронный** принцип управления, обеспечивающий независимость работы ПУ, ОЗУ и АЛУ. На рис. 1.3. приведен пример временной диаграммы параллельной работы ЦП и ПУ. ПУ начинает работу по команде запуска, после чего работает автономно, подготавливая квант информации. ЦП продолжает выполнение текущей программы. Подготовив квант информации, ПУ посылает сигнал запроса процессору и ЦП приостанавливает выполнение текущей программы для получения подготовленного кванта. По окончании работы ПУ посылает процессору сигнал, подтверждающий завершение операции. Параллельная работа ПУ и ЦП осуществляется в тактах подготовки кванта информации в ПУ. Во время тактов передачи центральные и периферийные устройства используются совместно, поэтому в эти моменты для организации обмена необходимо синхронизировать их работу. С этой целью используются **прерывания и приостановки**, рассмотренные ниже. При параллельном выполнении операций обработки и ввода—вывода длительность решения задачи тем меньше, чем выше коэффициент (K_p) перекрытия, или совпадения во времени, операций обработки и ввода-вывода, характеризующий, какую долю цикла ПУ процессор и ПУ могут работать независимо. При отсутствии перекрытия, т. е. при последовательном выполнении операций, $K_p = 0$; при полном

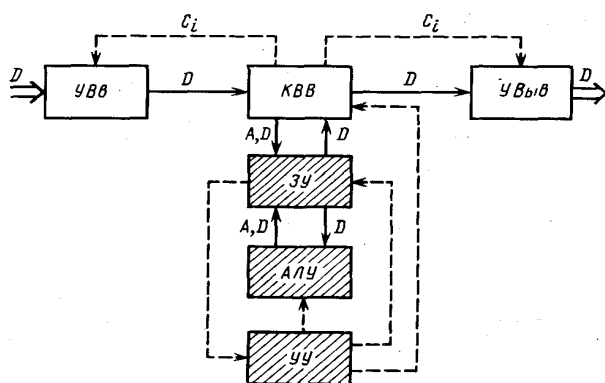


Рис.1.4 Структура ЭВМ с асинхронным параллельным выполнением операций обработки и ввода-вывода

перекрытия, когда операции обработки и ввода-вывода выполняются совершенно независимо и не оказывают влияния друг на друга, $K_p = 1$.

В реальных ВС в зависимости от степени и способа реализации условий, необходимых для параллельной работы центральных и периферийных устройств, этот коэффициент может принимать любые значения в интервале $(0,1)$. Для увеличения K_p необходимо выполнить следующие условия:

- управление ПУ при подготовке квантов информации должно осуществляться автономными схемами, работающими независимо от ЦУ;
- в ЭВМ должны быть предусмотрены средства и связи для передачи квантов информации между ПУ и ОП, минуя АЛУ, так называемые средства прямого доступа к памяти;
- должны быть предусмотрены средства для синхронизации параллельного выполнения асинхронных процессов обработки в центральных устройствах и подготовки квантов информации в ПУ;
- в течение всего процесса ввода-вывода ЦУ должны быть загружены операциями обработки, чтобы причиной простоев, возникающих в них, не была нехватка исходных данных или команд.

Структура ЭВМ с асинхронным параллельным выполнением операций обработки и ввода-вывода показана на рис. 1.4. В этой структуре предусмотрены дополнительные тракты передачи данных между УВв, УВыв и ЦУ, тем самым обмен происходит, минуя АЛУ. Управление работой ПУ, формирование текущих адресов и запросов к памяти осуществляется посредством специальных схем управления (канала ввода-вывода — КВВ), взаимодействие, которых с ЦП реализуется через систему прерываний и приостановок.

Средства совмещения операций обработки и ввода-вывода.

Основными средствами, позволяющими совместить операции обработки и ввода-вывода, являются **прерывания и приостановки**. Эти средства обеспечивают возможность взаимодействия асинхронно протекающих процессов. Помимо средств прерывания и приостановки для параллельного выполнения операции широко используются различные виды буферизации.

Прерывание — процесс переключения ЦП с одной программы на другую по внешнему сигналу с сохранением информации для последующего возобновления прерванной программы. Необходимость в

прерывании возникает в том случае, если некоторое внешнее по отношению к ЦП событие требует от него немедленной реакции. Реакция на такое событие (например, ПУ завершило подготовку кванта

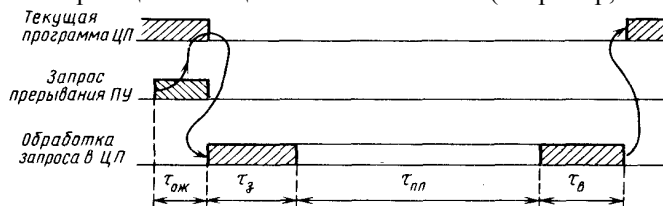


Рис.1.5 Процесс прерывания

информации) состоит в том, чтобы выполнить специально предусмотренную для данного события программу. Процесс прерывания иллюстрируется на рис. 1.5.

ПУ при возникновении события, требующего реакции со стороны ЦП, формирует сигнал, называемый запросом прерывания. Он может поступать в ЦП в произвольные моменты времени асинхронно по отношению к выполнению программы, поэтому запросы прерываний запоминаются на специальном регистре, называемом регистром запросов прерываний (РгЗП).

Состояние РгЗП анализируется аппаратными или программными средствами в определенные моменты выполнения программы или команды. В простейшем случае после выполнения каждой команды (текущей прерываемой программы) схемы управления производят опрос состояния РгЗП и при наличии в нем единицы переходят к выполнению прерывания. Интервал времени ожидания между моментом поступления сигнала запроса прерывания в РгЗП и моментом начала обработки прерывания называют **временем реакции на прерывание**. Обработка прерывания включает в себя этапы запоминания состояния прерываемой программы и перехода к выполнению прерывающей программы (t_z); собственно выполнения прерывающей программы ($t_{пл}$); восстановления состояния прерванной программы и возврата к ее выполнению ($t_в$). Интервалы t_z и $t_д$ представляют собой *накладные затраты*, зависящие от способа реализации системы прерываний, которые в случае использования механизма прерываний для согласования моментов времени передачи данных между ЦП и ПУ могут существенно снизить возможность параллельного выполнения операций обработки и ввода-вывода, а в некоторых случаях - сделать его невозможным.

В реальных СВВ существует несколько внешних источников запросов прерывания; кроме того, сигналы прерывания формируются и другими схемами, например, схемами контроля ЦП, системы питания, памяти и т.п., при возникновении событий, время которых невозможно предсказать. При наличии нескольких источников запросов прерывания устанавливается определенный порядок их обслуживания путем назначения приоритетов. Запросы прерываний в зависимости от назначенного приоритета направляются на различные разряды РгЗП, опрос которых производится в строго определенной последовательности.

Номер разряда РгЗП не только определяет приоритет запроса, но и позволяет найти соответствующую данному запросу программу обслуживания прерывания. Поступивший запрос на прерывание может прервать только менее приоритетную программу. Таким образом, время задержки в обнаружении запроса определяется не только временем реакции системы прерываний, но и числом ожидающих обработки запросов более высокого приоритета.

Помимо рассмотренной системы прерываний широко распространена так называемая векторная система. Информация о месте возникновения запроса в ней передается от источника прерывания в виде адреса ячейки памяти, содержимое которой определяет выполнение конкретной программы обслуживания. Кроме адреса перехода к программе обслуживания прерывания эта ячейка (или несколько последовательных ячеек) может хранить дополнительную управляющую информацию. Содержимое ячеек принято называть вектором прерываний. Векторный способ организации прерываний распространен в мини- и микроЭВМ.

Систему прерываний характеризуют способом опроса РгЗП, общим числом входов от внешних источников; числом уровней прерывания, по которым сгруппированы определенные источники; глубиной прерывания, т.е. максимальным числом программ, которые могут быть последовательно прерваны друг другом; системой приоритетов; организацией переходов к следующей программе. Все эти характеристики системы прерываний оказывают существенное влияние и на характеристики СВВ.

Приостановка — процесс, при котором средства управления, работающие автономно от ЦП, задерживают его работу на время цикла памяти T_c , при этом ОЗУ непосредственно занято приемом или выдачей информации для другого устройства. Во время приостановок текущее состояние процессора не меняется, но выполнение программы (команды) задерживается до освобождения ОЗУ. Процесс

приостановки работы ЦП показан на рис. 1.6.

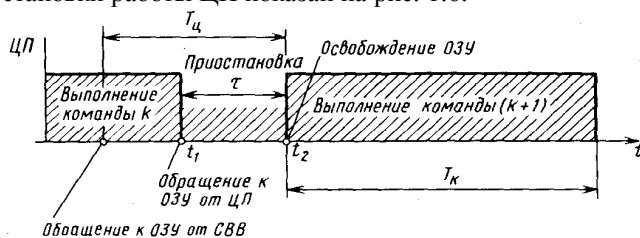


Рис.1.6 Процесс приостановки работы ЦП.

Если обращение процессора к ОЗУ произошло в момент времени t_1 , но ОЗУ занято выполнением записи-чтения данных от другого источника (например, от СВВ), то работа ЦП приостанавливается на время τ до момента t_2 освобождения ОЗУ. Во время приостановки, максимальная длительность которой составляет $\tau \leq T_c$, ЦП никаких действий не выполняет. Приостановки, называемые также занятием цикла памяти, широко используются при организации любых СВВ. Они обеспечивают высокую степень совмещения операций обработки и ввода-вывода, которая тем выше, чем меньше длительность цикла памяти T_c относительно длительности команды процессора T_k . Однако возможности приостановок ограничены непосредственной передачей данных при обращении к ОЗУ; поэтому для выполнения каких-либо действий по управлению СВВ со стороны ЦП необходимы прерывания.

При работе нескольких автономно функционирующих устройств очень важно, чтобы любое устройство получило ответ на свой запрос за достаточно короткое время. Для исключения случаев бесконечного ожидания в СВВ широко применяют принцип «таймаута», т.е. принцип, согласно которому ответ от запрашиваемого устройства должен быть получен за наперед заданный интервал времени. При неполучении ответа за установленный интервал запрос снимается, а запрашиваемая система (или устройство) считается неспособной выполнить запрос. Принцип таймаута используется на всех уровнях СВВ.

1.4. Канал ввода-вывода

Канал ввода-вывода (КВВ) представляет собой совокупность аппаратных и программных средств, предназначенных для организации, управления обменом и непосредственной передачи данных между ОП и ПУ. Таким образом, КВВ является функциональным элементом СВВ. Он образует маршрут передачи данных между ОП и ПУ и осуществляет управление обменом, начиная от установления связи и кончая завершением передачи и разрушением установленной связи. Физическая реализация КВВ отличается широким разнообразием, однако независимо от нее функции подключения ПУ к КВВ выполняются специальными аппаратными средствами (средствами интерфейса) в соответствии с определенными правилами обмена сигналами.

Основные функции КВВ. Их можно разбить на три группы.

В первую группу входят функции по установлению логической связи между ПУ и ОП, т.е. по образованию «канала» для передачи данных. В СВВ обычно имеется множество ПУ, подключенных через общую для них систему связи. При наличии автономных средств управления ПУ могут работать параллельно в течение такта подготовки информации, но передача информации через систему связи в каждый момент времени производится между ОП и только одним ПУ. Для исключения возможности одновременной передачи информации от нескольких ПУ в системе связи и должен быть организован «канал». Для этого необходимо среди запросов на обмен выявить наиболее приоритетный; определить для него маршрут передачи данных между ОП и ПУ; проверить работоспособность и готовность к выполнению заданного обмена каждым из компонентов СВВ вдоль выбранного маршрута; в случае, если какой-либо компонент не может принять участия в обмене (выключен или занят другой операцией), то следует выполнить эти же проверки для альтернативного маршрута, а при его отсутствии — сообщить ЦП о невозможности установления «канала»; передать всем участвующим в операции компонентам СВВ необходимую управляющую информацию, например, приказ ПУ выполнить определенные действия по управлению механизмами, подготовке кванта информации и т.п.

Вторая группа функций КВВ связана с непосредственной передачей данных между ПУ и ОП и включает в себя:

- определение текущего адреса ячейки памяти для записи или чтения очередного кванта информации, передаваемого по сформированному «каналу»;
- преобразование форматов данных, используемых в ПУ и ОП;
- контроль передаваемых по каналам данных;
- определение особых условий в процессе выполнения операции. К числу таких условий можно

отнести завершение передачи определенной порции информации и потребность в дополнительной управляющей информации для каких-либо компонентов СВВ, возникновение ошибки и т.п.

Третья группа функций связана с завершением обмена и разрушением «канала». Она включает в себя:

- определение момента завершения обмена по сигналу от ПУ или ЦУ;
- определение причины завершения обмена, т.е. завершена ли передача всех необходимых квантов данных или в процессе обмена обнаружена ошибка;
- информирование ЦП об изменении состояния компонентов СВВ;
- передача управляющей информации компонентам СВВ, посредством которой они переводятся в исходное состояние.

Перечисленные функции КВВ реализуются различными сочетаниями аппаратных и программных средств.

Программный КВВ. Если все функции управления обменом осуществляются средствами управления интерфейсом и аппаратурой ЦП, то *такой КВВ называют программным*. С помощью программного КВВ обеспечивается **несовмещенный режим** ввода-вывода, при котором управление ПУ и операциями обработки осуществляется последовательно, и **совмещенный режим**, при котором ПУ имеет автономные схемы управления подготовкой квантов информации, а синхронизация и переключение ЦП на программу управления передачей кванта информации от ПУ выполняется посредством прерываний. Программное управление обменом, или программный КВВ реализуется средствами управления интерфейсом и аппаратурой ЦП, которая используется для управления обменом в течение всей операции ввода-вывода непрерывно (*несовмещенный режим*) или в некоторые интервалы времени, определяемые ЦУ (*совмещенный режим*). В свободное от управления обменом время аппаратура ЦП используется для выполнения операции обработки. Программный КВВ характерен для мини- и микроЭВМ при подключении сравнительно медленных УВв и УВыв. Несовмещенный режим используется в сравнительно редких случаях, преимущественно для простейших управляющих микроЭВМ, если число ПУ невелико (обычно 1—2) и эти устройства пассивны, т.е. не могут посылать запросы на обмен. Повышение степени совмещения операций обработки и ввода-вывода связано с организацией *прямого доступа к памяти*.

Прямой доступ к памяти. Для реализации прямого доступа к памяти в КВВ должны быть предусмотрены специально выделенные аппаратные средства, на которые возлагаются буферизация и преобразование форматов данных; определение текущего адреса для каждого передаваемого в память или из нее слова; определение момента завершения обмена. Остальные функции КВВ по установлению связи и образованию «канала» между ПУ и ОП в начале операции, окончанию операции и проверке состояния компонентов СВВ выполняются либо программным путем с привлечением аппаратуры ЦП, либо дополнительными средствами КВВ. *В первом случае*, когда управление образованием и «настройкой канала» производится программно, повышение степени совмещения операций обработки и ввода-вывода достигается за счет того, что программная настройка производится только в начале и конце операции, в процессе которой между ПУ и ОП передается несколько квантов информации. Управление передачей каждого кванта не требует вмешательства со стороны ЦП и синхронизируется посредством приостановок. Этот способ организации КВВ характерен для мини- и микроЭВМ при подключении ВЗУ. *Во втором случае* функции КВВ выполняются специально выделенной аппаратурой, работающей под управлением собственной программы.

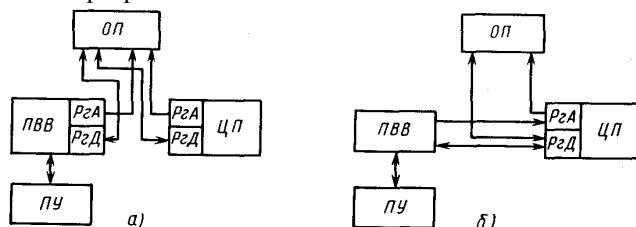


Рис 1.7. Прямой доступ с прямым и косвенным обращением.

Реализованный таким способом КВВ называют **процессором ввода-вывода (ПВВ)**. ПВВ является подчиненным специализированным процессором, работа которого инициируется посредством ЦП. ПВВ используют в высокопроизводительных ЭВМ (общего назначения и суперЭВМ). При прямом доступе к памяти ЦП и ПВВ могут иметь собственные регистры адресов RгА и данных RгД, как показано на рис. 1.7, а. Такую реализацию прямого доступа называют *непосредственным обращением к ОП*; приостановки при этом возникают только при одновременном обращении в ОП со стороны ЦП и ПВВ и их длительность не превышает цикла ОП ($T_{ц}$).

Возможна реализация прямого доступа с *косвенным обращением* к ОП, рис. 1.7,б. В этом случае приостановки ЦП возникают при любой передаче информации между ОП и ПВВ независимо от того,

выполняется ли в ЦП команда с обращением или без обращения к памяти. После завершения команды в ЦП его регистры RгА и RгД свободны; производится захват их со стороны ПВВ, что приводит к приостановке выполнения программы в ЦП, так как в нем временно отсутствуют два регистра. ПВВ освободит эти регистры после завершения цикла передачи кванта информации в ОП.

Основные характеристики КВВ. Принято выделять две характеристики:

—номинальную пропускную способность Уквв, т.е. число байт данных, которые могут быть переданы посредством КВВ между ПУ и ОП за единицу времени при условии, что никакие другие устройства ВС не мешают выполнению функции КВВ;

—нагрузочную способность Nmax, т.е. наибольшее число ПУ, которые может обслуживать КВВ, не вызывая потери информации и снижения скорости их работы.

Однако в реальных условиях совместной работы центральная часть ЭВМ и СВВ оказывают значительное влияние друг на друга. Пропускная способность КВВ снижается относительно номинальной, снижается и производительность ЦП, что объясняется неполным перекрытием операций обработки и ввода-вывода. Одним из важных параметров, характеризующих способность КВВ работать параллельно с ЦП, является *коэффициент снижения эффективной производительности, или коэффициент работоспособности R программы*, который показывает долю времени, затрачиваемого ЦП на программу обработки при параллельном выполнении операций в СВВ. Коэффициент R зависит от способа организации СВВ, числа параллельно работающих ПУ и быстродействия каждого из них.

Некоторые КВВ обладают способностью обслуживать несколько ПУ на основе разделения времени. При этом их программные и аппаратные средства используются поочередно каждым ПУ. При таком режиме, который называют мультиплексным, должны соблюдаться следующие условия:

1. Период поступления квантов информации от любого ПУ должен быть больше периода обслуживания, в противном случае возможна потеря информации.

2. Суммарная нагрузка канала, не должна превышать его пропускной способности.

Второе условие является следствием выполнения первого условия совместно для всех N одновременно работающих ПУ. Все работающие ПУ обладают различными характеристиками быстродействия, а время обслуживания их запросов в КВВ зависит от наличия других абонентов ОП и способов организации СВВ. Поэтому задача определения нагрузочной способности КВВ достаточно сложна и часто решается только с помощью имитационных моделей ВС.

Перечисленные выше функции управления обменом, таким образом, могут выполняться посредством СВВ, имеющих различную физическую структуру, т.е. различную совокупность аппаратных и программных средств и связей между ними. Физическая структура СВВ включает в себя ПУ, контроллеры, ПВВ и является иерархической со строгим разграничением функций между уровнями. Передача данных и управляющей информации между уровнями физической структуры СВВ осуществляется через интерфейсы различных рангов. Рассмотрим далее принципы построения интерфейсов и реализуемые ими функции.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные классы ЭВМ и режимы взаимодействия с пользователем. Назовите особенности этих ЭВМ.

2. Перечислите основные условия, выполнение которых необходимо для создания систем с переменным составом оборудования.

3. Назовите критерии классификации ПУ. Приведите примеры ПУ для каждой группы.

4. Какая особенность цикла работы ПУ делает возможным организацию параллельной обработки и ввода-вывода?

5. Перечислите основные функции СВВ. Каким образом формируются адреса ОП при передаче данных между ПУ и ОП?

6. Какие средства необходимы для организации параллельной работы ЦУ и ПУ?

7. В чем суть прерываний и приостановок? Как они реализуются?

8. Дайте определение каналу ввода-вывода? Какими средствами он может быть реализован?

9. Назовите основные характеристики КВВ?

Более подробные сведения по функциям систем ввода-вывода, об их структурах и каналах ввода-вывода можно найти в [1,3].

2. ИНТЕРФЕЙСЫ СИСТЕМ ВВОДА-ВЫВОДА

Аппаратные интерфейсы являются одним из основных компонентов вычислительной системы с переменным составом оборудования. Они позволяют осуществлять обмен данными и управляющей информацией между устройствами физической структуры ВС по унифицированным правилам. Унификация правил взаимодействия обеспечивает возможность подключения к ВС разнообразных ПУ, отличающихся назначением, быстродействием, принципами действия.

2.1. Понятие интерфейса и его характеристики

Аппаратным интерфейсом принято называть совокупность правил унифицированного взаимодействия между отдельными устройствами, а также совокупность аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации этих правил. Взаимодействие осуществляется с помощью сигналов, передаваемых посредством электрических (или оптических) цепей, называемых *линиями интерфейса*; совокупность линий, сгруппированных по функциональному назначению, принято называть *шиной интерфейса*. Унификация правил взаимодействия направлена на обеспечение *информационной, электрической и конструктивной совместимости*; именно унификация и стандартизация лежат в основе построения интерфейсов.

Информационная совместимость достигается за счет единых требований, предъявляемых к структуре и составу линий интерфейса, алгоритмам взаимодействия, способам кодирования и форматам данных, управляющей и адресной информации, временным соотношениям между сигналами.

Электрическая совместимость означает согласованность параметров электрических или оптических сигналов, передаваемых средой интерфейса, соответствие логических состояний уровням сигналов; электрическая совместимость определяет требования к нагрузочной способности компонентов и характеристикам используемых линий передачи (длина, допустимая активная и реактивная нагрузка, порядок подключения схем согласования и т.д.).

Конструктивная совместимость означает возможность механического соединения электрических цепей, а иногда и механической замены некоторых блоков; этот вид совместимости обеспечивается стандартизацией соединительных элементов (разъемов, штекеров и т.п.), кабелей, конструкций плат и т.д.

Интерфейсы в СВВ возникают между различными уровнями иерархии физической структуры ВС, поэтому требования, предъявляемые к организации обмена, существенно различаются.

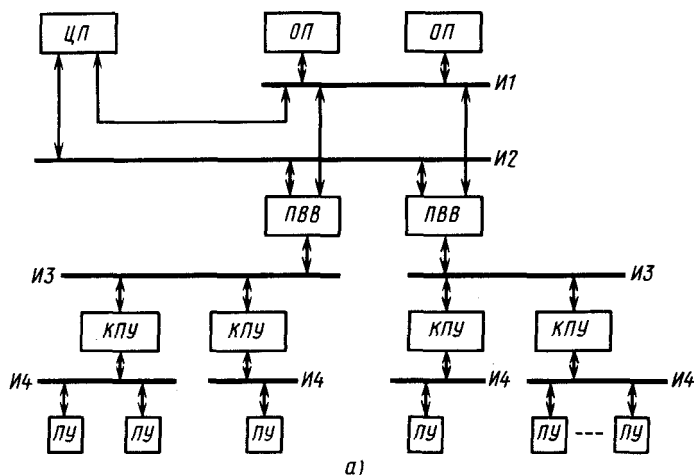


Рис.2.1,а. Система интерфейсов ЕС ЭВМ.

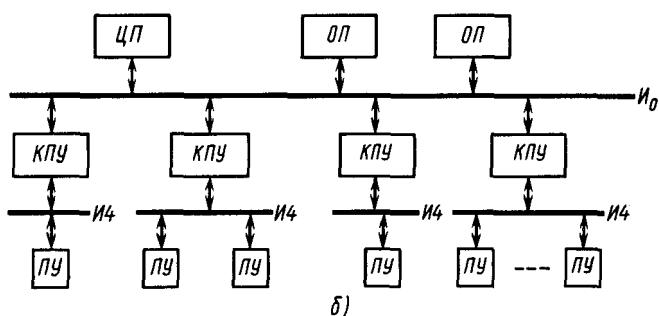


Рис. 2.1,б. Система интерфейсов мини- и микроЭВМ.

Единый стандартный интерфейс не смог бы обеспечить эффективную работу разнообразных устройств, используемых на различных уровнях иерархии СВВ. Этим объясняется наличие системы интерфейсов различных рангов, отличающихся характеристиками и степенью унификации.

В зависимости от требований унификации выделяют:

- физическую реализацию интерфейса, т.е. состав и характеристики линий передачи, конструкцию средств их подключения (например, разъем), вид и характеристики сигналов;
- логическую реализацию интерфейса, т.е. протоколы взаимодействия, или алгоритмы формирования сигналов обмена.

В широком смысле протокол определяет совокупность правил реализации определенной функции, например, обмена, и в этом случае может включать требования, охватывающие интерфейсы нескольких рангов.

Система аппаратных интерфейсов является одной из основных составляющих понятия архитектуры ВС. На рис.2.1 а и б показаны интерфейсы для машин ЕС ЭВМ и СМ ЭВМ, соответственно. В структуре ВС с выделенными ПВВ отметим интерфейсы четырех рангов. Через интерфейс И1 производится обмен информацией между ОП и процессорами (ЦП или ПВВ); через интерфейс И2 — управляющей информацией между ЦП и ПВВ. Интерфейсы И1 и И2 являются внутренними, отражающими особенности конкретной модели и не унифицируются. Интерфейсы ввода—вывода (ИЗ) обеспечивают обмен между ПВВ и контроллерами ПУ (КПУ); они стандартизируются, что дает возможность использовать одинаковые контроллеры и ПУ в различных моделях ЭВМ одной системы. Интерфейсы И4 образуют группу так называемых «малых» интерфейсов, посредством которых собственно ПУ сопрягается с контроллером. Степень унификации малых интерфейсов зависит от типа ПУ и контроллера. Так, если контроллер предназначен для управления только одним ПУ и конструктивно объединен вместе с ним, то их интерфейс не унифицируется. Если же контроллер предназначен для одновременного обслуживания множества ПУ, то соответствующий малый интерфейс должен быть стандартизован. При подключении аппаратуры систем передачи данных соответствующие интерфейсы принято называть *стыками*.

Для мини- и микроЭВМ характерно (рис.2.1,б) наличие интерфейса И₀, посредством которого связаны между собой ЦП, ОП и контроллеры. Этот интерфейс принято называть *системным* (или *объединенным*), он унифицирован для всего семейства ЭВМ. Контроллеры в мини- и микроЭВМ достаточно просты, так как управление обменом между ПУ и ОП осуществляется в значительной мере программным путем. Это позволяет для семейств ЭВМ с различными интерфейсами И₀ использовать одинаковые ПУ (но с разными контроллерами).

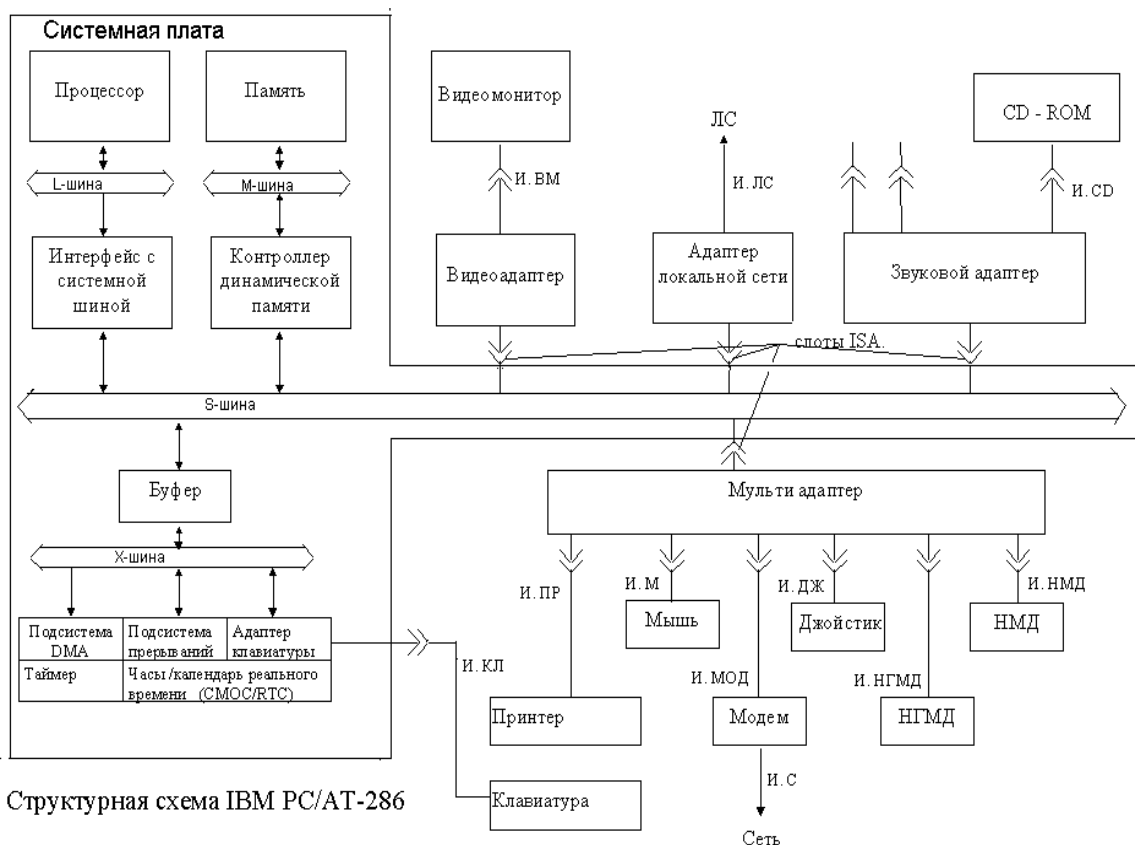


Рис.2.1,в. Структура внутренних и внешних интерфейсов ПЭВМ IBM PC/AT.

У персональных ЭВМ также имеется система внутренних и внешних интерфейсов (рис.2.1,в). Системные шины (S-шины) стандартизируются в рамках систем ПЭВМ и аналогичны по назначению интерфейсам И₀ мини- и микроЭВМ (ISA, EISA, MCA и др.). L-шина почти полностью определяется внешним интерфейсом используемого в ПЭВМ микропроцессора. Интерфейс M-шины (шины памяти) сориентирован, как правило, на динамические элементы памяти, скомпонованные в модули (SIMM, DIMM и т.п.) и реализуется на основе *контроллера динамической памяти*. X-шина (шина периферийных БИС) служит для организации взаимодействия центральной части ПЭВМ с восьмиразрядными программируемыми БИС (большими интегральными схемами) на базе которых реализован ряд подсистем (подсистема аппаратных прерываний, подсистема прямого доступа к памяти, подсистемы часов реального времени и программируемого таймера, контроллер клавиатуры).

С появлением процессора i80486 появилась потребность в резком повышении производительности системной шины и родилась локальная шина VLB. Однако она являлась дополнением к слоту шины ISA/EISA и использовалась в основном лишь для графических карт и дисковых контроллеров. Принципиальная привязка к шине процессора 486 не обеспечила ей долгого существования. С процессорами i80486 появилась и другая скоростная шина — PCI. Она является новым «этажом» в архитектуре PC, к которому подключаются шины типа ISA/EISA. PCI укрепила свои позиции и сейчас является стандартной для компьютеров с процессорами 4, 5 и 6 поколений. Более того, она используется и в компьютерах «не-PC» — Power PC и некоторых других мощных платформах. Развитием шины PCI, нацеленным на дальнейшее повышение производительности обмена, явился порт AGP, специально предназначенный для подключения мощных графических адаптеров. Местоположение шин в архитектуре современного компьютера иллюстрирует рис. 2.1,г.

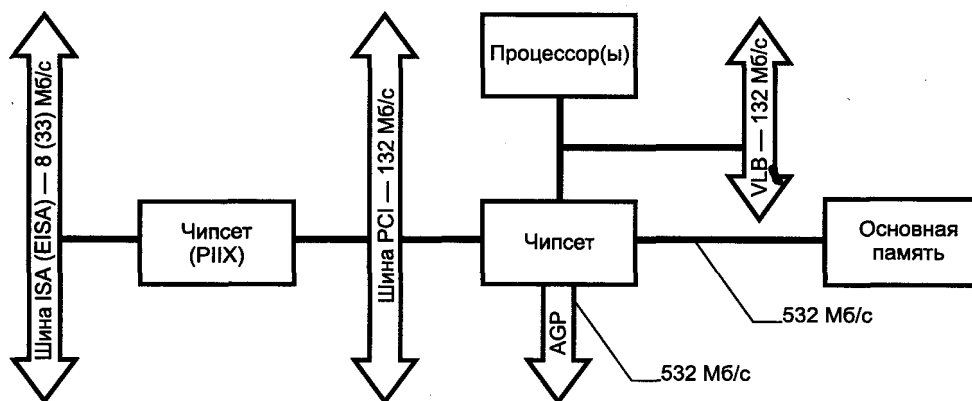


Рис. 2.1,г. Шины расширения в архитектуре PC; чипсет - это набор микросхем сверхбольшой степени интеграции (СБИС), которые выполняют функции основного связующего звена между всеми компонентами системной платы ПЭВМ.

Система малых внешних интерфейсов (интерфейсы И4) в ПЭВМ представлена: *последовательными* интерфейсами COM-портов, клавиатуры, гибких дисков, видеомонитора, универсальной последовательной шины (USB), музыкальных инструментов (MIDI), локальной сети; *параллельными* интерфейсами LPT-порта и жестких дисков (IDE, SCSI); дискретно-аналоговым интерфейсом игрового порта и другими.

Интерфейсы принято характеризовать следующими параметрами:

— *видом связи*, т.е. возможностью вести дуплексную (сообщения могут одновременно передаваться в двух направлениях, что требует двух каналов связи), полудуплексную (сообщения могут передаваться в двух направлениях, но одновременно возможна передача только в одном) или симплексную передачу (сообщения могут передаваться только в одном направлении);

— *пропускной способностью*, т.е. количеством информации, передаваемой через интерфейс в единицу времени;

— *максимально допустимым расстоянием* между устройствами или суммарной длиной линий, соединяющих все устройства интерфейса;

— *задержками* при организации передачи, которые вызваны необходимостью выполнения подготовительных и завершающих действий по установлению связи между устройствами.

Конкретные значения этих параметров зависят от множества факторов, в частности от информационной ширины интерфейса, способа синхронизации, среды интерфейса, топологической структуры соединений и организации линии интерфейса, совмещения или функционального разделения линий. Все эти факторы определяют **организацию интерфейса**.

2.2. Организация интерфейсов

Организация интерфейсов определяется способами передачи информации (параллельной или

последовательной, асинхронной или синхронной), соединением устройств и используемыми линиями.

Последовательная и параллельная передача информации. Цифровые сообщения могут передаваться в последовательной и параллельно—последовательной форме; соответственно интерфейсы принято делить на *последовательные и параллельные*.

В последовательном интерфейсе передача данных осуществляется всего по одной линии, хотя общее число линий может быть и больше. В этом случае по дополнительным линиям передаются сигналы синхронизации и управления. Интерфейсы последовательного типа характеризуются относительно небольшими скоростями передачи и низкой стоимостью сети связи. Они могут применяться для подключения низкоскоростных ПУ, расположенных на значительных расстояниях от центрального ядра ЭВМ (интерфейсы ранга И4).

В параллельном интерфейсе передача сообщения выполняется последовательно квантами, содержащими m бит. Каждый квант передается одновременно по m линиям; величина m называется *шириной интерфейса* и обычно соответствует или кратна байту. Наиболее распространены параллельные интерфейсы, в которых $m=8, 16$ и 32 . (Для внутренних интерфейсов ранга И1 и И2 высокопроизводительных ЭВМ ширина интерфейса может быть значительно больше).

Разброс параметров среды интерфейса, т.е. его линий и приемо-передающей аппаратуры, вызывает неодинаковые искажения фронтов и задержки сигналов, передаваемых по разным линиям Л1—Л m . Это означает, что одновременно выданные передатчиком ПРД сигналы на линии Л1—Л m воспринимаются приемником ПРМ не одновременно, а в интервале (t_1, t_2) (см.рис.2.2,а и б). Такое явление называется перекосом информации. В интервале (t_1, t_2) приемник может воспринять любую кодовую комбинацию $\{x_i\}$, $i=(1..m)$, отличную от комбинации $\{b_i\}$, передаваемой устройством ПРД. Для исключения возможности приема неправильной кодовой комбинации в параллельных интерфейсах вводят дополнительную линию стробирования. Сигнал строба STR, передаваемый по ней, должен поступить в приемник ПРМ в момент t_{STR} , соответствующий завершению установления на входах ПРМ состояния $\{b_i\}$, т.е. в момент, когда выполняется условие $t_{STR} > t_2$. При этом необходимо передать сигнал STR с задержкой относительно момента выдачи информационных сигналов на линии Л1 — Л m .

$$t_{STR} > 2\max(\Delta\tau_{ij}) = 2\max |t_i - t_j|,$$

где t_i, t_j — самый ранний и самый поздний моменты поступления сигналов в приемник ПРМ по линиям i и j , соответственно при одновременной их выдаче передатчиком; $\Delta\tau_{ij}$ — возможный разброс моментов поступления сигналов по линиям Л1—Л m , а $\Delta\tau_{STR}$ — по линии строба.

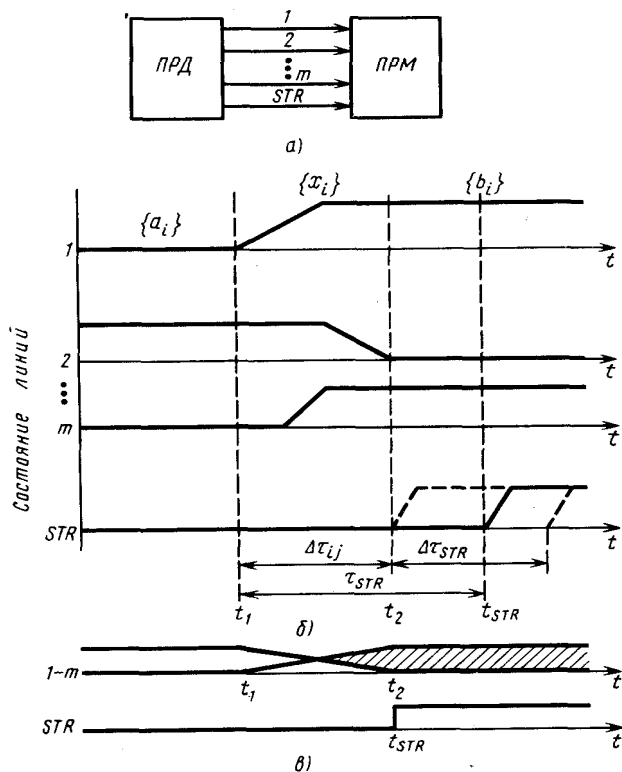


Рис. 2.2. Передача данных в параллельном интерфейсе.

В дальнейшем будет в основном использоваться условная форма временной диаграммы, приведенной на рис.2.2,в, на которой параллельная передача сигналов по линиям Л1—Л m обозначена одной широкой полосой, суженная часть которой соответствует интервалу перекоса (t_1, t_2) , строб

показан в виде сигнала идеальной формы в момент завершения интервала перекоса.

Синхронная и асинхронная передача информации. Взаимодействие передатчика ПРД и приемника ПРМ предполагает согласование во времени моментов передачи и приема квантов информации. При синхронной передаче передатчик ПРД поддерживает постоянные интервалы между очередными квантами информации в процессе передачи всего сообщения или значительной его части. Приемник ПРМ независимо или с помощью поступающих от передатчика управляющих сигналов обеспечивает прием квантов в темпе их выдачи.

Для реализации синхронного режима передачи при последовательном интерфейсе передатчик ПРД в начале сообщения передает заранее обусловленную последовательность бит, называемую *символом синхронизации SYN*. Переход линии интерфейса из состояния «0» в состояние «1» используется приемником для запуска внутреннего генератора, частота которого совпадает с частотой генератора в передатчике; приемник ПРМ распознает передаваемый символ SYN, после чего принимает очередной символ сообщения, начиная с его первого бита. Этот процесс иллюстрируется на рис.2.3,а. Постоянство интервалов передачи (и приема) символов обеспечивается синхронно работающими независимыми генераторами в передатчике и приемнике, которые обладают высокой стабильностью частоты. При высоких скоростях передачи используется синхронизация генератора приемника посредством использования самосинхронизирующегося кодирования передаваемых данных (например, манчестерского кода). При нарушении условий синхронизации (процессор не успел подготовить очередные данные для передачи) передатчик должен

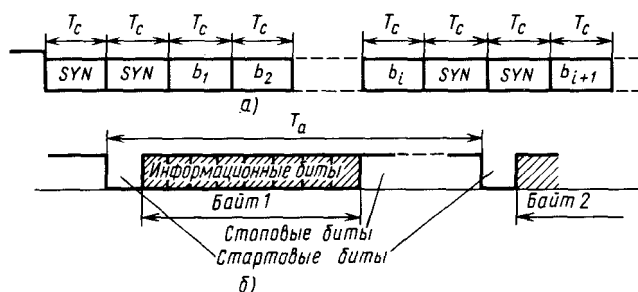


Рис. 2.3. Синхронная передача.

вставить в последовательность передаваемых байт сообщения дополнительные символы SYN.

Если при последовательной передаче используются дополнительные линии интерфейса, то синхронная передача передатчика и приемника поддерживается сигналами синхронизации, передаваемыми по линиям управления от передатчика к приемнику.

Аналогично с помощью сигнала синхронизации реализуется синхронная передача в параллельном интерфейсе. В качестве сигнала синхронизации используется стробирующий сигнал. Очередной квант информации передается только после того, как предыдущий квант принят, зафиксирован и распознан в приемнике, т.е. по прошествии интервала T_{ci} . Если передача сообщений через интерфейс производится между передатчиком ПРД и одним из нескольких приемников ПРМ, то интервал синхронизации T устанавливается в расчете на наиболее медленный приемник ПРМ, т.е.

$$T > \max T_{ci}$$

Передачу называют *асинхронной*, если синхронизация передатчика и приемника осуществляется при передаче каждого кванта информации. Интервал между передачей квантов непостоянен. При последовательном интерфейсе каждый передаваемый байт «обрамляется» стартовыми и стоповыми сигналами, как показано на рис.2.3,б. Стартовый сигнал изменяет состояние линии интерфейса и служит для запуска генератора в приемнике; стоповый сигнал переводит линию в исходное состояние и останавливает работу генератора. Таким образом, синхронизация передатчика и приемника поддерживается только в интервале передачи одного байта.

При параллельном интерфейсе режим асинхронной передачи обычно реализуется по схеме «запрос-ответ», рис.2.4,а. Приемник ПРМ, получив сигнал по линии строга и зафиксировав байт сообщения по линиям Л1—Лm, формирует ответный сигнал-квитанцию RCP, пересылаемый в передатчик ПРД; такую передачу называют *передачей с квитированием*. Сигнал RCP является разрешением передатчику перевести линии Л1—Лm и линию стробирования в исходное состояние, после чего приемник ПРМ также сбрасывает сигнал RCP. Сброс сигнала RCP служит для передатчика разрешением на передачу очередного байта. Затраты времени на асинхронную передачу T_a составляют при $\tau_{ПРД} = \tau_{ПРМ} = \tau$

$$T_a = 4 \tau_L + 2 \tau_{ПРД} + 2 \tau_{ПРМ} = 4(\tau_L + \tau),$$

где τ_L — время распространения сигнала по линии, — $\tau_{ПРД}$ и $\tau_{ПРМ}$ задержки на формирование ответного сигнала в приемнике и передатчике. Отметим, что линии Л1—Лm используются для передачи квантов сообщения только в течение половины интервала T_a .

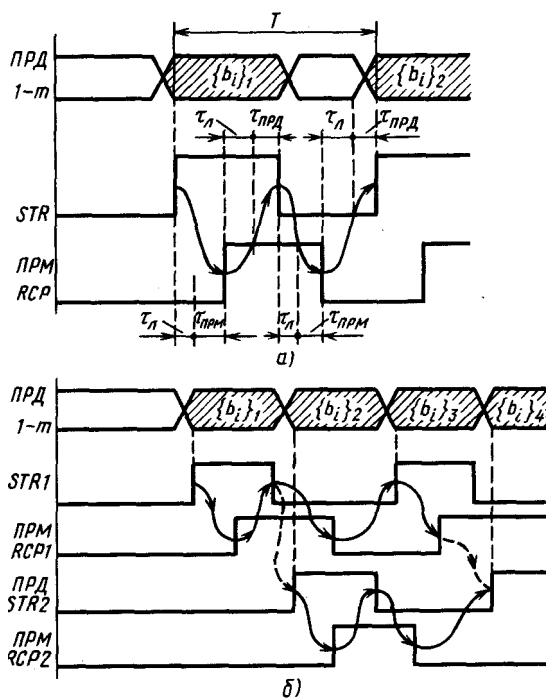


Рис. 2.4 . Передача по схеме «запрос-ответ».

Для увеличения пропускной способности асинхронного интерфейса можно реализовать «ускоренную» передачу с двумя линиями стробирования ($STR1$ и $STR2$) и квитирования ($RCP1$ и $RCP2$), рис.2.4,б. Передача информационных сигналов по линиям $L1 - Lm$ производится почти в два раза чаще; безразличное состояние линий $L1 - Lm$ отсутствует, а выдача квантов информации стробируется разными сигналами $STR1$ и $STR2$. Интервал Ta между выдачей квантов информации составит $Ta = 2(\tau_L + \tau)$.

Квитирование позволяет как бы подстроить темп обмена под каждое конкретное устройство и обеспечить в ряде случаев высокий темп обмена, несмотря на необходимость передачи сигналов в двух направлениях. Кроме того, квитирование обеспечивает высокую надежность передачи и достоверность передаваемых данных. Однако при передаче с квитированием может возникнуть ситуация, при которой процесс обмена прерывается из-за отказа, повлекшего отсутствие сигнала квитанции. Выявление подобных ситуаций основывается на измерении интервала времени, в течение которого передатчик гарантированно должен получить сигнал—квитанцию. Если за этот установленный интервал T_{OT} сигнал передатчиком не будет получен, то фиксируется отказ. Такой контроль называют контролем по тайм-ауту, а интервал T_{OT} — интервалом тайм-аута, величина которого должна отвечать условию:

$$T_{OT} > \max \{T_{ai}\},$$

где T_{ai} — возможные интервалы между выдачей квантов информации устройствами при отсутствии отказов.

Соединение устройств и организация линий интерфейса. Соединение между собой нескольких устройств выполняется посредством индивидуальных линий для каждой пары устройств (двухточечная схема) или общей для всех устройств среды интерфейса на основе разделения времени. Во втором случае для предотвращения конфликтных ситуаций, возникающих при попытках нескольких устройств одновременно использовать общую среду, выделяют специальную схему управления интерфейсом, обычно называемую *арбитром*.

В общем случае могут быть реализованы следующие виды обмена:

- передача от одного устройства только одному другому;
- от одного устройства всем другим (трансляционный обмен);
- от одного устройства нескольким произвольно назначаемым устройствам (групповой обмен).

Аппаратные интерфейсы СВВ обычно реализуют только первый вид обмена — между двумя устройствами, причем оба устройства назначаются произвольно или одно из них (обычно центральное, обозначаемое ниже $Уц$) фиксируется при разработке ВС. Организация интерфейса должна предоставлять возможность устройству:

- занимать общую среду интерфейса на время передачи сообщения; процесс предоставления среды интерфейса одному устройству называется *арбитражем* и выполняется схемами арбитра;
- обращаться к другому устройству по его адресу; этот процесс называют *адресацией*;

— идентифицировать устройство, инициирующее обмен; этот процесс неразрывно связан с процедурой арбитража и его основой является последовательный опрос устройств.

Организация адресации и опроса, а также структура схемы управления интерфейсом в значительной степени определяются способом соединения устройств. По этому признаку различают *радиальный, магистральный, цепочный и комбинированный интерфейсы*.

Радиальный интерфейс. Центральное устройство Уц соединено с подчиненными устройствами У1, ..., Уп посредством индивидуальных линий, монополюбно принадлежащих каждому из них, рис.2.5.

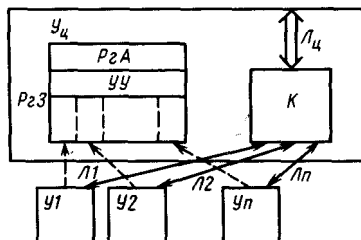


Рис.2.5. Радиальный интерфейс.

Управление интерфейсом полностью сосредоточено в устройстве Уц. При необходимости передать или получить квант информации от Уi по инициативе центрального устройства Уц на регистр РгА заносится адрес устройства Уi и в соответствии с ним переключатель К соединяет линии Ли с линиями Ли. При этом устройства Уц и Уi соединяются между собой, а все остальные устройства отключаются и в обмене участия не принимают. Если инициатива обмена исходит от периферийного устройства Уi, то оно передает сигнал по своей линии запроса (на рисунке показаны штриховыми), который поступает в i-й разряд регистра запроса РгЗ. Как только Уц освобождается от предыдущего обмена, его устройство управления интерфейсом УУ последовательно опрашивает разряды регистра РгЗ и посредством переключателя К соединяет линии Ли с соответствующими линиями Ли устройства Уi. Порядок опроса разрядов РгЗ определяет приоритет обслуживания устройств Уi.

Отличительными особенностями радиального способа подключения являются:

- сосредоточенное в центральном устройстве управление интерфейсом, которое предназначено для согласования моментов приема и передачи сообщения;
- наличие индивидуальных информационных линий, требующих значительных затрат на приемопередающую аппаратуру, и кабелей связи;
- использование минимального числа линий управления;
- возможность сравнительно просто приспособить ПУ к требованиям интерфейса, а также производить физическое подключение и отключение устройств без нарушения непрерывной работы других.

Этот способ характерен для интерфейсов нижних рангов, особенно при последовательном способе передачи информации; ему отдают предпочтение при необходимости подключения к ЭВМ достаточно простых ПУ, например, устройств технологической автоматики и контрольно-измерительной аппаратуры.

Магистральный интерфейс. Центральное устройство Уц соединено с подчиненными устройствами У1, ..., Уп посредством единой магистрали, используемой ими на основе разделения времени (рис.2.6). Сигнал на любой линии магистрали физически доступен каждому устройству, поэтому для организации обмена между устройством Уц и одним из подчиненных устройств необходимо логически отключить все остальные. Всем устройствам Уi, подключенным к магистрали, присвоены адреса (номера), которые фиксируются в виде собственного адреса устройства на специальных регистрах, размещенных во всех Уi. Адреса устройств одной магистрали не повторяются; запись адреса в регистр устройства Уi производится при подключении его к магистрали.

Предположим, что обмен производится по инициативе устройства Уц. Тогда оно производит цикл адресации, заключающийся в передаче адреса запрашиваемого устройства по магистрали.

Адрес поступает во все устройства Уi, где производится сравнение переданного адреса с собственным адресом. Однако совпадение собственного и запрашиваемого адреса произойдет в одном устройстве. При этом устройство Уi устанавливает сигнал готовности к приему информации от Уц или запрашиваемую информацию для Уц на линии магистрали.

Если обмен в интерфейсе производится по инициативе подчиненного устройства Уi, то вначале исключается возможность использования магистрали любым другим устройством. С этой целью в магистрали предусматривают специальную линию запросов (на рис.2.6 линия ТРБ), на которую любое устройство Уi независимо от других может выставлять сигнал запроса (или требования ТРБ). Сигнал запроса означает для Уц, что на магистрали имеется одно или несколько устройств Уi, запрашивающих обмен. Обнаружив сигнал запроса (эту функцию выполняет схема анализа ТРБ), устройство Уц должно дать разрешение на занятие магистрали только одному из запрашивающих

устройств U_i для выполнения передачи данных. Для этого проводится опрос устройств U_i , т.е.

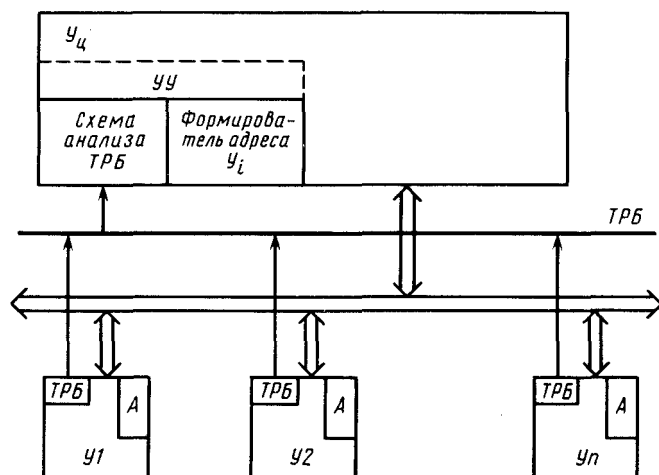


Рис. 2.6. Магистральный интерфейс.

устройство U_c последовательно осуществляет адресацию всех U_i до тех пор, пока не получит подтверждения запроса. Подтверждение запроса может быть передано любым способом, например, по информационной шине, так как в процессе опроса при последовательном переборе адресов каждое из устройств U_i получает разрешение на занятие магистрали. Так, при совпадении собственного и запрашиваемого адресов устройство U_i может выставить на информационную шину свой адрес, подтвердив совпадение, или какой-нибудь код, означающий несовпадение; кроме того, может быть выделена специальная линия для передачи сигнала подтверждения. Устройство U_c , получив подтверждение от U_i , прекращает дальнейшее формирование адресов, т.е. приостанавливает опрос, а устройство U_i , которое в процессе опроса опознало свой адрес и подтвердило совпадение адресов, логически подключается к магистрали для передачи данных.

При магистральном способе подключения управление интерфейсом распределено между центральным устройством U_c , которое содержит схему анализа запросов и средства формирования последовательностей адресов, и подчиненными U_1, \dots, U_n устройствами, которые содержат регистр собственного адреса, схему совпадения адресов и схему запроса обмена. Устройство U_c разрешает конфликты одновременного обращения в соответствии с порядком опроса устройств U_i , который легко изменяется программным путем. Объем приемопередающей аппаратуры и кабельных соединений уменьшается, но усложняется схема управления в U_i . Сигналы на линиях магистрали доступны одновременно всем устройствам, поэтому передача адресов и данных не требует значительных затрат времени, однако процедура опроса весьма длительна из-за последовательного перебора адресов U_i . Вследствие этого в реальные интерфейсы, построенные по магистральному способу с параллельными коллективными линиями, добавляют элементы радиального или цепочного подключения.

Цепочный интерфейс. При цепочном интерфейсе подчиненные устройства U_1, \dots, U_n подключаются к центральному последовательно, образуя цепочку (рис.2.7).

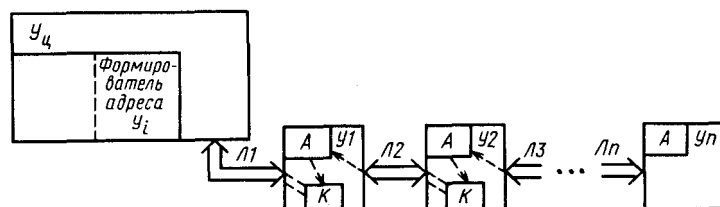


Рис. 2.7. Цепочный интерфейс.

В такой цепочке всем устройствам U_1, \dots, U_n присваиваются неповторяющиеся адреса. Тогда, если обмен инициируется устройством U_c , адрес запрашиваемого устройства (U_i) передается на линии $Л1$ и попадает в устройство U_1 . Запрашиваемый адрес в устройстве U_1 сравнивается с собственным адресом U_1 . Если адреса не совпали, то коммутатор $К$ соединяет линии $Л1$ с линиями $Л2$. Таким образом адрес запрашиваемого устройства попадает в U_2 и процедура повторяется. Если значения адресов совпали, то коммутатор $К$ остается в разомкнутом состоянии, а устройство, опознавшее свой адрес, логически подключается к U_c . При цепочной схеме подключения устройств процедура адресации выполняется последовательно.

Пусть обмен инициируется одним из устройств U_1, \dots, U_n , например, U_2 . При этом устройство отключает посредством коммутатора K все устройства более низкого приоритета (U_3, \dots, U_n), т.е. размыкает линии L_3 . Затем устройство U_2 передает свой адрес по линии L_2 . Этот адрес либо передается устройством U_1 на линии L_1 , если U_1 не ведет обмена, для чего коммутатор K в U_1 подключает линии L_2 к линиям L_1 ; либо блокируется, если устройство U_1 ведет обмен с U_c . Процедура опроса не требует последовательного перебора адресов U_1, \dots, U_n , что значительно ее ускоряет. Однако в описанном виде цепочное подключение устройств не используется. Это объясняется значительными затратами времени на процедуру адресации из-за ее последовательного характера, значительными затратами на коммутирующую аппаратуру и невозможностью физического отключения устройств без нарушения работы других.

Комбинированные интерфейсы. В комбинированных интерфейсах используется магистральный принцип параллельной передачи информации, а для ускорения идентификации устройств используются управляющие линии, соединяющие устройства по радиальному (магистрально-радиальный интерфейс) или цепочному (магистрально—цепочный интерфейс) принципу.

На рис.2.8 приведена структура магистрально-радиального интерфейса. Все виды информации передаются по параллельной магистрали M . При необходимости связаться с каким-либо устройством U_i , центральное устройство U_c передает ему сигнал по индивидуальной линии управления (разрешение работы). Этот сигнал служит для подключения устройств к магистрали M с помощью коммутатора K ; все остальные устройства от магистрали отключены, но имеют возможность передачи сигналов запроса по своим индивидуальным линиям управления в блок управления магистралью (арбитр), расположенный в U_c . Таким образом, каждое из устройств U_1, \dots, U_n соединено с U_c двумя индивидуальными линиями: линией запроса и линией разрешения. Устройство U_c анализирует запросы, поступившие по системе индивидуальных линий в регистр запросов, и в зависимости от принятой системы приоритетов выдает сигнал на одну из линий разрешения работы, тем самым обеспечивается связь по магистрали M центрального устройства U_c с одним из устройств U_1, \dots, U_n .

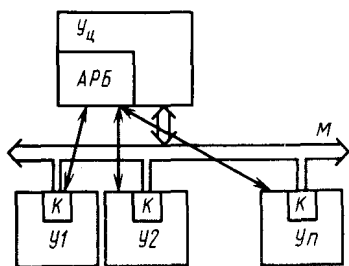


Рис. 2.8. Магистрально-радиальный интерфейс.

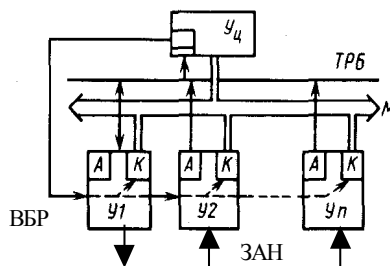


Рис.2.9. Магистрально-цепочный интерфейс.

Магистрально-цепочная структура является наиболее распространенной в аппаратных интерфейсах СВВ. Все виды информации передаются по общей магистрали; адресация выполняется так же, как и в магистральном интерфейсе, но для ускорения идентификации предусматривается линия управления, соединяющая устройства U_1, \dots, U_n по цепочному принципу. Магистрально—цепочная структура позволяет строить интерфейсы, в которых возможен обмен между фиксированным и произвольно выбираемым устройством либо между двумя произвольными устройствами.

Устройство, запрашивающее обмен, называют *ведущим* (или задатчиком ЗДТ), а второе устройство, участвующее в обмене, — *ведомым* (или исполнителем ИСП). Разрешение конфликтов выполняет арбитр (АРБ). Схема арбитра может быть сосредоточенной и распределенной. В первом случае цепочная линия интерфейса служит для передачи сигнала разрешения (выборки ВБР) от арбитра всем устройствам, которые могут инициировать обмен. Для согласования работы арбитра и устройств предусматриваются линии запроса (ТРБ) и указания занятости магистрали (ЗАН) — рис.2.9. Если инициируется обмен со стороны устройств U_1, \dots, U_n , то каждое из них может выставлять сигнал запроса на линию ТРБ. Получив этот сигнал, устройство U_c с целью селекции запрашивающего устройства начинает процедуру опроса, т.е. выдает сигнал на линию ВБР. Сигнал ВБР поступает на устройство U_1 . В случае, если обмен инициирован устройством U_1 , т.е. сигнал ТРБ сформирован в U_1 , линии магистрали посредством коммутатора K подключаются к U_1 , устройство формирует сигнал ЗАН, а сигнал ВБР на следующее устройство U_2 не передает. Если сигнал ТРБ был сформирован каким-либо другим устройством, то устройство U_1 передает сигнал ВБР по цепочной линии на устройство U_2 , где производится такой же анализ. Таким образом, последовательный анализ наличия запроса на обмен в каждом из устройств U_1, \dots, U_n позволяет выделить одно из них, обладающее наибольшим приоритетом среди всех устройств, инициирующих обмен. Для своей идентификации устройство U_i в начале сообщения передает собственный адрес.

Для реализации распределенной схемы арбитража вводят сигнал тактирования; при этом сигнал разрешения по-прежнему передается по цепочной линии. Распространение сигнала разрешения может быть прервано любым устройством, однако только в момент положительного (или отрицательного) фронта сигнала тактирования. Любое устройство может начинать передачу сообщения по магистрали при наличии сигнала разрешения, но только в момент отрицательного (положительного) фронта сигнала тактирования. Подробнее эта процедура рассмотрена на примере интерфейса И-41.

Организация линий интерфейса. Помимо деления линий на индивидуальные и коллективные, их принято делить по критерию возможного направления передачи на одно- и двунаправленные, а по критерию возможности совмещения передачи различных видов информации на полностью совмещенные, с частичным совмещением и полным разделением.

При изменении электрического потенциала сигнал распространяется по проводнику во всех направлениях одинаково (со скоростью света), поэтому термины «однонаправленная» и «двунаправленная» означают не направление распространения сигнала по линии, а *право изменять потенциал на ней*. Правом изменять потенциал линии обладает *передатчик*. Таким образом, если передатчики располагаются с обоих концов линии, то ее называют *двунаправленной*. Двунаправленный характер передачи по линии делает невозможным использование обычных логических ТТЛ-схем, поэтому для двунаправленных линий применяют схемы с открытым коллектором или схемы с тремя устойчивыми состояниями.

Между центральным и периферийным устройствами необходимо передавать информацию различных типов: *адреса, собственно данные, управляющую информацию*. Если для передачи каждого вида информации предусматриваются отдельные шины, то их называют *шинами с полным разделением*. Совмещение передач различных видов информации по одной шине приводит к сокращению числа линий, однако требует идентификации вида передаваемой информации с помощью специальных сигналов. Сигналы идентификации одновременно могут выполнять функции stroba при параллельной передаче данных. Дополнительное число линий идентификации невелико.

В системных интерфейсах, служащих для подключения к ЦП не только контроллеров ПУ, но и ОП, часто реализуют частичное совмещение передачи данных и управляющей информации, а для передачи адреса предусматривается отдельная шина. Это позволяет ускорить обмен, так как при обращении к ОП одновременно используются и данные, и адрес.

2.3. Среда интерфейса

Центральные и периферийные устройства могут располагаться на значительных расстояниях друг от друга. При этом оказывается, что предельно допустимая скорость передачи данных V , при которой обеспечивается надлежащий уровень достоверности принимаемых данных, зависит от длины линии L . Эта зависимость показана в виде семейства кривых на рис.2.10.

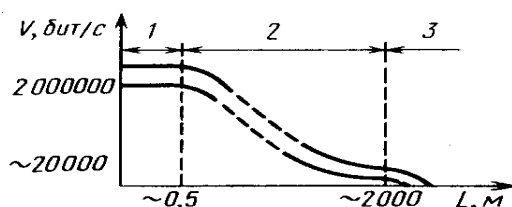


Рис 2.10. Зависимость скорости передачи от длины линии.

Каждое конкретное положение кривой зависит от среды интерфейса, т.е. физических принципов передачи сигналов (электрический или оптический), типа кабеля (коаксиальный, плоский, скрученная пара (витая пара) и т.п.) или световода (оптоволоконного кабеля), характеристик приемопередатчиков или преобразователей сигналов, наличия шумов и помех. При малых длинах линий (участок 1) максимально допустимая скорость передачи в основном определяется задержками сигналов в приемопередатчиках и преобразующих устройствах. Для средних длин линий (участок кривых 2) характерно падение скорости пропорционально увеличению длины линии вследствие увеличения емкостной нагрузки на передатчик, роста амплитуды помех от воздействия сигналов, проходящих по соседним линиям, уменьшения амплитуды полезного сигнала из-за увеличения сопротивления линии или увеличения затухания из-за потерь света в оптоволокне. При некоторой критической длине (участок 3), конкретное значение которой зависит от типа линии и способа передачи сигналов, уровень помех становится соизмеримым с уровнем полезного сигнала на входе приемников, что делает невозможным надежное выделение сигнала независимо от скорости передачи данных по линии.

Передача по однонаправленной линии. Передача сигналов по однонаправленной *однопроводной электрической линии* иллюстрируется схемой на рис.2.11,а.

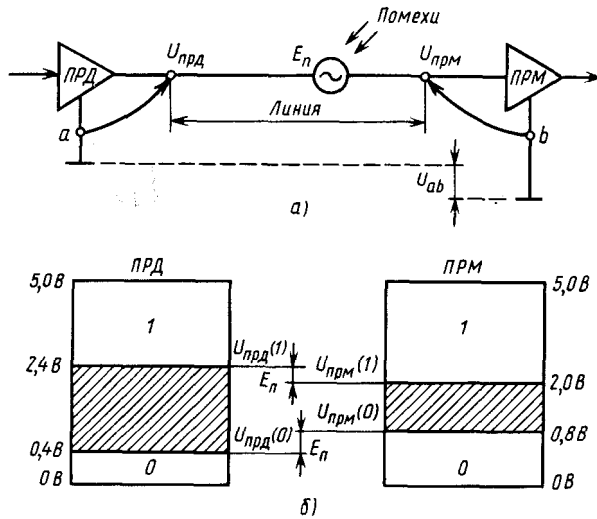


Рис. 2.11. Передача по однопроводной однонаправленной электрической линии.

Влияние от соседних сигналов и помех отражается эквивалентным генератором E_n . Кроме того, при значительных длинах линии L , а также при использовании передатчиком ПРД и приемником ПРМ различных источников питания между точками «земля» передатчика (a) и «земля» приемника (b) соответственно возможно наличие значительной разности потенциалов U_{ab} . Очевидно, что для правильного выделения сигнала в приемнике ПРМ при наличии помех на линии должны выполняться следующие условия:

$$U_{прд}(1) = U_{прм}(1) - (E_n + U_{ab}),$$

$$U_{прд}(0) = U_{прм}(0) + (E_n + U_{ab}).$$

При этом между уровнями логической единицы $U_{прм}(1)$ и логического нуля $U_{прм}(0)$ приемника должна быть обеспечена разность потенциалов $U_{доп}$ зоны перехода, которая достаточна для надежного и правильного распознавания значения сигнала приемником, т.е.

$$U_{прм}(1) - U_{прм}(0) > U_{доп}$$

На рис.2.11,б в качестве примера показано уменьшение зоны перехода ТТЛ-приемника (0,8-2,0)В по сравнению с зоной перехода ТТЛ-передатчика (0,4 — 2,4)В на 0,8В, тем самым ограничен допустимый уровень помех величиной 0,4 В. Дальнейшее уменьшение зоны перехода недопустимо из-за увеличения вероятности неправильного распознавания «0» и «1».

Можно улучшить условия приема, увеличив зону перехода в передатчике, для этого передатчик и приемник должны осуществлять преобразование уровней сигналов. На рис.2.12 показаны уровни передачи и приема, устанавливаемые рекомендациями МККТТ V.28 (используется в интерфейсе RS-232C). За счет преобразования уровней передача данных по линии может осуществляться в условиях больших помех.

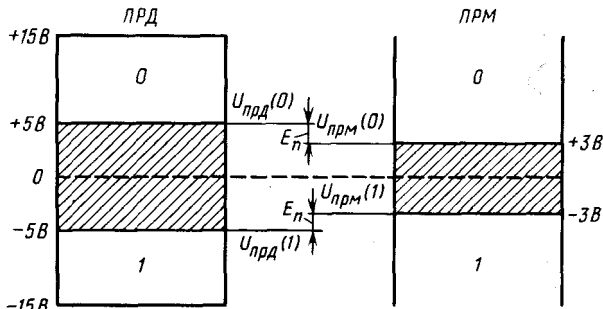


Рис. 2.12. Уровни передачи и приема по рекомендации МККТТ V28.

Передача сигналов по **двухпроводной электрической линии** позволяет исключить появление разных потенциалов «земли» передатчика и приемника, а также значительно ослабить влияние помех. Двухпроводная линия связи выполняется обычно либо в виде витой пары, либо в виде смежных параллельных проводников плоского кабеля. Возможна передача сигналов по двухпроводной линии с использованием *одноканального усилителя-передатчика и дифференциального усилителя-приемника* (рис.2.13,а) или *балансного усилителя в передатчике и дифференциального усилителя в приемнике* (рис.2.13,б).

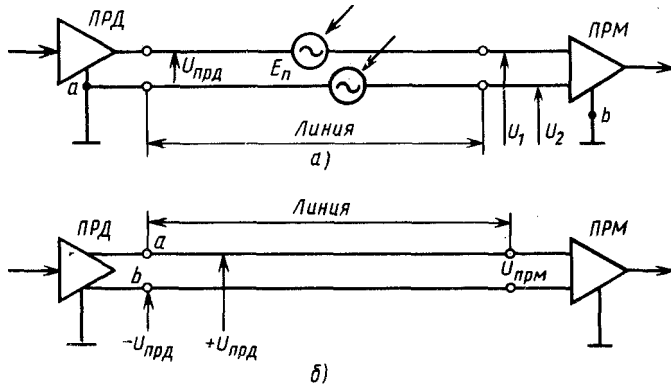


Рис.2.13. Двухпроводные однонаправленные электрические линии.

В схеме, приведенной на рис. 2.13, а, на вход усилителя-приемника подаются потенциалы $U_1 = U_{\text{прд}} + E_n$ и $U_2 = E_n$ (так как проводники линии расположены близко друг к другу, то действие помех на них можно считать одинаковым). Дифференциальный сигнал на входе приемника $U_{\text{прм}} = U_1 - U_2 = U_{\text{прд}}$, т.е. свободен от влияния помех. Такая схема позволяет повысить скорость передачи данных по сравнению с однопроводной. Однако и здесь при увеличении длины линии сигналы на входе приемника уменьшаются, а их фронты — растягиваются. Кроме того, разность потенциалов между точками а и б (U_{ab}) не должна превышать допустимого для данного типа усилителя значения.

От последнего недостатка свободна схема (рис.2.13,б), использующая балансный усилитель-передатчик, формирующий на выходах (а) и (б) напряжения U_a и U_b :

— при передаче нуля

$$U_a(0) = -U_{\text{прд}}; \quad U_b(0) = +U_{\text{прд}},$$

— при передаче единицы

$$U_a(1) = +U_{\text{прд}}; \quad U_b(1) = -U_{\text{прд}}.$$

Преимуществом данной схемы является то, что напряжение дифференциального сигнала, поступающее на вход приемника, по существу в два раза выше, чем в предыдущей схеме. Это позволяет допускать большие ослабления сигнала по линии, т.е. обеспечивать передачу на большее расстояние. Кроме того, потенциалы на выходах передатчика ($+U_{\text{прд}}$ и $-U_{\text{прд}}$) вызывают противоположные токи в проводах линии, что ослабляет результирующее электромагнитное поле этой линии, приводящее к помехам в других близлежащих линиях. Следовательно, такую среду можно использовать при параллельной передаче; отметим также, что влияние различных потенциалов земли передатчика и приемника при этом устраняется.

Весьма распространенным способом последовательной передачи данных остается способ «*токовой петли 20 мА*», который заимствован из телеграфии. Обычно этот способ подключения применяют для медленных электромеханических устройств, например, клавиатуры, ПЧУ и т.п.

Два устройства (ПРД и ПРМ) соединяются двухпроводной линией, образующей замкнутую электрическую цепь. В передатчике размещается ключ (К), который может размыкать цепь, а в приемнике — детектор тока (ДТ), определяющий наличие или отсутствие тока в цепи. Кроме того, в эту цепь включается источник питания E и токоограничивающий резистор R_0 . Источник питания E и резистор R_0 могут располагаться как в передатчике (в этом случае передатчик называют активным, а приемник — пассивным), так и в приемнике (приемник активный, а передатчик пассивный). На рис.2.14 приведена схема «токовой петли» с активным приемником. Резистор R_0 служит для получения стандартной величины тока 20 мА. В качестве ДТ может использоваться электромагнитное реле или какое-либо электронное устройство (например, оптрон); вместо резистора R_0 может использоваться электронный ограничитель тока; ключ К также может быть электронным. Из-за опасности повреждения электронных схем обычно величину E устанавливают менее 40 В. Токовая петля обеспечивает только симплексную передачу и используется при последовательной передаче данных на значительное расстояние (до 2 км) при малых скоростях.

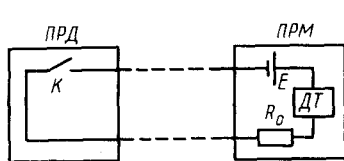


Рис. 2.14. Токовая петля 20 мА.

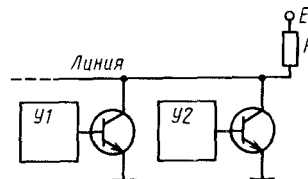


Рис. 2.15. Двухнаправленная линия.

Передача по двунаправленной линии. Выходы обычных ТТЛ-схем не должны объединяться, поэтому такие схемы не используются для подключения к одной магистрали нескольких устройств,

каждое из которых может служить передатчиком.

На рис.2.15 приведена схема подключения устройств к двунаправленной линии посредством элементов с открытым коллектором. Коллекторы выходных каскадов подключаются к линии, которая заканчивается резистором оконечной нагрузки R (заглушкой). Такое подключение можно рассматривать как схему «проводного (монтажного) И» для положительной логики или «проводного ИЛИ» для отрицательной логики. Недостатки такого подключения заключаются в сравнительно малой скорости переключения и подверженности помехам.

Для подключения устройств к магистрали более широкое распространение получили схемы с тремя состояниями (рис. 2.16).

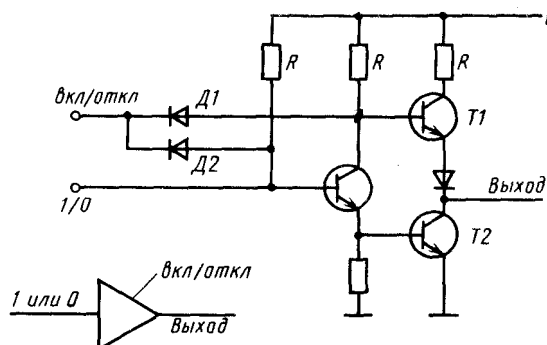


Рис.2.16. Схема с тремя состояниями.

Обычно к ТТЛ-схеме добавляется вход, позволяющий закрыть оба выходных транзистора Т1 и Т2, тем самым перевести схему в состояние высокого выходного сопротивления, в котором она не оказывает влияния на сигналы, передаваемые по линии. При высоком потенциале на входе «вкл/откл» за счет диодов Д1 и Д2 значение выходного сигнала определяется сигналом на логическом входе (1/0). Появление низкого потенциала на входе «вкл/откл» приводит к тому, что оба транзистора Т1 и Т2 запираются, т.е. схема переводится в третье состояние. Схемы с тремя состояниями пригодны для управления теми линиями, на которые в каждый момент времени выдается сигнал только от одного устройства. Они могут быть использованы для линий передачи адресов, данных и большинства линий управления. Однако подключение линий, на которые сигналы могут поступать одновременно от нескольких устройств, например от линий запросов, должно осуществляться посредством схем с *открытым коллектором*.

Передача по оптоволоконным линиям. Оптоволоконные линии являются однонаправленными, обладают меньшей массой, меньшей подверженностью помехам и обеспечивают электрическую «развязку» передатчика и приемника. Подлежащие передаче электрические сигналы подаются на усилитель ПРД, нагрузкой которого является светодиод или полупроводниковый лазер, формирующий импульсы света, если на вход усилителя поступает логическая «1». Световой поток светодиода через оптическую систему подается в оптоволоконную линию и по ней — на фотоприемник ретранслятора, где импульс света преобразуется в электрический импульс, усиливается и вновь подается на светодиод и затем в оптоволоконную линию. Таким путем импульс света достигает приемника ПРМ, где он также преобразуется в электрический сигнал и используется электронными схемами.

Преобразование электрического сигнала в световой, а затем снова в электрический позволяет устранить влияние помех, возникающих в цепях питания; кроме того, между точками «земля» передатчика и «земля» приемника может возникать значительная разность потенциалов. Поэтому такие преобразования часто используют даже без оптоволоконной линии связи для подключения к ЭВМ периферийного оборудования, работающего в тяжелых условиях, например, датчиков и исполнительных устройств технологического оборудования, станков с числовым программным управлением. Элемент, осуществляющий такое преобразование и включающий в себя светодиод и фототранзистор, называется оптроном.

2.4. Интерфейс ввода-вывода ЕС ЭВМ

Интерфейс ввода-вывода ЕС ЭВМ является фактически стандартным для всех типов ЭВМ общего назначения; он совместим с интерфейсом ввода-вывода системы ИВМ/370. Этот интерфейс построен по магистрально-цепочному принципу, является асинхронным, дуплексным. Первая версия обеспечивает параллельную передачу одного байта, модифицированная — двух байт.

Состав и назначение линий интерфейса ввода-вывода ЕС ЭВМ (ОСТ 4Г0.304.000-84). Все линии разбиты на 5 групп в соответствии с реализуемыми функциями: *информационные, идентификации, управления, маркеров и специальные*. В интерфейсе использованы однонаправленные

линии, т.е. передача сигналов по ним осуществляется либо от ПВВ (канала) к ПУ (абоненту), при этом линию и передаваемый по ней сигнал обозначают индексом «К»; либо от ПУ к ПВВ, тогда линию и сигнал обозначают индексом «А». Под *абонентом* понимают устройство, подключаемое к ПВВ через интерфейс.

Информационные линии объединены в четыре подшины, обозначаемые ШИН: *основную* для прямой и обратной передачи; *дополнительную* для прямой и обратной передачи. Каждая подшина содержит 9 линий. По основным шинам прямой (ШИН-КХО) и обратной (ШИН-АХО) передач (X принимает значения 0,1,2,...,7,К) передаются адреса, приказы, данные и информация о состоянии в виде 8-разрядных байтов с контролем по нечетности (девятая линия, для которой ХЖ). Дополнительные шины прямой (ШИН-КХ1) и обратной (ШИН-АХ1) передач используются только при двухбайтовых передачах данных. Байты данных на них также контролируются по нечетности.

Линии маркеров. Для указания ШИН, используемых при передаче данных, служат линии маркеров МРК—К0, МРК—К1 и МРК—А0, МРК—А1. Сигналы на линиях МРК—К0 и МРК—А0 указывают на использование только основных шин, сигналы на линиях МРК—К1 и МРК—А1 — на использование дополнительных шин.

Линии идентификации. Характер передаваемой по основным шинам информации идентифицируется сигналами на линиях идентификации: при передаче по шине ШИН-КХО адреса ПУ сигнал должен присутствовать на линии АДР-К, при передаче приказа — на линии УПР-К, а при передаче байта данных — на линии ИНФ-К или ДАН-К. При передаче по шине ШИН-АХО обратного адреса ПУ должен быть выставлен сигнал на линию АДР-А; для идентификации байта состояния сигнал должен присутствовать на линии УПР—А, а для идентификации байта данных — на линии ИНФ-А или ДАН-А. Все сигналы идентификации одновременно выполняют функции стробирования и квитирования, поэтому они выдаются на соответствующую линию с задержкой относительно выдачи байта на информационную шину.

Линии управления. Сигналы РАБ-К, РАБ-А, БЛК-К и ОТК-А осуществляют управление взаимосвязью устройств интерфейса. Сигнал РАБ-К определяет работоспособность ПВВ: все остальные сигналы имеют смысл только при наличии сигнала РАБ-К. Сигнал РАБ—А является ответным сигналом абонента и сигнализирует о его логическом подключении к интерфейсу. Сброс сигнала РАБ-К приводит к сбросу всех ПУ, подключенных к интерфейсу. Для селективного сброса ПУ используются сигналы БЛК-К и ОТК-А.

Сигналы ВБР-К, ТРБ-К, ВБР-А и ТРБ-А используются для установления логической связи между ПВВ и одним из ПУ. Сигнал выборки передается по цепочной линии ВБР-К — ВБР-А, образующей «петлю» опроса; он является единственным сигналом, который доступен абонентам одновременно. Подключение ПУ к магистрали, т.е. выдача им сигнала РАБ—А, производится только при наличии на его входе сигнала ВБР-К; если данное ПУ не запрашивает права на занятие магистрали, т.е. не формирует сигнал запроса ТРБ-А, то сигнал ВБР-К проходит на следующее устройство, а данное ПУ теряет право выдавать сигнал РАБ—А до следующего цикла опроса.

Специальные линии служат для управления режимами работы, смены состояния и т.п. Они включают линии блокировки БЛК-К, отключения абонента ОТК-А, смены состояния СМС-К и измерения ИЗМ-К и ИЗМ-А.

Организация операций. На средства интерфейса ввода-вывода возлагаются три основных вида операций, управление которыми производится по жестким алгоритмам:

- установление логической связи ПВВ и ПУ;
- передача данных между ПВВ и ПУ;
- отключение ПУ от интерфейса.

В интерфейсе ввода-вывода ЕС ЭВМ применяются коаксиальные кабели, уровни сигналов ТТЛ; длина линий составляет до 50 м.

2.5. Системные интерфейсы мини- и микроЭВМ

Для структуры большинства семейств мини- и микроЭВМ характерно наличие системного объединенного интерфейса I_0 (см.рис. 2.1,6), к которому подключаются процессоры, модули ОЗУ и ПЗУ и контроллеры ПУ. Наиболее распространенными интерфейсами этого типа являются ОБЩАЯ ШИНА (ОШ) СМ ЭВМ, магистральный параллельный интерфейс (МПИ), Магистраль ЕС ПЭВМ, И-41 и др.

Интерфейс ОШ СМ ЭВМ. Во всех моделях ЭВМ СМ-3, СМ-4 используется унифицированный объединенный интерфейс ОБЩАЯ ШИНА (ОСТ 25-795-78). Он является магистрально-цепочным асинхронным полудуплексным интерфейсом, обеспечивающим возможность параллельной передачи 2 байт информации. Передача данных производится между ЦП и ОП, ЦП и ПУ, контроллером прямого доступа к памяти (КПДП) и ОП. В каждый момент времени обмен по магистрали осуществляется только между двумя устройствами, одно из которых является ведущим (или задатчиком ЗДТ), а другое — ведомым (исполнителем ИСП).

Состав линий и основные операции. Передача адреса и данных производится по разделенным системам линий, называемым шиной (подшиной) адреса А и шиной (подшиной) данных Д (рис. 2.17). Подшина данных позволяет передавать данные, команды и адреса векторов прерывания. Остальные линии служат для выполнения различных функций по управлению передачами (ШУ1) и занятию ОШ (ШУ2).

Подшина адреса А [17-00] включает в себя 18 двунаправленных линий, что позволяет задавать 256К различных адресов. Совокупность всех допустимых адресов называют *адресным пространством*. Так как адресуемой единицей памяти является байт, то адресное пространство обеспечивает возможность адресации не свыше 256 Кбайт.

Подшина данных включает в себя 16 двунаправленных линий Д [15-00] и позволяет передавать как по одному, так и по два байта одновременно. Число одновременно передаваемых байт по ОШ определяется сигналами на линиях управления У0, У1.

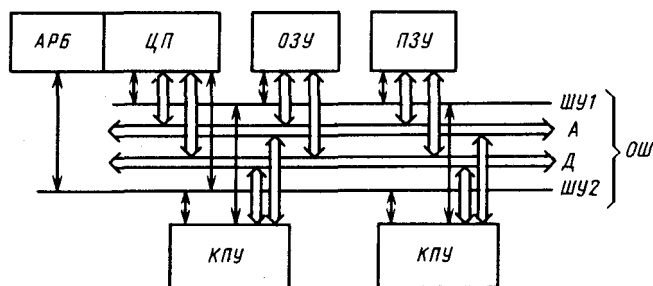


Рис. 2.17. Состав линий и шин системного интерфейса СМ ЭВМ.

Направление передачи данных принято определять по отношению к ЗДТ: чтение представляет собой передачу из ИСП в ЗДТ, а запись—из ЗДТ в ИСП. Две линии управления У [0,1], входящие в состав ШУ1, позволяют кодировать четыре типа передач по ОШ. Код 00 соответствует операции чтения слова, т.е. передаче 2 байт от ИСП к ЗДТ. Код У[0,1]=10 также определяет чтение слова (чтение с паузой), но запрещает цикл регенерации в ОЗУ; код У [0,1]=10 определяет операцию записи слова, а код У [0,1]= 11 -записи байта. Линии К [0,1] служат для оповещения ЗДТ о наличии ошибки в работе ИСП при выполнении операции чтения.

Сигнал на линии синхронизации задатчика СХЗ устанавливается ЗДТ и является стробом для сигналов на линиях адреса, данных и У0, У1. Сброс СХЗ указывает на завершение операции по передаче данных в ЗДТ. Сигнал синхронизации исполнителя на линии СХИ формируется ИСП и является стробом-квитанцией. При операциях чтения установка СХИ означает, что данные помещены ИСП на шину данных, а при операциях записи — что данные приняты ИСП. Сброс СХИ подтверждает, что ИСП получил сброс СХЗ.

Сигнал подготовки ПОДГ выдается ЦП и переводит все устройства, подключенные к ОШ, в исходное состояние. Этот сигнал выдается при нажатии кнопки ПУСК на пульте ЦП, при обнаружении отказа сети питания, а также при возврате питания в допустимые пределы. Сигналы аварии сети и источника питания на линиях (АСП и АИП) вырабатываются датчиками при нарушении уровней напряжений переменного и постоянного тока. Они позволяют сохранить некоторую информацию в энергонезависимом ОЗУ при аварии в системе питания.

Логическая связь между ЗДТ и ИСП и исключение возможности одновременной работы сразу нескольких устройств обеспечиваются специально выделенной схемой арбитра АРБ и линиями арбитража ШУ2.

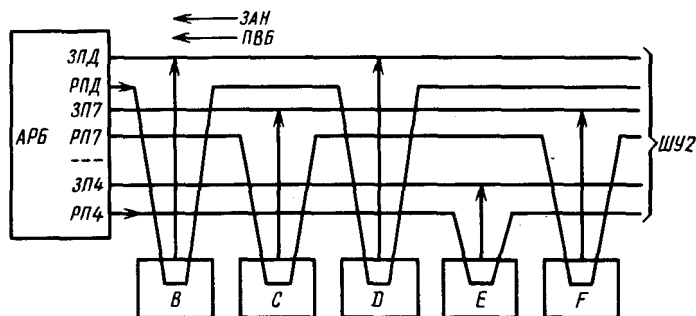


Рис. 2.18. Структура шины ШУ2.

Все устройства, имеющие связь со схемой АРБ посредством ШУ2 (рис. 2.18), могут запрашивать право на занятие ОШ, т.е. право стать задатчиком ЗДТ. Задатчиком может быть любое устройство,

кроме модулей ОП; исполнителем — любое устройство. Процедуры передачи данных могут быть совмещены с процедурой арбитража.

Линии арбитража служат для последовательного предоставления ОШ (в порядке приоритетов) в распоряжение устройств, приславших сигналы запроса на право стать ЗДТ. Эти линии включают в себя 4 линии запроса передачи ЗП[4-7], 4 цепочных линии разрешения передачи РП[4-7], линию запроса прямого доступа ЗПД, цепочную линию разрешения прямого доступа РПД, линии ЗАН (занято) и подтверждения выборки ПВБ.

Организация операций. На средства интерфейса ОШ возлагается предоставление устройствам поочередного права на занятие магистрали (арбитраж); установление логической связи между ПУ и программой управления (передача вектора прерывания); передача данных (запись и чтение).

Среда интерфейса. Для всех линий (кроме АИП и АСП) можно использовать стандартные усилители-приемники (ПРМ) и усилители-передатчики (ПРД), в которых выход реализован по схеме с открытым коллектором. Уровни сигналов соответствуют ТТЛ-уровням. Согласующие резисторы размещаются на специальных платах, называемых заглушками. Сигналы передаются по плоскому кабелю, общая длина каждой линии не должна превышать 15 м, а число ПРМ и ПРД на одной линии не должно превышать 20.

Интерфейс МПИ. Этот интерфейс (ГОСТ 26765.51-86) представляет собой модификацию интерфейса ОШ и использовался во многих микроЭВМ, например, серии «Электроника-60»; он совместим с интерфейсом микроЭВМ LSI-11 фирмы DEC. МПИ является магистрально-цепочным асинхронным параллельным полудуплексным интерфейсом с совмещенной шиной для передачи адреса и данных. В МПИ используются как одно-, так и двунаправленные линии. Передача адреса и данных по линиям АД [15-00] магистрали осуществляется последовательно. В МПИ предусмотрено пять уровней приоритетов ПУ, однако обязательными являются только два: высший — для прямого доступа в память; низший — для программного обмена. Аналогично ОШ приоритет устройства определяется его расположением на линии разрешения (прямого доступа или передачи) относительно арбитра

МПИ допускал использование ОЗУ динамического типа для управления процессами записи, чтения и регенерации, в которых предусмотрена специальная линия РГН. Кроме того, специальный сигнал ПВС позволяет осуществлять прерывание от таймера или какого-либо другого внешнего источника.

Интерфейс И-41. В мультимикропроцессорных системах с переменным составом оборудования, называемых магистоально-модульными, наращивание вычислительных мощностей и специализация системы на определенные классы задач достигается не только за счет изменения состава ПУ, но и за счет добавления универсальных или специализированных процессоров обработки. Объединенный интерфейс таких ВС должен допускать возможность подключения нескольких автономных процессоров и контроллеров прямого доступа в память. Наибольшее распространение для таких ВС получил интерфейс И-41 (ОСТ 25969-83), который разработан на базе исходного интерфейса MULTIBUS фирмы INTEL. Он использовался в микроЭВМ и СМ 1810 и ПЭВМ типа Искра 1031.

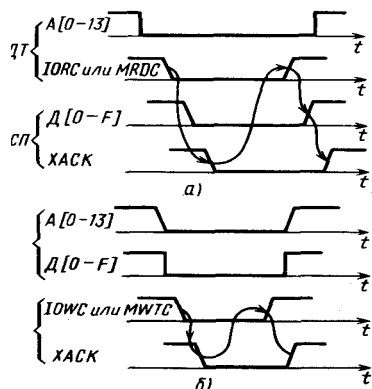


Рис. 2.19. Временные диаграммы сигналов обмена.

Характеристика интерфейса. Интерфейс И-41 является асинхронным тактируемым полудуплексным интерфейсом магистрального типа, обеспечивающим одновременную передачу 2 байт информации. Обмен данными осуществляется асинхронно по принципу «задатчик — исполнитель». Интерфейс И-41 допускает различные варианты выполнения арбитража и процедур прерывания. В нем используются как одно-, так и двунаправленные линии, причем для каждой из линий оговаривается тип передатчика — с тремя состояниями, с открытым коллектором или с ТТЛ-элементами. При реализации различных схем арбитража возможно цепочное или радиальное соединение устройств посредством линий управления арбитража. Линии передачи адреса, данных и управления являются магистральными.

Организация операций. Операции передачи данных между ЗДТ и ИСП не имеют особенностей. При операциях чтения или ввода (рис. 2.19, а) ЗДТ выдает адрес на шину адреса А [0-13] и стробирует его сигналом IORC (ввод) или MRDC (чтение); ИСП выдает информацию на шину данных Д[0-F] и стробирует их сигналом-квитанцией XACK.

При операциях записи или вывода (рис. 2.19, б) ЗДТ выдает адрес и данные на шины А [0-13] и Д[0-F] и стробирует их сигналами MWTC или IOWC соответственно. ИСП подтверждает прием данных сигналом XACK.

Рассмотрим подробнее возможные схемы реализации **арбитража**.

Простейшая схема *последовательного распределенного арбитража* показана на рис. 2.20.

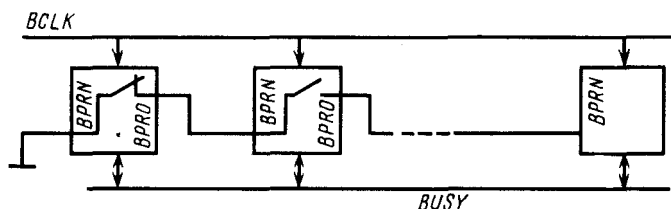


Рис. 2.20. Последовательный распределенный арбитраж.

Входной сигнал BPRN устройства, которому присвоен наивысший приоритет, подключается к точке с потенциалом земли, его выходной сигнал BPRO подается на вход устройства с более низким приоритетом и т.д. Сигнал BPRN подается в цепочку устройств постоянно и достигает устройства, которое должно стать задатчиком. Каждое устройство имеет право выставлять запрос, т.е. размыкать ключ для сигнала BPRO, по *положительному фронту тактирующего сигнала BCLK*. Все устройства с более низким приоритетом обнаруживают отсутствие сигнала BPRO.

Устройство по *отрицательному фронту тактирующего сигнала BCLK* формирует сигнал на линии BUSY, т.е. «захватывает» магистраль при одновременном выполнении условий: отсутствии выходного сигнала BPRO (данное устройство запрашивает шину), наличии сигнала BPRN на его входе (т.е. ни одно из более приоритетных устройств не запросило шины), отсутствии сигнала на линии BUSY (т.е. шина свободна). Очевидно, что для правильной работы такой схемы арбитража за один интервал тактирующих сигналов BCLK сигнал запроса (снятие BPRO) от устройства с высшим приоритетом распространяется до устройства с низшим приоритетом. Центральный арбитр отсутствует, а взаимодействие схем в отдельных устройствах координируется сигналом BCLK.

Схема *параллельного арбитража*, реализуемого приоритетным шифратором, показана на рис. 2.21, а. ЗДТ может «захватить» магистраль при наличии сигнала разрешения BPRN на его входе и отсутствии сигнала BUSY от других устройств. Все устройства посылают запросы на использование магистрали в центральный АРБ по индивидуальным линиям BREQ. АРБ состоит из двух частей—приоритетного шифратора Ш, определяющего номер наиболее приоритетного устройства, приславшего запрос, и дешифратора ДШ, выходы которого индивидуальными линиями соединены со входами устройств. Разрешающий сигнал BPRN может присутствовать лишь на одном выходе дешифратора. В интерфейсе И-41 такая схема арбитража обычно используется для контроллеров прямого доступа в память. Число устройств ограничено числом входов и выходов АРБ (обычно 8). Процесс захвата шины, т.е. смены ЗДТ, показан на рис.2.21,б. Все действия тактируются сигналом BCLK. По отрицательному фронту сигнала BCLK арбитр, получив сигнал BREQ (В) от устройства В, снимает сигнал BPRN (А) и выдает разрешение потенциальному задатчику В, т.е. сигнал BPRN (В). После завершения цикла обращения текущий задатчик А по отрицательному фронту сигнала BCLK снимает сигнал BUSY, при этом он переводит в состояние высокого выходного сопротивления формирователи адресных, информационных и управляющих сигналов, т.е. отключается от магистрали. После снятия сигнала BUSY устройством А на линию BUSY выдается сигнал от устройства В. Задатчик А может удерживать сигнал BUSY до завершения монопольного режима обмена.

Схема организации *циклического арбитража* аналогична параллельному, однако после завершения цикла работы, т.е. снятия сигнала BUSY текущим задатчиком, ему присваивается самый низкий приоритет, а приоритеты остальных устройств увеличиваются.

Программный обмен. Для организации программного обмена в И-41 предусмотрены линии управления прерываниями: запроса прерываний INT [0-7] и подтверждения прерывания INTA. Интерфейс И-41 допускает две процедуры прерывания: внеинтерфейсную с формированием адреса вектора прерывания в блоке приоритетного прерывания БПП и с векторным прерыванием, при котором источник запроса прерывания сам выставляет адрес вектора прерывания на шину данных.

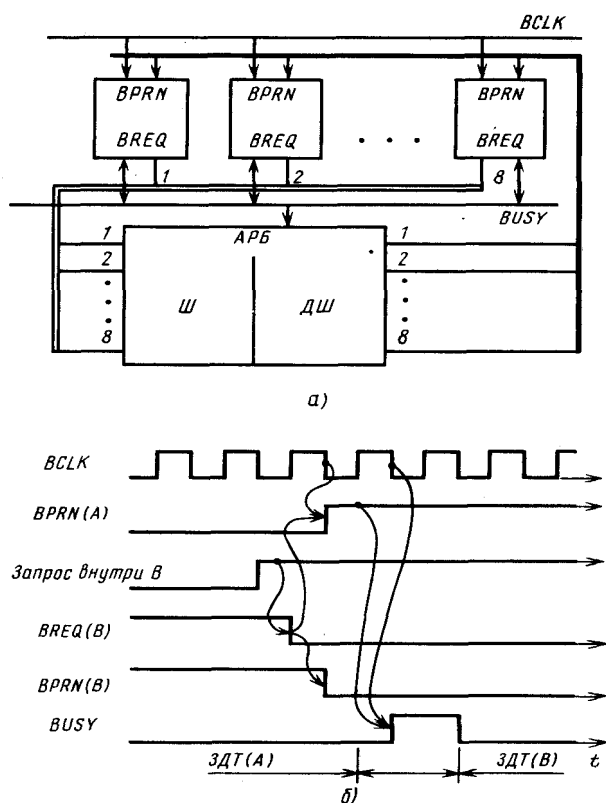


Рис. 2.21. Параллельный арбитраж.

При *внешней процедуре прерывания* каждое ПУ по индивидуальной линии INT передает сигнал запроса прерывания в БПП. В БПП формируется код, соответствующий уровню приоритета прерывания, который сравнивается с уровнем приоритета текущей программы. При более высоком приоритете запроса БПП формирует сигнал прерывания и передает в процессор команду передачи управления программе обслуживания ПУ, приславшего запрос.

При *векторном прерывании на запрос прерывания* от ПУ процессор отвечает двумя сигналами подтверждения по линиям INTA: первый из них фиксирует состояние блоков прерывания в ПУ и служит для захвата магистрали процессором; второй стробирует код номера устройства на линиях A [8-10], определенный в БПП по номеру линии INT, и разрешает этому ПУ выставить адрес своего вектора прерывания на шину данных; стробом при этом служит сигнал ХАСК.

Среда интерфейса. Интерфейс физически реализован в виде объединительной печатной платы, на которой расположены разъемы для установки модулей (ЦП, контроллеров, ОЗУ, ПЗУ), выполненных на стандартных печатных платах Е2. Допускаются соединения отрезков магистрали посредством плоского кабеля. Общая длина линии не должна превышать 3 м.

2.6 Шины расширения ввода/вывода РС-совместимых ПЭВМ.

Стандартизованные шины расширения ввода/вывода обеспечивают основу функциональной расширяемости РС-совместимого персонального компьютера. Хотя многие компоненты, ранее размещаемые на платах расширения, постепенно «переселяются» на системную плату, для настольных компьютеров набор шин расширения ввода/вывода имеет важное значение.

К шинам расширения ввода/вывода, реализованным в виде слотов (разъемов) на системных платах РС-совместимых персональных компьютеров, относятся следующие:

- ISA-8 и ISA-16 — традиционные универсальные шины подключения периферийных адаптеров, не требующих высоких скоростей обмена (раньше была единственной шиной расширения).
- EISA — дорогая (по стоимости и системной платы, и плат расширения) 32-битная шина средней производительности, применяемая в основном для подключения контроллеров дисков и адаптеров локальных сетей в серверах. В настоящее время вытесняется шиной PCI, хотя и применяется в серверных платформах, где необходимо установить множество дополнительных плат расширения (системную плату, у которой слотов PCI больше, чем 4, найти довольно трудно, а для шины EISA 6-8 слотов — явление обычное).
- MCA — шина компьютеров PS/2, до сих пор применяемая и в некоторых серверных платформах. Производительность средняя. Адаптеры для шины MCA распространены не широко.
- VLB — быстросействующее 32- (64-) битное расширение (локальная шина процессора),

используемое в паре со слотом ISA/EISA, применявшееся в среднем поколении системных плат компьютеров на процессоре 486. Используется для подключения контроллеров дисков, графических адаптеров и контроллеров локальных сетей. С процессорами пятого поколения и старше не применяется.

- PCI — самая распространенная высокопроизводительная 32/64-битная шина, применяемая в компьютерах на процессорах 486 и старше. Используется для подключения адаптеров дисков, контроллеров SCSI, графических, видео-, коммуникационных и других адаптеров. На системной плате чаще всего устанавливают 3 или 4 слота PCI. Слот PCI иногда имеет дополнительный маленький слот расширения Media BUS, на который выведены сигналы шины ISA (это позволяет на платы PCI устанавливать и дешевые ISA-устройства, например звуковой канал).

- PC Card, он же PCMCIA — слот расширения блокнотных компьютеров, который, в принципе, может присутствовать и в компьютерах настольного исполнения. Предназначен для обеспечения еще одного уровня совместимости блокнотных и настольных PC.

Карты расширения (интерфейсные карты) устанавливаются в соответствующие слоты системной платы. Их количество и состав на различных платах варьируется. Типы слотов легко определить визуально пользуясь рис. 2.22. На этом рисунке присутствие всех типов шин показано условно — реально на системных платах присутствует не более двух-трех типов слотов. Распространены сочетания: ISA+PCI, ISA+VLB, EISA+PCI, EISA+VLB. Шина MCA обычно держится особняком. Слот «Media BUS», дополняющий слот PCI сигналами шины ISA, применяется, пожалуй, только фирмой ASUSTek.

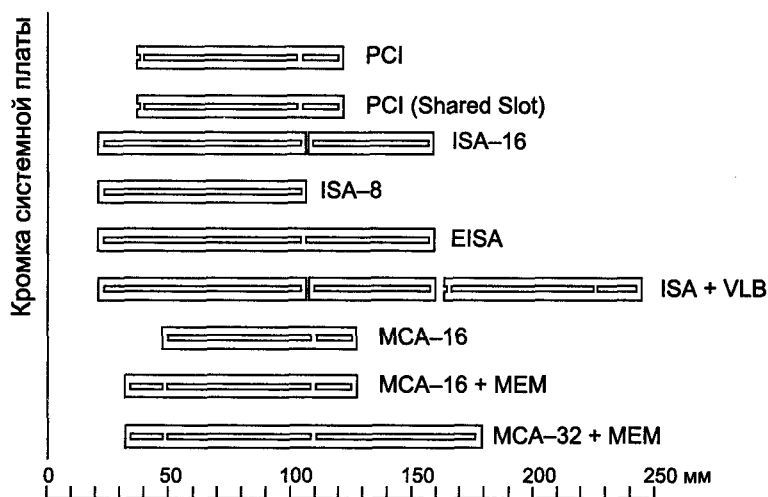


Рис. 2.22. Вид и положение слотов шин расширения.

У адаптеров для шины PCI, в отличие от ISA/EISA и VLB, компоненты расположены на левой стороне печатной платы. Для экономии площади печатной платы часто используют так называемый *разделяемый слот* (Shared Slot). На самом деле это разделяемое окно на задней стенке корпуса, которое может использоваться либо картой ISA, либо картой PCI. Таким образом, максимальное суммарное количество установленных адаптеров ISA и PCI оказывается на единицу меньшим, чем видимое количество слотов на системной плате.

Для *низкопрофильных корпусов* системные платы имеют всего один слот расширения, в который устанавливается специальная плата-переходник *Riser Card*. Этот переходник по присоединению обычно специфичен для каждой модели системной платы (а иногда и корпуса), поскольку на его краевой разъем заводятся линии нескольких системных шин (например, ISA+PCI, ISA+VLB). Если Riser Card имеет слоты только шины ISA, он обычно вставляется в стандартный слот ISA-16, что позволяет установить во многие модели корпусов Slim большинство стандартных плат формата Baby-AT. С точки зрения наводок и паразитных емкостей лучше все-таки использовать специальные платы с одним разъемом, чтобы не перегружать шину лишними неиспользуемыми проводниками и разъемами.

Конфигурирование шин расширения предполагает, в основном, настройку их временных параметров.

- Для шины VLB применяется переключатель, управляющий делителем частоты сигнала синхронизации в зависимости от того, превышает ли системная частота значение 33,3 МГц.
- Для шины PCI частота синхронизации определяется частотой системной шины процессора. Кроме того, в BIOS Setup для этой шины могут определяться некоторые ее возможные режимы.
- Для шины ISA кроме частоты (которая должна быть порядка 8 МГц) задают время

восстановления для 8- и 16-битных обращений к памяти и вводу выводу. Неустойчивая работа адаптеров может потребовать замедления шины ISA, но в настоящее время понижение ее производительности не сильно отражается на производительности компьютера в целом.

- Для шин ISA и PCI иногда опциями BIOS Setup приходится распределять системные ресурсы (главным образом, линии запросов прерываний).

Основные характеристики рассматриваемых шин приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Характеристики шин расширения

Шина	Пропускная способность, Мбайт/с*	Каналы DMA	Bus-Master	ACFG**	Разрядность данных	Разрядность адреса	Частота, МГц
ISA-8	4	3	-	-	8	20 (1 Мбайт)	8
ISA-16	8/(16)	7	+	-	16	24 (16 Мбайт)	8/(16)
EISA	33,3	7	+	+	32	32 (4 Гбайт)	8,33
MCA-16	16	-	+	+	16	24 (16 Мбайт)	10
MCA-32	20	-	+	+	32	32 (4 Гбайт)	10
VLB	132	-	(+)	-	32/64	32 (4 Гбайт)	33-50(66)
PCI	132/264	-	-	+	32/64	32 (4 Гбайт)	33(66)
PCMCIA	-	-	-	+	16	26 (64 Мбайт)	33

* Указана теоретическая максимальная пропускная способность. Реальная пропускная способность шины примерно в 2 раза ниже за счет прерываний, регенерации и протокольных процедур.

** Поддержка автоматического конфигурирования спецификацией шины. Для ISA PnP является позднейшей надстройкой, реализуемой средствами адаптеров и программного обеспечения.

2.6.1. Шины ISA, EISA и PC-104

ISA Bus (Industry Standard Architecture) — шина расширения, применявшаяся с первых моделей PC и ставшая промышленным стандартом. В компьютере XT применялась шина с разрядностью данных 8 бит и адреса — 20 бит. В компьютерах AT шину расширили до 16 бит данных и 24 бит адреса. В таком виде она существует и поныне как самая распространенная шина для периферийных адаптеров. Конструктивно шина выполнена в виде двух щелевых разъемов (слотов) с шагом выводов 2,54 мм (0,1 дюйма), вид которых изображен на рис. 2.23. Подмножество ISA-8 использует только 62-контактный слот (ряды А, В), в ISA-16 применяется дополнительный 36-контактный слот (ряды С, D).

Шина обеспечивает своим абонентам возможность отображения 8- или 16-битных регистров на пространство ввода/вывода и памяти. Диапазон *адресов памяти* ограничен областью 1 Мбайт, но для шины ISA-16 специальными опциями BIOS Setup может быть разрешено и пространство в области между 15-м и 16-м мегабайтом памяти (правда, при этом компьютер не сможет использовать более 15 Мбайт ОЗУ). *Диапазон адресов ввода/вывода* сверху ограничен количеством используемых для дешифрации бит адреса, нижняя граница ограничена областью адресов 0—FFh, зарезервированных под устройства системной платы. В PC была принята 10-битная адресация ввода/вывода, при которой линии адреса A[15:10] устройствами игнорировались. Таким образом, диапазон адресов устройств шины ISA ограничивается областью 100h—3FFh, то есть всего 758 адресов 8-битных регистров. На некоторые области этих адресов претендуют и системные устройства. Впоследствии стали применять и 12-битную адресацию (диапазон 100h—FFFh), но при ее использовании всегда необходимо учитывать возможность присутствия на шине и старых 10-битных адаптеров, которые «отзовутся» на адрес с подходящими ему битами A[9:0] во всей допустимой области 12-битного адреса четыре раза.

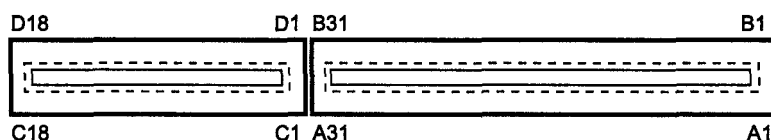


Рис. 2.23. Слот ISA

В распоряжении абонентов шины ISA-8 может быть до 6 линий *запросов прерываний* IRQ_x , для ISA-16 их число достигает 11. Заметим, что при конфигурировании BIOS Setup часть из этих запросов могут отобрать устройства системной платы или шина PCI.

Абоненты шины могут использовать до трех 8-битных *каналов DMA*, а на 16-битной шине могут

быть доступными еще три 16-битных канала и один 8-битный, используемый в PC/XT для регенерации динамической памяти. Сигналы 16-битных каналов могут использоваться и для получения прямого управления шиной устройством *Bus-Master*. При этом канал DMA используется для обеспечения арбитража управления шиной, а адаптер *Bus-Master* формирует все адресные и управляющие сигналы шины, не забывая передать управление шиной процессору не более, чем через 15 микросекунд (чтобы не нарушить регенерацию памяти).

Все перечисленные ресурсы системной шины должны быть бесконфликтно распределены между абонентами. Бесконфликтность подразумевает следующее:

- Каждый абонент должен при операциях чтения управлять шиной данных (выдавать информацию) только по своим адресам или по обращению к используемому им каналу DMA. Области адресов для чтения не должны пересекаться. «Подсматривать» не ему адресованные операции записи не возбраняется.
- Назначенную линию запроса прерывания IRQx или прямого доступа DRQx абонент должен держать на низком уровне в пассивном состоянии и переводить в высокий уровень для активации запроса. Неиспользуемыми линиями запросов абонент управлять не имеет права, они должны быть электрически отключены или подключаться к буферу, находящемуся в третьем состоянии. Одной линией запроса может пользоваться только одно устройство. Такая нелепость (с точки зрения схемотехники ТТЛ) была допущена в первых PC и в дань (жертву) совместимости старательно тиражируется уже много лет.

Задача распределения ресурсов в старых адаптерах решалась с помощью джамперов, затем появились программно конфигурируемые устройства, которые вытесняются автоматически конфигурируемыми платами PnP.

С появлением 32-битных процессоров делались попытки расширения разрядности шины, но все 32-битные шины ISA не являются стандартизованными, кроме шины EISA.

EISA Bus (Extended ISA) — жестко стандартизованное расширение ISA до 32 бит. Конструктивное исполнение обеспечивает совместимость с ней и обычных ISA-адаптеров (рис. 2.24). Узкие дополнительные контакты расширения (ряды E, F, G, H) расположены между ламелями разъема ISA и ниже ламелей A, B, C, D таким образом, что адаптер ISA, не имеющий дополнительных ключевых прорезей в краевом разъеме, не достает до них. Установка карт EISA в слоты ISA недопустима, поскольку ее специфические цепи попадут на контакты цепей ISA, в результате чего системная плата окажется неработоспособной (к счастью, «без дыма»).

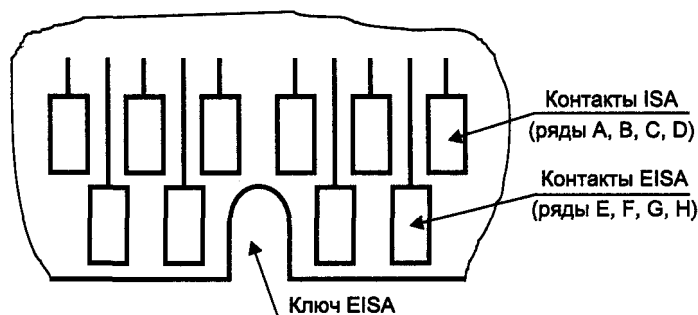


Рис. 2.24. Разъем шины EISA

Расширение шины касается не только увеличения разрядности данных и адреса: для режимов EISA используются дополнительные управляющие сигналы, обеспечивающие возможность применения более эффективных режимов передачи. В обычном (не пакетном) режиме передачи за каждую пару тактов может быть передано до 32 бит данных (один такт на фазу адреса, один — на фазу данных). Максимальную производительность шины реализует *пакетный режим* (Burst Mode) — скоростной режим пересылки пакетов данных без указания текущего адреса внутри пакета. В пакете очередные данные могут передаваться в каждом такте шины, длина пакета может достигать 1024 байт. Шина предусматривает и более производительные режимы DMA, при которых скорость обмена может достигать 33 Мбайт/с. Линии запросов прерываний допускают разделяемое использование, причем сохраняется и совместимость с ISA-картами: каждая линия запроса может программироваться на чувствительность как по перепаду (как в ISA), так и по низкому уровню. Шина допускает потребление каждой картой расширения мощности до 45 Вт, но это не означает, что мощность блока питания для системной платы на 8 слотов должна быть более 360 Вт — полную мощность, пожалуй, не потребляет ни один из адаптеров.

Многие решения EISA уходят корнями в MCA-шину PS/2. Каждый слот (максимум — 8) и системная плата имеют селективное разрешение адресации ввода/вывода и отдельные линии запроса и подтверждения управления шиной. Арбитраж запросов выполняет устройство *ISP* (Integrated System

Peripheral). Приоритеты (в порядке убывания): регенерация, DMA, CPU, Bus-Master. Обязательной принадлежностью системной платы с шиной EISA является *энергонезависимая память конфигурации NVRAM*, в которой хранится информация об устройствах EISA для каждого слота. Формат записей стандартизован, для модификации конфигурационной информации применяется специальная утилита *ECU* (EISA Configuration Utility). Архитектура позволяет при использовании программно-конфигурируемых адаптеров автоматически разрешать конфликты использования системных ресурсов программным путем, но в отличие от спецификации PnP EISA не допускает динамического реконфигурирования. Все изменения конфигурации возможны только в режиме конфигурирования, после выхода из которого необходима перезагрузка компьютера. Изолированный доступ к портам ввода/вывода каждой карты во время конфигурирования обеспечивается просто: сигнал AEN, разрешающий декодирование адреса в цикле ввода/вывода, на каждый слот приходит по отдельной линии AENx, в это время программно-управляемой. Таким образом, можно по отдельности обращаться и к обычным картам ISA, но из этого нельзя извлечь особой выгоды, поскольку карты ISA не поддерживают обмена конфигурационной информацией, предусмотренного шиной EISA. На некоторых идеях конфигурирования EISA выросла спецификация PnP для шины ISA (формат конфигурационных записей ESCD во многом напоминает NVRAM EISA).

EISA — дорогая, но оправдывающая себя архитектура, применяющаяся в многозадачных системах, на файл-серверах и везде, где требуется высокоэффективное расширение шины ввода/вывода. Перед шиной PCI у нее есть некоторое преимущество в количестве слотов, которое для одной шины PCI не превышает четырех, а у EISA может достигать восьми.

Назначение контактов слотов шин ISA и EISA приведено в табл. 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2. Разъемы шин ISA 8/16 бит, EISA

Ряд F	Ряд B	№	Ряд A	Ряд E
GND	GND	1	IOCHK	CMD#
+5 B	Reset	2	Data 7	START#
+5 B	+5 B	3	Data 6	EXRDY
Unused	IRQ 2/9 ¹	4	Data 5	EX32#
Unused	-5B	5	Data 4	GND
Key	DRQ 2	6	Data 3	Key
Unused	-12 B	7	Data 2	EX16#
Unused	OVS# ²	8	Data 1	SLBURST#
+12 B	+12 B	9	Data 0	MSBURST#
M/-IO	GND	10	IOCHDRY	W/R#
-LOCK	SmemWR#	11	AENx	GND
Reserved	SmemRD#	12	Addr 19	EMB66# ³
GND	IOWR#	13	Addr 18	EMB133# ³
Reserved	IORD#	14	Addr 17	Reserved
BE 3#	DACK 3#	15	Addr 16	GND
Key	DRQ 3	16	Addr 15	Key
BE 2#	DACK 1#	17	Addr 14	BE 1#
BE 0#	DRQ 1	18	Addr 13	LA 31#
GND	Refr#	19	Addr 12	GND
+5 B	Bclock	20	Addr 11	LA 30#
LA 29#	IRQ 7	21	Addr 10	LA 28#
GND	IRQ 6	22	Addr 9	LA 27#
LA 26#	IRQ 5	23	Addr 8	LA 25#
LA 24#	IRQ 4	24	Addr 7	GND
Key	IRQ 3	25	Addr 6	Key
LA 16	DACK 2#	26	Addr 5	LA 15
LA 14	TC	27	Addr 4	LA 13
+5 B	BALE	28	Addr 3	LA 12
+5 B	+5 B	29	Addr 2	LA 11

GND	Osc.	30	Addr 1	GND
LA 10	GND	31	Addr 0	LA 9

¹ B4: XT=IRQ2, AT=IRQ9.

² B8: XT-Card Selected.

³ E12, E13 - только для Fast EISA.

Символ # после наименования сигнала означает, что активным является низкий уровень.

Таблица 2.3. Дополнительные разъемы шин ISA 16 бит, EISA

Ряд H	Ряд D	N#	Ряд C	Ряд G
LA 8	MCS16#	1	SBHE#	LA 7
LA 6	IOCS16#	2	LA 23	GND
LA 5	IRQ 10	3	LA 22	LA 4
+5 B	IRQ 11	4	LA 21	LA 3
LA 2	IRQ 12	5	LA 20	GND
Key	IRQ 15	6	LA 19	Key
Data 16	IRQ 14	7	LA 18	Data 17
Data 18	DACK0#	8	LA 17	Data 19
GND	DRQ0	9	MemRD#	Data 20
Data 21	DACK5#	10	MemWR#	Data 22
Data 23	DRQ 5	11	Data 8	GND
Data 24	DACK6#	12	Data 9	Data 25
GND	DRQ6	13	Data 10	Data 26
Data 27	DACK7#	14	Data 11	Data 28
Key	DRQ 7	15	Data 12	Key
Data 29	+5 B	16	Data 13	GND
+5 B	Master#	17	Data 14	Data 30
+5 B	GND	18	Data 15	Data 31
MAKx#	-	19	-	MREQx

Сигналы шины ISA имеют корни в шинах Microbus и Multibus, они естественны для периферийных микросхем фирмы Intel семейств 8080 и 80x86/88.

Набор сигналов 8-битной шины ISA предельно прост. Непосредственно к программному обращению к ячейкам памяти и пространства ввода/вывода относятся следующие сигналы:

- Data [7:0] — шина данных.
- Addr [19:0] — шина адреса.
- AEN — разрешение адресации портов (запрещает ложную дешифрацию адреса в цикле DMA).
- IOWR# — запись в порт.
- IORD# — чтение порта.
- SmemWR# — запись в память (в диапазоне адресов 0-FFFFFFh).
- SmemRD# — чтение памяти (в диапазоне адресов 0-FFFFFFh).

К сигналам *запросов прерывания и каналам прямого доступа к памяти* относятся следующие:

- IRQ 2/9, IRQ [3:7] — запросы прерываний. Положительный перепад сигнала вызывает запрос аппаратного прерывания. Для идентификации источника высокий уровень должен сохраняться до подтверждения прерывания процессором, что затрудняет разделяемое использование линий запроса. Линия IRQ2/9 в шинах XT вызывает аппаратное прерывание с номером 2, а в AT — с номером 9.
- DRQ [1:3] — запросы 8-битных каналов DMA (положительным перепадом).
- DACK [1:3]# — подтверждение запросов 8-битных каналов DMA.
- TC — признак завершения счетчика циклов DMA.

Шина имеет и несколько служебных сигналов *синхронизации, сброса, регенерации памяти*, установленной на адаптерах:

- IOCHRDY — готовность устройства, низкий уровень удлиняет текущий цикл (не более 15 мкс).
- VALE — разрешение защелки адреса. После его спада в каждом цикле процессора линии Addr 0-19 гарантированно содержат действительный адрес.
- Refr# — цикл регенерации памяти (в XT он называется DACK 0#). Сигнал появляется каждые 15

мкс, при этом шина адреса указывает на очередную регенируруемую строку памяти.

- IOCHK — контроль канала, низкий уровень вызывает NMI CPU (разрешение и индикация в системных портах 061h, 062h).
- Reset — сигнал аппаратного сброса (активный уровень — высокий).
- Vclock — синхронизация шины с частотой около 8 МГц. Периферийные устройства могут и не использовать этот сигнал, работая только по управляющим сигналам записи и чтения.
- Osc — несинхронизированная с шиной частота 14,431818 МГц (использовалась старыми дисплейными адаптерами).

Кроме логических сигналов шина имеет контакты для разводки *питания* +5, -5, +12 и -12 В.

Дополнительный разъем, расширяющий шину до 16-битной, содержит дополнительные линии данных, адреса, запросов прерываний и каналов прямого доступа:

- Data [15:8] — шина данных.
- SBHE — признак наличия данных на линиях Data [15:8].
- LA [23:17] — нефиксированные сигналы адреса, требующие защелкивания по спаду сигнала BALE. Такой способ подачи адреса позволяет сократить задержку и схемам дешифратора адреса памяти плат расширения начинать декодирование несколько раньше спада BALE.
- IRQ [10:12], IRQ[14:15] — дополнительные запросы прерываний.
- DRQ [5:7] — запросы 16-битных каналов DMA (положительным перепадом).
- DACK [5:7]# — подтверждение запросов 16-битных каналов DMA.

С переключением разрядности данных связаны сигналы:

- MCS16# — адресуемое устройство поддерживает 16-битные обращения к памяти.
- IOCS16# — адресуемое устройство поддерживает 16-битные обращения к портам.

К новым управляющим сигналам относятся следующие:

- MemWR# — запись в память в любой области до 16 Мбайт.
- MemRD# — чтение памяти в любой области до 16 Мбайт.
- OWS# — сигнал от устройства, разрешающий системной плате укоротить текущий цикл (устранить такты ожидания).
- Master# — запрос от устройства, использующего 16-битный канал DMA на управление шиной. При получении подтверждения DACK [5:7] Bus-Master может захватить шину (не более чем на 15 мкс).

Временные диаграммы циклов шины ISA.

Программный обмен. В обычном программном обмене (PIO) для пересылки блока байт данных, например из порта в память (инструкция REP INSB), происходят следующие события:

- Процессор генерирует шинный цикл чтения порта, выставляя адрес его порта и формируя сигнал IORD#. Данные из порта считываются процессором во внутренний шинный буфер.
- Процессор генерирует шинный цикл записи в память, выставляя адрес ячейки и формируя сигнал MEMWR#. Данные из внутреннего шинного буфера записываются в память.
- Эти шаги автоматически повторяются с изменением адреса памяти. Количество повторов определяется содержимым регистра CX, направление изменения адреса (инкремент-декремент) — флагом DF. Во время передачи всего блока процессор занят.

Обобщенные временные диаграммы циклов чтения или записи памяти или ввода/вывода приведены на рис. 2.25. Здесь условный сигнал CMD* изображает один из сигналов:

- SMEMRD#, MEMRD# - в цикле чтения памяти;
- SMEMWR#, MEMWR# - в цикле записи памяти;
- IORD# - в цикле чтения порта ввода/вывода;
- IOWR# - в цикле записи порта ввода/вывода.

Сигнал BCLC соответствует сигналу Vclock, сигналы SA(19: 0) – сигналам Addr (19: 0) а сигналы SD(15 : 0) – сигналам Data(15 : 0).

В каждом из рассматриваемых циклов активными (с низким уровнем) могут быть только сигналы (сигнал) лишь из одной строки данного списка. (В циклах прямого доступа к памяти это правило не соблюдается.) По адресованному ему спаду сигнала *чтения* устройство должно выдать на шину данных содержимое адресуемой ячейки и удерживать его, пока не произойдет подъем данного сигнала. Во время циклов *записи* процессор выставляет действительные данные несколько позже начала (спада) сигнала записи, и устройство должно для себя фиксировать эти данные в конце цикла по подъему сигнала записи. Обращение к портам ввода/вывода отличается тем, что сигналы LA[32:17] не используются.

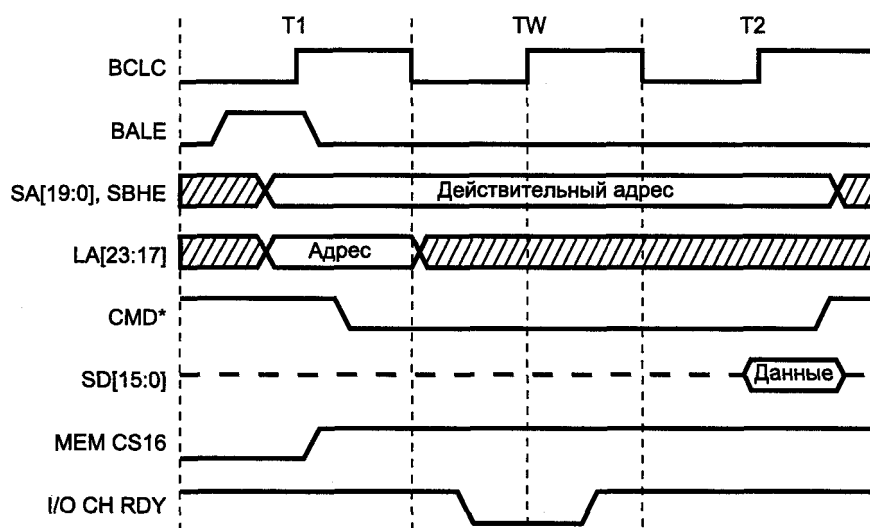


Рис. 2.25. Временные диаграммы циклов чтения или записи на шине ISA

Минимальная длительность цикла определяется чипсетом и может программироваться опциями BIOS Setup через количества тактов ожидания. При этом циклы обращения к памяти обычно короче циклов обращения к портам ввода/вывода. В шине AT для управления минимальной длительностью цикла используются и сигналы управления разрядностью передач: если устройство поддерживает 16-битные передачи, то подразумевается, что оно проектировалось уже не для тихоходной XT и может работать с меньшим количеством тактов ожидания. Этим объясняется, что в Setup длительности циклов ISA задаются отдельно как для памяти и ввода/вывода, так и для 8- и 16-битных операций этих типов.

Если устройство не вписывается в заданные циклы, оно может вводить дополнительные такты ожидания, используя сигнал I/OCHRDY, но при этом недопустимо удлинять цикл более, чем на 15 микросекунд.

Прямой доступ к памяти. В режиме прямого доступа к памяти процессор инициализирует контроллер прямого доступа к памяти — задает начальный адрес, число циклов и режим обмена, после чего освобождается. Сам обмен производит контроллер и выполняет его несколько иначе, чем процессор. Контроллер имеет несколько каналов. Для интерфейса периферийного устройства каждый канал представляется парой сигналов: запрос обмена — DRQx и подтверждение обмена — DACKx#. При операциях по каналу DMA адрес порта не фигурирует, а используется только пара сигналов, соответствующая номеру канала. Цикл передачи блока байт в память будет выглядеть следующим образом (рис. 2.26):

- По сигналу DRQx контроллер запрашивает управление шиной и дожидается его предоставления процессором (и другими контроллерами шины).
- Контроллер выставляет адрес ячейки памяти и формирует в одном цикле шины сигналы IORD#, DACKx# и MEMWR#. Сигнал DACKx# указывает на то, что операция выполняется для канала «x», а IORD# указывает на направление в канале (для пересылки из памяти в канал использовался бы сигнал IOWR#). Чтобы по сигналу IORD# не было ложного чтения (а по IOWR# — ложной записи) порта ввода/вывода, адрес которого совпадает с адресом памяти, присутствующим в цикле DMA, контроллер высоким уровнем сигнала AEN запрещает портам дешифрацию адреса. Байт, считанный из канала, в том же цикле шины записывается в ячейку памяти.
- Контроллер модифицирует счетчик адреса и повторяет эти шаги для каждого следующего сигнала DRQx, пока не будет исчерпан счетчик циклов.
- В последнем цикле обмена контроллер формирует общий сигнал окончания TC (Terminate Count), который может быть использован устройством для формирования сигнала аппаратного прерывания.

Обратная пересылка отличается только тем, что используются сигналы IOWR# и MEMRD#.

Здесь так же, как и в программном цикле обмена возможен асинхронный обмен (удлиненный цикл) с использованием сигнала I/OCHRDY.

Как видно из описания, здесь процессор при обмене занят только инициализацией контроллера, которая сводится к записи в его регистры нескольких байт. После этого обменом заняты только системная шина и контроллер. Если выбранный режим обмена не занимает всей пропускной способности шины, то во время операций DMA процессор может продолжать работу.

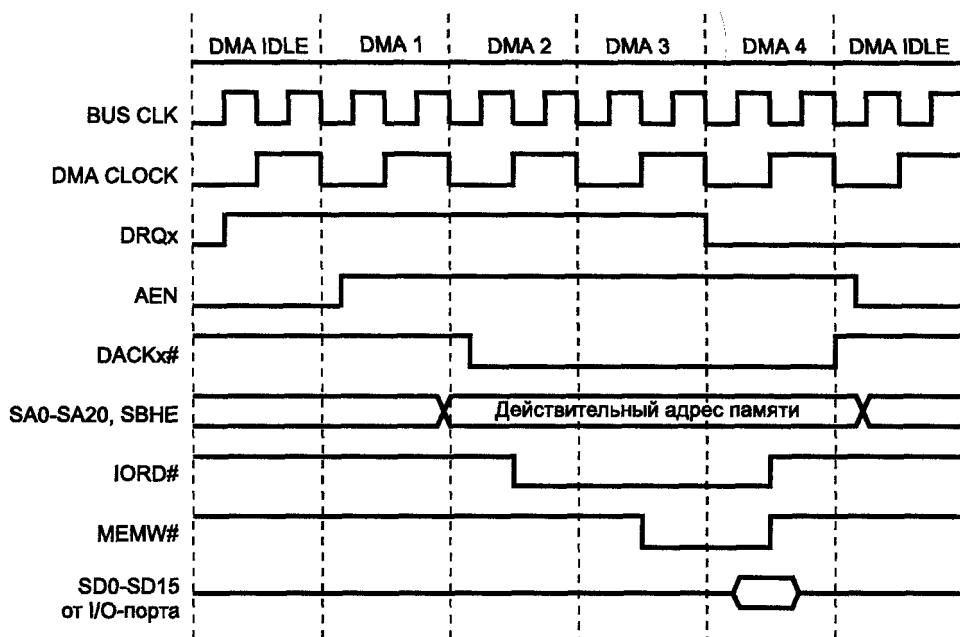


Рис..2.26 Цикл обмена в режиме DMA

Одной из особенностей магистрали ISA является необходимость проведения *регенерации динамической памяти* компьютера с помощью специальных циклов регенерации на магистрали. Временная диаграмма цикла регенерации показана на рис. 2.27. Эти циклы выполняет входящий в состав материнской платы компьютера контроллер регенерации, который должен для этого получать управление магистралью каждые 15 микросекунд. В PC/XT для этой цели выделялся нулевой канал DMA и в качестве сигнала регенерации использовался сигнал DACK0#. В PC/AT (шина ISA-16) этот сигнал был заменен на сигнал -REFRESH (Ref#) а сигналы нулевого канала DMA выведены на дополнительный разъем (контакты D8 и D9). Во время цикла регенерации производится чтение одной из 256 ячеек памяти (для адресации используются только восемь младших разрядов адреса SA0...SA7). При этом читаемая информация нигде не используется, то есть это цикл псевдочтения. Проведение 256 циклов регенерации, то есть псевдочтения из 256 последовательных адресов ОЗУ, обеспечивает полное освежение информации в ОЗУ и ее непрерывное сохранение. Если по каким-то причинам цикл регенерации не производится вовремя, то возможна утеря информации в ОЗУ.

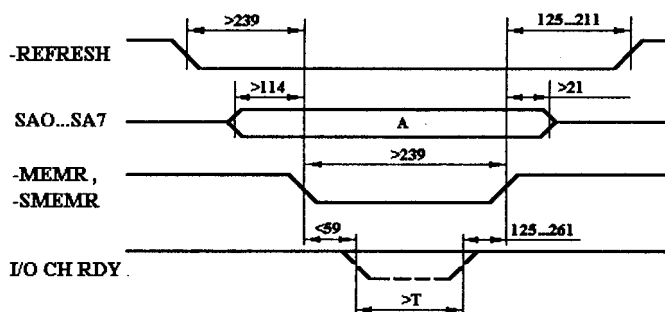


Рис. 2.27. Временные диаграммы циклов регенерации (T — период сигнала SYSCLK (Clock); все временные интервалы в наносекундах для частоты 8 МГц); знак “-“ перед сигналом означает, что активным является низкий уровень сигнала.

Цикл регенерации включает в себя выставление сигналов -REFRESH, адреса SA0...SA7 и --MEMR. В случае необходимости может использоваться сигнал I/OCHRDY.

Для шин ISA ряд фирм выпускает *карты-прототипы* (Prototype Card), представляющие собой печатные платы полного или уменьшенного формата с крепежной скобой. На платах установлены обязательные интерфейсные цепи — буфер данных, дешифратор адреса и некоторые другие. Остальная часть платы свободна, и здесь разработчик может разместить макетный вариант своего устройства. Эти платы удобны для макетной проверки нового изделия, а также для монтажа единичных экземпляров устройства, когда разработка и изготовление печатной платы нерентабельно.

Шина EISA позволяет своим абонентам работать как в режиме ISA, так и в новых режимах EISA. Из сигналов ISA используются линии шин адреса и данных с расширением их до 32 бит,

сигналы прерываний и прямого доступа к памяти и синхронизации. Для своих циклов обмена EISA использует собственный набор управляющих сигналов с обязательной синхронизацией по сигналу BCLK. Сигналы IORD# и IOWR# при обращении к EISA-портам не используются. Вместо них используются альтернативные сигналы обращения M/IO# и W/R#. В EISA-циклах не используется и сигнал SBHE, а используются сигналы разрешения байт BE[3:0]. Вместо общего сигнала AEN каждый слот имеет собственный сигнал AENx. К сигналам расширения шины до EISA относятся следующие:

- LA [23:16] — опережающие сигналы адреса, требующие защелкивания по спаду сигнала BALE.
- LA [31:24]# — аналогично LA [2:23], но с инверсией.
- BE[3:0]# — индикаторы действительности данных в байтах 0-3 при EISA-цикле.
- M/IO# — обращение к памяти (1) или портам (0) EISA.
- W/R# - запись (1) или чтение (0) EISA.
- EX16#, EX32# — индикаторы разрядности ресурсов.
- SLBURST# — адресуемое устройство поддерживает пакетный режим обмена.
- MSBURST# — уведомление устройства, подавшего сигнал SLBURST, о намерении инициировать пакетный обмен.
- LOCK# — обеспечение исключительного права доступа активного EISA Bus-Master к памяти или портам.
- EXRDY — готовность EISA-устройства, аналогично сигналу IOCHRDCY.
- STARTS — отмечает начало цикла EISA-доступа. Во время действия этого сигнала фиксируется адрес и определяется тип обращения.
- CMD# — задает временные параметры цикла, действует после сигнала STARTS.
- MREQx# — EISA Bus-Master слота «x» запрашивает управление шиной.
- MAKx# — EISA Bus-Master слота «x» получает управление шиной от арбитра.

Временные диаграммы одиночных и пакетных циклов обмена по шине EISA приведены на рис. 2.28 и 2.29. Обратим внимание на то, что действительные значения сигналов должны фиксироваться по положительному перепаду BCLK, а готовность проверяется по его отрицательному перепаду.

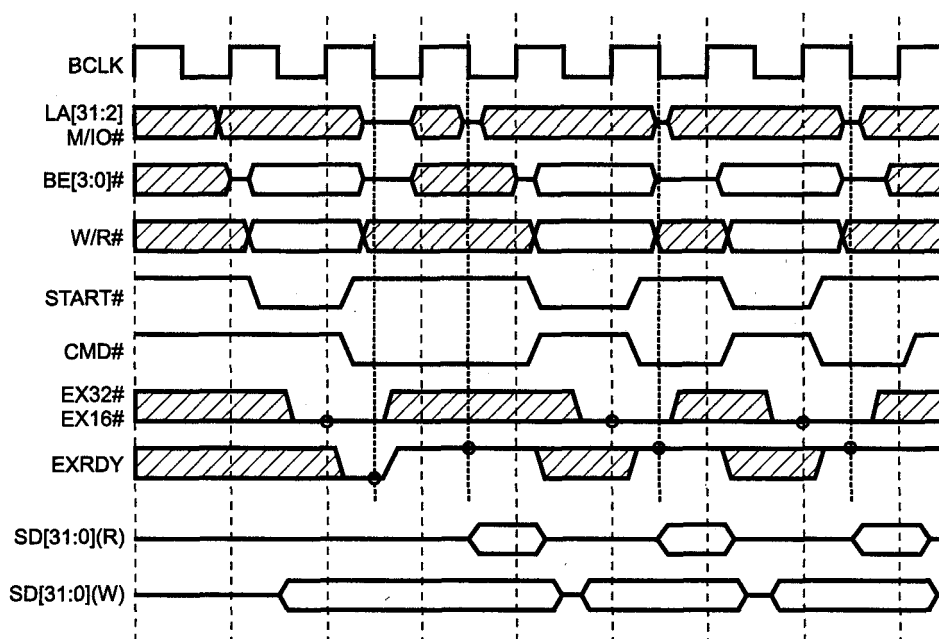


Рис. 2.28. Временные диаграммы одиночных циклов на шине EISA

Обычно в персональных компьютерах разъемы шины расширения устанавливают на системную плату, на которой расположены основные узлы компьютера. Для компьютеров инструментального и промышленного назначения такое решение не подходит, по ряду причин здесь удобнее использовать модули, соединяемые пассивной объединяющей платой. Самое простое решение для создания такого конструктива заключалось в использовании стандартной шины и карты ISA (половинной или полноразмерной). Все компоненты с традиционной системной платы перенесли на карту ISA, получив одноплатный компьютер, называемый микро-PC (mPC — microPC). На такой карте содержится процессор, память, графический адаптер, контроллеры портов и дисковые интерфейсы, иногда на нее же ухитряются поместить и дополнительные контроллеры цифрового и аналогового ввода/вывода. Для подключения к модулям (картам) расширения используют пассивную кросс-плату с обычными разъемами ISA. Если требуется более высокопроизводительный канал, используют и шину PCI. При

этом на плате системного контроллера (microPC) присутствуют два крайних разъема — ISA на обычном месте и PCI примерно на том месте, где располагался разъем VLB. Кросс-плата для таких систем становится неоднородной — у нее часть слотов имеет разъемы PCI, другая часть — ISA, расположенные на обычных местах, а место для системного контроллера оборудовано обоими разъемами.

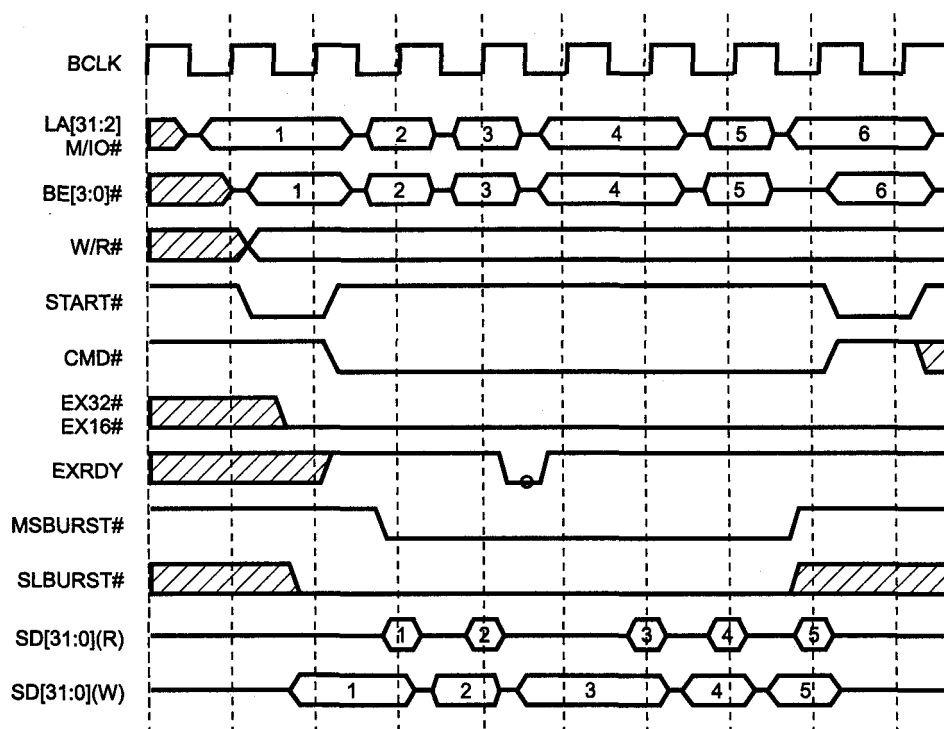


Рис. 2.29. Временные диаграммы пакетных циклов на шине EISA

Логически эквивалентной шине ISA является **шина PC-104**, предназначенная для построения небольших встраиваемых контроллеров. В ее названии присутствует число контактов коннектора, на который выводятся сигналы шины ISA. От обычной шины ISA PC-104 отличается только типом коннектора и нагрузочными характеристиками линий. Основой контроллера является mPC с разъемом (розеткой) PC-104. Если требуется подключение платы расширения, она своим разъемом PC-104 (вилкой) вставляется в плату контроллера. Кроме вилки на плате расширения имеется и розетка PC-104 (коннектор двусторонний), так что можно собирать «бутерброд» из нескольких плат. Если плат более трех, то сверху «бутерброда» устанавливают терминатор. Для фиксации плат стандартизовано расположение крепежных отверстий, и платы скрепляются несущими стоечками (длинными винтами со втулками). Конечно, такой конструктив удобен только для небольших систем с двумя-тремя платами, для которых он и предназначен.

Электрические характеристики линий ISA

Стандарт магистрали определяет требования к входным и выходным токам приемников и источников сигнала каждой из плат расширения. Несоблюдение этих требований может нарушить функционирование всего компьютера и даже вывести его из строя.

Выходные каскады передатчиков магистральных сигналов УС должны выдавать ток низкого уровня не меньше 24 мА (это относится ко всем типам выходных каскадов), а ток высокого уровня — не меньше 3 мА (для выходов с тремя состояниями и TTL).

Входные каскады приемников магистральных сигналов должны потреблять входной ток низкого уровня не больше 0,8 мА, а входной ток высокого уровня — не больше 0,04 мА.

Кроме этого необходимо учитывать, что максимальная длина печатного проводника от контакта магистрального разъема до вывода микросхемы не должна превышать 65 миллиметров, а максимальная емкость относительно земли по каждому контакту магистрального разъема не должна быть больше 20 пФ.

К некоторым линиям магистрали подключены нагрузочные резисторы, идущие на шину питания +5 В. К линиям IORD#, IOWR#, MemRD#, MemWR#, SMemRD#, SMemWR#, I/OCHK подключены резисторы 4,7 кОм, к линиям -I/OCS16#, MCS16#, REFRESH#, MASTER#, OWS# - 300 Ом, а к линии I/OCHRDY — 1 кОм. Кроме того к некоторым линиям магистрали подключены последовательные резисторы: к линиям IORD#, IOWR#, MemRD#, MemWR#, SMemRD#, SMemWR#, и Osc - резисторы номиналом 22 Ом, а к линии SYSCLK (Bclock) — 27 Ом.

2.6.2. Шина MCA

MCA (*Micro Channel Architecture*) — микроканальная архитектура — была введена в пик конкурентам фирмой IBM для своих компьютеров PS/2, начиная с модели 50. Шина MCA абсолютно несовместима с ISA/EISA и другими адаптерами. Состав управляющих сигналов, протокол и архитектура ориентированы на асинхронное функционирование шины и процессора, что снимает проблемы согласования скоростей процессора и периферийных устройств. Адаптеры MCA широко используют Bus-Mastering, все запросы идут через устройство CACP (Central Arbitration Control Point). Приоритеты (в порядке убывания): регенерация, DMA, Bus-Master, CPU (только по NMI он получает управление немедленно). Архитектура позволяет эффективно и автоматически конфигурировать все устройства программным путем (в MCA PS/2 нет ни одного переключателя).

Слоты MCA имеют контакты с шагом 0,05 дюйма, их состав на системной плате зависит от модели компьютера.

16-битный слот (рис. 2.30, а) использует контакты A1/B1-A45/B45 для 8-битных операций и A48/B48-A58/B58 для 16-битных. Пропущенные номера 46, 47 — ключ для всех слотов.

32-битный слот (рис. 2.30, б) имеет удлиненную вторую секцию с контактами A48/B48-A89/B89.

Перед контактами A1/B1 возможно одно из *двух расширений* за счет удлинения первой секции (рис. 2.30 в):

AM1/BM1-AM4/BM4 — для плат *расширения памяти*;

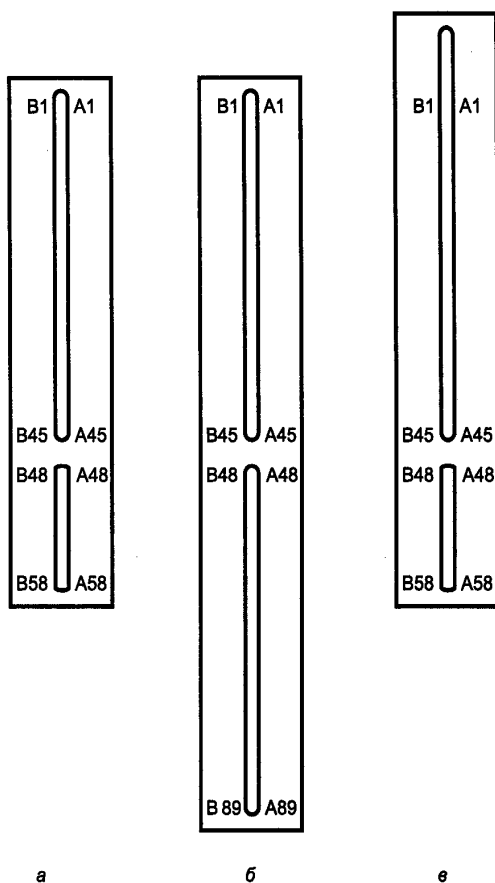


Рис. 2.30. Слоты MCA: а — 16-битный, б — 32-битный, в — 16-битный с расширением

AV1/BV1-AV10/BV10 — для плат *видеоадаптеров*, позволяет использовать общие цепи встроенного в системную плату VGA-адаптера, теоретически удешевляя расширение видеосистемы. По составу сигналов видеорасширение близко к разъему VGA Auxiliary Video Connector или VESA Feature Connector.

При всей прогрессивности архитектуры (относительно ISA) шина MCA не пользуется популярностью из-за узости круга производителей MCA-устройств и полной их несовместимости с массовыми ISA-системами. Однако MCA еще находит применение в мощных файл-серверах, где требуется обеспечение высоконадежного производительного ввода/вывода.

2.6.3. Локальная шина VLB

Шины ввода/вывода ISA, MCA, EISA имеют низкую производительность, обусловленную их

местом в структуре РС. Современные приложения (особенно графические) требуют существенного повышения пропускной способности, которое могут обеспечить современные процессоры. Одним из решений проблемы повышения пропускной способности было применение в качестве шины подключения периферийных устройств локальной шины процессора 486. Шину процессора использовали как место подключения встроенной периферии системной платы (контроллер дисков, графического адаптера).

VLB (VESA Local Bus) — стандартизованная 32-битная локальная шина, практически представляет собой сигналы локальной шины процессора 486, выведенные на дополнительные разъемы системной платы. Шина сильно ориентирована на 486 процессор, хотя возможно ее использование и с процессорами класса 386. Для процессоров Pentium была принята спецификация 2.0, в которой разрядность шины данных увеличена до 64, но распространения не получила. Аппаратные преобразователи шины новых процессоров в шину VLB, будучи искусственными «наростами» на шинной архитектуре, не прижились, и VLB дальнейшего развития не получила.

Конструктивно VLB-слот аналогичен 16-битному обычному MCA-слоту, но является расширением системного слота шины ISA-16, EISA или MCA, располагаясь позади него вблизи от процессора. Из-за ограниченной нагрузочной способности шины процессора больше трех слотов VLB на системной плате не устанавливаются. Максимальная тактовая частота шины — 66 МГц, хотя надежнее шина работает на частоте 33 МГц. При этом декларируется пиковая пропускная способность 132 Мбайт/с (33 МГц×4 байта), но она достигается только внутри пакетного цикла во время передач данных. Реально в пакетном цикле передача 4×4 = 16 байт данных требует 5 тактов шины, так что даже в пакетном режиме пропускная способность составляет 105,6 Мбайт/с, а в обычном режиме (такт на фазу адреса и такт на фазу данных) — всего 66 Мбайт/с, хотя это и значительно больше, чем у ISA. Жесткие требования к временным характеристикам процессорной шины при большой нагрузке (в том числе, и микросхемами внешнего кэша) могут привести к неустойчивой работе: все три VLB-слота могут использоваться только на частоте 40 МГц, при нагруженной системной плате на 50 МГц может работать только один слот. Шина в принципе допускает и применение активных (Bus-Master) адаптеров, но арбитраж запросов возлагается на сами адаптеры. Обычно шина допускает установку не более двух Bus-Master адаптеров, один из которых устанавливается в «Master»-слот.

Шину VLB обычно использовали для подключения графического адаптера и контроллера дисков. Иногда встречаются системные платы, у которых в описании указано, что они имеют встроенный графический и дисковый адаптер с шиной VLB, но самих слотов VLB нет. Это означает, что на плате установлены микросхемы указанных адаптеров, предназначенные для подключения к шине VLB. Такая невидимая шина по производительности, естественно, не уступает шине с явными слотами. С точки зрения надежности и совместимости это даже лучше, поскольку проблемы совместимости карт и системных плат для шины VLB стоят особенно остро.

2.6.4. Шина PCI

PCI (*Peripheral Component Interconnect*) *local bus* — шина соединения периферийных компонентов. Называясь локальной, эта шина занимает особое место в современной PC-архитектуре (*mezzanine bus*), являясь мостом между системной шиной процессора (локальной шиной) и шиной ввода/вывода ISA/EISA или MCA. Эта шина разрабатывалась в расчете на Pentium-системы, но хорошо сочетается и с 486 процессорами, а также с процессорами серий, отличных от Intel x86. Шина PCI является четко стандартизованной высокопроизводительной и надежной шиной расширения ввода-вывода. В настоящее время действует спецификация PCI-2.1.

При частоте шины 20-33 МГц теоретическая максимальная скорость достигает 132/264 Мбайт/с для 32/64 бит.

Шина является *синхронной* — фиксация всех сигналов выполняется по положительному перепаду (фронту) сигнала CLK. Версия 2.1 допускает частоту до 66 МГц при согласии всех абонентов шины. В каждой транзакции (обмене по шине) участвуют два устройства — *инициатор обмена* (Initiator или Master) и *целевое устройство* (Target или Slave).

Шина PCI все транзакции трактует как пакетные: каждая транзакция начинается фазой (циклом) адреса, за которой может следовать одна или несколько фаз данных. Для адреса и данных используются общие мультиплексированные линии AD. Четыре мультиплексированные линии C/BE[3:0] используются для кодирования команд в фазе адреса и разрешения байт в фазе данных. В начале транзакции инициатор активизирует сигнал FRAME#, по шине AD передает целевой адрес, а по линиям C/BE# информацию о типе транзакции (команде). Адресованное целевое устройство отзывается сигналом DEVSEL#, после чего инициатор может указать на свою готовность к обмену данными сигналом IRDY#. Когда к обмену данными будет готово и целевое устройство, оно установит сигнал TRDY#. Данные по шине AD могут передаваться только при одновременном наличии сигналов IRDY# и TRDY#. С помощью этих сигналов инициатор и целевое устройство согласуют свои скорости, вводя такты ожидания. На рис. 2.31 приведена временная диаграмма обмена, в которой и инициатор, и целевое устройство вводят такты ожидания. Если бы они оба ввели

сигналы готовности в конце фазы адреса и не снимали их до конца обмена, то в каждом такте после фазы адреса передавались бы по 32 бита данных, что и обеспечило бы выход на предельную производительность обмена.

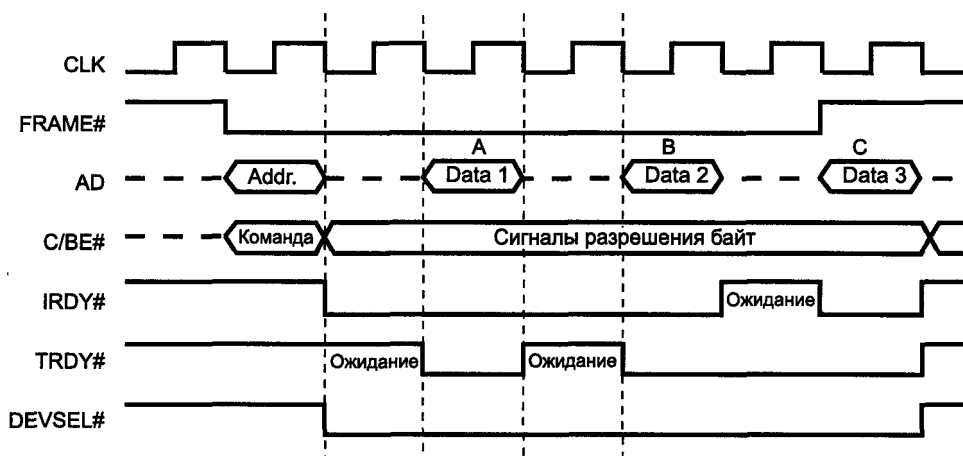


Рис. 2.31. Цикл обмена на шине PCI

Количество фаз (циклов) данных в пакете заранее не определено, но перед последним циклом инициатор обмена при введенном сигнале IRDY# снимает сигнал FRAME#. После последней фазы данных инициатор снимает сигнал IRDY# и шина переходит в состояние покоя (PCI Idle) — оба сигнала FRAME# и IRDY# находятся в пассивном состоянии. Максимальное количество циклов данных в пакете может быть неявно ограничено таймером, определяющим максимальное время, в течение которого инициатор может пользоваться шиной. Инициатор завершает транзакцию по одной из трех причин:

- Нормальное завершение выполняется по окончании обмена данными.
- Завершение по тайм-ауту (Time-out) происходит, когда во время транзакции у инициатора отбирают право на управление шиной (снятием сигнала GNT#) или когда истекает время, указанное в его таймере MLT (целевое устройство слишком медленное или начатая транзакция слишком длинная).
- Транзакция отвергается (Abort), когда в течение заданного времени инициатор не получает ответа целевого устройства (DEVSEL#).

Транзакция может быть прекращена и *по инициативе целевого* устройства, для этого оно может ввести сигнал STOP#. Возможны три основных типа прекращения:

- Отключение (Disconnect) — сигнал STOP# вводится во время активности TRDY#. В этом случае транзакция завершается после фазы данных.
- Отключение с повтором (Disconnect/Retry) — сигнал STOP# вводится при пассивном состоянии TRDY#, и последняя фаза данных отсутствует. Такое завершение является указанием инициатору на необходимость повтора транзакции.
- Отказ (Abort) — сигнал STOP# вводится одновременно со снятием DEVSEL# (в предыдущих случаях во время появления сигнала STOP# сигнал DEVSEL# был активен). В этом случае последняя фаза данных тоже отсутствует, но повтор не запрашивается.

Протокол квитирования обеспечивает *надежность обмена* — инициатор всегда получает информацию об обработке транзакции целевым устройством. Средством повышения надежности (достоверности) является применение контроля паритета: линии AD[31:0] и C/BE#[3:0] и в фазе адреса, и в фазе данных защищены *битом паритета* PAR (количество единичных бит этих линий, включая PAR, должно быть четным). Действительное значение PAR появляется на шине с задержкой в один такт относительно линий AD и C/BE#. При обнаружении ошибки целевым устройством со сдвигом еще на один такт вырабатывается сигнал PERR#. В подсчете паритета при передаче данных учитываются все байты, включая и недействительные (отмеченные высоким уровнем сигнала C/BE#i). Состояние бит и недействительных байт данных должно оставаться стабильным во время фазы данных.

Арбитражем запросов на использование шины занимается специальный функциональный узел, входящий в состав чипсета системной платы. Каждое устройство-инициатор имеет пару сигналов — REQ# для запроса на управление шиной и GNT# — подтверждение предоставления управления шиной. Схема приоритетов (фиксированный, циклический, комбинированный) определяется программированием арбитра.

Каждое устройство — потенциальный инициатор обмена (PCI Master) имеет собственный программируемый *таймер MLT* (Master Latency Timer), определяющий максимальное количество тактов шины, допустимое для одной транзакции. Программированием его значения при

конфигурировании устройств осуществляется распределение полосы пропускания шины между абонентами шины.

Каждое целевое устройство имеет *инкрементный механизм слежения* за длительностью циклов (Incremental Latency Mechanism), который не позволяет интервалу между соседними фазами данных в пакете превышать 8 тактов шины. Если целевое устройство не успевает работать в таком темпе, оно обязано останавливать транзакцию.

Адресация памяти, портов и конфигурационных регистров различна. Байты шины AD, несущие действительную информацию, выбираются сигналами C/BE[3:0] в фазах данных (внутри пакета эти сигналы могут менять состояние). В циклах обращения к памяти адрес, выровненный по границе двойного слова, передается по линиям AD[31:2], линии AD[1:0] задают порядок чередования адресов в пакете:

- 00 — линейное инкрементирование;
- 01 — чередование адресов с учетом длины строки кэш-памяти ;
- 1x — зарезервировано.

В циклах обращения к портам ввода/вывода для адресации любого байта используются все линии AD[31:0]. В циклах конфигурационной записи/считывания устройство выбирается индивидуальным сигналом IDSEL#, конфигурационные регистры выбираются двойными словами, используя линии AD[7:2], при этом AD[1:0]=00. Сигнал выборки IDSEL# воспринимается абонентом PCI только в фазе адреса, поэтому обычно в качестве него используют старшие биты адреса с позиционным кодированием адреса устройства.

Команды шины PCI определяются значениями бит C/BE# в фазе адреса в соответствии с таблицей 2.4.

В команде *подтверждение прерывания* контроллер прерываний передает вектор прерывания по шине AD.

Специальный цикл декодируется содержимым линий AD[15:0] и используется для указания на отключение (Shutdown), останов (Halt) процессора или специфические функции процессора, связанные с кэшем и трассировкой. Этим состояниям соответствуют коды 0000, 0001 и 0002; коды 0003-FFFFh зарезервированы.

Таблица 2.4. Декодирование команд шины PCI

C/BE[3:0]	Тип команды
0000	Interrupt Acknowledge — подтверждение прерывания
0001	Special Cycle — специальный цикл
0010	I/O Read — чтение порта ввода/вывода
0011	I/O Write — запись в порт ввода/вывода
0100	Резерв
0101	Резерв
0110	Memory Read — чтение памяти
0111	Memory Write — запись в память
1000	Резерв
1001	Резерв
1010	Configuration Read — конфигурационное считывание
1011	Configuration Write — конфигурационная запись
1100	Multiple Memory Read — множественное чтение памяти
1101	Dual Address Cycle — двухадресный цикл
1110	Memory-Read Line — чтение строки памяти
1111	Memory Write and Invalidate — запись с инвалидацией

В командах *чтения и записи ввода/вывода* линии AD содержат адрес байта, причем декодированию подлежат и биты AD0 и AD1 (несмотря на то, что имеются сигналы VEx#). Порты PCI могут быть 8- или 16-битными. Для адресации портов на шине PCI доступны все 32 бита адреса, но процессоры x86 могут использовать только младшие 16 бит. Кроме того, на адресное пространство PCI влияет и 10-битное декодирование адреса, принятое в традиционной шине ISA, в результате чего каждый адрес порта на шине ISA имеет 64 псевдонима, смещенных друг от друга на 1 К. Порты с адресами 0CF8 и 0CFC зарезервированы под регистры адреса и данных для доступа к конфигурационному пространству. Обращение к порту данных приведет к генерации шинного цикла

конфигурационного чтения или записи по предварительно записанному адресу.

В командах *чтения и записи памяти* шина AD содержит адреса двойных слов, и линии AD0, AD1 не должны декодироваться — на конкретные байты указывают сигналы C/BE[3:0]#.

Команды *конфигурационного чтения и записи* адресуются к конфигурационному пространству и обеспечивают доступ к 256-байтным структурам. Обращение идет двойными словами. Структура содержит идентификатор устройства и производителя, состояние и команду, информацию об используемых ресурсах и ограничения на использование шины.

Множественное чтение памяти используется для чтения больших блоков памяти без кэширования.

Двухадресный цикл применяется, когда физическая шина имеет всего 32 бита адреса, а требуется передача с 64-битной адресацией. В этом случае младшие 32 бита адреса передаются в цикле данного типа, а за ним следует обычный цикл, определяющий тип обмена и несущий старшие 32 бита адреса. Шина PCI допускает 64-битную адресацию и портов ввода/вывода, правда, для процессоров x86 это бесполезно, но есть и другие процессоры и платформы, использующие PCI.

Чтение строки памяти используется для чтения более чем двух 32-битных блоков данных (обычно чтение до конца строки кэша). В таком случае этот цикл обеспечивает обмен, более эффективный, чем цепочка обычных пакетных чтений.

Запись с инвалидацией применяется при передаче как минимум одной строки кэша и позволяет обновлять содержимое основной памяти, экономя циклы обратной записи.

Слоты PCI с шагом 0,05 дюйма расположены несколько дальше от задней панели, чем ISA/EISA-MCA. В отличие от адаптеров остальных шин, компоненты карт PCI расположены на левой поверхности плат. По этой причине в PC-совместимых компьютерах крайний PCI-слот обычно разделяет использование посадочного места адаптера с соседним ISA-слотом (Shared slot). Шина имеет версии с питанием 5 В, 3,3 В и универсальную (с переключением линий +V I/O с 5 В на 3,3 В). Ключами являются пропущенные ряды контактов 12, 13 и 50, 51. Для 5-В слота ключ расположен на месте контактов 50, 51; для 3-В — 12, 13; для универсального — два ключа: 12, 13 и 50, 51. Ключи не позволяют установить карту в слот с неподходящим напряжением питания. 32-битный слот заканчивается контактами A62/B62, 64-битный — A94/B94. Назначение выводов универсального разъема приведено в табл. 2.5, назначение сигналов — в табл. 2.6..

Таблица 2.5. Разъемы шины PCI

Ряд В	№	Ряд А	Ряд В	№	Ряд А
-12В	1	TRST#	GND/M66EN ¹	49	AD 9
TCK	2	+12 В	GND/Ключ 5В	50	GND/Ключ 5 В
GND	3	TMS	GND/Ключ 5В	51	GND/Ключ 5 В
TDO	4	TDI	AD 8	52	C/BE0#
+5 В	5	+5 В	AD 7	53	+3,3 В
+5 В	6	INTRA#	+3,3 В	54	AD 6
INTRB#	7	INTRC#	AD 5	55	AD 4
INTRD#	8	+5 В	AD 3	56	GND
PRSNT 1#	9	Reserved	GND	57	AD 2
Reserved	10	+V I/O	AD 1	58	AD 0
PRSNT 2#	11	Reserved	+VI/0	59	+V I/O
GND/Ключ 3,3 В	12	GND/Ключ 3,3 В	ACK64#	60	REQ64#
GND/Ключ 3,3 В	13	GND/Ключ 3,3 В	+5 В	61	+5 В
Reserved	14	Reserved	+5 В	62	+5 В
GND	15	RST#	Конец 32-битного разъема		
Clock	16	+V I/O	Reserved	63	GND
GND	17	GNT#	GND	64	C/BE7#
REQ#	18	GND	C/BE6#	65	C/BE5#
+VI/0	19	Reserved	C/BE4#	66	+V I/O
AD 31	20	AD 30	GND	67	PAR64
AD 29	21	+3,3 В	AD 63	68	AD 62
GND	22	AD 28	AD 61	69	GND
AD 27	23	AD 26	+VI/0	70	AD 60

AD 25	24 GND	AD 59	71	AD 58
+3,3 B	25 AD 24	AD 57	72	GND
C/BE3#	26 IDSEL#	GND	73	AD 56
AD 23	27 +3,3 B	AD 55	74	AD 54
GND	28 AD 22	AD 53	75	+V I/O
AD 21	29 AD 20	GND	76	AD 52
AD 19	30 GND	AD 51	77	AD 50
+3.3 B	31 AD 18	AD 49	78	GND
AD 17	32 AD 16	+VI/0	79	AD 48
C/BE2#	33 +3,3 B	AD 47	80	AD 46
GND	34 FRAME#	AD 45	81	GND
IRDY#	35 GND	GND	82	AD 44
+3,3 B	36 TRDY#	AD 43	83	AD 42
DEVSEL#	37 GND	AD 41	84	+V I/O
GND	38 STOP#	GND	85	AD 40
LOCK#	39 +3,3 B	AD 39	86	AD 38
PERR#	40 SDONE#	AD 37	87	GND
+3,3 B	41 SBOFF#	+VI/0	88	AD 36
SERR#	42 GND	AD 35	89	AD 34
+3,3 B	43 PAR	AD 33	90	GND
C/BE1#	44 AD 15	GND	91	AD 32
AD 14	45 +3,3 B	Reserved	92	Reserved
GND	46 AD 13	Reserved	93	GND
AD 12	47 AD 11	GND	94	Reserved
AD 10	48 GND	Конец 64-битного разъема		

[†] Сигнал M66EN определен только начиная с PCI 2.1.

Таблица 2.6. Сигналы шины PCI

Сигнал	Назначение
AD[31:0]	Address/Data — мультиплексированная шина адреса/данных. Адрес передается в начале транзакции, в последующих тактах передаются данные
C/BE[3:0]#	Command/Byte Enable — команда/разрешение обращения к байтам. Команда, определяющая тип очередного цикла шины (чтение/запись памяти, ввод/вывод или конфигурационное чтение-запись, подтверждение прерывания и другие), задается четырехбитным кодом в фазе адреса
FRAME#	Кадр. Введением сигнала отмечается начало транзакции (фаза адреса), снятие сигнала указывает на то, что последующий цикл передачи данных является последним в транзакции
DEVSEL#	Device Select — устройство выбрано (ответ целевого устройства на адресованную к нему транзакцию)
IRDY#	Initiator Ready — готовность инициатора к обмену данными
TRDY#	Target Ready — готовность целевого устройства к обмену данными
STOP#	Запрос целевого устройства к инициатору на останов текущей транзакции
LOCK#	Используется для установки, обслуживания и освобождения захвата ресурса на PCI
REQ[3:0]#	Request — запрос от PCI-мастера на захват шины (для слотов 3:0)
GNT[3:0]#	Grant — предоставление мастеру управления шиной
PAR	Parity — общий бит паритета для линий AD[31:0] и C/BE[3:0]
PERR#	ParityError — сигнал об ошибке паритета (от устройства, ее обнаружившего)
RST#	Reset — сброс всех регистров в начальное состояние

IDSEL#	Initialization Device Select — выбор устройства в циклах конфигурационного считывания и записи
SERR	System Error — системная ошибка, активизируется любым устройством PCI и вызывает NMI
REQ64#	Request 64 bit — запрос на 64-битный обмен
ACK64#	Подтверждение 64-битного обмена
INTRA# INTRB# INTRC# INTRD#	Interrupt A, B, C, D — линии запросов прерывания, циклически сдвигаются в слотах и направляются на доступные линии IRQ. Запрос по низкому уровню допускает разделяемое использование линий
CLK	Clock — тактовая частота шины, должна лежать в пределах 20—33 МГц, в PCI 2.1 допустима до 66,6 МГц
M66EN	66MHzEnable — разрешение частоты синхронизации до 66 МГц, если все абоненты ее допускают
SDONE	Snoop Done — сигнал завершенности цикла слежения для текущей транзакции. Низкий уровень указывает на незавершенность цикла слежения за когерентностью памяти и кэша. Необязательный сигнал, используется только абонентами шины с кэшируемой памятью
SBO#	Snoop Backoff — попадание текущего обращения к памяти абонента шины в модифицированную строку кэша. Необязательный сигнал, используется только абонентами шины с кэшируемой памятью при алгоритме обратной записи (WB)
TCK	Test Clock — синхронизация тестового интерфейса JTAG
TDI	Test Data Input — входные данные тестового интерфейса JTAG
TDO	Test Data Output — выходные данные тестового интерфейса JTAG
TMS	Test Mode Select — выбор режима для тестового интерфейса JTAG
TRST	Test Logic Reset — сброс тестовой логики

На одной шине PCI может быть не более четырех устройств (следовательно, и слотов). Для подключения шины PCI к другим шинам применяются специальные аппаратные средства — *мосты шины PCI* (PCI Bridge). *Главный мост* (Host Bridge) используется для подключения PCI к системной шине (шине процессора или процессоров). *Одноранговый мост* (Peer-to-Peer Bridge) используется для соединения двух шин PCI. Две и более шины PCI применяются в мощных серверных платформах — дополнительные шины PCI позволяют увеличить количество подключаемых устройств. Для подключения шин ISA/EISA используются специальные мосты, входящие в чипсеты большинства системных плат. Каждый мост программируется — ему указываются диапазоны адресов пространств памяти и ввода/вывода, отведенные абонентам его шин. Если адрес целевого устройства текущей транзакции на одной шине (стороне) моста относится к шине противоположной стороны, мост перенаправляет транзакцию на соответствующую шину и выполняет действия по согласованию протоколов этих шин. Таким образом, совокупность мостов, расположенных вокруг шины PCI, выполняет маршрутизацию (routing) обращений по всем связанным шинам. В общем случае считается, что устройство с конкретным адресом может присутствовать только на одной из шин данного компьютера, а на каком именно, «знают» запрограммированные мосты. Решать задачу маршрутизации призван и сигнал DEVSEL#, играющий важную роль в протоколе шины PCI. Обращения, не востребованные абонентами PCI, обычно перенаправляются на шину (E)ISA.

Одной из особенностей компьютеров с шиной PCI и ее системой мостов является возможность выполнения обмена данными между процессором и памятью одновременно с обменами между другими абонентами шины PCI — *Concurrent PCI Transferring*. Однако эта возможность реализуется не всеми чипсетами (в описаниях она всегда специально подчеркивается), а обычными абонентами шины (графические карты, контроллеры дисков и т. п.) используется редко.

С мостами PCI/(E)ISA связано понятие *VGA Palette Snooping*, которое обеспечивает исключение из правила однозначной маршрутизации обращений. Графическая карта в компьютере с шиной PCI обычно устанавливается на шину PCI. На карте VGA имеются регистры палитр (Palette Registers), приписанные к пространству ввода/вывода. Если графическая система содержит еще и карту смешивания сигналов графического адаптера с сигналом «живого видео», перехватывая двоичную информацию о цвете текущего пиксела по шине VESA Feature Connector (снимаемую до регистра палитр), цветовая гамма будет определяться регистром палитр, размещенным на этой дополнительной карте. Именно здесь и возникает ситуация, когда операция записи в регистр палитр должна обрабатываться одновременно и в графическом адаптере (на шине PCI), и в карте видеорасширения, которая часто размещается на шине ISA. Для обеспечения этой возможности в BIOS Setup может

присутствовать опция PCI VGA Palette Snoop. При ее разрешении запись в порты ввода/вывода по адресу регистра палитр будет вызывать транзакцию как на шине PCI, так и на шине (E)ISA, чтение же по этим адресам будет выполняться только на шине PCI. Реализация такой возможности может возлагаться на графическую карту PCI. Для этого она во время записи в регистр палитр данные фиксирует, но сигналы квитирования DEVSEL# и TRDY# не вырабатывает, в результате чего мост распространяет этот неопознанный запрос на шину (E)ISA. В иных реализациях мосту явно указывают на данное исключение, и он сам распространяет запись в регистры палитр на шину (E)ISA.

Автоконфигурирование устройств (выбор адресов, запросов прерываний) поддерживается средствами BIOS и ориентировано на технологию Plug and Play. Стандарт PCI определяет для каждого слота конфигурационное пространство размером до 256 восьмибитных регистров, не приписанных ни к пространству памяти, ни к пространству ввода/вывода. Доступ к ним осуществляется по специальным циклам шины Configuration Read и Configuration Write, вырабатываемым контроллером при обращении процессора к регистрам контроллера шины PCI, расположенным в его пространстве ввода/вывода. После аппаратного сброса (или по включении питания) устройства PCI не отвечают на обращения к пространству памяти и ввода/вывода, они доступны только для операций конфигурационного считывания и записи. В этих операциях устройства выбирают по индивидуальным сигналам IDSEL#, устройства сообщают о потребностях в ресурсах и возможных диапазонах их перемещения. После распределения ресурсов, выполняемого программой конфигурирования (во время POST), в устройства записываются параметры конфигурирования, и только после этого к ним становится возможным доступ по командам обращения к памяти и портам ввода/вывода.

Для ПЗУ расширения BIOS, установленных на картах PCI, принят стандарт, несколько отличающийся от традиционных дополнительных модулей ROM BIOS. Поскольку шина PCI используется не только для PC-совместимых компьютеров, в ПЗУ карты может храниться несколько модулей с различными программными кодами. Тип платформы (процессора) указывается в заголовке модуля и при инициализации BIOS компьютера активизирует лишь тот, который предназначен для данной платформы. Такой механизм позволяет, например, один и тот же графический адаптер устанавливать и в IBM PC, и в совсем на него не похожий компьютер Power PC.

В состав шины PCI введены сигналы для тестирования адаптеров по интерфейсу JTAG. На системной плате эти сигналы не всегда задействованы, но могут и организовывать логическую цепочку тестируемых адаптеров.

Шина PCI является второй (после ISA) по популярности применения. Некоторые фирмы для этой шины выпускают карты прототипы, но, конечно же, доукомплектовать их периферийным адаптером или устройством собственной разработки гораздо сложнее, чем карту ISA. Здесь сказываются и более сложные протоколы, включая конфигурирование, и более высокие частоты (частота шины ISA - 8 МГц, PCI - 33/66 МГц).

Слот PCI достаточен для подключения адаптера (в отличие от VLB), на системной плате он может сосуществовать с любой из шин ввода/вывода и даже с VLB (хотя в этом и нет необходимости). Иногда на системной плате позади разъема шины PCI одного из слотов имеется небольшой разъем Media Bus, на который выводятся сигналы обычной шины ISA. Он предназначен для обеспечения возможности размещения на графическом адаптере PCI недорогого чипсета звуковой карты, предназначенного для шины ISA.

Для устройств промышленного назначения в начале 1995 года был принят стандарт **Compact PCI**. Шина Compact PCI (сPCI) разрабатывалась на основе спецификации PCI версии 2.1. От обычной PCI эта шина отличается большим количеством поддерживаемых слотов для одной шины: 8 против 4. В связи с этим появились новые 4 пары сигналов запросов и предоставления управления шиной. Шина поддерживает 32-битные и 64-битные обмены (с индивидуальным разрешением байт). При частоте шины 33 МГц максимальная пропускная способность составляет 133 Мбайт/с для 32 бит и 266 Мбайт/с для 64 бит (в середине пакетного цикла). Возможна работа и на частоте 66 МГц, при этом производительность удваивается. Шина поддерживает спецификацию PnP — в ней работают все механизмы идентификации и автоконфигурирования, имеющиеся в PCI. Кроме того, в шине возможно применение географической адресации, при этом адрес модуля (на который он отзывается при программном обращении) определяется его положением в каркасе. Для этого на коннекторе J1 имеются контакты GA0...GA4, коммутацией которых на «землю» для каждого слота может быть задан его двоичный адрес. Географическая адресация позволяет переставлять однотипные модули, не заботясь о конфигурировании их адресов (хорошая альтернатива системе PnP — здесь модуль «встанет» всегда в одни и те же адреса, которые без физического вмешательства ничем не собьются). Конструктивно платы Compact PCI представляют собой еврокарты высотой 3U (100×160 мм) с одним коннектором (J1) или 6U (233×160 мм) с двумя коннекторами (J1 и J2). Коннекторы — 7-рядные штырьковые разъемы с шагом 2 мм между контактами, на кросс-плате — вилка, на модулях — розетки. Контакты коннекторов имеют разную длину: более длинные контакты цепей питания при установке модуля соединяются раньше, а при вынимании разъединяются позже, чем сигнальные. Такое решение закладывает основу для реализации возможности «горячей» замены модулей.

Собственно шина использует только один коннектор (J1), причем в 32-битном варианте не полностью — часть контактов выделяются на использование по усмотрению пользователя. 64-битная шина использует коннектор полностью. Одно посадочное место на кросс-плате резервируется под контроллер шины, на который возлагаются функции арбитража и синхронизации. На его коннекторе шиной используется большее число контактов, чем на остальных. У больших плат коннектор J2 отдается на использование по усмотрению пользователя (разработчика), а между коннекторами J1 и J2 может устанавливаться 95-контактный коннектор J3. Конструкция коннекторов позволяет для J2 применять специфические модификации, в которых может, например, присутствовать разделяющий экран и механические ключи. В шине предусматривается наличие независимых источников питания +5В, +3,3В и ±12В.

На базе шины Compact PCI фирмой National Instruments разработана *спецификация PXI* (PCI extensions for Instrumentation — расширение PCI для инструментальных систем) в тех же конструктивах. В шине PXI часть контактов, определенных в Compact PCI как свободно используемые, предназначаются для дополнительных шин. Шина *Trigger Bus* (8 линий) звездообразно соединяет слот ее контроллера (первый после системного контроллера PCI) с остальными слотами. Эта шина позволяет осуществлять синхронизацию событий в разных модулях. Для прецизионной синхронизации имеется сигнал опорной частоты 10 МГц PXI_CLK, который звездообразно (с одинаковыми задержками распространения сигнала) разводится по слотам — такая точная синхронизация модулей зачастую требуется в измерительных системах. В PXI определены локальные шины, предназначенные для связи соседних пар слотов. Каждая локальная шина имеет 13 линий, которые могут использоваться как для цифровых, так и аналоговых (до 48 В) сигналов. Локальные шины объединяют смежные слоты попарно (исключая слот системного контроллера), образуя цепочку (Daisy chain). Кроме механических и электрических характеристик PXI определяет и программное обеспечение модулей: основной операционной системой принимается Windows NT/95, и модули должны поставляться с соответствующими драйверами. Это значительно экономит время, необходимое для системной интеграции. Модули PXI совместимы с шиной Compact PCI, и наоборот — модули Compact PCI будут работать и в шине PXI. Однако все преимущества спецификации реализуются только при установке модулей PXI в шину PXI. Спецификация PXI как расширение Compact PCI сильно напоминает расширение VXI для шины VME.

2.6.5. Магистральный интерфейс AGP

В настоящее время самой быстрой универсальной шиной расширения является PCI, имеющей при тактовой частоте 33 МГц пиковую пропускную способность 132 Мбайт/с (локальную шину VLB, как устаревшую, в расчет не берем). Одним из главных потребителей пропускной способности шины является графический адаптер. По мере развития возможностей графической системы — увеличения разрешения, как по количеству пикселей, так и по глубине цвета — требования к пропускной способности шины, связывающей дисплейный адаптер с памятью и центральным процессором компьютера, повышаются. Параллельно повышению пропускной способности шины применяют меры по уменьшению потока данных, передаваемых по этой шине при графических построениях. Для этих целей графические платы снабжают акселераторами и увеличивают объем буферной памяти (видеопамяти), которой пользуется процессор акселератора при выполнении построений. В результате высокоинтенсивный поток данных в основном циркулирует внутри графической карты, относительно слабо нагружая внешнюю шину. Однако на новом витке гонки функциональных возможностей графический акселератор занимается и трехмерными построениями, в результате чего ему становится тесно в ограниченном объеме встроенной памяти графического адаптера и его поток данных снова выплескивается на внешнюю шину.

- Фирма Intel на базе шины PCI 2.1 разработала новый стандарт подключения графических адаптеров — *AGP* (Accelerated Graphic Port — ускоренный графический порт). Этот порт представляет собой 32-разрядную шину с тактовой частотой 66 МГц (точнее, 66,66...), по составу сигналов (табл. 2.7) напоминающую шину PCI.

Таблица 2.7. Сигналы порта AGP

Ряд А	№	Ряд В	Ряд А	№	Ряд В
Spare	1	12V	Vddq3.3	34	Vddq3.3
5.0V	2	Spare	AD21	35	AD22
5.0V	3	Reserved	AD 19	36	AD20
USB+	4	USB-	GND	37	GND
GND	5	GND	AD17	38	AD18
INTB#	6	INTA#	C/BE2#	39	AD16

CLK	7	RST#	Vddq3.3	40	Vddq3.3
REQ#	8	GNT#	IRDY#	41	FRAMED
VCC3.3	9	VCC3.3		42	
ST0	10	ST1	GND	43	GND
ST2	11	Reserved		44	
RBF#	12	PIPE#	VCC3.3	45	VCC3.3
GND	13	GND	DEVSEL#	46	TRDY#
Spare	14	Spare	Vddq3.3	47	STOP#
SBA0	15	SBA1	PERR#	48	Spare
VCC3.3	16	VCC3.3	GND	49	GND
SBA2	17	SBA3	SERR#	50	PAR
SBSTB	18	Reserved	C/BE1#	51	AD15
GND	19	GND	Vddq3.3	52	Vddq3.3
SBA4	20	SBA5	AD14	53	AD13
SBA6	21	SBA7	AD12	54	AD11
KEY	22	KEY	GND	55	GND
KEY	23	KEY	AD10	56	AD9
KEY	24	KEY	AD8	57	C/BE0#
KEY	25	KEY	Vddq3.3	58	Vddq3.3
AD31	26	AD30	ADSTB0	59	Reserved
AD29	27	AD28	AD7	60	AD6
VCC3.3	28	VCC3.3	GND	61	GND
AD27	29	AD26	ADS	62	AD4
AD25	30	AD24	AD3	63	AD2
GND	31	GND	Vddq3.3	64	Vddq3.3
ADSTB1	32	Reserved	AD1	65	AD0
AD23	33	C/BE3#	SMB0	66	SMB1

Место AGP в архитектуре компьютера иллюстрирует рис. 2.1, з. Из рисунка видно, что чипсет связывает AGP с памятью и системной шиной процессора, не натываясь на ставшую уже «узким местом» шину PCI. «Ускоренность» порта обеспечивается следующими тремя факторами:

- Конвейеризацией операций обращения к памяти.
- Сдвоенными передачами данных.
- Демультимплексированием шин адреса и данных.

Конвейеризацию обращений к памяти иллюстрирует рис. 2.32, где сравниваются обращения к памяти PCI и AGP. При не конвейеризованных обращениях PCI во время реакции памяти на запрос шина простаивает. Конвейерный доступ AGP позволяет в это время передавать следующие запросы, а потом получить плотный поток ответов (самих передаваемых данных).

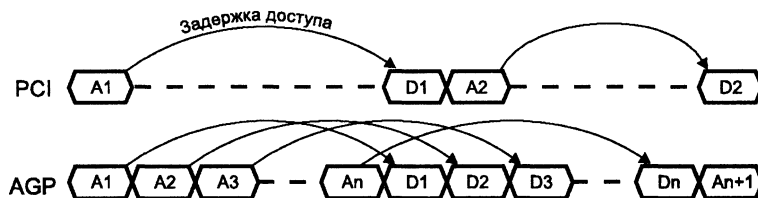


Рис. 2.32. Циклы обращения к памяти PCI и AGP

Спецификация AGP предусматривает возможность постановки в очередь до 256 запросов, но при конфигурировании PnP уточняются реальные возможности конкретной системы (у памяти все-таки возможности ограничены). AGP поддерживает две пары очередей для операций записи и чтения памяти с высоким и низким приоритетом. В процесс передачи данных любого запроса может вмешаться следующий запрос, в том числе и запрос в режиме PCI.

Сдвоенные передачи данных обеспечивают при частоте тактирования шины в 66 МГц

пропускную способность до 532 Мбайт/с, что для 32-битной шины (4 байта) несколько неожиданно: $66,6 \times 4 = 266$. В AGP кроме «классического» режима, называемого теперь «x1», в котором за один такт синхронизации передается один 4-байтный блок данных, имеется возможность работы в режиме «x2» когда блоки данных передаются как по фронту, так и по спаду сигнала синхронизации (как и в шине ATA Ultra DMA-33). Управление передачей в таком режиме названо *SideBand Control* (сокращенно — приставка SB к имени сигнала). Заказать режим x2 может только графическая карта, если, конечно, она его поддерживает. В перспективе ожидается переход на тактовую частоту 100 МГц и, следовательно, повышение пропускной способности до 800 Мбайт/с.

Демультимплексирование (разделение) *шины адреса и данных* сделано несколько необычным образом. В идеале демультимплексирование подразумевает наличие двух полноразрядных шин — адреса и данных. Однако реализация такого варианта была бы слишком дорогой. Поэтому шину адреса в демультимплексированном режиме представляют 8 линий SBA (SideBand Address), по которым за три такта синхронизации передаются четыре байта адреса, длина запроса (1 байт) и команда (1 байт). За каждый такт передаются по два байта — один по фронту, другой по спаду тактового сигнала. Поддержка демультимплексированной адресации не является обязательной для карты с портом AGP, но хост-контроллер, естественно, должен ее поддерживать. Альтернативой такому способу подачи адреса является обычный - по мультиплексированной шине AD.

Таким образом, AGP может реализовать всю пропускную способность 64-битной основной памяти компьютера на процессоре Pentium и старше. При этом возможны конкурирующие обращения к памяти со стороны процессора и со стороны мостов шин PCI.

Порт AGP может работать как в своем «естественном» режиме с конвейеризацией и вдвоенными передачами, так и в режиме шины PCI. В конвейеризированном режиме, в котором начало цикла отмечается сигналом PIPE#, возможны только обращения к памяти. В режиме PCI циклы начинаются с сигнала FRAME# и обращения возможны как к пространству памяти, так и пространству ввода/вывода и конфигурационному пространству. Слот AGP является достаточным для подключения дисплейного адаптера (это не расширение, как, например, VLB). Кроме собственно AGP, в него заложены и сигналы шины USB, которую предполагается заводить в монитор. Внешне карты с портом AGP похожи на PCI, но у них используется разъем повышенной плотности с «двухэтажным» (как у EISA) расположением ламелей, и сам разъем располагается несколько дальше от задней кромки платы, чем разъем PCI.

Фирма Intel ввела поддержку AGP в чипсеты для процессоров Pentium Pro и Pentium II, поскольку его конвейерный режим близок по духу режиму системной шины этих процессоров. Однако нет противопоказаний и против применения AGP для процессоров класса Pentium.

AGP строился исключительно исходя из нужд графического акселератора. Порт позволяет работать в двух режимах — режиме DMA и режиме исполнения (Executive Mode). В *режиме DMA* акселератор при вычислениях рассматривает свой локальный буфер как первичную память, а когда ее объема недостаточно, подкачивает данные из основной памяти, используя быстрый канал AGP. При этом для трафика порта характерны длительные последовательные (блочные) передачи. В *режиме исполнения* локальный буфер и основная память для акселератора равнозначны и располагаются в едином адресном пространстве. Такой режим работы акселератора с памятью называется DIME (Direct Memory Execute). Для этого режима трафик порта будет насыщен короткими произвольными запросами.

Надо заметить, что многие преимущества AGP носят потенциальный характер и могут быть реализованы лишь при встречной поддержке как со стороны аппаратных средств графического адаптера, так и со стороны программного обеспечения. Пиковая пропускная способность AGP на самом деле не вершина — в графических адаптерах с WRAM или RDRAM внутренняя скорость обмена данными акселератора с видеопамью достигает 1,6 Гбайт/с, так что DIME привлекает только объемом доступной памяти.

2.6.6. Шины PCMCIA (PC Card)

Организация PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association — международная ассоциация производителей карт памяти для персональных компьютеров) ввела ряд стандартов на шины расширения блокнотных компьютеров. Первый из них и назывался *PCMCIA*, а впоследствии был переименован в стандарт *PC Card*. Шина PC Card позволяет подключать расширители памяти, модемы, контроллеры дисков и стриммеров, SCSI-адаптеры, сетевые адаптеры и др. Недостаточно строгое следование производителями этому стандарту приводит к некоторым проблемам совместимости. Назначение контактов разъема шины приведено в табл. 2.8. Шина адресует 64 Мбайт памяти, разрядность данных 16 бит, частота до 33 МГц, DMA и Bus-Mastering не поддерживаются. Теоретически допускается до 4080 слотов PC Card в PC. Шина ориентирована на программное конфигурирование адаптеров (переключатели на таких маленьких картах не помещаются). Большинство адаптеров выпускается с поддержкой PnP и предусматривает возможность горячего подключения-отключения — интерфейсные карты могут вставляться и

выниматься без выключения РС. Для обеспечения горячего подключения контакты шин питания имеют большую длину, чем сигнальные, чем обеспечивается их упреждающее подключение и запаздывающее отключение. Два контакта обнаружения карты (Card Detect) короче остальных. Все устройства имеют свою BIOS-поддержку. Несмотря на возможность динамического конфигурирования, в некоторых случаях при изменении конфигурации требуется перезагрузка системы.

Таблица 2.8. Разъем шины PC Card (PCMCIA)

Контакт	Сигнал	Контакт	Сигнал
1	GND	35	GND
2	Data3	36	Card Detect 1#
3	Data 4	37	Data 11
4	Data 5	38	Data 12
5	Data 6	39	Data 13
6	Data 7	40	Data 14
7	Card Enable 1#	41	Data 15
8	Addr 10	42	Card Enable 2#
9	Out Enable#	43	Refresh
10	Addr 11	44	RFU (IOR#)
11	Addr 9	45	RFU (IOW#)
12	Addr 8	46	Addr17
13	Addr 13	47	Addr 18
14	Addr 14	48	Addr 19
15	WrEnable#/Prog#	49	Addr 20
16	Ready/Busy» (IREQ)	50	Addr 21
17	+5 B	51	+5 B
18	Vpp1	52	Vpp2
19	Addr 16	53	Addr 22
20	Addr 15	54	Addr 23
21	Addr 12	55	Addr 24
22	Addr 7	56	Addr 25
23	Addr 6	57	RFU
24	Addr 5	58	Reset
25	Addr 4	59	WAIT#
26	Addr3	60	RFU (INPACK#)
27	Addr 2	61	Register Select#
28	Addr1	62	BatVDet2 (SPKR#)
29	Addr0	63	BatVDet1 (STSCHG#)
30	Data0	64	Data 8
31	Data 1	65	Data 9
32	Data 2	66	Data 10
33	WRProt/(IOCS16#)	67	Card Detect 2#
34	GND	68	GND

Различают 3 типа PC Card. Электрически идентичные, они различаются по габаритам и совместимы снизу вверх (меньшие адаптеры встают в большие гнезда). Адаптер типа 1 имеет размеры 54×85 мм и толщину не более 3,3 мм, типа 2 — размеры 48×75 мм и толщину 5 мм, типа 3 толщину 10,5 мм (однако HDD типа 3 имеет толщину 13 мм!).

Все устройства PC Card имеют минимальное энергопотребление. Существуют предпосылки для введения этой шины как дополнительной и в настольные РС.

Шина *CardBus* с тем же 68-контактным разъемом обеспечивает расширение разрядности данных до 32 бит за счет мультиплексирования шины адреса и данных, обеспечивая обратную совместимость

с PC Card.

Для карт памяти (динамической, статической, постоянной и флэш-памяти) существует стандарт *Miniature Card*, представляющий подмножество шины PC Card. Миниатюрная карта размером 33x38x3,5 мм с 60-контактным разъемом через переходный адаптер может устанавливаться и в слот PC Card типа 2.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение аппаратного интерфейса. Каковы его функции? Чем объясняется наличие интерфейсов различных рангов?
2. В чем особенности передачи информации в параллельном интерфейсе?
3. Сравните скорость передачи при синхронной и асинхронной организации интерфейсов.
4. Перечислите основные топологические схемы соединения устройств. Как в них организуется логическая связь между конкретными устройствами?
5. Что следует понимать под средой интерфейса? Дайте сравнительную характеристику различным средам и укажите области их использования.
6. Какие схемы усилителей-приемников и усилителей-передатчиков могут быть использованы для одно- и двунаправленных линий?
7. Каково назначение арбитража? Как он реализуется в И-41, МПИ?
8. Перечислите шины расширения персональных компьютеров типа IBM PC.
9. Основные отличия ISA, EISA и PC-104.
10. Отличия шин PCI и AGP.
11. Особенности шины PCMCIA.

2.7. Малые интерфейсы периферийных устройств

Группа малых интерфейсов (ранга И4) обеспечивает подключение ПУ к контроллерам; требования, предъявляемые к малым интерфейсам, могут существенно различаться в зависимости от особенностей ПУ. Интерфейсы ПУ со специализированными контроллерами; конструктивно объединенными с самим ПУ не унифицируют, при этом устройство подключается непосредственно к системному интерфейсу. Если же контроллер предназначен для управления несколькими ПУ, то малый интерфейс унифицируют, что позволяет уменьшить номенклатуру контроллеров (посредством контроллеров одного типа можно подключать к ЭВМ различные типы ПУ) и использовать одни и те же ПУ в различных типах вычислительных систем.

Функции управления ПУ разбиваются на два уровня — непосредственного управления механизмами и аппаратурой ПУ, осуществляемого схемами местного управления, и преобразования алгоритмов обмена системного и малого интерфейсов, реализуемого контроллером (выполняющим функции адаптера). Наиболее характерными примерами малых интерфейсов могут служить интерфейсы накопителей на магнитных дисках (НМД) для подключения к групповым контроллерам, интерфейсы параллельный ИРПР и последовательный ИРПС для подключения дисплеев, печатающих устройств, а также интерфейсы для подключения терминалов (стыки). Для унификации контроллеров малых ЭВМ часто использовали «системный интерфейс малых ЭВМ» (SCSI), предназначенный для подключения основных типов ПУ. Малые интерфейсы во многих случаях должны обеспечивать удаление ПУ на значительные расстояния.

2.7.1. Малые интерфейсы мини- и микроЭВМ.

Ниже рассмотрены наиболее распространенные в мини- и микроЭВМ малые интерфейсы, обладающие наибольшей степенью унификации — ИРПР, ИРПС и С2.

ИРПР — параллельный, радиальный, асинхронный симплексный интерфейс (зарубежный аналог — BS 4421) — служит для подключения сравнительно медленных ПУ. Интерфейс унифицирован физически и имеет несколько модификаций логической организации. Линии интерфейса являются однонаправленными и связывают один приемник (П) и один передатчик—источник (И). Функции приемника и источника могут выполняться как контроллером, так и ПУ. Интерфейс обеспечивает возможность параллельной передачи не более 16 бит.

Состав и назначение линий. В обозначениях линий присутствует индекс И или П, означающий, что источником сигнала на данной линии является передатчик (И) или приемник (П); если индекс отсутствует, то источником сигнала является передатчик. Часть линий необязательна. Сигнал Г-И (готовность источника) свидетельствует о готовности источника к работе. Сигнал Г-П (готовность приемника) передается источнику и информирует его о готовности приемника к приему информации. Сигнал строга СТР формируется источником и служит для стробирования информации на линиях передачи данных D(0-15). Сигнал 3-П (запрос приемника) свидетельствует о готовности принять очередной квант информации от источника. Кроме перечисленных могут использоваться линии КР (0-1) для сопровождения младшего и старшего передаваемых байт контролем по четности; С-П (1-8) для

передачи источнику информации о состоянии приемника по окончании операции; С-И (1—8) для передачи управляющей информации приемнику (например, способа контроля, числа передаваемых бит по линиям Д и т.д.). Предусмотрены также линии экрана и 0В (нуль) для создания замкнутой цепи передачи сигналов.

Обмен данными осуществляется в жестко обусловленном режиме «запрос - ответ». Все сигналы определяются на стороне устройства – задатчика. Устройство – исполнитель компенсирует время выполнения операции задержкой ответных сигналов. Взаимосвязь сигналов при выполнении обмена данными, инициируемого источником по сигналу Г-И, показана на рис. 2.33.

Среда интерфейса. В интерфейсе принята инверсная логика. В источнике используются усилители с открытым коллектором с уровнями логической единицы 0-0,4 В и логического нуля 2.4-5.25 В. Усилители в приемнике воспринимают уровни сигнала 0-0,8 В в качестве логической единицы, а 2,5-5,25 — в качестве логического нуля. Длина кабеля не должна превышать 15 м.

Существует несколько модификаций логической организации интерфейса для подключения устройств ввода с перфолент (ИРПР-ПЛ), видеотерминалов (ИРПР-ВТ), устройств печати (ИРПР-ПЧ) и т.д., которые отличаются наличием или отсутствием контроля передаваемой информации, длиной передаваемого слова и назначением отдельных сигналов С-И (1-8) и С-П(1-8).

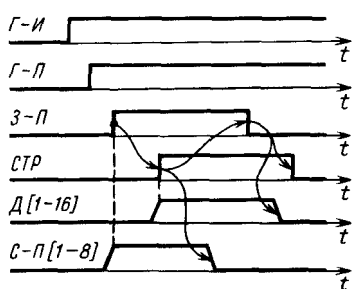


Рис. 2.33. Взаимосвязь сигналов при обмене

ИРПС — последовательный радиальный асинхронный дуплексный интерфейс (зарубежный аналог - Current loop (CL)) служит для подключения к контроллерам асинхронных ПУ. Для ИРПС установлены наборы сигналов, алгоритмы обмена, временные соотношения и требования к физической реализации. В ИРПС организована передача сигналов по принципу токовой петли 20 мА (или 40 мА) по двухпроводной линии связи; допускается использование отдельной линии взаимосвязи, указывающей на состояние ПУ. Передача информации осуществляется асинхронным способом в соответствии с форматом, приведенном на рис. 2.3,6. Стартовый бит соответствует отсутствию тока; число информационных бит составляет 5, 7 или 8; допускается бит контроля по четности, число стоповых бит - 1; 1,5 или 2. В интервале между передачей знаков или слов цепи должны находиться в состоянии единицы (наличие тока 20 мА в цепи). Если ПУ предназначено для приема, то цепь передачи остается разомкнутой. Ток в цепи взаимосвязи означает готовность приемника, а его отсутствие - что приемник не готов к приему нового кванта информации.

Интерфейс ИРПС обеспечивает возможность передачи информации со скоростью 9600 бит/с на расстояние до 500 м. Двухпроводная линия цепи передачи тока выполняется в виде витой пары.

Стык С2. В сетях ЭВМ и системах телеобработки при подключении ЭВМ и терминалов к аппаратуре передачи данных (АПД) используются унифицированные интерфейсы-стыки (С). Наиболее распространенным является стык С2, цепи которого регламентируются ГОСТ 18145-81 и рекомендациями V.24 МККТТ; стык С2 является аналогом интерфейса RS-232С. Стандартом определены скорости передачи данных, типы и число контактов разъема, электрические параметры приемников и передатчиков, виды соединений и процедурные условия.

Стык С2 применяется при синхронной и асинхронной передачах данных по некоммутируемым и коммутируемым каналам связи. Он содержит две группы линий — цепи общего назначения (серия 100) и цепи автоматического установления соединения (серия 200).

Цепи серии 100, общее число которых составляет 36, по назначению могут быть разбиты на четыре категории: заземления, данных, управления и синхронизации. Действия сигналов в этих цепях зависят от основных состояний оконечного оборудования данных (ООД) и аппаратуры передачи данных (АПД) — ВКЛЮЧЕНО и ВЫКЛЮЧЕНО. Несмотря на большое число цепей стыка, данные через него передаются последовательно: для передачи данных в АПД предусмотрена цепь 103, для приема данных — цепь 104. Кроме того, предусмотрены цепи 118 и 119 для организации передачи по обратному каналу с целью проверки принятого сообщения. Для управления передачей служат следующие цепи: ЗАПРОС ПЕРЕДАЧИ (цепь 105), формируемый в ООД и запрашивающий ГОТОВНОСТЬ АПД к следующему циклу; ГОТОВ К ПЕРЕДАЧЕ (цепь 106), подтверждающий

готовность АПД к следующему циклу передачи; АПД ГОТОВА (цепь 107), сигнализирующий о готовности АПД к работе; ТЕРМИНАЛ ГОТОВ (цепь 108), подтверждающий готовность ООД к работе; ИНДИКАТОР ВЫЗОВА (цепь 125), указывающий на получение в АПД вызова от удаленного абонента. Кроме того, в С2 предусмотрены цепи управления обратным каналом. Синхронизация передаваемых данных осуществляется сигналами по цепям 113 и 114 (синхронизация элементов принимаемого сигнала). Остальные цепи служат для задания скорости передачи данных, синхронизации, передачи информации о качестве принимаемых сигналов по каналу связи и т.п.

Цепи серии 200 используются при автоматическом вызове удаленных абонентов и обеспечивают заземление, передачу цифровых данных и знаков управления набором, а также управление АПД при выполнении автоматического набора.

В зависимости от конкретного типа ООД и АПД могут быть использованы не все цепи стыка, поэтому указание на стык С2 еще не означает возможности подключения любых АПД. Стандарт определяет электрические параметры сигналов. Так, состояние «0» в передатчике определяется уровнем от +5 до +15 В, а в приемнике выше +3В; состояние «1» в передатчике соответствует уровню от -5 до -15В, а в приемнике ниже — 3В. Существует вариант стыка С2-ИС, в котором логической «1» соответствует уровень сигнала ниже — 0,3В, а логическому «0»-выше +0,3 В.

Посредством стыка С2 можно подключить ПУ к контроллеру ЭВМ и без использования АПД и каналов связи. Следует при этом иметь в виду, что поскольку АПД выполняет функцию коммутации приема и передачи сообщения, то при непосредственном подключении ПУ к контроллеру через стык С2 необходимо цепь 103 стыка на стороне ПУ соединить с цепью 104 стыка на стороне контроллера, а цепь 103 стыка со стороны ПУ — с цепью 104 на стороне контроллера.

2.7.2. Внешние интерфейсы персональных компьютеров.

Данный раздел посвящен внешним интерфейсам, позволяющим расширять функциональные возможности компьютера, подключая к нему разнообразное периферийное оборудование, и обеспечивать коммуникации с другими компьютерами. Здесь описаны традиционные интерфейсы (LPT-, COM-, GAME- и MIDI-портов), интерфейсы дисковых накопителей, клавиатуры, видеомониторов, шины SCSI, USB и FireWire а также вспомогательные интерфейсы I²C и JTAG.

2.7.2.1. Параллельный интерфейс: LPT-порт

Порт параллельного интерфейса был введен в РС для подключения принтера — отсюда и пошло его название LPT-порт (Line PrinTer — построчный принтер). Хотя через этот же порт подключается и большинство лазерных принтеров, которые по принципу действия не построчные, а постраничные, название «LPT» закрепилось основательно. Связь LPT-порта с принтером осуществляется по интерфейсу Centronics.

2.7.2.1.1. Интерфейс Centronics

Понятие Centronics относится как к набору сигналов и протоколу взаимодействия, так и к 36-контактному разъему, устанавливаемому на принтерах. Назначение сигналов приведено в табл.2.9, а временные диаграммы обмена с принтером - на рис.2.34.

Таблица 2.9.. Сигналы интерфейса Centronics

Сигнал	I/O*	Контакт	Назначение
Strobe#	I	1	Строб данных. Данные фиксируются по низкому уровню сигнала
Data [0:7]	I	2-9	Линии данных. Data 0 (контакт 2) — младший бит
Ack#	O	10	Acknowledge — импульс подтверждения приема байта (запрос на прием следующего). Может использоваться для формирования запроса прерывания
Busy	O	11	Занято. Прием данных возможен только при низком уровне сигнала
PaperEnd	O	12	Высокий уровень сигнализирует о конце бумаги
Select	O	13	Сигнализирует о включении принтера (обычно в принтере соединяется резистором с цепью +5 В)
Auto LF#	I	14	Автоматический перевод строки. При низком уровне принтер, получив символ CR (Carriage Return — возврат каретки), автоматически выполняет и функцию LF (Line Feed — перевод строки)
Error#	O	32	Ошибка: конец бумаги, состояние OFF-Line или внутренняя ошибка принтера
Init#	I	31	Инициализация (сброс в режим параметров умолчания, возврат к началу строки)

Sict In#	I	36	Выбор принтера (низким уровнем). При высоком уровне принтер не воспринимает остальные сигналы интерфейса
GND	-	19-30 33	Общий провод интерфейса

* I/O задает направление (вход/выход) применительно к принтеру.

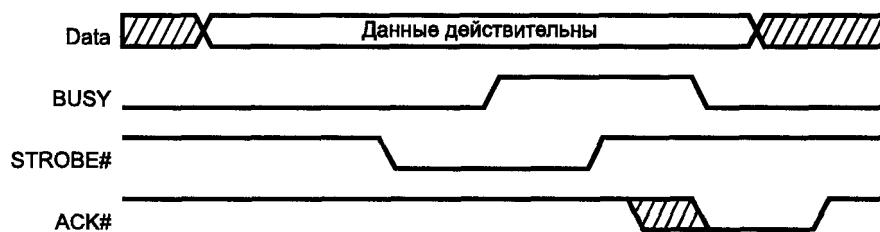


Рис. 2.34. Передача данных по протоколу Centronics

Интерфейс Centronics поддерживается большинством принтеров с параллельным интерфейсом, его отечественным аналогом является интерфейс *ИРПП-М*. Относительно близким родственником интерфейса Centronics является и интерфейс *ИРПП*, имеющий следующие отличия:

- Линии данных инвертированы.
- Протокол квитирования несколько иной.
- Ко всем входным линиям (на принтере) подключены пары согласующих резисторов: 220 Ом к питанию +5 В и 330 Ом к общему проводу. Это позволяет использовать длинные кабели, но перегружает большинство интерфейсных адаптеров РС.
- Сигнал ошибки (и конца бумаги) отсутствует.

Интерфейс ИРПП может быть программно реализован через обычный LPT-порт, но для устранения перегрузки выходных линий согласующие резисторы из принтера желательно удалить. Порт, перегруженный по выходу, может преподносить самые неожиданные сюрпризы (естественно, только неприятные и трудно диагностируемые).

2.7.2.1.2. Традиционный LPT-порт

Традиционный (стандартный) порт SPP (Standard Parallel Port) является однонаправленным портом, на базе которого программно реализуется протокол обмена Centronics. Порт обеспечивает возможность выработки запроса аппаратного прерывания по импульсу на входе ACK#. Сигналы порта выводятся на разъем DB-25S (розетка), установленный непосредственно на плате адаптера (или системной плате) или соединяемый с ней плоским шлейфом. Название и назначение сигналов разъема порта (табл. 2.10) соответствуют интерфейсу Centronics.

Таблица 2.10. Разъем стандартного LPT-порта

Контакт DB-25S	Провод шлейфа	Назначение		
		I/O*	Reg.Bit**	Сигнал
1	1	O/I	CR: 0\	Strobe#
2	3	O(I)	DR: 0	Data 0
3	5	O(I)	DR: 1	Data 1
4	7	O(I)	DR: 2	Data 2
5	9	O(I)	DR: 3	Data 3
6	11	O(I)	DR: 4	Data 4
7	13	O(I)	DR: 5	Data 5
8	15	O(I)	DR: 6	Data 6
9	17	O(I)	DR: 7	Data 7
10	19	I***	SR: 6	Ack#
11	21	I	SR: 7\	Busy
12	23	I	SR: 5	PaperEnd
13	25	I	SR: 4	Select
14	2	O/I	CR: 1\	Auto LF#

15	4	I	SR: 3	Error#
16	6	O/I	CR: 2	Init#
17	8	O/I	CR: 3\	Select In#
18-25	10,12,14, 16	18,20, 22, 24,26	-	-

* I/O задает направление передачи (вход/выход) сигнала порта. O/I обозначает выходные линии, состояние которых считывается при чтении из соответствующих портов вывода; O(I) — выходные линии, состояние которых может быть считано только при некоторых особых условиях (см. ниже).

** Показаны биты регистров управления (CR), состояния (SR) и данных (DR). Символом «\» отмечены инвертированные сигналы (1 в регистре соответствует низкому уровню линии).

*** Вход Ack# соединен резистором (10 кОм) с питанием +5 В.

Стандартный порт имеет *три 8-битных регистра*, расположенных по соседним адресам в пространстве ввода/вывода, начиная с базового адреса порта (BASE).

Запрос аппаратного прерывания (обычно IRQ7 или IRQ5) вырабатывается по отрицательному перепаду сигнала на выводе 10 разъема интерфейса (ACK#) при установке CR.4=1. Во избежании ложных прерываний контакт 10 соединен резистором с шиной +5 В. Прерывание вырабатывается, когда принтер подтверждает прием предыдущего байта.

Процедура вывода байта по интерфейсу Centronics через стандартный порт включает следующие шаги (в скобках приведено требуемое количество шинных операций процессора):

- Вывод байта в регистр данных (1 цикл IOWR#).
- Ввод из регистра состояния и проверка готовности устройства (бит SR.7 - сигнал BUSY). Этот шаг закикливается до получения готовности или до срабатывания программного тайм-аута (минимум 1 цикл IORD#).
- По получении готовности выводом в регистр управления устанавливается строб данных, а следующим выводом строб снимается (2 цикла IOWR#). Обычно для того, чтобы переключить только один бит (строб), регистр управления предварительно считывается, что добавляет еще один цикл IORD#.

Из описания этой процедуры видно, что для вывода одного байта требуется по меньшей мере 4-5 операций ввода/вывода с регистрами порта (это в лучшем случае, когда готовность обнаружена по первому чтению регистра состояния). Отсюда и главный недостаток при выводе через стандартный порт — невысокая скорость обмена при значительной загрузке процессора. Стандартный порт удается разогнать лишь до скоростей порядка 100-150 Кбайт/с при полной загрузке процессора, что сегодня уже явно недостаточно для печати на лазерный принтер. Другой недостаток — функциональный — сложность использования в качестве порта ввода.

Стандартный порт сильно асимметричен — при наличии 12 линий (и бит), нормально работающих на вывод, на ввод работает только 5 линий состояния. Если необходима симметричная двунаправленная связь, на всех стандартных портах работоспособен *режим полубайтного обмена* — Nibble Mode. В этом режиме, называемым также и Hewlett Packard Bi-tronics, одновременно передаются 4 бита данных, пятая линия используется для квитирования. Таким образом, каждый байт передается за два цикла, а каждый цикл требует по крайней мере тех же пяти операций ввода/вывода, что нужны для вывода по протоколу Centronics.

2.7.2.1.3. Расширения параллельного порта

Недостатки стандартного порта частично устраняли новые типы портов, появившихся в компьютерах семейства PS/2.

Двунаправленный порт 1 (Type 1 parallel port) — интерфейс, введенный с PS/2. Такой порт кроме стандартного режима может работать в режиме ввода или двунаправленном. Протокол обмена формируется программно, а для указания направления передачи в регистр управления порта введен специальный бит: при CR.5=0 буфер данных работает на вывод, при CR.5=1 — на ввод. Иногда этот порт, называемый также enhanced bi-directional, путают с EPP, но это совершенно различные спецификации. Данный тип порта прижился и в обычных (не PS/2) компьютерах.

Порт с прямым доступом к памяти (Type 3 DMA parallel port) применялся в PS/2 моделях 57, 90, 95. Этот тип был введен для повышения пропускной способности и разгрузки процессора при выводе на принтер. Программе, работающей с данным портом, требовалось только задать блок данных в памяти, подлежащих выводу, и вывод по протоколу Centronics производился без участия процессора.

Несколько позже появились и другие адаптеры LPT-портов, реализующие протокол обмена Centronics аппаратно — Fast Centronics, некоторые из них использовали FIFO-буфер данных — Parallel Port FIFO Mode. Не будучи стандартизованными, такие порты разных производителей требовали использования собственных специальных драйверов. Многие программы, использующие прямое управление регистрами портов, «не догадывались» о возможностях их более эффективного

использования. Такие порты часто входили в состав мультикарт с шиной VLB, существуют их варианты и с шиной ISA, а также установленные непосредственно на системной плате.

2.7.2.1.4. Стандарт IEEE 1284-1994

Стандарт на параллельный интерфейс *IEEE 1284*, принятый в 1994 году, определяет термины *SPP*, *EPP* и *ECP*. Стандарт определяет 5 режимов обмена данными, метод согласования режима, физический и электрический интерфейсы. Согласно IEEE 1284, возможны следующие *режимы* обмена данными через параллельный порт:

- Compatibility Mode — однонаправленный (вывод) по протоколу Centronics. Этот режим соответствует стандартному (традиционному) порту SPP.
- Nibble Mode — ввод байта в два цикла (по 4 бита), используя для приема линии состояния. Этот режим обмена может использоваться на любых адаптерах.
- Byte Mode — ввод байта целиком, используя для приема линии данных. Этот режим работает только на портах, допускающих чтение выходных данных (Bi-Directional или PS/2 Type 1).
- EPP (Enhanced Parallel Port) Mode — двунаправленный обмен данными, при котором управляющие сигналы интерфейса генерируются аппаратно во время цикла обращения к порту (чтения или записи в порт). Эффективен при работе с устройствами внешней памяти, адаптерами локальных сетей.
- ECP (Extended Capability Port) Mode — двунаправленный обмен данными с возможностью аппаратного сжатия данных по методу RLE (Run Length Encoding) и использования FIFO-буферов и DMA. Управляющие сигналы интерфейса генерируются аппаратно. Эффективен для принтеров и сканеров.

В современных АТ-машинах с LPT-портом на системной плате режим порта — SPP, EPP, ECP или их комбинация задается в BIOS Setup. Режим Compatibility Mode, как это и следует из его названия, полностью соответствует вышеописанному стандартному порту SPP. Остальные режимы более подробно будут рассмотрены ниже.

Физический и электрический интерфейс.

Стандарт IEEE 1284 определяет *физические характеристики приемников и передатчиков* сигналов. Спецификации стандартного порта не задавали типов выходных схем, предельных значений величин нагрузочных резисторов и емкостей, вносимых цепями и проводниками. На относительно невысоких скоростях обмена различие этих параметров, как правило, не вызывало проблем совместимости. Однако расширенные режимы (функционально и по скорости передачи) требуют более четких спецификаций. IEEE 1284 определяет *два уровня интерфейсной совместимости*. *Первый уровень* (Level I) определен для устройств, не претендующих на высокоскоростные режимы обмена, но использующих возможности смены направления передачи данных. *Второй уровень* (Level II) определен для устройств, работающих в расширенных режимах, с высокими скоростями и длинными кабелями. К *передатчикам* предъявляются следующие требования:

- Уровни сигналов без нагрузки не должны выходить за пределы $-0,5... +5,5$ В.
- Уровни сигналов при токе нагрузки 14 мА должны быть не ниже +2,4 В для высокого уровня (V_{OH}) и не выше +0,4 В для низкого уровня (V_{OL}) на постоянном токе.
- Выходной импеданс R_O , измеренный на разъеме, должен составлять $50(\pm)5$ Ом на уровне $V_{OH}-V_{OL}$. Для обеспечения заданного импеданса в некоторых случаях используют последовательные резисторы в выходных цепях передатчика. Согласование импеданса передатчика и кабеля снижает уровень импульсных помех.
- Скорость нарастания (спада) импульса должна находиться в пределах 0,05-0,4 В/нс.

Требования к *приемникам*:

- Допустимые пиковые значения сигналов $-2,0...+7,0$ В (выдерживаемые без разрушений и ошибок в работе).
- Пороги срабатывания должны быть не выше 2,0 В (V_{IH}) для высокого уровня и не ниже 0,8 В (V_{IL}) для низкого.
- Приемник должен иметь гистерезис в пределах 0,2-1,2 В (гистерезисом обладают специальные микросхемы — триггеры Шмидта, у обычных логических микросхем его нет).
- Входной ток микросхемы (втекающий и вытекающий) не должен превышать 20 мкА, входные линии соединяются с шиной питания +5 В резистором 1,2 кОм.
- Входная емкость не должна превышать 50 пФ.

Когда появилась спецификация ECP, фирма Microsoft (!) рекомендовала применение динамических терминаторов на каждую линию интерфейса. Однако в настоящее время лучше следовать спецификации IEEE 1284, в которой динамические терминаторы не применяются. Рекомендованные схемы входных, выходных и двунаправленных цепей приведены на рис. 2.35.

Стандарт IEEE 1284 определяет и три типа используемых *разъемов*. Типы А (DB-25) и В (Centronics-36) используются в традиционных кабелях подключения принтера, тип С — новый

малогобаритный 36-контактный разъем.

Интерфейсные *кабели*, традиционно используемые для подключения принтеров, обычно имеют от 18 до 25 проводников, в зависимости от числа проводников цепи GND. Эти проводники могут быть как перевитыми, так и нет. К экранированию кабеля жестких требований не предъявлялось. Такие кабели вряд ли будут надежно работать на скорости передачи 2 Мбайт/с и при длине более 2 метра. Стандарт IEEE 1284 регламентирует и *свойства кабелей*:

- Все сигнальные линии должны быть перевитыми с отдельными обратными (общими) проводами.
- Каждая пара должна иметь импеданс $62(\pm)6$ Ом в частотном диапазоне 4-16 МГц.
- Уровень перекрестных помех между парами не должен превышать 10%.
- Кабель должен иметь экран (фольгу), покрывающий не менее 85% внешней поверхности. На концах кабеля экран должен быть окольцован и соединен с контактом разъема.

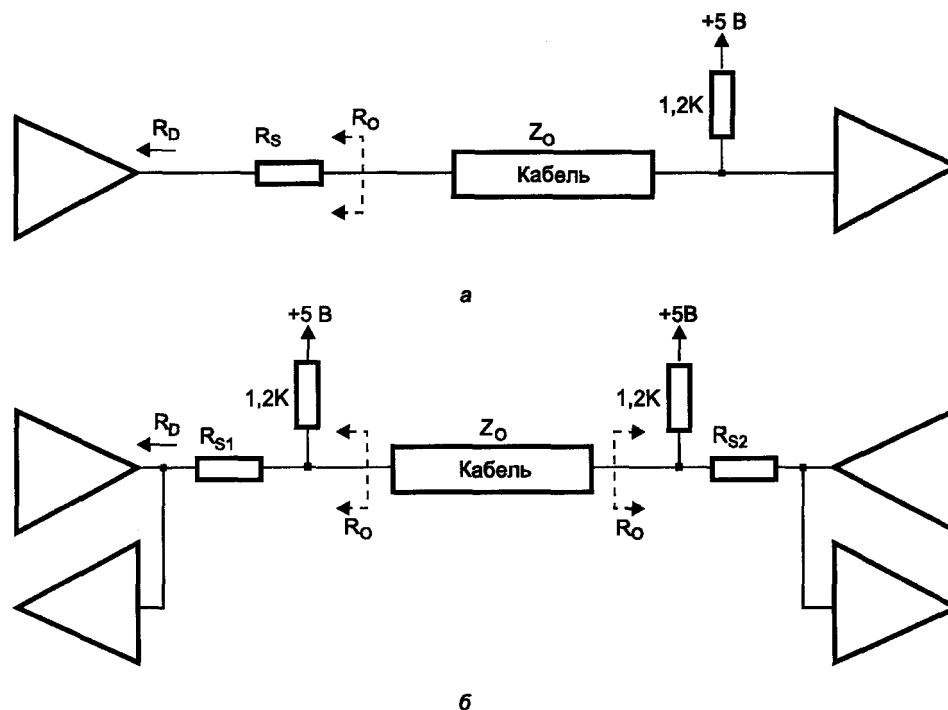


Рис. 2.35. Оконечные цепи линий интерфейса IEEE 1284:
а — однонаправленные линии, б — двунаправленные

Кабели, удовлетворяющие этим требованиям, маркируются надписью «*IEEE Std 1284-1994 Compliant*». Они могут иметь длину до 10 метров, обозначения типов приведены в табл. 2.11.

Таблица 2.11. Типы кабелей IEEE 1284-1994

Тип	Расшифровка	Разъем 1	Разъем 2
AMAM	Type A Male — Type A Male	A (вилка)	A (вилка)
AMAF	Type A Male — Type A Female	A (вилка)	A (розетка)
AB	Type A Male — Type B Plug — стандартный кабель к принтеру	A (вилка)	B
Тип	Расшифровка	Разъем 1	Разъем 2
AC	Type A Male — Type C Plug-- новый кабель к принтеру	A (вилка)	C
BC	Type B Plug — Type C Plug	B	C
CC	Type C Plug — Type C Plug	C	C

Режимы передачи данных

Стандарт IEEE 1284 определяет пять *режимов обмена*, один из которых полностью соответствует традиционному стандартному программно-управляемому выводу по протоколу Centronics. Остальные режимы используются для расширения функциональных возможностей и повышения производительности интерфейса. Стандарт определяет способ согласования режима, по которому

программное обеспечение может определить режим, доступный и хосту (в нашем случае это PC), и периферийному устройству (или присоединенному второму компьютеру).

Режимы нестандартных портов, реализующих протокол обмена Centronics аппаратно («Fast Centronics», «Parallel Port FIFO Mode»), могут и не являться режимами IEEE1284, несмотря на наличие в них черт EPP и ECP.

При описании режимов обмена фигурируют следующие понятия:

- *Хост* — компьютер, обладающий параллельным портом.
- *ПУ* — периферийное устройство, подключаемое к этому порту (им может оказаться и другой компьютер). В обозначениях сигналов Ptr обозначает передающее периферийное устройство.
- *Прямой канал* — канал вывода данных от хоста в ПУ.
- *Обратный канал* — канал ввода данных в хост из ПУ.

Полубайтный режим ввода — Nibble Mode

Режим полубайтного обмена является наиболее общим решением задачи двунаправленного обмена данными, поскольку может работать на всех стандартных (традиционных) портах. Все эти порты имеют 5 линий ввода состояния, используя которые периферийное устройство может посылать в PC байт тетрадами (nibble — полубайт, 4 бита) за два приема. К сожалению, сигнал ACK#, вызывающий прерывание, которое может использоваться в данном режиме, соответствует биту 6 регистра состояния, что усложняет программные манипуляции с битами при сборке байта. Назначение сигналов порта приведено в табл. 2.12, временные диаграммы — на рис. 2.36.

Таблица 2.12. Сигналы LPT-порта в полубайтном режиме ввода

Контакт	Сигнал SPP	I/O	Использование сигнала при приеме данных в Nibble Mode
14	AUTOFEED#	O	HostBusy — сигнал квитирования. Низкий уровень означает готовность к приему тетрады, высокий подтверждает прием тетрады
17	SELECTING	O	Высокий уровень указывает на обмен в режиме IEEE 1284 (в режиме SPP уровень низкий)
10	ACK#	I	PtrClk. Низкий уровень означает действительность тетрады, переход в высокий — ответ на сигнал HostBusy
11	BUSY	I	Прием бита данных 3, затем бита 7
12	PE	I	Прием бита данных 2, затем бита 6
13	SELECT	I	Прием бита данных 1, затем бита 5
15	ERROR#	I	Прием бита данных 0, затем бита 4

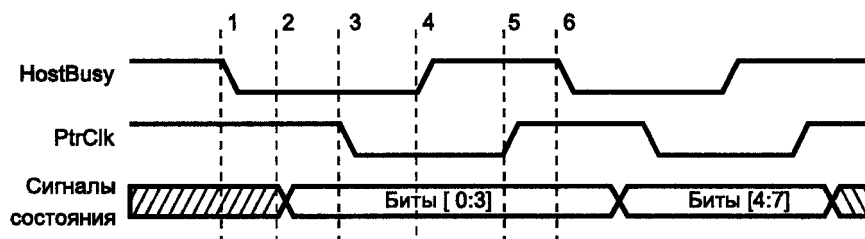


Рис. 2.36. Прием данных в Nibble Mode

Прием байта данных в полубайтном режиме состоит из следующих фаз:

1. Хост сигнализирует о готовности приема данных установкой низкого уровня на линии HostBusy.
2. ПУ в ответ помещает тетраду на входные линии состояния.
3. ПУ сигнализирует о действительности тетрады установкой низкого уровня на линии PtrClk.
4. Хост устанавливает высокий уровень на линии HostBusy, указывая на занятость приемом и обработкой тетрады.
5. ПУ отвечает установкой высокого уровня на линии PtrClk.
6. Шаги 1-5 повторяются для второй тетрады.

Полубайтный режим является способом приема данных с самой большой загрузкой процессора, и поднять скорость обмена выше 50 Кбайт/с практически не удастся. Безусловное его преимущество в том, что он работает на *всех портах*. Его применяют в тех случаях, когда прием данных от устройства производится в небольших объемах (например, для связи с принтерами). Однако использование Nibble Mode для связи с адаптерами локальных сетей, внешними дисковыми накопителями и CD-ROM требует от пользователя определенной выдержки пользователя.

Двунаправленный байтный режим *Byte Mode*

Данный режим обеспечивает прием данных с использованием двунаправленного порта, у которого выходной буфер данных может отключаться установкой бита CR.5=1. Как и в стандартном и в полубайтном режиме, данный режим является программно-управляемым — все сигналы квитирования анализируются и устанавливаются программным драйвером. Назначение сигналов порта приведено в табл. 2.13, временные диаграммы — на рис. 2.37.

Таблица 2.13. Сигналы LPT-порта в байтном режиме ввода/вывода

Конт акт	Сигнал SPP	Имя в Byte Mode	I/O	Описание
1	STROBE»	HostClk	O	Импульс (низкого уровня) подтверждает прием байта в конце каждого цикла
14	AUTOFEED#	HostBusy	O	Сигнал квитирования. Низкий уровень означает готовность хоста принять байт, высокий уровень устанавливается по приему байта
17	SELECTING	1284Active	O	Высокий уровень указывает на обмен в режиме IEEE 1284. (В режиме SPP уровень низкий)
16	INIT#	INIT#	O	Не используется, установлен высокий уровень
10	ACK#	PtrClk	I	Устанавливается в низкий уровень для индикации действительности данных на линиях DATA[7:0]. В низкий уровень устанавливается в ответ на сигнал HostBusy
11	BUSY	PtrBusy	I	Состояние занятости прямого канала
12	PE	AckDataReq*	I	Устанавливается ПУ для указания на наличие обратного канала передачи*
13	SELECT	Xflag*	I	Флаг расширяемости*
15	ERRORS	DataAvai'Uf*	I	Устанавливается ПУ для указания на наличие обратного канала передачи*
2-9	DATA[7:0]	DATA[7:0]	I/O	Двунаправленный (прямой и обратный) канал данных

*Сигналы действуют в последовательности согласования (см. ниже).

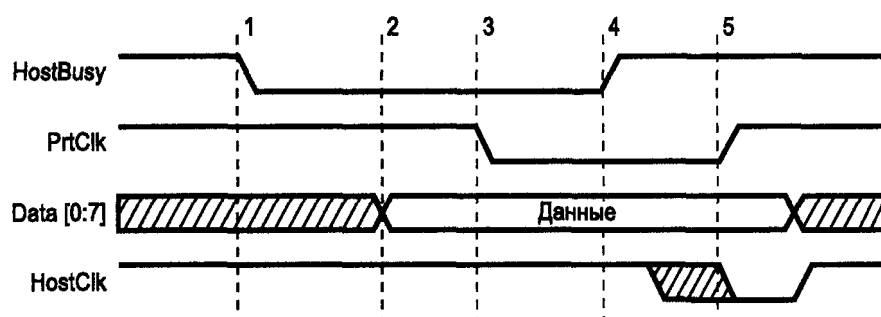


Рис. 2.37. Прием данных в *Byte Mode*

Прием байта данных в байтном режиме состоит из следующих фаз:

1. Хост сигнализирует о готовности приема данных установкой низкого уровня на линии HostBusy.
2. ПУ в ответ помещает байт данных на линии DATA[7:0].
3. ПУ сигнализирует о действительности байта установкой низкого уровня на линии PtrCLK.
4. Хост устанавливает высокий уровень на линии HostBusy, указывая на занятость приемом и обработкой байта.
5. ПУ отвечает установкой высокого уровня на линии PtrCLK.
6. Хост подтверждает прием байта импульсом HostClk.
7. Шаги 1-6 повторяются для каждого следующего байта.

Побайтный режим позволяет поднять скорость обратного канала до скорости прямого канала в стандартном режиме. Однако работать он может *только на двунаправленных портах*, которые применяются в основном лишь на малораспространенных машинах PS/2.

Режим EPP

Протокол EPP (Enhanced Parallel Port — улучшенный параллельный порт) был разработан задолго до принятия IEEE 1284 компаниями Intel, Xircom и Zenith Data Systems. Он предназначен для повышения производительности обмена по параллельному порту. EPP был реализован в чипсете Intel 386SL (микросхема 82360) и впоследствии принят множеством компаний как дополнительный протокол параллельного порта. Версии протокола, реализованные до принятия IEEE 1284, немного отличались от нынешнего стандарта.

Протокол EPP обеспечивает четыре типа циклов обмена:

- Цикл записи данных.
- Цикл чтения данных. 4-
- Цикл записи адреса. 4
- Цикл чтения адреса.

Назначение циклов записи и чтения данных ясно из их названия. Адресные циклы могут быть использованы для передачи адресной, канальной и управляющей информации. Циклы обмена данными явно отличаются от адресных циклов применяемыми стробирующими сигналами. Назначение сигналов порта EPP и их связь с сигналами SPP приведены в табл. 2.14.

Таблица 2.14. Сигналы LPT-порта в режиме ввода/вывода EPP

Конт акт	Сигнал SPP	Имя в EPP	I/O	Описание
1	STROBE#	WRITE#	O	Низкий уровень — признак цикла записи, высокий — чтения
14	AUTOFEED#	DATASTB#	O	Строб данных. Низкий уровень устанавливается в циклах передачи данных
17	SELECTIN#	ADDRSTB#	O	Строб адреса. Низкий уровень устанавливается в адресных циклах
16	INIT#	RESET#	O	Сброс ПУ (низким уровнем)
10	ACK#	INTR#	I	Прерывание от ПУ
11	BUSY	WAIT#	I	Сигнал квитирования. Низкий уровень разрешает начало цикла (установку строга в низкий уровень), переход в высокий — разрешает завершение цикла (снятие строга)
2-9	D[8:0]	AD[8:0]	I/O	Двухнаправленная шина адреса/данных
12	PE	AckDataReq*	I	Используется по усмотрению разработчика периферии
13	SELECT	Xflag*	I	Используется по усмотрению разработчика периферии
15	ERROR#	DataAvail*	I	Используется по усмотрению разработчика периферии

* Сигналы действуют в последовательности согласования (см. ниже).

EPP-порт имеет расширенный набор регистров (табл. 2.15), который занимает в пространстве ввода/вывода 5-8 смежных байт.

Таблица 2.15. Регистры EPP- порта

Имя регистра	Смещение	Режим	R/W	Описание
SPP Data Port	+0	SPP/EPP	W	Регистр данных стандартного порта
SPP Status Port	+1	SPP/EPP	R	Регистр состояния стандартного порта
SPP Control Port	+2	SPP/EPP	W	Регистр управления стандартного порта
EPP Address Port	+3	EPP	R/W	Регистр адреса EPP. Чтение или запись в него генерирует связанный цикл чтения или записи адреса EPP
EPP Data Port	+4	EPP	R/W	Регистр данных EPP. Чтение (запись) генерирует связанный цикл чтения (записи) данных EPP
Not Defined	+5...+7	EPP	N/A	В некоторых контроллерах могут использоваться для 16-32-битных операций ввода/вывода

В отличие от программно-управляемых режимов, описанных выше, внешние сигналы EPP-порта (как информационные, так и сигналы квитирования) для каждого цикла обмена формируются аппаратно по одной операции записи или чтения в регистр порта. На рис. 2.38 приведена диаграмма цикла записи данных, иллюстрирующая внешний цикл обмена, вложенный в цикл записи системной

шины процессора (иногда эти циклы называют *связанными*). Адресный цикл записи отличается от цикла данных только используемым стробом внешнего интерфейса.

Цикл записи данных состоит из следующих фаз:

1. Программа выполняет цикл записи (IOWR#) в порт 4 (EPP Data Port).
2. Адаптер устанавливает сигнал Write# (низкий уровень), и данные помещаются на выходную шину LPT-порта.
3. При низком уровне WAIT# устанавливается строб данных.
4. Порт ждет подтверждения от ПУ (перевода WAIT# в высокий уровень).
5. Снимается строб данных - внешний EPP-цикл завершается.
6. Завершается процессорный цикл ввода/вывода.
7. ПУ устанавливает низкий уровень WAIT#, указывая на возможность начала следующего цикла.

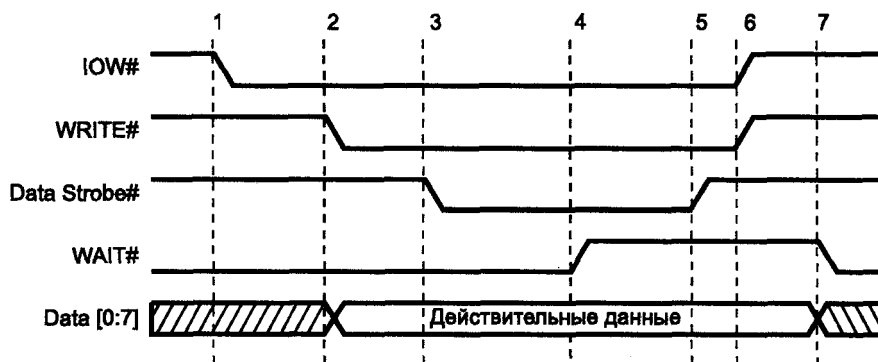


Рис. 2.38. Цикл записи данных EPP

Пример адресного цикла чтения приведен на рис. 2.39, цикл чтения данных отличается только применением другого стробирующего сигнала. После объяснения цикла записи эти типы циклов особых пояснений не требуют.

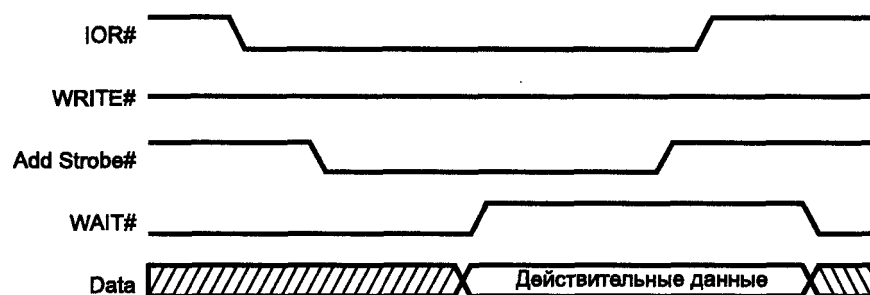


Рис. 2.39. Адресный цикл чтения EPP

Главной отличительной чертой EPP является выполнение внешней передачи во время одного процессорного цикла ввода/вывода. Это позволяет достигать высоких скоростей обмена (0,5-2 Мбайт/с).. Периферийное устройство может регулировать длительность всех фаз обмена с помощью всего лишь одного сигнала WAIT#.

Режим ECP

Протокол ECP (Extended Capability Port — порт с расширенными возможностями) был предложен фирмами Hewlett Packard и Microsoft как прогрессивный режим связи с периферией типа принтеров и сканеров. Как и EPP, данный протокол обеспечивает высокопроизводительный двунаправленный обмен данными хоста с периферийными устройствами.

Протокол ECP в обоих направлениях обеспечивает два типа циклов:

- Циклы записи и чтения данных.
- Командные циклы записи и чтения.

Командные циклы подразделяются на два типа: передача канальных адресов и счетчика RLC (Run-Length Count).

В отличие от EPP вместе с протоколом ECP сразу появился и стандарт на программную (регистровую) модель реализации его адаптера, изложенный в документе «The IEEE 1284 Extended Capabilities Port Protocol and ISA Interface Standard» компании Microsoft. Этот документ определяет специфические свойства реализации протокола, не заданные стандартом IEEE 1284:

- компрессия данных хост-адаптером по методу RLE;
- буферизация FIFO для прямого и обратного каналов;
- применение DMA и программного ввода/вывода.

Компрессия в реальном времени по методу RLE (Run-Length Encoding) позволяет достичь коэффициента сжатия до 64:1 при передаче растровых изображений, которые обычно имеют длинные строки повторяющихся байт. Естественно, компрессию можно использовать, только если ее поддерживает и хост, и периферийное устройство.

Канальная адресация ECP применяется для адресации множества логических устройств, входящих в одно физическое. Например, в комбинированном устройстве факс/принтер/модем, подключаемом только к одному параллельному порту, возможен одновременный прием факса и печать на принтере. В режиме SPP, если принтер установит сигнал занятости, канал будет занят ожидающими данными, пока принтер их не примет. В режиме ECP программный драйвер просто адресуется к другому *логическому каналу* того же порта.

Как и в других режимах 1284, протокол ECP переопределяет сигналы SPP (табл. 2.16).

Таблица 2.16. Сигналы LPT-порта в режиме ввода/вывода ECP

Контакт	Сигнал SPP	Имя в ECP	I/O	Описание
1	STROBE#	HostClk	O	Используется в паре с PeriphAck для передачи в прямом направлении (вывод)
14	AUTOFEED#	HostAck	O	Индицирует тип команда/данные при передаче в прямом направлении. Используется в паре с PeriphClk для передачи в обратном направлении
17	SELECTIN#	1284Active	O	Высокий уровень указывает на обмен в режиме IEEE 1284. (В режиме SPP уровень низкий)
16	INIT#	ReverseRequest#	O	Низкий уровень переключает канал на передачу в обратном направлении
10	ACK#	PeriphClk	I	Используется в паре с HostAck для передачи в обратном направлении
11	BUSY	PeriphAck	I	Используется в паре с HostClk для передачи в обратном направлении. Индицирует тип команда/данные при передаче в обратном направлении
12	PE	AckReverse#	I	Переводится в низкий уровень как подтверждение сигналу ReverseRequest#
13	SELECT	Xflag*	I	Флаг расширяемости Extensibility flag
15	ERROR#	PeriphRequest#*	I	Устанавливается ПУ для указания на доступность (наличие) обратного канала передачи*
2-9	Data[0:7]	Data[0:7]	I/O	Двунаправленный канал данных

* Сигналы действуют в последовательности согласования (см. ниже).

Адаптер ECP тоже генерирует внешние протокольные сигналы квитирования аппаратно, но его работа существенно отличается от режима EPP.

На рис. 2.40, а приведена диаграмма двух циклов прямой передачи: за циклом данных следует командный цикл. *Тип цикла* задается уровнем на линии HostAck: в цикле данных — высокий, в командном цикле — низкий. В командном цикле байт может содержать *канальный адрес* или *счетчик RLE*. Отличительным признаком является бит 8 (старший): если он нулевой, то биты 1-7 содержат счетчик RLE (0-127), если единичный — то канальный адрес. На рис. 2.40, б приведена пара циклов обратной передачи.

Прямая передача данных на внешнем интерфейсе состоит из следующих шагов:

1. Хост помещает данные на шину канала и устанавливает признак цикла данных (высокий уровень) или команды (низкий уровень) на линии HostAck.
2. Хост устанавливает низкий уровень на линии HostClk, указывая на действительность данных.
3. ПУ отвечает установкой высокого уровня на линии PeriphAck.
4. Хост устанавливает высокий уровень линии HostClk, и этот перепад может использоваться для фиксации данных в ПУ.
5. ПУ устанавливает низкий уровень на линии PeriphAck для указания на готовность к приему следующего байта.

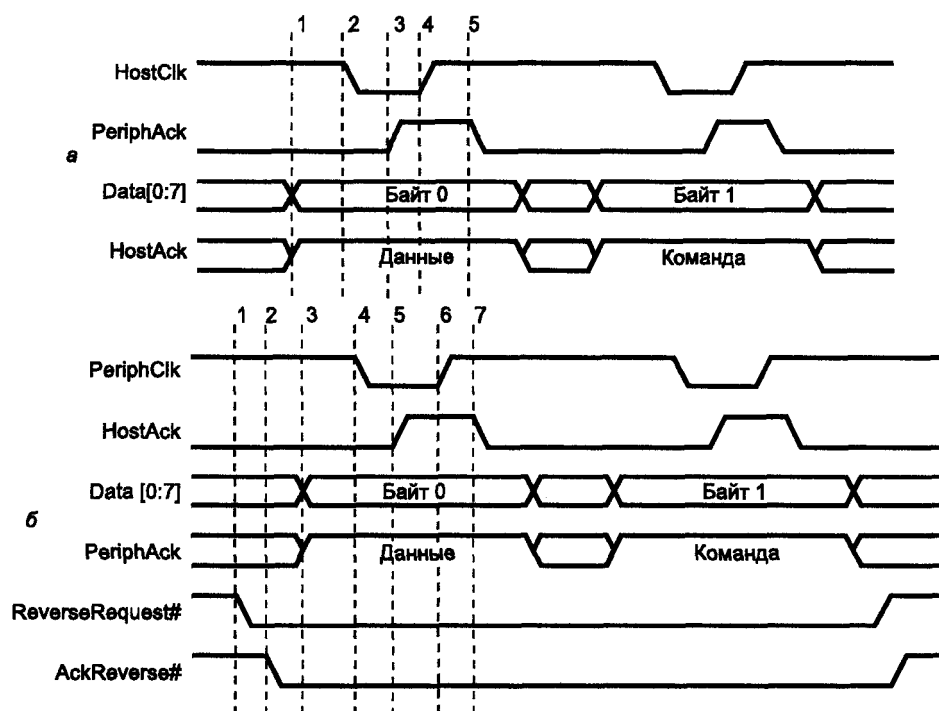


Рис. 2.40. Передача в режиме ECP: а — прямая, б — обратная

Поскольку передачи в ECP разделены FIFO-буферами, которые могут присутствовать на обеих сторонах интерфейса, важно понимать, на каком этапе данные можно будет считать переданными. Данные считаются *переданными* на шаге 4, когда линия HostClk переходит в высокий уровень. В этот момент модифицируются счетчики переданных и принятых байт. В протоколе ECP есть условия, вызывающие прекращение обмена между шагами 3 и 4, и тогда эти данные не должны рассматриваться как переданные.

Из рис. 2.40 видно и другое отличие ECP от EPP. Протокол EPP позволяет драйверу чередовать циклы прямой и обратной передачи, не запрашивая подтверждения на смену направления. В ECP *смена направления* должна быть согласована: хост запрашивает реверс установкой ReverseRequest#, после чего он должен дождаться его подтверждения сигналом AckReverse#. Только после этого возможна передача данных в другом направлении. Поскольку предыдущий цикл мог выполняться по прямому доступу, драйвер должен дождаться завершения прямого доступа или прервать его, выгрузить обратно буфер FIFO, определив точное значение счетчика переданных байт, и только после этого запрашивать реверс.

Обратная передача данных состоит из следующих шагов:

1. Хост запрашивает изменение направления канала, устанавливая низкий уровень на линии ReverseRequest#.
2. ПУ разрешает смену направления установкой низкого уровня на линии Ack-Reverse#.
3. ПУ помещает данные на шину канала и устанавливает признак цикла данных (высокий уровень) или команды (низкий уровень) на линии PeriphAck.
4. ПУ устанавливает низкий уровень на линии PeriphClk, указывая на действительность данных.
5. Хост отвечает установкой высокого уровня на линии HostAck.
6. ПУ устанавливает высокий уровень линии PeriphClk, и этот перепад может использоваться для фиксации данных хостом.
7. Хост устанавливает низкий уровень на линии HostAck для указания на готовность к приему следующего байта.

Режимы и регистры ECP-порта

Программный интерфейс и регистры ECP для адаптеров IEEE 1284 определяет спецификация Microsoft. Согласно этой спецификации определены режимы (табл. 2.17), в которых может функционировать адаптер. Эти режимы задаются полем Mode регистра ECR (биты [7:5]).

Регистровая модель адаптера ECP (табл. 2.18) использует свойства архитектуры стандартной шины и адаптеров ISA, согласно которой для дешифрации адреса портов ввода/вывода использовались только 10 младших линий шины адреса. Старшие линии игнорируются, поэтому обращения по адресам, например, Port, Port+400h, Port+800h... будут восприниматься как обращения к адресу Port, лежащему в диапазоне 0-3FFh. Современные PC и адаптеры декодируют большее количество адресных бит, поэтому обращения по адресам, например, 0x378h и 0x778h будут адресованы двум различным регистрам. Помещение дополнительных регистров ECP «за спину»

регистров стандартного порта (смещение 400-402h) преследует две цели: во-первых, эти адреса никогда не использовались традиционными адаптерами и их драйверами, и их использование для ЕСР не приведет к стеснению доступного адресного пространства ввода/вывода. Во-вторых, этим обеспечивается совместимость со старыми адаптерами на уровне режимов 000-001 и возможность определения присутствия ЕСР-адаптера попыткой обращения к его расширенным регистрам.

Таблица 2.17. Режимы ЕСР-порта

Режим	Название	Описание
000	SPPmode	Стандартный (традиционный) режим
001	Bi-directional mode (Byte mode)	Двунаправленный порт (типа 1 для PS/2)
010	Fast Centronics	Однонаправленный с использованием FIFO и DMA
011	ЕСР Parallel Port mode	ЕСР
100	EPP Parallel Port mode*	Перевод в режим EPP
101	(reserved)	-
110	Test mode	Тестирование работы FIFO и прерываний
111	Configuration mode	Доступ к конфигурационным регистрам

* Этот режим не входит в спецификацию Microsoft, но трактуется как EPP контроллером SMC FDC37C665/666 и многими другими контроллерами 1284.

Каждому режиму ЕСР соответствуют (и доступны) свои функциональные регистры. Переключение режимов осуществляется записью в регистр ECR. «Дежурными» режимами, включаемыми по умолчанию, являются режимы 000 или 001. В любом из них работает полубайтный режим ввода (Nibble Mode). Из этих режимов всегда можно переключиться в любой другой, но из старших режимов (010-111) переключение возможно только в 000 или 001. Для корректной работы интерфейса перед выходом из старших режимов необходимо дождаться завершения обмена по прямому доступу и опустошения FIFO-буфера.

Таблица 2.18. Регистры ЕСР

Смещение	Имя	R/W	Режимы ЕСР*	Назначение
000	DR	R/W	000-001	Data Register
000	ЕСРАFIFO	R/W	011	ЕСР Address FIFO
001	SR	R/W	Все	Status Register
002	CR	R/W	Все	Control Register
400	SDFIFO	R/W	010	Parallel Port Data FIFO
400	ЕСРDFIFO	R/W	011	ЕСР Data FIFO
400	TFIFO	R/W	110	Test FIFO
400	CNFGA	R	111	Configuration Register A
401	CNFGB	R/W	111	Configuration Register B
402	ЕСР	R/W	Все	Extended Control Register

* Регистры доступны только в указанных режимах (режим задается битами 7-5 регистра ECR).

Когда порт находится в стандартном или двунаправленном режимах (режимы 000 и 001), первые три регистра полностью совпадают с регистрами стандартного порта. Таким образом обеспечивается совместимость драйвера со старыми адаптерами и старых драйверов с новыми адаптерами.

По интерфейсу с программой ЕСР-порт напоминает EPP: после установки режима (записью кода в регистр ECR) обмен данными с устройством сводится к операциям чтения или записи в соответствующие регистры. За состоянием (заполнением) FIFO-буфера наблюдают либо по опросу (чтением регистра ECR), либо по обслуживанию сервисных прерываний от порта. Весь протокол квитирования генерируется адаптером аппаратно. Обмен данными с ЕСР-портом кроме явного программного возможен и по прямому доступу к памяти (каналу DMA), что эффективно при передаче больших блоков данных.

Развитие стандарта IEEE 1284

Кроме основного стандарта IEEE 1284, который по состоянию на 1997 год уже был принят, в стадии проработки находились новые стандарты, не отменяющие его, а определяющие дополнительные возможности. К ним относятся:

IEEE P1284.1 «Standard for Information Technology for Transport Independent Printer/Scanner Interface (TIP/SI)». Этот стандарт разрабатывался для управления и обслуживания сканеров и принтеров на основе протокола NPAP (Network Printing Alliance Protocol).

IEEE P1284.2 «Standard for Test, Measurement and Conformance to IEEE Std. 1284» — стандарт для тестирования портов, кабелей и устройств на совместимость с IEEE 1284.

IEEE P1284.3 «Standard for Interface and Protocol Extensions to IEEE Std. 1284 Compliant Peripheral and Host Adapter Ports» — стандарт на драйверы и использование устройств прикладным программным обеспечением. Были приняты спецификации BIOS для использования EPP драйверами DOS. Прорабатывался стандарт на разделяемое использование одного порта цепочкой устройств или группой устройств, подключаемых через мультиплексор.

IEEE P1284.4 «Standard for Data Delivery and Logical Channels for IEEE Std. 1284 Interfaces». Этот стандарт направлен на реализацию пакетного протокола достоверной передачи данных через параллельный порт. Исходной точкой был принят протокол MLC (Multiple Logical Channels) фирмы Hewlett-Packard, однако совместимость с ним в окончательной версии стандарта не гарантировалась.

2.7.2.2. Последовательные интерфейсы.

2.7.2.2.1. Последовательный порт (СОМ-порт)

Последовательный интерфейс для передачи данных в одну сторону использует одну сигнальную линию, по которой информационные биты передаются друг за другом последовательно. Такой способ передачи и определяет название интерфейса и порта, его реализующего. Эти названия соответствуют английским терминам *Serial Interface* и *Serial Port*. Последовательная передача данных может осуществляться как в асинхронном, так и синхронном режимах.

При *асинхронной* передаче каждому байту предшествует *старт-бит*, сигнализирующий приемнику о начале очередной посылки, за которым следуют *биты данных* и, возможно, *бит паритета* (контроля четности). Завершает посылку *стоп-бит*, гарантирующий определенную выдержку между соседними посылками (рис. 2.41). Старт-бит следующего посланного байта может послышаться в любой момент после окончания стоп-бита, то есть между передачами возможны паузы произвольной длительности. Старт-бит, имеющий всегда строго определенное значение (лог. 0), обеспечивает простой механизм синхронизации приемника по сигналу от передатчика.



Рис. 2.41. Формат асинхронной передачи

Подразумевается, что приемник и передатчик работают на одной скорости обмена, измеряемой в количестве передаваемых бит в секунду. Внутренний генератор синхронизации приемника использует счетчик-делитель опорной частоты, обнуляемый в момент приема начала старт-бита. Этот счетчик генерирует внутренние стробы, по которым приемник фиксирует последующие принимаемые биты. В идеале эти стробы располагаются в середине битовых интервалов, что обеспечивает возможность приема данных и при некотором рассогласовании скоростей приемника и передатчика. Нетрудно заметить, что при передаче 8 бит данных, одного контрольного и одного стоп-бита предельно допустимое рассогласование скоростей, при котором данные будут распознаны верно, не может превышать 5%. С учетом фазовых искажений (затянутых фронтов сигнала) и дискретности работы внутреннего счетчика синхронизации реально допустимо меньшее отклонение частот. Чем меньше коэффициент деления опорной частоты внутреннего генератора (читай: чем выше частота передачи), тем больше погрешность привязки стробов к середине битового интервала, и, следовательно, требования к согласованности частот более строгие. Также, чем выше частота передачи, тем больше влияние искажений фронтов на фазу принимаемого сигнала. Такое «дружное» действие этих двух факторов приводит к повышению требований согласованности частот приемника и передатчика с ростом частоты обмена.

Для асинхронного режима принят ряд *стандартных скоростей обмена*: 50, 75, 110, 150, 300, 600,

1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 и 115200 бит/с. Иногда вместо единицы измерения «бит/с» используют «бод» (baud) (в честь изобретателя телеграфного аппарата Бодэ), но в данном случае, при рассмотрении двоичных передаваемых сигналов, это некорректно. В бодах принято измерять частоту изменения состояния линии, а при недвоичном способе кодирования (широко применяемом в современных модемах) в одном и том же канале связи скорости передачи бит (бит/с) и изменения сигнала (бод) могут отличаться в несколько раз.

Количество *бит данных* может составлять 5, 6, 7 или 8 (5- и 6-битные форматы малораспространены). Количество *стоп-бит* может быть 1, 1,5 и 2 («полтора бита» подразумевает, естественно, только длительность стопового интервала).

Асинхронный обмен в РС реализуется с помощью *COM-порта* с использованием протокола RS-232C.

Синхронный режим передачи предполагает постоянную активность канала связи. Посылка начинается с синхробайта, за которым вплотную следует поток информационных байт. Если у передатчика нет данных для передачи, он заполняет паузу непрерывной посылкой байтов синхронизации. Очевидно, что при передаче больших массивов данных накладные расходы на синхронизацию в данном режиме обмена будут ниже, чем в асинхронном. Однако в синхронном режиме необходима внешняя синхронизация приемника с передатчиком, поскольку даже малое отклонение частот приведет к быстро накапливающейся ошибке и искажению принимаемых данных. Внешняя синхронизация возможна либо с помощью отдельной линии для передачи сигнала синхронизации, либо с использованием самосинхронизирующего кодирования данных (например, манчестерский код или NRZ совместно с логическим групповым кодированием), при котором на приемной стороне из принятого сигнала могут быть выделены и импульсы синхронизации. В любом случае синхронный режим требует либо дорогих линий связи, либо дорогого оконечного оборудования (а может, и того и другого). Для РС существуют специальные платы — адаптеры SDLC (довольно дорогие), поддерживающие синхронный режим обмена. Они используются в основном для связи с большими машинами (mainframes) IBM и в настоящее время мало распространены (их вытеснили менее дорогие и более эффективные средства коммуникаций — сетевые адаптеры). Из синхронных адаптеров в настоящее время чаще применяются адаптеры интерфейса V.35.

Последовательный интерфейс на *физическом уровне* может иметь различные реализации, различающиеся способами передачи электрических сигналов. Существует ряд родственных международных стандартов: RS-232C, RS-423A, RS-422A и RS-485. На рис. 2.42 приведены схемы соединения приемников и передатчиков и показаны их ограничения на длину линии (L) и максимальную скорость передачи данных (V).

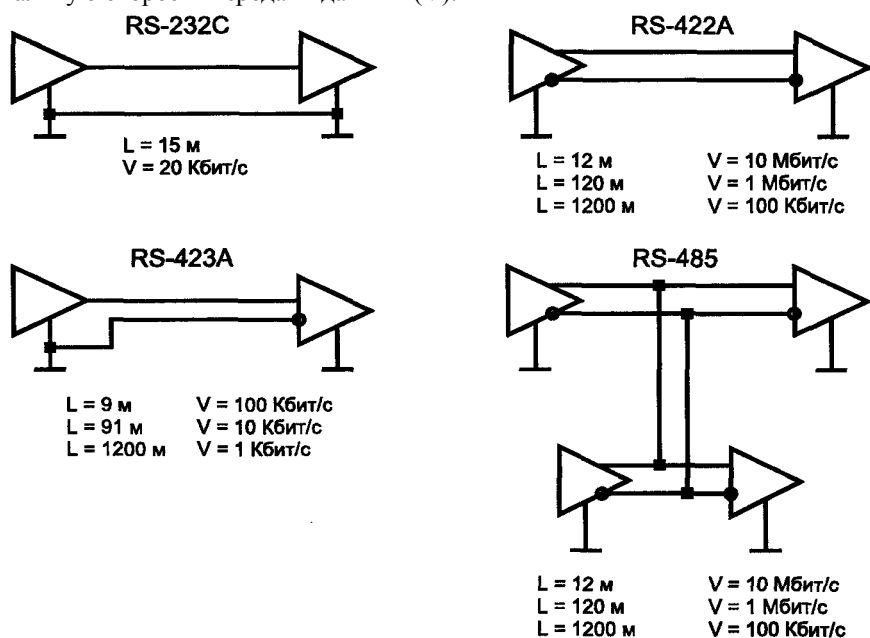


Рис. 2.42. Стандарты последовательного интерфейса

Несимметричные линии интерфейсов RS-232C и RS-423A имеют самую низкую защищенность от синфазной помехи, хотя дифференциальный вход приемника RS-423A несколько смягчает ситуацию. Лучшие параметры имеет двухточечный интерфейс RS-422A и его магистральный (шинный) родственник RS-485, работающие на симметричных линиях связи. В них для передачи используются дифференциальные сигналы, распространяющиеся по отдельной (витой) паре проводов.

Наибольшее распространение в РС получил простейший из этих - стандарт RS-232C. В

промышленной автоматике широко применяется RS-485, а также RS-422A, встречающийся и в некоторых принтерах. Существуют относительно несложные преобразователи сигналов для согласования всех этих родственных интерфейсов.

2.7.2.2.1.1. Интерфейс RS-232C

Интерфейс RS-232C предназначен для подключения аппаратуры, передающей или принимающей данные (ООД — оконечное оборудование данных или АПД — аппаратура передачи данных), к оконечной аппаратуре каналов данных (АКД). В роли АПД может выступать компьютер, принтер, плоттер и другое периферийное оборудование. Этой аппаратуре соответствует аббревиатура DTE — Data Terminal Equipment. В роли АКД обычно выступает модем, этой аппаратуре соответствует аббревиатура DCE — Data Communication Equipment. Конечной целью подключения является соединение двух устройств DTE, полная схема соединения приведена на рис. 2.43. Интерфейс позволяет исключить канал удаленной связи вместе с парой устройств DTE (модемов), соединив устройства непосредственно с помощью нуль-модемного кабеля (рис. 2.44).

Стандарт описывает управляющие сигналы интерфейса, пересылку данных, электрический интерфейс и типы разъемов. Стандарт описывает асинхронный и синхронный режимы обмена, но *COM-порты поддерживают только асинхронный режим*. Функционально RS-232C эквивалентен стандарту МККТТ V.24/ V.28 и стыку C2, но они имеют различные названия одних и тех же используемых сигналов.

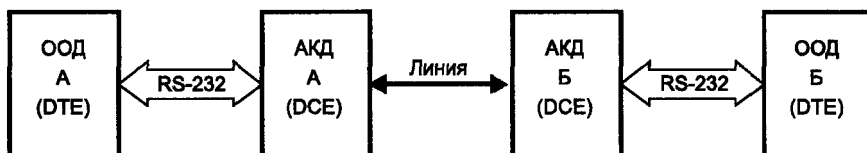


Рис. 2.43. Полная схема соединения по RS-232C

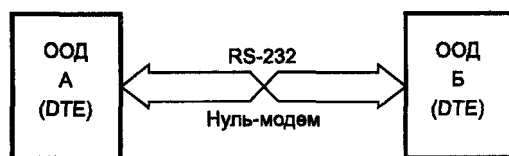


Рис. 2.44. Соединение по RS-232C нуль-модемным кабелем

Электрический интерфейс

Стандарт RS-232C использует несимметричные передатчики и приемники — сигнал передается относительно общего провода — схемной земли (симметричные дифференциальные сигналы используются в других интерфейсах — например, RS-422). Интерфейс *НЕ ОБЕСПЕЧИВАЕТ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКИ* устройств. Логической единице соответствует уровень напряжения на входе приемника в диапазоне $-12...-3$ В. Для линий управляющих сигналов это состояние называется ON («включено»), для линий последовательных данных называется MARK. Логическому нулю соответствует напряжение в диапазоне $+3...+12$ В. Для линий управляющих сигналов это состояние называется OFF («выключено»), для линий последовательных данных называется SPACE. Между уровнями $-3...+3$ В имеется зона нечувствительности, обуславливающая гистерезис приемника: состояние линии будет считаться измененным только после пересечения соответствующего порога (рис. 2.45). Уровни сигналов на выходах передатчиков должны быть в диапазонах $-12...-5$ В и $+5...+12$ В для представления единицы и нуля соответственно. Разность потенциалов между схемными землями (SG) соединяемых устройств должна быть менее 2 В, при более высокой разности потенциалов возможно неверное восприятие сигналов.

Интерфейс предполагает наличие *ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ* для соединяемых устройств, если они оба питаются от сети переменного тока и имеют сетевые фильтры

Подключение и отключение интерфейсных кабелей устройств с автономным питанием то есть, не питающихся от интерфейса, как, например, принтер, должно производиться *при отключении питания*. В противном случае разность не выровненных потенциалов устройств в момент коммутации (присоединения или отсоединения разъема) может оказаться приложенной к выходным или входным (что опаснее) цепям интерфейса и вывести из строя микросхемы (в незаземленных устройствах с сетевыми фильтрами напряжение на корпусе может достигать половины величины напряжения сетевого питания). Устройства, питающиеся от линий интерфейса, например манипулятор "мышь", можно отсоединять от разъемов без выключения питания компьютера.

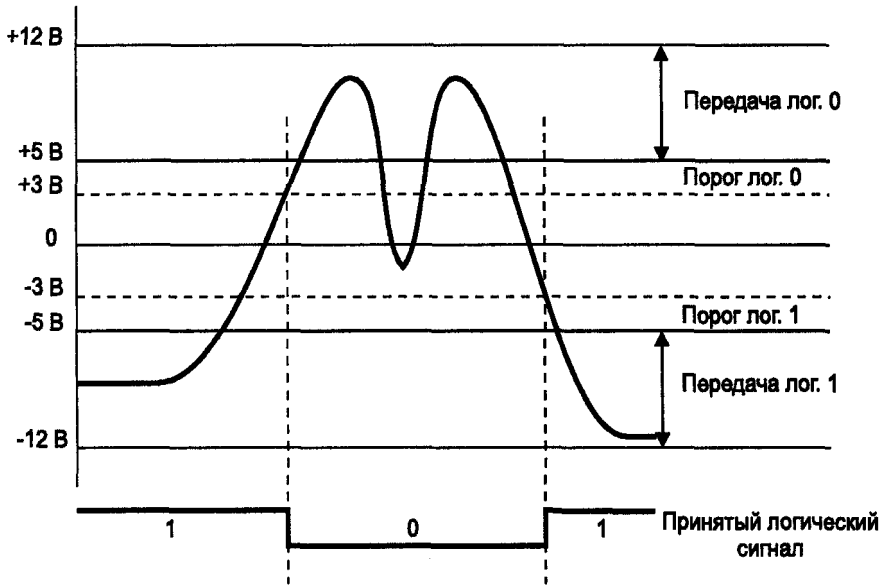


Рис. 2.45. Прием сигналов RS-232C

Для интерфейса RS-232C специально выпускаются буферные микросхемы приемников (с гистерезисом) и передатчиков двуполярного сигнала. При несоблюдении правил заземления и коммутации включенных устройств они обычно являются первыми (хорошо, если единственными) жертвами «пиротехнических» эффектов. Иногда их устанавливают в «кроватках», что сильно облегчает замену. Цоколевка популярных микросхем формирователей сигналов RS-232C приведена на рис. 2.46. (среди отечественных микросхем подобные функции выполняют: приемник - К170УП2; передатчик - К170АП2). Часто буферные схемы входят прямо в состав интерфейсных БИС. Это удешевляет изделие, экономит место на плате, но в случае аварии обычно оборачивается крупными финансовыми потерями. Вывести из строя интерфейсные микросхемы замыканием сигнальных цепей маловероятно, поскольку ток короткого замыкания передатчиков обычно ограничен на уровне 20 мА.

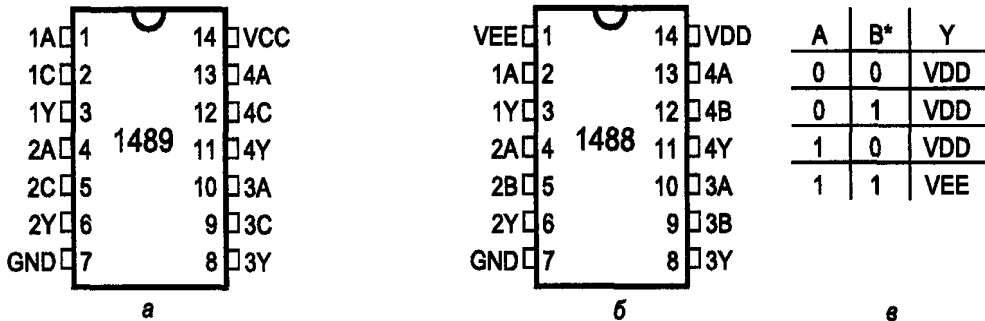


Рис. 2.46. Формирование сигналов RS-232C: а — приемник 1489 (А — вход RS-232, С — управление гистерезисом (ТТЛ), Y — выход ТТЛ); б — передатчик 1488 (А, В — входы ТТЛ, Y — выход RS-232, VDD = +12 В, VEE = -12 В); в — таблица состояния выходов передатчика (*1 В=лог. 1)

Стандарт RS-232C регламентирует *типы применяемых разъемов*, что обеспечивает высокий уровень совместимости аппаратуры различных производителей.

На аппаратуре DTE (в том числе, и на COM-портах PC) принято устанавливать *вилки* (male - «папа») DB25P или более компактный вариант - DB9P. Девятиштырьковые разъемы не имеют контактов для дополнительных сигналов, необходимых для синхронного режима (в большинстве 25-штырьковых разъемов эти контакты также не используются).

На аппаратуре DCE (модемах) устанавливают *розетки* (female — «мама») DB25S или DB9S.

Это правило предполагает, что разъемы DCE могут подключаться к разъемам DTE непосредственно (если позволяет геометрия конструктива) или через переходные «прямые» кабели с розеткой и вилкой, у которых контакты соединены «один в один». Переходные кабели могут являться и переходниками с 9 на 25-штырьковые разъемы (рис. 2.47).

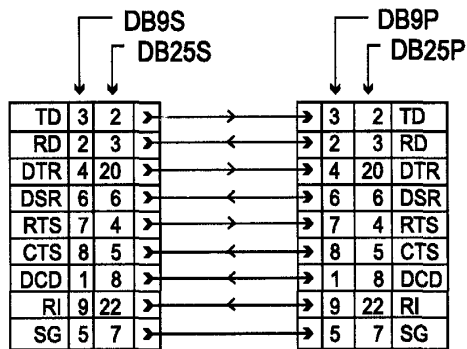


Рис. 2.47. Кабели подключения модемов

Если аппаратура DTE соединяется без модемов, то разъемы устройств (вилки) соединяются между собой *нуль-модемным кабелем* (Zero-modem или Z-modem), имеющим на обоих концах розетки, контакты которых соединяются перекрестно по одной из схем, приведенных на рис. 2.48.

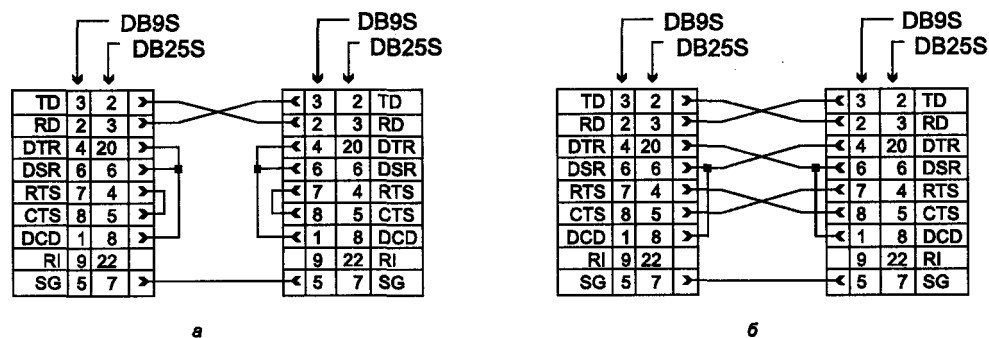


Рис. 2.48. Нуль-модемный кабель: а — минимальный, б — полный кабель

Если на каком-либо устройстве DTE (принтер, плоттер, дигитайзер) установлена розетка - это почти стопроцентный признак того, что к другому устройству (компьютеру) оно должно подключаться прямым кабелем, аналогичным кабелю подключения модема. Розетка устанавливается обычно на тех устройствах, у которых удаленное подключение через модем не предусмотрено (или бессмысленно, как, например, у дигитайзера).

В табл. 2.19 приведено назначение контактов разъемов COM-портов (и любой другой аппаратуры DTE).

Таблица 2.19. Разъемы и сигналы интерфейса RS-232C

Обозначение цепи	Стык 2	Контакт разъема		Провод выносного шлейфа разъема				Направление	Название цепи
		DB25S	DB9S	1*	2*	3*	4*		
PG	101	1	-	(10)	(10)	(10)	1	-	Protect Ground — Защитная земля
TD	103	2	3	3	5	3	3	O	Transmit Data — Передаваемые данные
RD	104	3	2	2	3	4	5	I	Receive Data — Принимаемые данные
RTS	105	4	7	7	4	8	7	O	Request To Send — Запрос на передачу
CTS	106	5	8	8	6	7	9	I	Clear To Send — Готовность модема к приему данных для передачи
DSR	107	6	6	6	2	9	11	I	Data Set Ready — Готовность модема к работе
SG	102	7	5	5	9	1	13	-	Signal Ground — Схемная земля

DCD	109	8	1	1	1	5	15	I	Data Carrier Detected — Несущая обнаружена
DTR	108/2	20	4	4	7	2	14	O	Data Terminal Ready — Готовность терминала (PC) к работе
RI	125	22	9	9	8	6	18	I	Ring Indicator — Индикатор вызова

1* — шлейф 8-битных мультикарт. 2* — шлейф 16-битных мультикарт и портов на системных платах.

3* — вариант шлейфа портов на системных платах. 4* — широкий шлейф к 25-контактному разъему.

Назначение контактов разъема DB25S определено стандартом EIA/TIA - 232-E, разъем DB9S определен стандартом EIA/ TIA-574. У модемов (DCE) название цепей и назначение контактов, естественно, совпадает, но роли сигналов (вход-выход) меняются на противоположные.

Подмножество сигналов RS-232C, относящихся к асинхронному режиму, рассмотрим с точки зрения СОМ-порта РС, являющегося по терминологии RS-232C терминалом данных (DTE). Следует помнить, что активному состоянию сигнала («включено») и *логической единице* передаваемых данных соответствует *отрицательный потенциал* (ниже -3 В) сигнала интерфейса, а состоянию «выключено» и *логическому нулю* — *положительный* (выше +3 В). Назначение сигналов интерфейса приведено в табл. 2.20.

Таблица 2.20. Назначение сигналов интерфейса RS-232C

Сигнал	Назначение
PG	Защитная земля, соединяется с корпусом устройства и экраном кабеля
SG	Сигнальная (схемная) земля, относительно которой действуют уровни сигналов
TD	Последовательные данные — выход передатчика
RD	Последовательные данные — вход приемника
RTS	Выход запроса передачи данных: состояние «включено» уведомляет модем о наличии у терминала данных для передачи. В полудуплексном режиме используется для управления направлением — состояние «включено» является сигналом модему на переключение в режим передачи
CTS	Вход разрешения терминалу передавать данные. Состояние «выключено» аппаратно запрещает передачу данных. Сигнал используется для аппаратного управления потоками данных
DTR	Выход сигнала готовности терминала к обмену данными. Состояние «включено» поддерживает коммутируемый канал в состоянии соединения
DSR	Вход сигнала готовности от аппаратуры передачи данных (модем в рабочем режиме подключен к каналу и закончил действия по согласованию с аппаратурой на противоположном конце канала)
DCD	Вход сигнала обнаружения несущей удаленного модема
RI	Вход индикатора вызова (звонка). В коммутируемом канале этим сигналом модем сигнализирует о принятии вызова

Примечание: более подробное описание назначения этих сигналов и сигналов, используемых дополнительно в 25-контактном разъеме, приведено в разделе 9.3.1.6. второй части пособия.

2.7.2.2.2. Интерфейс «токовая петля»

Довольно распространенным вариантом последовательного интерфейса является «токовая петля» (Мы уже останавливались на нем в разделе 2.7.1). В этом интерфейсе электрическим сигналом является не уровень напряжения относительно общего провода, а *ток* в двухпроводной линии, соединяющей приемник и передатчик. Обычно логической единице (и состоянию «включено») соответствует протекание тока 20 мА, а логическому нулю — отсутствие тока. Такое представление сигналов для вышеописанного формата асинхронной посылки позволяет обнаруживать состояние обрыва линии — в этом случае приемник обнаружит отсутствие стоп-бита (обрыв линии действует как постоянно присутствующий логический нуль).

Токовая петля обычно предполагает *гальваническую развязку* входных цепей приемника (оптрона) от схемы устройства. При этом источником тока в петле является передатчик (этот вариант называют активным передатчиком). Возможно и питание от приемника (активный приемник), при этом выходной ключ (оптронный) передатчика может быть также гальванически развязан с остальной схемой передатчика. И, наконец, существуют упрощенные варианты без гальванической развязки, но это уже вырожденный случай интерфейса.

Токовая петля с гальванической развязкой позволяет передавать сигналы на расстояния до единиц километров. Допустимое расстояние определяется сопротивлением пары проводов и уровнем помех. Поскольку этот интерфейс требует пары проводов для каждого сигнала, обычно используют только два сигнала интерфейса. В случае двунаправленного обмена используются только сигналы передаваемых и принимаемых данных, а для управления потоком используется программный метод ХОН/XOFF. Если двунаправленный обмен не требуется, используют только одну линию данных, а для управления потоком обратная линия используется для сигнала CTS (аппаратный протокол) или встречной линии данных (для программного протокола).

Преобразовать сигналы RS-232C в токовую петлю можно с помощью несложной схемы, приведенной на рис. 2.49. В качестве примера выбрано подключение принтера с токовой петлей к COM-порту с аппаратным управлением потоком. Здесь для получения двуполярного сигнала, требуемого для входных сигналов COM-порта, применяется питание от интерфейса.

При некоторой «изворотливости» программного обеспечения одной токовой петлей можно обеспечить и двунаправленную полудуплексную связь двух устройств (компьютеров). Спецификой такого соединения является то, что каждый приемник «слышит» как сигналы передатчика на противоположной стороне канала, так и сигналы своего передатчика. Эта ситуация расценивается коммуникационными пакетами (например, классический KERMIT) просто как эхо-сигнал. Естественно, для безошибочного приема передатчики должны работать только поочередно.

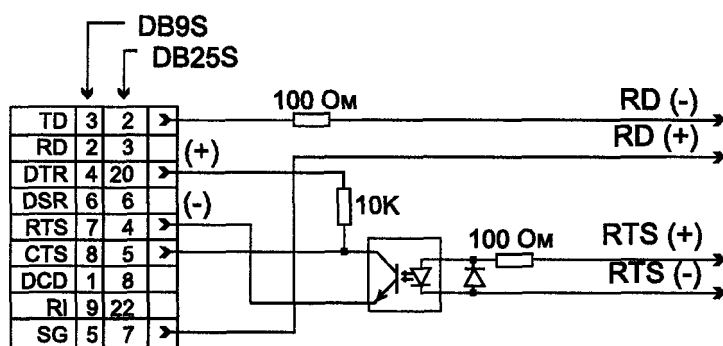


Рис. 2.49. Подключение принтера с интерфейсом «токовая петля» к COM –порту

2.7.2.2.3. Инфракрасный интерфейс

Применение излучателей и приемников инфракрасного диапазона позволяет осуществлять беспроводные коммуникации между парой устройств, удаленных на расстояние, достигающее одного метра, а иногда даже нескольких метров. Различают инфракрасные системы связи низкой скорости (до 115,2 Кбит/с) средней и высокой, работающие со скоростями 1,152 и 4 Мбит/с соответственно. Низкоскоростные системы пригодны для обмена короткими сообщениями, высокоскоростные — для обмена файлами между компьютерами, подключения к локальной (или глобальной) сети, вывода информации на принтеры, проекционные аппараты и т. п. В перспективе ожидаются и более высокие скорости обмена, которые позволят передавать даже «живое видео». В 1993 году была создана ассоциация разработчиков систем инфракрасной передачи данных *IrDA* (Infrared Data Association), призванная обеспечить совместимость оборудования от различных производителей. В настоящее время действует стандарт *IrDA 1.1*, кроме которого имеются собственные системы фирм Hewlett Packard *HP-SIR* (Hewlett Packard Slow Infra Red) и *ASK* (Amplitude Shifted Keyed IR) фирмы Sharp. Основные (скоростные) характеристики интерфейсов следующие:

- IrDA SIR (Slow Infra Red), HP-SIR - 9,6-115,2 Кбит/с;
- IrDA MIR (Middle Infra Red) - 1,2 Мбит/с;
- IrDA FIR (Fast Infra Red) - 4 Мбит/с;
- Sharp ASK - 9,6-57,6 Кбит/с.

На скоростях до 115,2 Кбит/с для инфракрасной связи используются UART, совместимые с 16450/16550. В современных системных платах на использование инфракрасной связи часто может конфигурироваться порт COM2. В этом случае на переднюю панель компьютера устанавливается внешний приемопередатчик — «инфракрасный глаз», который подключается к разъему IR-Connector системной платы.

На средних и высоких скоростях обмена применяются специализированные микросхемы, ориентированные на интенсивный программно-управляемый обмен или DMA, с возможностью использования прямого управления шиной (Bus Master).

В отличие от других беспроводных систем связи (радиочастотных), инфракрасные излучатели не создают помех в радиочастотном диапазоне и обеспечивают достаточный уровень

конфиденциальности связи. ИК-лучи не проходят через стены, и расстояние приема ограничивается небольшим, легко контролируемым пространством. Весьма привлекательно применение инфракрасной технологии для связи портативных компьютеров со стационарными компьютерами или док-станциями (PC Docking), расширяющими их до полноценной настольной конфигурации. Инфракрасный интерфейс имеют и некоторые модели принтеров.

2.7.2.2.4. Интерфейс MIDI

Цифровой интерфейс музыкальных инструментов *MIDI* (Musical Instrument Digital Interface) является двунаправленным последовательным асинхронным интерфейсом с частотой передачи 31,25 Кбит/с. Этот интерфейс, разработанный в 1983 году, стал фактическим стандартом для сопряжения компьютеров, синтезаторов, записывающих и воспроизводящих устройств, микшеров, устройств специальных эффектов и другой электромusicalной техники. В настоящее время интерфейс MIDI имеют и дорогие синтезаторы, и дешевые музыкальные клавиатуры, которые могут использоваться в качестве устройств ввода компьютера.

В интерфейсе применяется *токовая петля 10 мА* (возможно и 5 мА) с гальванической (оптронной) развязкой входной цепи (напряжение изоляции 100 В). Эта развязка исключает связь «схемных земель» соединяемых устройств через интерфейсный кабель, что устраняет помехи (фон), крайне нежелательные для звуковой техники. Снижению интерференционных помех служит и выбор частоты передачи, которая совпадает с одним из значений частот квантования, принятых в цифровой звукозаписи.

Формат асинхронной посылки содержит старт-бит, 8 бит информации и 1 стоп-бит, контроль четности отсутствует. Старший бит посылки является признаком «команда-данные». Его нулевое значение указывает на наличие семи бит данных в младших разрядах. При единичном значении признака биты [6:4] содержат *код команды*, а биты [3:0] — *адрес приемника*. Команды могут быть как адресованными конкретному устройству, так и широкоэвещательными (безадресными). К последней группе относятся команды старта, стопа и отметки времени, обеспечивающие синхронизацию устройств (система синхронизации *MTC* - MIDI Time Code).

Интерфейс определяет три типа портов: *MIDI-IN*, *MIDI-OUT* и *MIDI-THRU*.

Входной порт *MIDI-IN* представляет собой вход интерфейса «токовая петля 10 мА», гальванически развязанного от приемника оптроном с быстродействием не хуже 2 мкс. Устройство отслеживает информационный поток на этом входе и реагирует на адресованные ему команды и данные.

Выходной порт *MIDI-OUT* представляет собой выход источника тока 10 мА, гальванически связанного со схемой устройства. Ограничительные резисторы предохраняют выходные цепи от повреждения при замыкании на землю или источник 5 В. На выход подается информационный поток от данного устройства. В этом потоке может содержаться и транслированный входной поток, но это далеко не всегда так.

Транзитный порт *MIDI-THRU* служит только для ретрансляции входного сигнала. Его наличие не является обязательным для всех устройств.

В качестве разъемов применяются 5-контактные разъемы DIN, распространенные в бытовой звуковой аппаратуре. На всех устройствах устанавливаются розетки, на кабелях — вилки. Все соединительные кабели MIDI унифицированы (см. схему на рис. 2.50). Согласно правилам подключения, контакт 2 — экран кабеля — соединяется с общим проводом только на стороне передатчика (на разъемах MIDI-OUT и MIDI-THRU). На разъеме MIDI-IN этот контакт свободен.

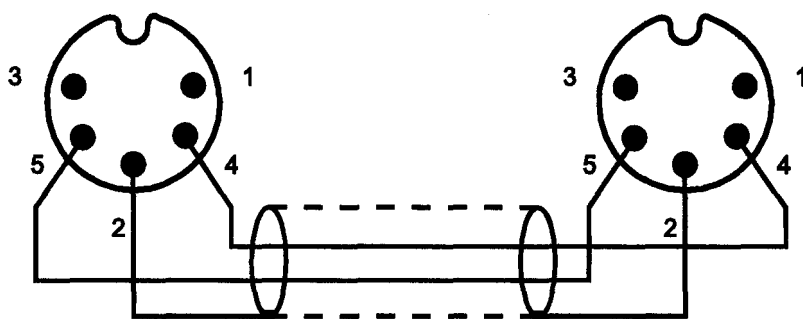


Рис. 2.50. Соединительные кабели MIDI

В маркировке входов и выходов, указанной около разъемов, бывают разночтения. Одни производители считают, что надо писать In или Out в соответствии с функцией разъема данного устройства, и это, пожалуй, правильно: любой кабель будет соединять In и Out. Другие считают, что подпись должна обозначать функцию подключаемого устройства, и тогда кабель будет соединять

разъемы с обозначениями In — In и Out — Out. Такая маркировка встречается реже, но и ее следует иметь в виду.

Интерфейс позволяет объединить группу до 16 устройств в локальную сеть. Возможные варианты топологии должны подчиняться главному правилу: вход MIDI-IN одного устройства должен подключаться к выходу MIDI-OUT или MIDI-THRU другого устройства. При планировании MIDI-сети необходимо руководствоваться знаниями информационных потоков и связей устройств. Управляющие устройства — клавиатуры, секвенсоры (в режиме воспроизведения), источники синхронизации — должны находиться, естественно, перед управляемыми. Если устройства нуждаются в двунаправленном обмене, они должны соединяться в кольцо. Возможно применение и специальных устройств-мультиплексов, позволяющих логически коммутировать множество входных потоков в один выходной. Вырожденным случаем кольца является двунаправленное соединение двух устройств. Несколько вариантов соединения приведены на рис.2.51.

В PC MIDI-порт имеется на большинстве плат звуковых адаптеров, и его сигналы выведены на неиспользуемые контакты (12 и 15) разъема игрового адаптера. При этом для подключения стандартных устройств MIDI требуется *переходной адаптер*, реализующий интерфейс «токовая петля». Переходной адаптер обычно встраивается в специальный кабель, примерная схема которого приведена на рис. 2.52. Некоторые модели PC имеют встроенные адаптеры и стандартные 5-штырьковые разъемы MIDI.

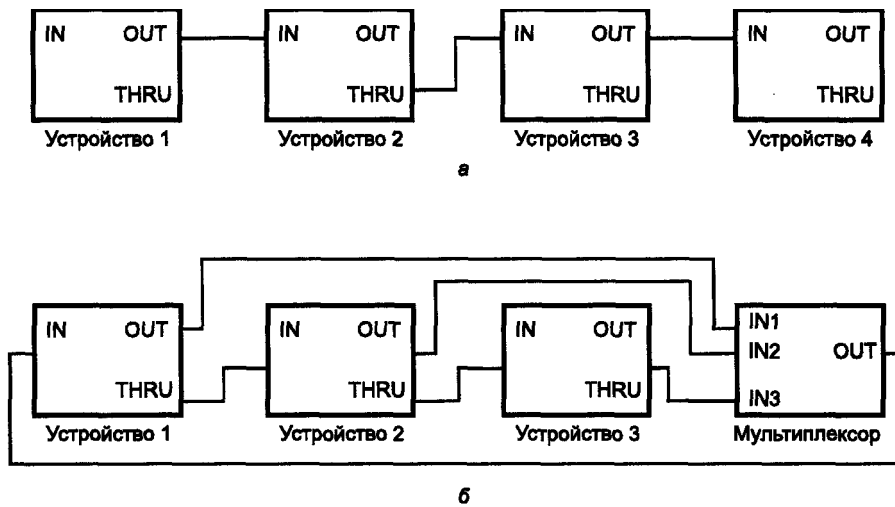


Рис. 2.51. Варианты топологии сети MIDI: а — цепь, б — кольцо с мультиплексором

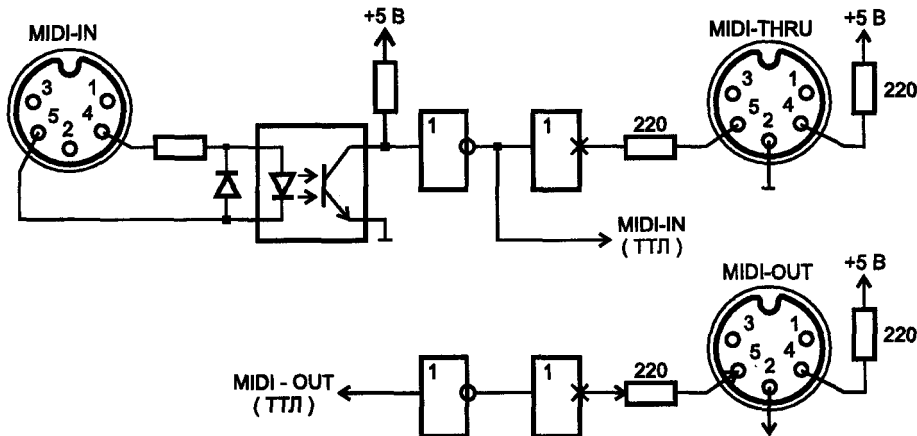


Рис. 2.52. Вариант схемы кабеля-адаптера MIDI

В PC для MIDI-порта обычно применяются микросхемы UART, совместимые с MPU401. Эти микросхемы отличаются от обычных UART 8250 или 8251 в основном тем, что имеют регистр адреса устройства. При приеме команды с адресом устройства, совпадающим с заданным в этом регистре (или с широковещательным адресом), вырабатывается запрос аппаратного прерывания. Это позволяет интерфейсу игнорировать команды, не адресованные данному устройству, без привлечения к фильтрации ресурсов процессора. В пространстве ввода/вывода MPU401 занимает два смежных адреса MPU и MPU+1:

По адресу MPU+0 (обычно 330h) расположен регистр данных (R/W);

По адресу MPU+1 — регистр адреса и управления (W) и регистр состояния (R).

На некоторых системных платах применяются БИС контроллеров интерфейсов, в которых UART, используемый для COM -порта, конфигурированием через BIOS SETUP может быть переведен в режим MIDI-порта.

2.7.2.3. Игровой адаптер - GAME-порт

Интерфейс игрового адаптера занимает особое место в классификации. Он позволяет вводить значения *дискретных* (4 бита) и *аналоговых* сигналов (величины сопротивления 4 резисторов). Изначально порт был предназначен для подключения джойстиков и других игровых устройств ввода (Paddle), но он с успехом может применяться и для подключения более «серьезных» датчиков. Метод измерения сопротивления основан на программном определении длительности импульса, пропорциональной величине сопротивления. *Преобразование* начинается по выводу любого байта в регистр адаптера (201h), при этом биты 0-3 устанавливаются в единичные значения. Время измеряется до возврата в нулевое состояние бит 0-3, соответствующих четырем аналоговым каналам. Если аналоговый вход замкнут на шину GND или цепь измеряемого сопротивления разорвана, соответствующий бит не обнулится никогда (до аппаратного сброса компьютера). Поэтому во избежание зависания в программе преобразования должен быть предусмотрен механизм тайм-аута. Для измеряемых сопротивлений в диапазоне 0-100 кОм время определяется по формуле

$$T(\text{мкс})=24,2+11 \times R(\text{кОм}).$$

Конечно, точность и линейность преобразования невысока, преобразование выполняется не быстро (до 1,12 мс) и сильно загружает процессор. Однако, в отличие от «настоящих» аналого-цифровых преобразователей, этот преобразователь достается даром — игровой адаптер входит в состав практически всех комбинированных плат последовательных и параллельных портов (мультикарт) и звуковых карт.

Порт имеет *разъем-розетку* DB-15S, назначение выводов и соответствие сигналов битам регистра приведено в табл. 2.21. Резисторы подключаются к шине питания +5 В, кнопки — к шине GND (рис. 2.53). Замыканию кнопок соответствуют нули в битах 5-7. При необходимости аналоговые каналы можно использовать и для дискретного ввода, если их входы подключить к кнопкам, замыкающим их на шину GND, и к резисторам, «подтягивающим» их к уровню + 5 В. Два джойстика (А и В) подключаются через Y-образный переходник-разветвитель. На звуковых картах через разъем «Game» вместе с джойстиками могут подключаться и внешние MIDI-устройства через специальный кабель-адаптер, обеспечивающий гальваническую развязку входного сигнала и ограничение выходного тока (см. рис. 2.52). Для интерфейса MIDI используются контакты 12 и 15, ранее предназначавшиеся для шин GND и +5V. Такое назначение делает безопасным подключение адаптера MIDI к «чистому» игровому порту и обычного джойстика к игровому порту с сигналами MIDI.

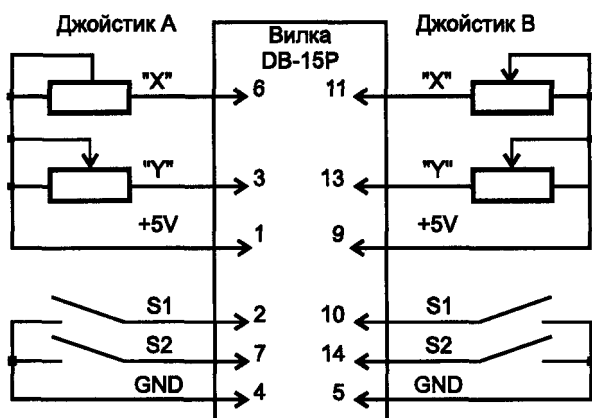


Рис. 2.53. Подключение датчиков к игровой адаптеру

Таблица 2.21. Интерфейс игрового адаптера и MIDI

Бит	Назначение	Контакт
7	Джойстик В кнопка #2	14
6	Джойстик В кнопка #1	10
5	Джойстик А кнопка #2	7
4	Джойстик А кнопка #1	2
3	Джойстик В Y-координата	13

2	Джойстик В X-координата	11
1	Джойстик А Y-координата	6
0	Джойстик А X-координата	3
-	GND	4, 5, (12)
-	+5 В	1, 8, 9, (15)
-	MIDI In — вход (на звуковой карте)	12
-	MIDI Out — выход (на звуковой карте)	15

2.7.2.4. Интерфейс клавиатуры

Для подключения клавиатуры предназначен последовательный интерфейс, состоящий из двух обязательных сигналов “Данные” (KB-Data) и “Синхронизация” (KB-Clock). Необязательный сигнал “Сброс” (KB-Reset) сбрасывает клавиатуру низким уровнем сигнала. Интерфейс на системной плате XT реализован аппаратной логикой — регистром сдвига, параллельный выход которого подключается ко входам порта А системного интерфейса 8255. По приему байта от клавиатуры логика вырабатывает запрос аппаратного прерывания IRQ1, обработчик которого может прочитать принятый байт из порта 60h. С помощью бит 7 и 6 порта 61h возможна программная блокировка и сброс клавиатуры соответственно. Сброс клавиатуры XT осуществляется принудительным обнулением линии KB-Clock.

Интерфейс клавиатуры AT построен на микроконтроллере i8042, обеспечивающем в отличие от XT двунаправленный интерфейс с клавиатурой. Передача информации к клавиатуре используется для управления индикаторами ее состояния и программирования параметров (автоповтор, набор скан-кодов).

Хотя электрический интерфейс клавиатур XT и AT совпадает (за исключением возможности двунаправленного обмена в AT), логические форматы посылок существенно отличаются. Начальный тест (POST) способен производить диагностику клавиатуры, причем подключение клавиатуры неподходящего типа или не подключенную клавиатуру он воспримет как ошибку. Если проверка клавиатуры разрешена в BIOS Setup, то по этой ошибке POST будет сколь угодно долго дожидаться получения кода нажатия клавиши F1.

Контроллер 8042 и клавиатура связаны четырехпроводным экранированным кабелем, включающим линию питания (+5 В), линию заземления, линии сигнала данных и сигнала синхронизации. К системному блоку PC кабель подключается посредством разъема. Вид разъемов клавиатур (со стороны задней панели системного блока) приведены на рис. 2.54, а назначение контактов — в Таблице 2.22.

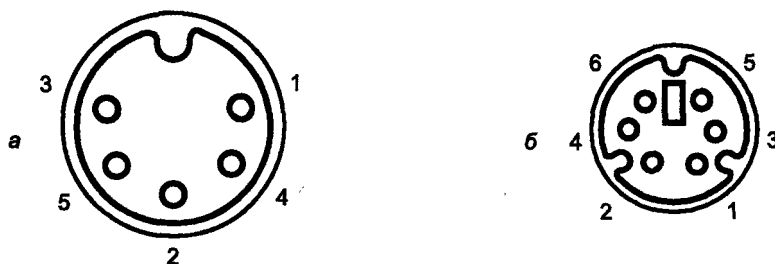


Рис. 2.54. Разъемы подключения клавиатур XT, AT, PS/2 (вид со стороны контактов)

Таблица 2.22 Назначение выводов разъемов клавиатуры.

Контакт	Назначение
1	Синхронизация
2	Данные
3	Не используется
4	Общий провод (Земля)
5	Питание +5В

Конструктивно возможны два варианта разъема — обычная 5-контактная розетка DIN (аналогичная применяемой в бытовой радиоаппаратуре) или малогабаритная розетка mini-DIN, пришедшая от компьютеров семейства PS/2. На этот же разъем через плавкий предохранитель поступает и напряжение питания клавиатуры +5 В. Электрически и логически интерфейс клавиатуры PS/2 повторяет интерфейс клавиатуры AT, поэтому для согласования типа разъема применяют

специальные переходники.

Контроллер 8042 и клавиатура взаимодействуют с помощью механизма квитирования, используя линии данных и синхронизации для синхронного последовательного двунаправленного (полудуплексного) интерфейса. Клавиатура обеспечивает синхронизирующий сигнал для передачи данных в каждом из направлений. Упрощенные схемы цепей данных и синхронизации приведены на рис. 2.55.

Клавиатура PC AT передает и принимает данные в 11-разрядном формате. Контроллер 8042 автоматически определяет тип клавиатуры по формату данных. Первый разряд - стартовый, за ним следуют восемь информационных разрядов, разряд паритета и стоповый разряд. Посылка данных синхронизируется клавиатурой. В конце передачи контроллер клавиатуры блокирует интерфейс до тех пор, пока система не примет полученный байт. Если байт данных получен с ошибкой паритета, в клавиатуру автоматически отсылается команда RESEND.

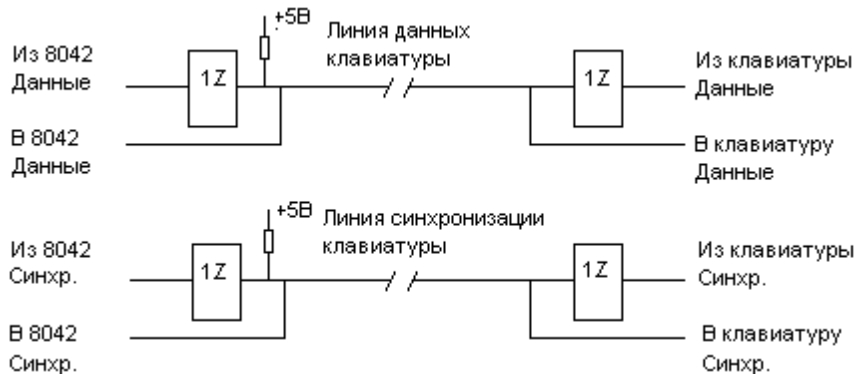


Рис. 2.55. Упрощенные схемы цепей данных и синхронизации

На рис. 2.56 показаны 11-разрядный формат и пример передачи данных.

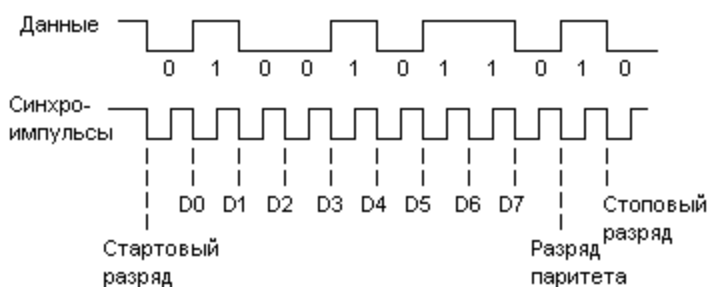


Рис. 2.56. 11-разрядные форматы

На рис. 2.56 показаны 11-разрядный формат и пример передачи данных.

Примечание: клавиатура сбрасывает стоповый разряд линии данных в конце их посылки для подтверждения передачи.

Временные параметры передачи 11-разрядных данных приведены в таблице 2.23.

Табл. 2.23. Временные параметры передачи данных

Параметр	Длительность
Синхроимпульсы (минимум) от заднего фронта до заднего фронта	60 мкс
Синхроимпульсы (минимум) от заднего фронта до переднего фронта	5 мкс
Время передачи (максимум) от переднего фронта до заднего	2 мс
Время действительности данных перед задним фронтом синхроимпульса	0
Время действительности данных после заднего фронта синхроимпульса	5 мкс

2.7.2.5. Интерфейс с монитором

В традиционной технике цветного телевизионного вещания (PAL, SECAM или NTSC) видеосигнал непосредственно несет информацию о мгновенном значении яркости, а цветовая информация передается в модулированном виде на дополнительных частотах. Таким образом обеспечивается совместимость черно-белого приемника, игнорирующего цветовую информацию, с цветным передающим каналом. Однако для вывода графической информации с высоким разрешением ни одна из вещательных систем не подходит, поскольку они имеют существенно ограниченную

полосу пропускания цветовых каналов (т.е. минимальные 35 МГц, недостижимы).

Для графики низкого разрешения, при которой частоты синхронизации были близки к стандартным телевизионным, возможно было использование интерфейса *Composite Video*. Здесь по одному коаксиальному кабелю (75 Ом) передавался полный стандартный видеосигнал с размахом около 1,5 В. В видеотехнике этот сигнал называют низкочастотным, имея в виду то, что по нему подается прямой, а не модулированный сигнал. Соответствующий ему вход имеется не у каждого телевизора. При наличии дополнительного радиочастотного модулятора *RFM* (Radio Frequency Modulator) можно было подключаться к антенному входу стандартного телевизионного приемника, но при этом в еще большей степени снижалось реальное разрешение графики. Для композитного интерфейса используют коаксиальные разъемы *RCA* («колокольчик»), широко применяемые в видео- и аудиотехнике.

Для мониторов компьютера при высоком разрешении можно использовать только прямую подачу сигнала на входы видеоусилителей базисных цветов - *RGB-вход* (Red Green Blue - красный, зеленый и синий).

Первые мониторы, используемые в PC, имели цифровой интерфейс с уровнями ТТЛ (табл. 2.24) — *RGB TTL*. Для монохромного монитора использовали лишь два сигнала — видео и повышенной яркости. Таким образом, монитор мог отобразить три градации яркости: хотя $2^2=4$, темный пиксел (0, 0) и «темный с повышенной яркостью» неразличимы. В цветных мониторах класса *CD* (Color Display) имелось по одному сигналу для включения каждого луча и общий сигнал повышенной яркости. Таким образом, можно было задавать уже 16 цветов. Следующий класс — улучшенный цветной дисплей *ECD* (Enhanced Color Display) имел цифровой интерфейс уже с двумя сигналами на каждый базисный цвет. Эти сигналы двухбитным кодом позволяли задавать одну из 4 градаций интенсивности луча каждого цвета, и общее количество кодируемых цветов достигло $2^6=64$. Сигналы RED, GREEN, BLUE и Red, Green, Blue обозначают соответственно старшие и младшие биты базисных цветов.

Строчная и кадровая синхронизация монитора осуществляется сигналами *H.Sync* и *V.Sync*. Монохромные адаптеры *MDA* и *HGC*, работающие с высоким разрешением (720×350 пикселей), используют соответственно и высокую частоту развертки. Адаптер *CGA* работает с низкими частотами (параметры синхронизации близки к телевизионному стандарту). Адаптеры и мониторы *EGA* могут работать с любыми из этих частот. Для облегчения переключения режимов генератора развертки монитора используют сигнал *V.Sync*: полярность импульсов определяет диапазон частот развертки текущего видеорежима. Для всех разновидностей интерфейса *RGB TTL* используется разъем *DB-9S*.

Таблица 2.24. Цифровой интерфейс монитора (RGB TTL)

Контакт	Монитор		
	MDA/HGC	CGA	EGA Color/ Mono
1	GND	GND	GND
2	GND	GND	Red
3	-	RED	RED
4	-	GREEN	GREEN
5	-	BLUE	BLUE
6	Intensiv.	Intensiv.	Green/Intens.
7	Video	Reserved	Blue/Video
8	+H.Sync.	+H.Sync.	+H.Sync.
9	-V.Sync.	+V.Sync.	-(+)V.Sync.

Когда стало ясно, что стремительный прогресс возможностей цветопередачи цифровым интерфейсом не удовлетворить, перешли на аналоговый интерфейс с монитором, перенеся цифро-аналоговые преобразователи уровней сигналов базисных цветов из монитора на плату графического адаптера. Такой интерфейс с 8-разрядными ЦАП каждого цвета в настоящее время позволяет выводить 16,7 миллиона цветов (*True Color*). Этот интерфейс называется *RGB Analog*, в нем базисные цвета передаются аналоговыми сигналами с отдельными обратными линиями по витым парам. Черному цвету соответствует нулевой потенциал на линиях всех цветов, полной яркости каждого цвета соответствует уровень +0,7 В. Сигналы управления, состояния и синхронизации передаются сигналами ТТЛ. Впервые аналоговый интерфейс был применен на адаптере *PGA* фирмы *IBM*, где для него использовался 9-контактный разъем *DB-9S* (табл. 2.25). В дальнейшем, начиная с адаптеров *VGA*, стали применять малогабаритный 15-контактный разъем с таким же внешним размером (табл. 2.26).

Таблица 2.25. Аналоговый интерфейс монитора PGA (разъем DB-9S)

Контакт	Видеоадаптер
1	Red
2	Green
3	Blue
4	(H+V)Sync
5	Mode Control
6	Red Return
7	Green Return
8	Blue Return
9	GND

Таблица 2.26. Аналоговый интерфейс монитора (RGB Analog)

Контакт	Видеоадаптер	Монитор	
DB-15	MCGA/VGA/SVGA/ XGA	Mono	Color
1	Red	-	Red
2	Green	Video	Green
3	Blue	-	Blue
4	ID2	-	-
5	GND/DDC Return ¹	SelfTest/DDC Return	SelfTest/DDC Return
6	Red Return	Key	Red Return
7	Green Return	Video Return	Green Return
8	Blue Return	-	Blue Return
9	Ключ (нет контакта)	-	-
10	GND	GND	GND
11	ID0	-	GND
12	ID1/SDA1	-/SDA	GND/SDA
13	H.Sync/(H+V)Sync ²	H.Sync/(H+V)Sync	H.Sync/(H+V)Sync
14	V.Sync	V.Sync	V.Sync
15	SCL1	SCL	SCL

¹ Сигналы DDC Return, SDA и SCL используются только при поддержке цифрового управления (DDC). При этом контакт 9 может использоваться для питания логики монитора.

² Сигнал (H+V)Sync используется при совмещенной синхронизации (Composite Sync).

Таблица 2.27. Переходник 9-15 аналогового интерфейса монитора

Контакт DB9	Сигнал	Контакт DB15
1	Red	1
2	Green	2
3	Blue	3
4	H.Sync	13
5	V.Sync	14
6	Red Return	6
7	Green Return	7
8	Blue Return	8
9	GND	10,11

По назначению сигналов эти интерфейсы в основном совпадают, и существуют даже переходные кабели с 15- на 9-контактные разъемы (табл. 2.27). В адаптере PGA используется *совмещенная синхронизация* (Composite Sync) сигналом (H+V)Sync., этот режим поддерживают и многие современные мониторы.

Кроме собственно передачи изображения (сигналы цветов и синхронизации), по интерфейсу передают и иную информацию, необходимую для автоматизации согласования параметров и режимов монитора и компьютера. Интересы компьютера в целом представляет плата дисплейного адаптера, к которой и подключается монитор. С ее помощью обеспечивается возможность идентификации монитора, которая необходима для работы системы PnP, и управление энергопотреблением монитора.

Для простейшей *идентификации* в интерфейс ввели три логических сигнала ID0-ID2, по которым адаптер мог определить тип подключенного монитора (в пределах номенклатуры изделий IBM, см. табл. 2.28). Со стороны монитора эти линии либо подключались к шине GND, либо оставлялись неподключенными (все та же идея параллельной идентификации, известная и по модулям памяти). Однако из этой системы идентификации впоследствии использовали лишь сигнал ID1, по которому определяли подключение монохромного монитора. Монохромный монитор может быть опознан адаптером и иначе — по отсутствию нагрузки на линиях Red и Blue. Правда, некоторые многофункциональные цветные мониторы позволяют отключать нагрузочные резисторы, при этом изображение становится ярким и нечетким, появляются горизонтальные эхо-выбросы, а монитор идентифицируется как монохромный, что сопровождается «писком» POST.

Таблица 2.28. Параллельная идентификация мониторов IBM

Дисплей	ID0	ID1	ID2
Монохромный 12" IBM8503	NC	GND	NC
Цветной 12" IBM8513	GND	NC	NC
Цветной 14" IBM8512	GND	NC	NC
Цветной 15" IBM8514	GND	NC	GND

Параллельная идентификация мониторов изжила себя, и ее заменила последовательная по каналу цифрового интерфейса *VESA DDC* (Display Data Channel). Этот канал (как и канал идентификации новых модулей памяти DIMM) построен на интерфейсе I²C (DDC2B) или *ACCESS Bus* (DDC2AB), которые используют всего два ТТЛ-сигнала SCL и SDA. Интерфейс *DDC1* является однонаправленным — монитор посылает адаптеру блок своих параметров по линии SDA (контакт 12), которые синхронизируются сигналом V.Sync (контакт 14). На время приема блока параметров адаптер может повысить частоту V.Sync до 25 кГц (генератор кадровой развертки по такой высокой частоте синхронизироваться не будет). Интерфейс *DDC2* уже является двунаправленным, и для синхронизации используется выделенный сигнал SCL (контакт 15). Интерфейс *DDC2AB* отличается тем, что подразумевает возможность подключения периферии, не требующей высокой скорости обмена, к компьютеру по последовательной шине *ACCESS Bus*. При этом внешний разъем шины выносится на монитор (табл. 2.29).

Блок параметров расширенной идентификации дисплея EDID (Extended Display Identification) имеет одну и ту же структуру для любой реализации DDC (табл. 2.30).

Таблица 2.29. Разъем ACCESS Bus (VESA)

Контакт	Назначение
1	GND
2	Ключ
3	SDA
4	+5 В (питание устройств)
5	SCL

Таблица 2.30. Блок расширенной идентификации EDID

Смещение, байт	Длина, байт	Назначение
0	8	Заголовок (индикатор начала потока EDID)
8	10	Идентификатор изделия (назначается производителем)
18	2	Версия EDID
20	15	Основные параметры и возможности дисплея
35	19	Установленные параметры синхронизации
54	72	Дескрипторы параметров синхронизации (4 по 18 байт)

126	1	Флаг расширения
127	1	Контрольная сумма

Для управления энергопотреблением монитора в соответствии со стандартом VESA DPMS (Display Power Management Signaling) используются сигналы кадровой и строчной синхронизации V.Sync и H.Sync (табл. 2.31).

Таблица 2.31. Управление энергопотреблением монитора (VESA DPMS,)

Режим	H.Sync	V.Sync
On	Активен	Активен
Standby	Неактивен	Активен
Suspend	Активен	Неактивен
Off	Неактивен	Неактивен

Разъемы, применяемые в современных адаптерах и мониторах SVGA, не предназначены для передачи высокочастотных сигналов. Разумным пределом для них является полоса примерно до 150 МГц, однако для высокого разрешения и высокой частоты регенерации этого может уже оказаться и недостаточно. По этой причине на больших профессиональных мониторах, подразумевающих использование высокого разрешения и высоких частот синхронизации, и соответствующих адаптерах имеются *BNC-разъемы* для соединения с помощью коаксиальных кабелей.

Учитывая потребности расширения частотного диапазона, а также тенденцию (или намерения) к использованию последовательных шин USB и FireWire для подключения периферии к системному блоку компьютера VESA предложила новый тип разъема *EVC* (Enhanced Video Connector). Кроме обычного аналогового интерфейса RGB и канала DDC2 разъем EVC имеет контакты для видеовхода, входные и выходные стерео-, аудиосигналы, шины USB и FireWire, а также линии питания постоянного тока для зарядки аккумуляторов портативных ПК. Разъем имеет две секции: высокочастотную для присоединения четырех коаксиальных кабелей и низкочастотную на 30 контактов (рис. 2.57). Контакты высокочастотной секции, хотя и не являются коаксиальными, позволяют передавать сигналы с частотами до 2 ГГц. Контакт экранов является крестообразная перегородка. При использовании 75-омных коаксиальных кабелей на частоте 500 МГц гарантируется уровень отражений и перекрестных помех не выше 2%. Контакты C1, C2 и C4 используются для передачи цветовых сигналов R, G и B соответственно, контакт C3 служит для передачи синхросигнала пикселей (Pixel Clock или DotClock). Назначение низкочастотной секции раскрывает табл. 2.32. Как видно из таблицы, разъем поделен на компактные зоны для каждой группы сигналов, правда, шины USB и 1394 используют общий контакт для экрана. Назначение контактов видеовхода (S-Video или композитный, PAL или NTSC) может программироваться по каналу DDC2.

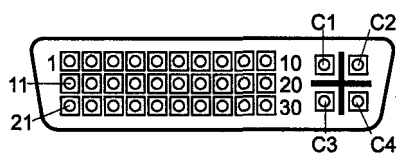


Рис. 2.57. Разъем EVC (розетка)

Стандарт определяет три уровня полноты реализации: базовый, мультимедийный и полный. Базовый включает только видеосигналы и DDC, в мультимедийном дополнительно должны быть и аудиосигналы. При использовании коннектора в полном объеме монитор превращается в коммутационный центр, который соединяется с компьютером одним кабелем, а все остальные периферийные устройства (включая клавиатуру, мышь, принтер) подключаются уже к монитору. С помощью этого разъема предполагается произвести революцию (или наведение порядка) в подключении устройств к системному блоку компьютера. Он может использоваться и для подключения портативного ПК к док-станции. EVC собирает сигналы от разных подсистем — графической, видео, аудио, последовательных шин и питания. Этот общий разъем, устанавливаемый на корпусе системного блока, может соединяться с разными платами внутренними кабелями через промежуточные разъемы.

Таблица 2.32. Назначение контактов низкочастотной части EVC

Контакт	Цепь	Контакт	Цепь	Контакт	Цепь
1	Audio Output, Right	11	Charging power input, +	21	Audio input, left
2	Audio Output, Left	12	Charging power input, -	22	Audio input, right
3	Audio Output Return	13	Video input, Y or composite in	23	Audio input, return
4	Sync Return	14	Video input, return	24	Stereo sync (TTL)
5	Horizontal Sync (TTL)	15	Video input, C in	25	DDC return
6	Vertical Sync (TTL)	16	USB data +	26	DDC data (SDA)
7	RESERVED 1	17	USB data -	27	DDC, clock (SCL)
8	RESERVED 2	18	USB/1394 common mode shield	28	+5 B
9	1394 pair A, data -	19	1394 Vg	29	1394 pair B, clock +
10	1394 pair B, data +	20	1394 Vp	30	1394 pair B, clock -

2.7.2.6. Интерфейс НГМД.

Все НГМД, применяемые в РС, независимо от типа и размера имеют одинаковый *интерфейс* и *унифицированные 34-контактные разъемы* двух типов: с печатными двусторонними ламелями у 5"-устройств и двухрядными штырьковыми контактами у 3"-устройств. Используемый в РС кабель-шлейф имеет перевернутый фрагмент из 7 проводов с номерами 10-16 (рис. 2.58). Этот поворот позволяет подключить к контроллеру одним шлейфом до двух НГМД, причем адрес накопителя определяется его положением на шлейфе: для привода А: фрагмент перевернут, для В: — нет. Универсальный шлейф с пятью разъемами, изображенный на рис. 2.58, позволяет подключать пару любых дисководов, которые должны располагаться в разных зонах. Некоторые разъемы могут и отсутствовать, что сковывает свободу конфигурирования дисководов.

Состав сигналов интерфейса приведен в табл. 2.33, где показано, как эти сигналы приходят на разные накопители. Все сигналы интерфейса являются цифровыми (ТТЛ) с низким активным уровнем.

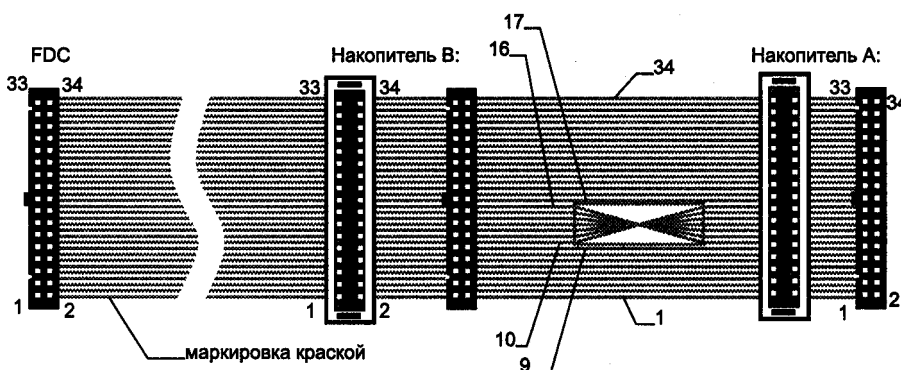


Рис. 2.58. Кабель интерфейса НГМД

Таблица 2.33. Кабель интерфейса НГМД

Контроллер		Дисковод В:		Дисковод А:	
Контакт	Сигнал	Контакт	Сигнал	Контакт	Сигнал
2	Reduce Write	2	Low Cur.	2	Low Cur.
4	Reserved	4	Reserved	4	Reserved
6	Reserved	6	DS3	6	DS3
8	Index	8	Index	8	Index
10	Motor On A	10	DS0	16	Motor*
12	Drive Sel 1	12	DS1*	14	DS2
14	Drive Sel 0	14	DS2	12	DS1*
16	Motor On B	16	Motor*	10	DS0
18	Direction	18	Direction	18	Direction
20	Step	20	Step	20	Step

22	Write Data	22	WData	22	Wdata
24	Write Gate	24	WGate	24	Wgate
26	Track 00	26	TR00	26	TR00
28	Write Protect	28	WProt	28	Wprot
30	Read Data	30	RData	30	Rdata
32	Side 1	32	Side 1	32	Side 1
34**	Disk Changed	34	DC	34	DC

Нечетные контакты 1-33 — земля. Для 5" дисководов ключ между контактами 4-5 и 6-7.

* Пара сигналов, обеспечивающая выборку FDD (Motor On A и Drive Sel 0 для дисковода A: и Motor On B и Drive Sel 1 для дисковода B).

** Контакт 34 используется только в АТ.

Интерфейс дисководов подразумевает наличие терминаторов на устройствах. Теоретически их предполагалось включать только на последнем дисковом в шлейфе, практически же их никогда и не отключают. Современные трехдюймовые накопители используют «распределенный терминатор».

Логически интерфейс довольно прост. Для перемещения головок на один шаг контроллер должен подать импульс Step, направление перемещения определяется уровнем сигнала Direction: при низком уровне (сигнал активен) перемещение происходит в сторону центра диска (номер трека увеличивается). Нулевой трек контроллер находит, перемещая головки от центра до появления сигнала Track 00. Выбор номера головки производится сигналом Side 1. Начало трека накопитель отмечает импульсом Index, который вырабатывается при прохождении индексного отверстия вращающейся дискеты мимо датчика. Считываемые данные в закодированном виде (но усиленные и сформированные в TTL-сигнал) поступают от накопителя по линии Read Data. Для включения режима записи служит сигнал Write Gate, закодированные данные в цифровом виде поступают от контроллера по линии Write Data. Если установлена дискета, защищенная от записи, накопитель сообщит об этом сигналом Write Protect. Для снижения тока записи, которое требуется при работе накопителей HD с дискетами DD и QD, предназначен сигнал Reduce Write. Накопители HD при смене дискеты устанавливают сигнал Disk Changed, который сбрасывается после обращения к этому накопителю.

Контроллер НГМД и интерфейсный кабель, принятый в PC, позволяют адресоваться к одному из двух накопителей и включать мотор сигналами Drive Sel 0 и Motor On A для накопителя A: и сигналами Drive Sel 1 и Motor On B для накопителя B:. При этом на обоих накопителях джамперы устанавливаются так, что они отзываются на сигнал Drive Sel 1 (контакт 12 разъема). Обычно джамперы на дисковом обозначаются DS0/DS1/DS2/DS3, и следует установить джампер DS1. Если джамперы обозначаются как DS1/DS2/DS3/DS4, что встречается не часто, то следует установить DS2. Принятая система выборки позволяет все дисководы конфигурировать однотипно, а адрес задавать положением на шлейфе.

Некоторые специфические клоны PC используют иную систему выборки накопителей и «прямой» кабель-шлейф. При этом используется выборка устройства сигналом DS0, но переключение выборки на эту линию некоторыми накопителями не поддерживается, в результате чего замена накопителей в этих «фирменных» машинах может стать хлопотным делом, особенно при отсутствии технической документации.

2.7.2.7. Интерфейсы НМД

Для накопителей на жестких дисках используют интерфейсы ST-506/412, ESDI, ATA, SATA, SCSI. Накопители и контроллеры с интерфейсами ST-506/412 и ESDI практически сошли со сцены, поскольку эти устройства не выпускаются уже много лет, а ранее выпущенные уже выработали отпущенный им жизненный ресурс. По этой причине ограничимся лишь кратким их описанием, а подробнее рассмотрим устройства с современными интерфейсами ATA, SATA и SCSI. Возможно также подключение дисковых устройств и к параллельному порту, но через устройство, обеспечивающее один из вышеперечисленных интерфейсов. О дисках с интерфейсом USB говорить пока рано, они в настоящее время используются в основном только для накопителей на флэш-памяти, а интерфейс FireWire является родственником SCSI-3.

2.7.2.7.1. Интерфейс ST-506 (ST-412) и ESDI

Первые накопители на жестких дисках имели интерфейс, напоминающий интерфейс НГМД. Это и понятно, поскольку НЖМД отличается только большим числом рабочих поверхностей (головок записи-считывания), более высокой скоростью вращения, а следовательно, и передачи данных, и несменяемостью носителя. Этот интерфейс по названию первых моделей контроллеров именуется ST-506 (ST-412). Поскольку первые контроллеры работали по схеме кодирования MFM, этот интерфейс называют также и «интерфейсом дисков MFM». Такое название не совсем корректно, поскольку, по

сути, этот же интерфейс использовался и для накопителей, допускающих использование схемы кодирования RLL. Некоторые модели накопителей выпускались в версиях MFM и RLL и различались только качеством носителя — у схемы RLL требования выше.

Интерфейс использует два плоских кабеля (рис. 2.59). *Магистральный 34-проводной кабель управления* (табл. 2.34) позволяет подключать до двух накопителей, адрес накопителя определяется его положением на шлейфе. Все сигналы в данном кабеле имеют уровни TTL, активный уровень — низкий. Система выборки напоминает применяемую в НГМД, но в кабеле перевернут фрагмент из 5 проводов 25-29. Устройства должны отзываться на сигнал DS0, к накопителю С: должен подходить прямой кабель, к D: — с перевернутым фрагментом. Каждый накопитель с контроллером соединяется и 20-проводным *кабелем данных*, по которым передаются аналоговые сигналы усилителей головок записи-чтения (табл. 2.35). На накопителях применяются разъемы с печатными ламелями, на контроллере — со штырьковыми контактами.

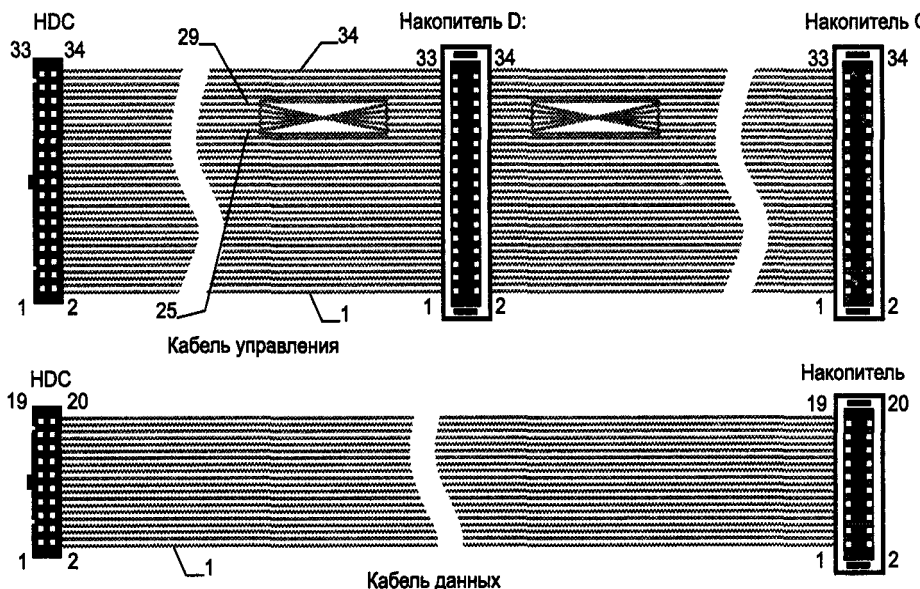


Рис. 2.59. Кабели интерфейсов ST-506/412 и ESDI

Таблица 2.34. Кабель управления ST-506/412

Сигнал	Контакт	Контакт	Сигнал
GND	1	2	-HD SLCT 3
GND	3	4	-HD SLCT 2
GND	5	6	-Write Gate
GND	7	8	-Seek CMPLT
GND	9	10	-Track 0
GND	11	12	-Write Fault
GND	13	14	-HD SLCT 0
Ключ (нет контакта)	15	16	Not Connected
GND	17	18	-HD SLCT 1
GND	19	20	-Index
GND	21	22	-Ready
GND	23	24	-Step
GND	25	26	-DRV SLCT 0
GND	27	28	-DRV SLCT 1
GND	29	30	Not Connected
GND	31	32	Not Connected
GND	33	34	-Direction In

Передача аналоговых сигналов записи-чтения по длинным интерфейсным кабелям не позволяет достигать высокой скорости передачи данных и, следовательно, высокой плотности хранения

информации. В режиме MFM диски имеют 17 секторов на трек, в режиме RLL — 26. Поскольку низкоуровневые форматы различных моделей контроллеров могут не совпадать, нет гарантии того, что данные накопителя, отформатированного на контроллере одной модели, окажутся доступными для контроллера другой модели (даже если оба контроллера работают по одной схеме кодирования — MFM или RLL). Замена контроллера в большинстве случаев требует низкоуровневого форматирования дисков, причем для производительности критичен фактор чередования секторов, о котором говорилось выше.

Таблица 2.35. Кабель данных ST-506/412

Сигнал	Контакт	Контакт	Сигнал
-DRV SLCTD	1	2	GND
Not Connected	3	4	GND
Not Connected	5	6	GND
Not Connected	7	8	Ключ (нет контакта)
Not Connected	9	10	Not Connected
GND	11	12	GND
+MFM Write	13	14	-MFM Write
GND	15	16	GND
+MFM Read	17	18	-MFM Read
GND	19	20	GND

Интерфейс ESDI (Enhanced Small Device Interface — расширенный интерфейс малых устройств) появился как развитие ST-506. Здесь существенная часть узлов контроллера перенесена на дисковод для повышения производительности (XFER до 1 Мбайт/с) и плотности записи (до 32-80 SPT). Накопители ESDI хранят описатели своих геометрических параметров и список дефектных блоков на самом диске, отсюда следует и установка «None» вместо типа диска в параметрах CMOS-конфигурации. Непонятно, ради какой унификации (скорее — путаницы) интерфейс (табл. 2.36, 2.37) сделали конструктивно совпадающим с ST-506. Назначение сигналов этих интерфейсов различно, и, естественно, взаимной совместимости устройств с интерфейсами ESDI и ST-506 быть не может.

Таблица 2.36. Кабель управления ESDI

Сигнал	Контакт	Контакт	Сигнал
GND	1	2	-HD SLCT 3
GND	3	4	-HD SLCT 2
GND	5	6	-Write Gate
GND	7	8	-CNFG/Status
GND	9	10	-XFER ACK
GND	11	12	-Attention
GND	13	14	-HD SLCT 0
Ключ	15	16	-Sector
GND	17	18	-HD SLCT 1
GND	19	20	-Index
GND	21	22	-Ready
GND	23	24	-XFER REQ
GND	25	26	-DRV SLCT 0
GND	27	28	-DRV SLCT 1
GND	29	30	Reserved
GND	31	32	-Read Gate
GND	33	34	-CMD Data

Таблица 2.37. Кабель данных ESDI

Сигнал	Контакт	Контакт	Сигнал
-DRV SLCTD	1	2	-Sector

-CMD Complete	3	4	-ADDR MRK EN
GND	5	6	GND
+Write CLK	7	8	-Write CLK
GND	9	10	+RD/REF CLK
-RD/REF CLK	11	12	GND
+NRZ Write	13	14	-NRZ Write
GND	15	16	GND
+NRZ Read	17	18	-NRZ Read
GND	19	20	Index

Конфигурирование устройств с интерфейсами ST-506/412 и ESDI сводится к заданию адреса и установке терминатора. Если на устройстве имеются джамперы, обозначенные как DS0/DS1, следует установить джампер DS0. Если они обозначены как DS1/DS2, следует установить джампер DS1. Иногда используют управляющий кабель без перевернутого фрагмента, тогда в случае установки двух накопителей на устройстве C: устанавливают DS0, а на устройстве D: — DS1. Управляющий кабель должен иметь терминатор на последнем устройстве шлейфа. Терминаторы обычно представляют собой плоскую резисторную сборку со штырьковыми контактами, которая по умолчанию устанавливается в гнезда всех накопителей. При установке двух накопителей на среднем устройстве шлейфа терминатор рекомендуется снимать.

Устройства с интерфейсами ST-506/412, ESDI имеют *внешний контроллер*, который обычно представляет собой плату, устанавливаемую в слот системной шины ввода/вывода. Контроллеры жесткого диска *HDC* (Hard Disk Controller) для компьютеров XT и AT различны как по регистровым моделям, так и по занимаемым системным ресурсам.

2.7.2.7.2. Интерфейс АТА (IDE)

Интерфейс АТА (AT Attachment for Disk Drives) разрабатывался в 1986-1990 гг. для подключения накопителей на жестких магнитных дисках к компьютерам IBM PC AT с шиной ISA. Стандарт, выработанный комитетом ХЗТ10, определяет набор регистров устройств и назначение сигналов 40-контактного интерфейсного разъема. Интерфейс появился в результате переноса стандартного (для PC/AT) контроллера жесткого диска ближе к накопителю, то есть создания устройств со встроенным контроллером - IDE (Integrated Drive Electronics). Такие устройства имеют ряд преимуществ перед устройствами с отдельным контроллером:

- За счет минимального удаления контроллера от диска удается существенно повысить быстродействие, поскольку отпадает необходимость передавать высокочастотные сигналы записи и чтения по длинным интерфейсным проводам.
- Снимается проблема совместимости накопителей и контроллеров по физическим форматам записи. Обмен с устройствами IDE происходит информационными и управляющими байтами или словами, а не закодированными последовательностями импульсных сигналов.
- Появляется большой простор для внутренних усовершенствований устройств, направленных на повышение производительности, надежности, плотности хранения информации и другие цели. Эти усовершенствования отрабатываются встроенным контроллером и могут им не выноситься на уровень внешнего интерфейса.
- Упрощается схемотехника адаптера подключения устройств к шине компьютера. Сигналы интерфейса представляют собой сокращенный набор буферизованных сигналов системной шины, а обязательная встроенная буферная память устройства позволяет не привязывать скорость обмена по внешнему интерфейсу к скорости обмена данными с собственно носителем информации. Таким образом, устройства IDE можно подключать через соответствующие адаптеры как к высокопроизводительной системной шине, так и к медленному интерфейсу стандартного параллельного порта. Конечно, производительность обмена будет существенно различной, но принципиальная возможность сопряжения есть.

Для подключения устройств IDE существует несколько *разновидностей интерфейса*:

- АТА (AT Attachment) IDE (16-бит), он же AT-BUS - интерфейс подключения к шине компьютера AT. В настоящее время это наиболее распространенный 40-проводной сигнальный и 4-проводной питающий интерфейс для подключения дисковых накопителей к компьютерам класса AT. Для миниатюрных (2,5" и меньших) накопителей используют 44-проводной кабель, по которому передается и питание.

- PC Card ATA — 16-битный интерфейс с 68-контактным разъемом PC Card (PCMCIA).
- XT IDE (8-бит), он же XT-BUS — 40-проводной интерфейс, похожий на ATA, но несовместимый с ним.
- MCA IDE (16-бит) — 72-проводной интерфейс, предназначенный специально для шины и накопителей PS/2. Как и компьютеры PS/2, по крайней мере в нашей стране, устройства с этим интерфейсом встречаются редко.

В настоящее время в качестве официального названия интерфейса устройств IDE, ориентированного на подключение к шинам ISA и родственным им (не MCA), применяют аббревиатуру *ATA* (AT Attachment — средства подключения к компьютеру AT). Поясним значение родственных терминов.

SAM ATA (Common Access Method) — ANSI-стандарт, обеспечивающий совместимость устройств на уровне сигналов и команд. Согласно этому стандарту, кабель длиной до 46 см допускает подключение до двух устройств, имеющих стандартный набор регистров.

ATA-2 — расширенная спецификация ATA, включает 2 канала, 4 устройства, PIO Mode 3, multiword DMA mode 1, Block mode, объем диска до 8 Гбайт, поддержка LBA и CHS (параметры режимов обмена PIO (Programmed Input/Output) и DMA представлены в Таблицах 2.38 и 2.39 соответственно. Более подробно см. Главу 3.).

Таблица 2.38. Параметры программных режимов передачи (PIO mode)

PIO mode	Минимальное время цикла, нс	Скорость передачи, Мбайт/с	Интерфейс
0	600	3,3	ATA
1	383	5,2	ATA
2	240	8,3	ATA
3	180	11,1	E-IDE, ATA-2 (используется IORDY)
4	120	16,6	E-IDE, Fast ATA-2 (используется IORDY)
5-	90	22,2	-

Таблица 2.39. Параметры циклов DMA для интерфейса ATA-2

Режим	Минимальное время цикла, нс	Скорость передачи, Мбайт/с
Single word DMA Mode 0	960	2,08
Single word DMA Mode 1	480	4,16
Single word DMA Mode 2	240	8,33
Multiword DMA Mode 0	480	4,12
Multiword DMA Mode 1	150	13,3
Multiword DMA Mode 2	120	16,6
Ultra DMA/33	120*	33

* В пакете данных режима Ultra DMA/33 за каждый такт передаются два слова данных, один по фронту синхронизирующего сигнала, другой по спаду.

Fast ATA-2 разрешает использовать Multiword DMA Mode 2 (13,3 Мбайт/с), PIO Mode 4.

ATA-3 — расширение, направленное на повышение надежности. Включает средства парольной защиты, улучшенного управления питанием, самотестирования с предупреждением приближения отказа — SMART (Self Monitoring Analysis and Report Technology).

Ultra DMA/33 — версия ATA/IDE со скоростью обмена по шине 33 Мбайт/с.

Устройства ATA IDE, E-IDE, ATA-2, Fast ATA-2, ATA-3 и Ultra DMA/33 электрически совместимы.

ATAPI (ATA Package Interface — пакетный интерфейс ATA) — программная спецификация для подключения к интерфейсу ATA накопителей CD-ROM, стримеров и других устройств, которым недостаточно системы команд ATA, явно ориентированной на дисковые устройства. Устройство ATAPI поддерживает минимальный набор команд ATA, а для его расширения используется 12-байтный командный пакет, посылаемый хост-контроллером в регистр данных устройства. Структура командного пакета пришла от SCSI, что обеспечивает схожесть драйверов для одних и тех же устройств, имеющих интерфейсы SCSI и ATA. Интерфейс ATAPI может использоваться с любыми неинтеллектуальными адаптерами ATA. Сложные контроллеры интерфейса ATA, имеющие кэш-память и собственный процессор, не ориентированные на интерфейс ATAPI, могут и не догадаться,

что в регистр данных устройства кроме 512-байтных блоков данных можно записывать и 12-байтный командный блок.

ATA SPI (ATA Software Programming Interface) — менеджер ввода/вывода для Windows, обеспечивает асинхронные операции обмена с HDD, CD-ROM и стримерами, использует 32-битный доступ и управление несколькими шинами.

E-IDE (Enhanced IDE) — расширенный интерфейс, реализуемый в адаптерах для шин PCI и VLB, позволяющий подключать до 4 устройств (к двум каналам), включая CD-ROM и стримеры (ATAPI). Поддерживает PIO Mode 3, multiword DMA mode 1, объем диска до 8 Гбайт, LBA и CHS.

В настоящее время наиболее широко распространен и четко стандартизован интерфейс, официально называемый *ATA-2*. Интерфейс E-IDE, введенный фирмой Western Digital, с аппаратной точки зрения практически полностью соответствует спецификации *ATA-2*. Fast *ATA-2* и *ATA-3* представляют собой расширения спецификации *ATA-2*.

Электрический интерфейс

Согласно спецификации *ATA* для подсоединения устройств используется 40-проводный ленточный кабель (плоский кабель-шлейф) (рис. 2.60).

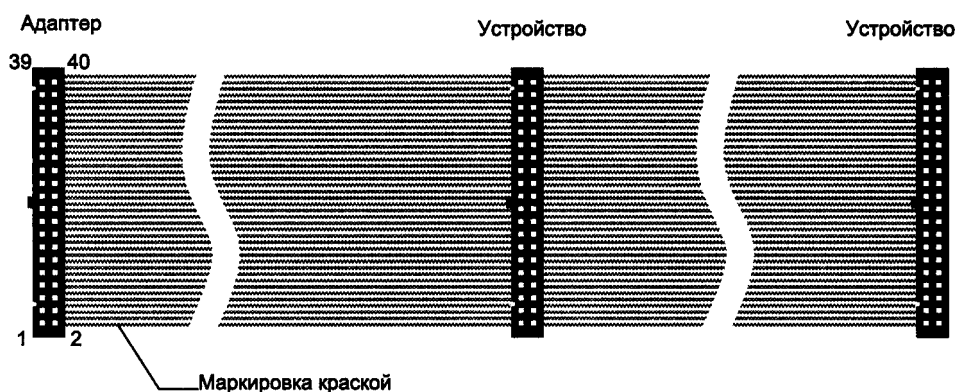


Рис. 2.60. Интерфейсный кабель *ATA*

Специальные терминаторы стандартом не предусматриваются (они имеются в каждом устройстве и хост-адаптере), но если кабель с тремя разъемами используют для подключения одного устройства, то и его и хост-адаптер рекомендуется подключать к противоположным концам кабеля.

Состав информационных сигналов интерфейса *ATA* приведен в табл. 2.40.

Таблица 2.40. Кабель интерфейса *ATA IDE*

Сигнал	Тип	Контакт	Контакт	Тип ¹	Сигнал
RESET»	I		2	-	GND
DD 7	I/O TS	3	4	I/OTS	DD 8
DD 6	I/O TS	5	6	I/OTS	DD 9
DD5	I/O TS	7	8	I/OTS	DD 10
DD 4	I/O TS	9	10	I/OTS	DD 11
DD 3	I/OTS	11	12	I/OTS	DD 12
DD 2	I/O TS	13	14	I/OTS	DD 13
DD 1	I/O TS	15	16	I/OTS	DD 14
DD 0	I/O TS	17	18	I/OTS	DD 15
GND	-	19	20	-	Ключ (нет штырька)
DMARQ	O TS ²	21	22	-	GND
DIOW#	I	23	24	-	GND
DIOR#	I	25	26	-	GND
IORDY	O OK	27	28	I/O	SPSYNC/CSEL
DMACK#	I	29	30	-	GND
INTRQ	O TS ²	31	32	OOK	IOCS16#
DA 1	I	33	34	I,0 ³	PDIAG#

DA 0	I	35	36	I	DA 2
CS0#	I	37	38	I	CS1#
DASP#	I/O OK ⁴	39	40	-	GND
+5 B (Logic)	-	41 ⁵	42 ⁵	-	+5 B (Motor)
GND	-	43 ⁵	44 ⁵	-	TYPE (0°ATA)

¹ Тип сигнала для устройства: I — вход, O — выход, I/O — двунаправленный, TS — тристабильный, OK — открытый коллектор.

² У старых устройств сигнал может иметь тип ОК (при разнотипных сигналах на одной шине возможен конфликт).

³ У устройства-0 — вход, у устройства-1 — выход.

⁴ У устройства-1 — только выход.

⁵ Контакты 41-44 используются для миниатюрных дисков.

В документации на устройства могут применяться и несколько отличающиеся обозначения сигналов. Здесь приводятся обозначения из стандарта ATA-2 с тем лишь отличием, что в обозначении инверсного действия сигнала применяется не символ «-», а символ «#».

Сигналы имеют следующее назначение:

RESETS (Device reset) — сброс устройства (инвертированный сигнал сброса системной шины). Сигнал длительностью не менее 25 мкс вырабатывается после установления питающих напряжений.

DA[2:0] (Device Address) — три младших бита системной шины адреса, используемые для выбора регистров устройств.

DD[15:0] (Device Data) — двунаправленная 16-битная шина данных между адаптером и устройствами. При 8-битных обменах используются младшие биты D[7:0].

DIOR# (Device I/O Read) — строб чтения портов ввода/вывода. Данные фиксируются по положительному перепаду сигнала.

DIOW# (Device I/O Write) — строб записи портов ввода/вывода. Данные фиксируются по положительному перепаду сигнала.

IORDY (I/O channel ready) — готовность устройства завершить цикл обмена. Низким уровнем сигнала во время цикла обмена устройство может ввести такты ожидания шины. Использование сигнала требуется при обмене в PIO MODE 3 и выше.

IOCS16# — разрешение 16-битных операций. Обращение ко всем регистрам, кроме регистра данных, всегда 8-битное. Для PIO MODE 0, 1, 2 при активном сигнале обращения 16-битные, при неактивном — 8-битные. Для PIO MODE 3, 4 и DMA все обмены 16-битные, кроме дополнительных байт (выходящих за границу 512-байтного сектора) «длинного» считывания и записи).

DMARQ (DMA ReQuest) — запрос обмена по каналу DMA (сигнал необязательный). При разрешенном обмене по каналу DMA сигнал (высокий уровень) вводится устройством по готовности к обмену данными. Введя сигнал DMARQ, устройство должно дождаться подтверждения от хост-адаптера сигналом DMACK#, после чего оно может снять запрос DMARQ. Для очередной передачи запрос должен быть введен снова. В режиме Multi-Word DMA запрос может удерживаться на время передачи всех данных. Выход должен быть тристабильным, в активном состоянии (лог. 0 или лог. 1) он может быть только у выбранного устройства во время работы с DMA. В ATA-1 для этого сигнала мог использоваться как тристабильный, так и стандартный TTL-выход. Работа на одной шине устройств с разнотипными выходами DMARQ может привести к конфликтам (вот они — отзвуки нарушения принципа L-активности управляющих сигналов в PC).

DMACK# (DMA aCKnowledge) — подтверждение DMA. Сигнал вырабатывается хост-адаптером как подтверждение каждого цикла передачи. Передача слова данных управляется сигналами DIOR# или DIOW#. Во время обмена по каналу DMA сигналы IOCS16#, CS0# и CS1# не используются, обмен всегда производится 16-битными словами.

INTRQ (Device interrupt) — запрос прерывания. Выход должен быть тристабильным, активный сигнал — лог. 1 вырабатывает только выбранное устройство, когда у него имеется необслуженный запрос прерывания и его вырабатывание не запрещено битом IEN# в регистре Device Control. Запрос сбрасывается по сигналу RESETS, установке бита SRST в регистре Device Control, записи в регистр команд или чтении регистра состояния. При обменах PIO запрос устанавливается в начале передачи каждого блока (сектора или группы секторов при многосекторных операциях). Исключения: по командам FORMAT TRACK, WRITE SEC-TOR(S), WRITE BUFFER и WRITE LONG в начале передачи первого блока данных запрос прерывания не вырабатывается. При обменах DMA запрос прерывания вырабатывается только по завершении операции.

CS0# (Chip Select 0) — сигнал выбора блока командных регистров (Command Block Registers). Для первого канала он вырабатывается при наличии на системной шине адреса порта ввода/вывода в диапазоне 1F0h-1F7h (часто этот сигнал называется CSIFX#).

CSI# (Chip Select 1) — выбор блока управляющих регистров (Control Block Registers). Для первого канала он вырабатывается при наличии на системной шине адреса порта ввода/вывода в диапазоне 3F6h-3F7h (часто этот сигнал называется CS3FX#).

PDIAG# (Passed diagnostics) — сигнал о прохождении диагностики. Устройство-0 наблюдает за этим сигналом, который устройство-1 должно выработать в ответ на сброс или команду диагностики. Если устройство-1 обнаружено (по сигналу DASP#), устройство-0 ожидает сигнал в течение 31 с после сброса и 6 с после команды диагностики. Если за это время сигнал не появился, устройство-0 отмечает этот факт установкой бита 7 регистра ошибок. Если устройство-1 не обнаружено, то устройство-0 обнуляет регистр состояния устройства-1 и сообщает свое состояние сразу после завершения собственной самодиагностики. Сигнал служит только для связи двух устройств, и хост-адаптером не используется.

DASP# (Device Active, Slave Present) — сигнал двойного назначения: индикатор активности устройства и присутствия устройства-1 (Slave). Устройства имеют выход типа «открытый коллектор» с нагрузочным резистором 10 кОм к шине +5 В. После сброса по сигналу RESET# или при инициализации по включении питания оба устройства в течение 1 мс должны деактивировать этот сигнал, после чего не позже, чем через 400 мс, его вводит устройство-1 для сообщения о своем присутствии. Устройство-0 не активирует этот сигнал в течение 450 мс, позволяя устройству-1 сообщить о своем присутствии. Сигнал деактивируется устройством-1 после получения им команды или через 31 с автоматически (смотря что произойдет раньше). После этого сигнал может быть введен любым устройством как индикатор активности. Адаптер использует этот сигнал для включения светодиодного индикатора доступа к диску.

SPSYNC/CSEL (Spindle Synchronization/Cable Select) — синхронизация шпинделя/ выборка кабелем. Сигнал двойного использования, оба устройства на шине могут использовать только одно назначение. Сигнал SPSYNC позволяет синхронизировать шпиндели устройств (актуально для RAID-массивов), используется по усмотрению производителя накопителя. Сигнал CSEL позволяет устройствам определять свой адрес по положению на кабеле: эта линия на хост-адаптере заземлена, и в специальном кабеле устройство-0 (Master) получает заземленную линию, устройство-1 (Slave) — не подключенную. Состояние сигнала (если он управляется хост-адаптером) должно удерживаться по крайней мере 31 с после сигнала RESETS. Специальный кабель (с разрывом провода 28 между разъемами двух устройств) широкого распространения не получил.

2.7.2.8. Шина SCSI

SCSI (Small Computer System Interface, произносится «скази») — интерфейс системного уровня, стандартизованный ANSI. В отличие от интерфейсов портов, представляет собой шину, в которой сигнальные выходы множества устройств-абонентов соединяются друг с другом «один в один». В отличие от «жестких» шин расширения, SCSI-шина реализуется в виде кабельного шлейфа, который допускает соединение до 8 устройств внутреннего и внешнего исполнения. Одно из них — *хост-адаптер* (Host Adapter) связывает шину SCSI с системной шиной компьютера, семь других свободны для периферии. К шине могут подключаться дисковые внутренние и внешние накопители (винчестеры, сменные винчестеры, CD-ROM, магнитооптические диски и др.), стримеры, сканеры и другое оборудование, применяемое не только для IBM PC.

Каждое *устройство*, подключенное к шине, имеет свой *идентификатор* SCSI ID, который передается позиционным кодом по 8-битной шине данных (отсюда и ограничение на количество устройств на шине). Устройство (ID) может иметь до 8 *подустройств* со своими LUN (Logical Unit Number — логический номер устройства). Любое устройство может инициировать обмен с другим *нулевым устройством* (Target). Режим обмена по SCSI-шине может быть асинхронным или более производительным — синхронным с согласованием скорости (Synchronous Negotiation), передача данных контролируется по паритету.

Спецификация *SCSI-1* строго определяет физические и электрические параметры интерфейса и минимум команд. Частота шины — 5 МГц.

Спецификация *SCSI-2* определяет 18 базовых SCSI-команд (Common Command Set, CCS), обязательных для всех периферийных устройств, и дополнительные команды для CD-ROM и другой периферии. Устройства поддерживают очереди — могут принимать цепочки до 256 команд и выполнять их в предварительно оптимизированном порядке автономно. Устройства на одной SCSI-шине могут обмениваться данными без участия CPU.

Дополнительные расширения SCSI-2:

- *Fast SCSI-2* — удвоение скорости синхронной передачи (частота шины 10 МГц).
- *Wide SCSI-2* — 16-битные (реже 32-битные) расширения SCSI-2.
- *Ultra SCSI* — сверхскоростной интерфейс (частота шины 20 МГц).

Максимальная пропускная способность зависит от частоты и разрядности шины и для комбинаций указанных расширений приведена в табл. 2.41.

Таблица 2.41. Скорость передачи данных, длина и типы кабелей SCSI

Шина, бит	Обычный	Fast	Ultra	Тип кабеля
8 (Narrow)	5 МВ/с	10 МВ/с	20 МВ/с	А
16 (Wide)	10 МВ/с	20 МВ/с	40 МВ/с	Р
32 (Wide)	20 МВ/с	40 МВ/с	80 МВ/с	А+Р+Q
Максимальная длина кабеля	6м	3м	1,5м	Линейный (Single ended)

SCSI-3 — дальнейшее развитие стандарта, направленное на увеличение количества подключаемых устройств, спецификацию дополнительных команд, поддержку Plug and Play. В качестве альтернативы параллельному интерфейсу SPI (SCSI-3 Parallel Interface) появляется возможность применения последовательного, в том числе и волоконно-оптического интерфейса со скоростью передачи данных 100 Мбайт/с. SCSI-3 существует в виде широкого спектра документов, определяющих отдельные стороны интерфейса, и во многом смыкается с последовательной шиной FireWire, описанной ниже. Однако отождествлять эти два названия некорректно.

2.7.2.8.1. SCSI кабели, разъемы, терминаторы

По типу сигналов различают *линейные* (Single Ended) и *дифференциальные* (Differential) версии SCSI, их кабели и разъемы идентичны, но *электрической совместимости* устройств между ними нет). *Дифференциальная* версия для каждого сигнала использует витую пару проводников и специальные приемопередатчики, при этом становится допустимой большая суммарная длина кабеля, сохраняя высокую частоту обмена. Дифференциальный интерфейс применяется в мощных дисковых системах серверов, но в обычных PC не распространен. В широко используемой *линейной* версии каждый сигнал должен идти по своему одному проводнику, скрученному (или, по крайней мере, отделенному от другого в плоском шлейфе) с нулевым (обратным) проводом. Универсальные символические обозначения для разных версий приведены на рис. 2.61.

Устройства соединяются кабелями в *цепочку* (Daisy Chain), на крайних устройствах подключаются *терминаторы*. Часто одним из крайних устройств является хост-адаптер. Хост-адаптер может иметь для каждого канала как внутренний разъем, так и внешний. При одновременном использовании внешнего и внутреннего разъемов хост-адаптера его терминаторы отключают. Корректность использования терминаторов имеет существенное значение — отсутствие одного из терминаторов или, наоборот, лишний терминатор может привести к неустойчивости или потере работоспособности интерфейса. По исполнению терминаторы могут быть как *внутренние* (размещенные на печатной плате устройства), так и *внешние* (устанавливаемые на разъемы кабеля или устройства). По электрическим свойствам различают следующие типы терминаторов:

- Пассивные (SCSI-1) с импедансом 132 Ом — обычные резисторы. Эти терминаторы не пригодны для высокоскоростных режимов SCSI-2.
- Активные с импедансом 110 Ом — специальные терминаторы для обеспечения работы на частоте 10 МГц в SCSI-2.
- FPT (Forced Perfect Terminator) — улучшенный вариант активных терминаторов с ограничителями выбросов.

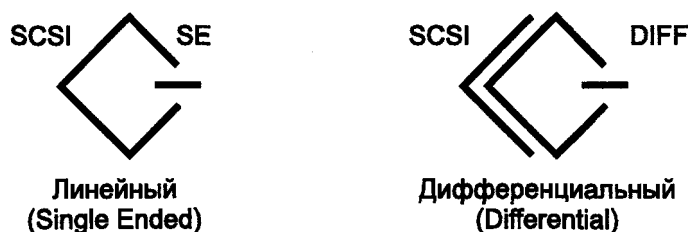


Рис. 2.64. Универсальные символические обозначения версий SCSI

Активные терминаторы требуют питания, для чего имеются специальные линии интерфейса TERMPWR.

Ассортимент кабелей SCSI довольно широк. Основные стандартизованные кабели:

- *А-кабель*: стандартный для 8-битного интерфейса SCSI 50-проводный внутренний шлейф (разъемы IDC-50) или внешний экранированный (разъемы CENTRONICS-50).
- *В-кабель*: 16-битный расширитель SCSI-2, распространения не получил.
- *Р-кабель*: 16-битный SCSI-2/3 68-проводный с улучшенными миниатюрными экранированными

разъемами, универсальными для внутренних и внешних кабелей 8-, 16- и 32-битных версий SCSI (в 8-битном контакты 1-5, 31-39, 65-68 не используются). Разъемы для внешнего подключения выглядят как миниатюрный вариант Centronics с плоскими контактами, внутренние имеют штырьковые контакты.

- *Q-кабель*: 68-проводное расширение до 32 бит, используется в паре с P-кабелем.
- *Кабель с разъемами DB-25P* — 8-битный, стандартный для Macintosh, используется на некоторых внешних устройствах (Omega ZIP-Drive).

Кроме того, возможны различные варианты кабелей-переходников. В Таблице 2.42. в качестве примера приведено назначение контактов разъемов P и Q-кабелей. Некоторое неудобство вызывает система нумерации контактов, которая различна для внешних и внутренних разъемов.

Таблица 2.42. Разъемы P, Q — кабелей SCSI

Контакт	Сигнал P- и Q-кабеля	Контакт	Сигнал	
			P-кабель	Q-кабель
1	GND	35	DB12#	DB28#
2	GND	36	DB13#	DB29#
3	GND	37	DB14#	DB30#
4	GND	38	DB15#	DB31#
5	GND	39	DB Parity 1#	DB Parity 3#
6	GND	40	DB0#	DB16#
7	GND	41	DB1#	DB17#
8	GND	42	DB2#	DB18#
9	GND	43	DB3#	DB19#
10	GND	44	DB4#	DB20#
11	GND	45	DB5#	DB21#
12	GND	46	DB6#	DB22#
13	GND	47	DB7#	DB 23#
14	GND	48	DB Parity 0#	DB Parity 2#
15	GND	49	GND	GND
16	GND	50	GND	GND
17	TERMPWR	51	TERMPWR	TERMPWRQ
18	TERMPWR	52	TERMPWR	TERMPWRQ
19	Reserved	53	Reserved	Reserved
20	GND	54	GND	GND
21	GND	55	ATN#	Terminated
22	GND	56	GND	GND
23	GND	57	BSY#	Terminated
24	GND	58	ACK#	ACKQ#
25	GND	59	RST#	Terminated
26	GND	60	MSG#	Terminated
27	GND	61	SEL#	Terminated
28	GND	62	C#/D	Terminated
29	GND	63	REQ#	REQQ#
30	GNO	64	I/O#	Terminated
31	GND	65	DB8#	DB24#
32	GND	66	DB9#	DB25#
33	GND	67	DB10#	DB26#
34	GND	68	DB11#	DB27#

Как и в шине PCI, в шине SCSI предполагается возможность обмена информацией между любой парой устройств. Конечно, чаще всего обмен производится между хост-адаптером и периферийными устройствами. «Умное» ПО способно иногда и «срезать углы» — копирование данных между устройствами производить без выхода на системную шину компьютера. Здесь большие возможности имеют интеллектуальные хост-адаптеры со встроенной кэш-памятью. В каждом обмене по шине принимает участие его *инициатор* (Initiator) и *целевое устройство* (Target). В табл. 2.43 приводится назначение сигналов.

Таблица 2.43. Назначение сигналов шины SCSI

Сигнал	Источник: I=Initiator, Назначение T=Target	
DBx#	-	Инверсная шина данных с битами паритета
TERMPWR	-	Питание терминаторов
ATN#	I	Внимание
BSY#	I, T	Шина занята
REQ#	T	Запрос на пересылку данных
ACK#	I	Ответ на REQ#
RST#	I, T	Сброс
MSG#	T	Target передает сообщение
SEL#	I/T	Выбор (Select) целевого устройства инициатором или Reselect инициатора целевым устройством
C/D#	T	Управление (0)/данные (1) на шине
I/O#	T	Направление передачи относительно инициатора или фаза Selection (1)/Reselection (0)

2.7.2.9. Последовательная шина USB

USB (Universal Serial Bus — универсальная последовательная шина) является промышленным стандартом расширения архитектуры PC, ориентированным на интеграцию с телефонией и устройствами бытовой электроники. Шина разработана недавно — спецификация версии 1.0 была опубликована в январе 1996 года, — и в ней отразились современные достижения различных областей компьютерной техники. Архитектура USB определялась следующими критериями:

- Легко реализуемое расширение периферии PC.
- Дешевое решение, поддерживающее скорость передачи до 12 Мбит/с.
- Полная поддержка в реальном времени передачи аудио- и сжатых видеоданных.
- Гибкость протокола для смешанной передачи изохронных данных и асинхронных сообщений.
- Интеграция в технологию выпускаемых устройств.
- Доступность в PC всех конфигураций и размеров.
- Обеспечение стандартного интерфейса, способного быстро внедриться в продукцию.
- Открытие новых классов устройств, расширяющих PC.
- С точки зрения конечного пользователя привлекательны такие черты USB:
- Простота кабельной системы и подключений.
- Изоляция подробностей электрического подключения от конечного пользователя.
- Самоидентифицирующаяся периферия, автоматическая связь устройств с драйверами и конфигурирование.
- Возможность динамического подключения и реконфигурирования периферии.

С середины 1996 года многие фирмы выпускают PC со встроенным контроллером USB, реализуемым прямо чипсетом системной платы. Поначалу USB ехидно расшифровывали как «Unused Serial Bus» — «неиспользуемая последовательная шина», но скоро ситуация, похоже, изменится. Ожидается появление модемов, клавиатур, сканеров, динамиков и других устройств ввода/вывода с поддержкой технологии USB, а также мониторов с USB-адаптерами — такой монитор будет играть роль хаба для подключения других устройств.

Физический интерфейс

Стандарт USB определяет электрические и механические спецификации шины.

Информационные сигналы и питающего напряжения 5 В передаются по четырехпроводному кабелю. Для сигнала используются дифференциальный способ передачи по двум проводам D+ и D- Уровни сигналов передатчиков в статическом режиме должны быть ниже 0,3 В (низкий уровень) или

выше 2,8 В (высокий уровень). Приемники должны выдерживать входное напряжение в пределах - 0,5...+3,8 В. Передатчики должны иметь возможность перехода в высокоимпедансное состояние для обеспечения двунаправленной полудуплексной передачи данных по одной паре проводов.

Передача по двум проводам USB не ограничивается лишь дифференциальными сигналами. Кроме дифференциального приемника, каждое устройство имеет и линейные приемники сигналов D+ и D-, а передатчики этих линий управляются индивидуально. Это позволяет различать множество состояний линии, используемых для организации аппаратного интерфейса. Состояния Diff0 и Diff1 определяются по разности потенциалов на линиях D+ и D- более 200 мВ при условии, что на одной из них потенциал выше порога срабатывания VSE. Состояние, при котором на обоих входах D+ и D- присутствует низкий уровень, называется линейным нулем (SE0 — single-ended zero). Интерфейс определяет следующие состояния:

- Data J State и Data K State — состояния передаваемого бита (определяются через состояния Diff0 и Diff1).
- Idle State — пауза на шине.
- Resume State — сигнал «пробуждения» для вывода устройства из «спящего» режима.
- Start of Packet (SOP) — начало пакета (переход из «Idle» в «K»).
- End of Packet (EOP) — конец пакета.
- Disconnect — устройство отключено от порта.
- Connect — устройство подключено к порту.
- Reset — сброс устройства.

Состояния определяются сочетаниями дифференциальных и линейных сигналов, причем для полной и низкой скоростей состояния Diff0 и Diff1 имеют противоположное назначение. В декодировании состояний Disconnect, Connect и Reset принимается во внимание и время нахождения линий (более 2,5 мс) в определенных состояниях.

Шина имеет два режима передачи. *Полная скорость* передачи сигналов USB составляет 12 Мбит/с, *низкая* — 1,5 Мбит/с. Для полной скорости используется экранированная витая пара с импедансом 90 Ом и длиной сегмента до 5 м, для низкой — невитой и неэкранированный кабель при длине сегмента до 3 м. Низкоскоростные кабели и устройства дешевле высокоскоростных. Одна и та же система может одновременно использовать оба режима, переключение для устройств осуществляется прозрачно. Низкая скорость предназначена для работы с небольшим количеством устройств, не требующих высокой пропускной способности канала.

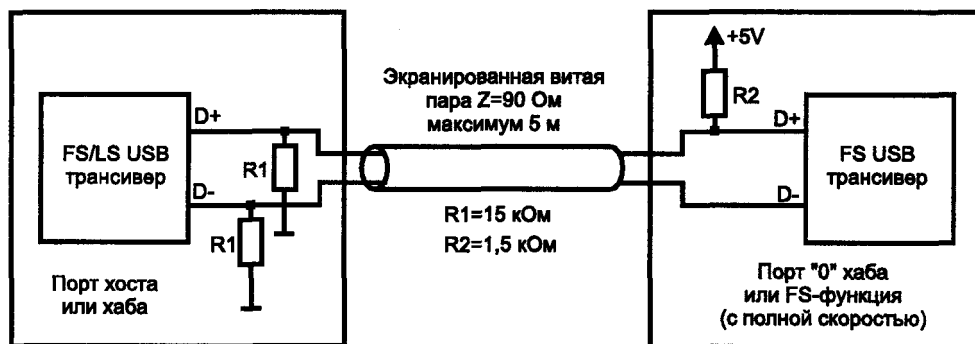


Рис. 2.62. Подключение высокоскоростного устройства

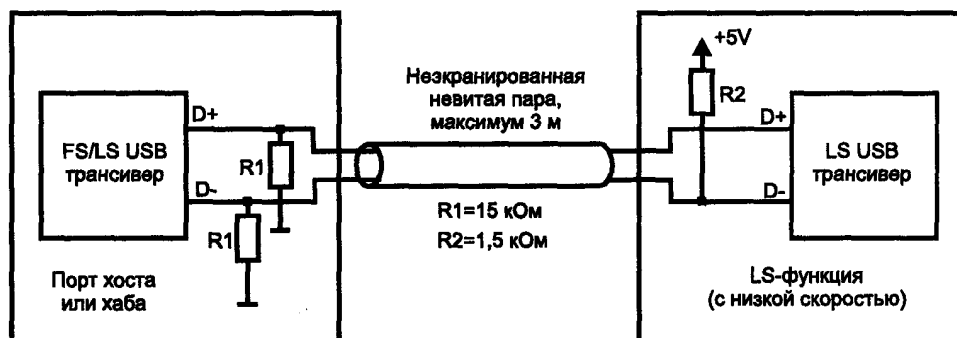


Рис. 2.63. Подключение низкоскоростного устройства.

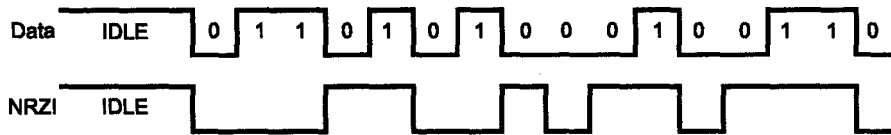


Рис. 2.64. Кодирование данных по методу NRZI.

Скорость, используемая устройством, подключенным к конкретному порту, определяется хабом по уровням сигналов на линиях D+ и D-, смещаемых нагрузочными резисторами R2 приемопередатчиков (см. рис. 2.62, 2.63).

Сигналы синхронизации кодируются вместе с данными по методу NRZI (Non Return to Zero Invert), его работу иллюстрирует рис. 2.64. Каждому пакету предшествует поле синхронизации SYNC, позволяющее приемнику настроиться на частоту передатчика.

Кроме сигнальной пары, кабель имеет линии VBus и GND для передачи питающего напряжения 5 В к устройствам. Сечение проводников выбирается в соответствии с длиной сегмента для обеспечения гарантированного уровня сигнала и питающего напряжения.

Стандарт определяет *два типа разъемов* (табл. 2.44).

Таблица 2.44. Назначение выводов разъема USB

Контакт	Цепь
1	VCC
2	-Data
3	+Data
4	Ground

Разъемы, типа «А» применяются для подключения к хабам (upstream connector). Они устанавливаются на кабелях, не отсоединяемых от устройств (например, от клавиатуры, мыши и т. п.). Ответная часть к ним устанавливается на нисходящих портах (downstream port) хабов.

Разъемы типа «В» (downstream connector) устанавливаются на устройствах, от которых соединительный кабель может отсоединяться (например, на принтеры и сканеры). Его ответная часть устанавливается на соединительном кабеле, противоположный конец которого имеет разъем типа «А».

Разъемы типов А и В различаются механически, что исключает возможность петлевых соединений портов хабов, которые недопустимы в USB. Четырехконтактные разъемы имеют ключи, исключающие неправильное присоединение. Конструкция разъемов обеспечивает более позднее соединение и раннее отсоединение сигнальных цепей по сравнению с питающими. Для облегчения распознавания разъема USB на корпусе устройства ставится обозначение, приведенное на рис.2.65.



Рис. 2.65. Обозначение разъема USB

Питание устройств USB возможно как от кабеля (bus-powered devices), *rat* и от собственного блока питания (self-powered devices). Хост обеспечивает питанием непосредственно к нему подключенные устройства. Каждый хаб (устройство с несколькими портами), в свою очередь, обеспечивает питание устройств, подключенных к его нисходящим портам. При некоторых ограничениях топологии USB допускает применение хабов питающихся от шины. На рис. 2.66 приведен пример схемы соединения устройств USB. Здесь клавиатура, перо и мышь могут питаться от шины.

USB имеет развитую *систему управления энергопотреблением*. Хост-компьютер может иметь собственную систему управления энергопотреблением (power management system), к которой логически подключается и одноименная система USB. Программное обеспечение USB взаимодействует с этой системой, поддерживая такие системные события, как приостанов (SUSPEND) или восстановление (RESUME). Кроме того, устройства USB могут сами являться источниками событий, обрабатываемых системой управления энергопотреблением.

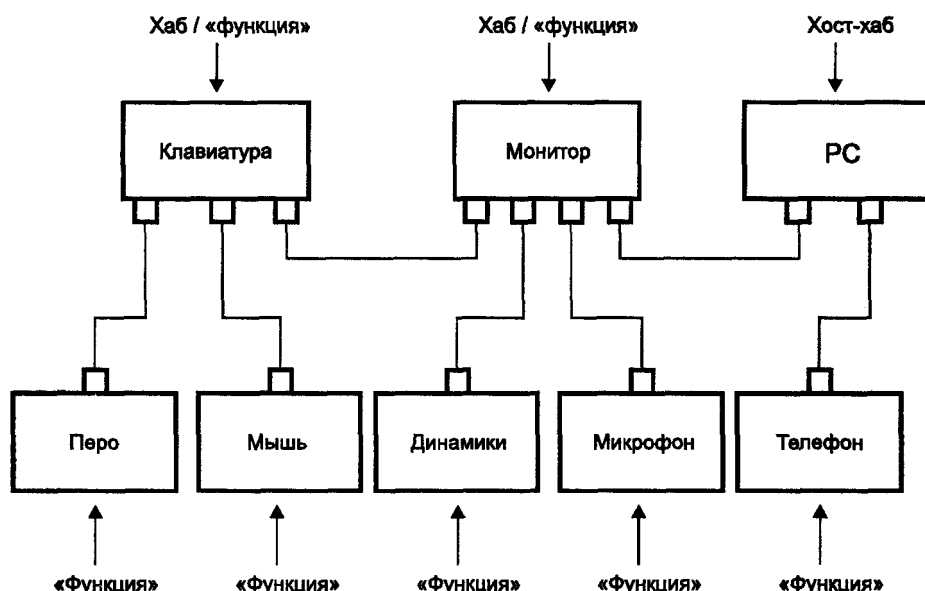


Рис. 2.66. Пример подключения устройств USB

2.7.2.10. Шина IEEE 1394 — FireWire

Стандарт для высокопроизводительной последовательной шины (High Performance Serial Bus), получивший официальное название IEEE 1394, был принят в 1995 году. Целью разработки являлось создание шины, не уступающей по производительности современным стандартным параллельным шинам, при существенном удешевлении и повышении удобств подключения, достижимом при переходе на последовательный интерфейс. Стандарт основан на шине *FireWire*, используемой фирмой Apple Computer в качестве дешевой альтернативы шине SCSI в компьютерах Macintosh и PowerMac. Название FireWire (огненный провод) теперь применяется и к реализациям IEEE 1394, это название сосуществует и кратким обозначением *1394*.

- *Преимущества FireWire* перед другими последовательными шинами:
- Многофункциональность: шина обеспечивает цифровую связь до 63 устройств без применения дополнительной аппаратуры (хабов). Устройства — цифровые видеоредакторы, сканеры, принтеры, камеры для видеоконференций, дисковые накопители — могут обмениваться данными не только с PC (необязательного для шины), но и между собой. FireWire по инициативе VESA является кандидатом на стандарт для «домашней сети».
- Высокая скорость обмена и изохронные передачи позволяют даже на начальном уровне (100 Мбит/с) передавать по шине одновременно два канала «живого видео» (30 кадров в секунду) широкоэшелонного качества и стереоаудиосигнал с качеством CD.
- Низкая (относительно) цена компонентов и кабеля.
- Легкость установки и использования. FireWire расширяет систему Plug and Play. Устройства автоматически распознаются и конфигурируются при включении и отключении. Питание от шины (током до 1,5 А) позволяет подключенным устройствам общаться с системой даже при отключении их питания. Управлять шиной и другими устройствами могут не только PC, но и другие «интеллектуальные» устройства.

2.7.2.10.1. Структура и взаимодействие устройств шины

Стандарт 1394 определяет две категории шин: кабельные шины и кросс-шины (backplane). Под *кросс-шинами* подразумеваются обычно параллельные интерфейсы, объединяющие внутренние подсистемы устройства, подключенного к кабелю 1394.

В отличие от USB, управляемой одним хост-контроллером, стандарт 1394 предполагает соединение возможно равноправных устройств в сеть. Сеть может состоять из множества шин, соединенных мостами. В пределах одной шины устройства объединяются соединительными кабелями без применения каких-либо дополнительных устройств. *Мосты* представляют собой специальные интеллектуальные устройства. Интерфейс PC с шиной FireWire представляет собой мост PCI — 1394, мостами являются также и соединения кабельной шины 1394 с кросс-шинами устройств. 16-битная адресация узлов сети допускает до 63 устройств в каждой шине, адресуемых 6-битным полем идентификатора узла. 10-битное поле идентификатора шины допускает использование в системе до 1023 мостов, соединяющих шины возможно разного типа.

Кабельная шина представляет собой сеть, состоящую из узлов и (необязательно) кабельных

мостов. Гибкая топология позволяет строить сети, сочетающие древовидную и цепочечную архитектуры (рис 2.67). Каждый узел обычно имеет три равноправных соединительных разъема.

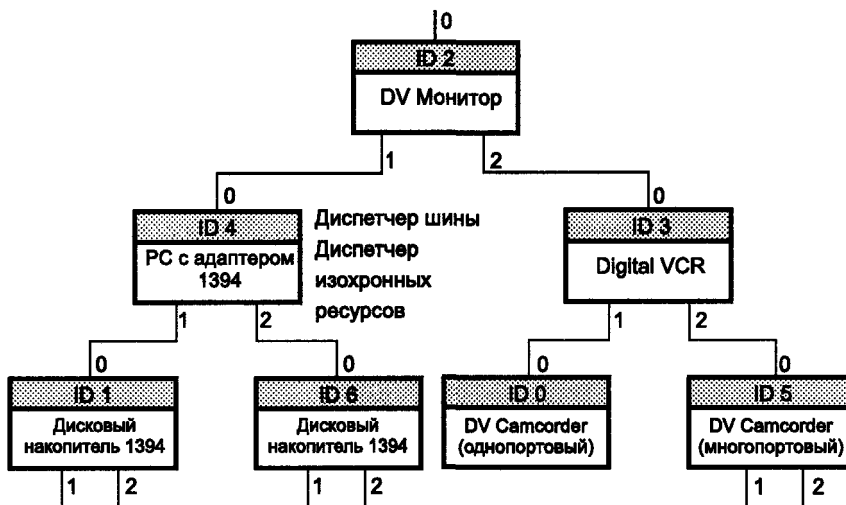


Рис. 2.67. Соединение устройств на шине FireWire

Допускается множество вариантов подключения устройств, удовлетворяющих следующим ограничениям:

- между любой парой узлов может быть не более 16 кабельных сегментов;
- длина сегмента стандартного кабеля не должна превышать 4,5 м;
- суммарная длина кабеля не должна превышать 72 м (применение более качественного кабеля позволяет использовать и более длинные кабели).

Некоторые устройства могут иметь только один разъем, что несколько ограничивает возможные варианты их местоположения. Стандарт допускает и до 27 разъемов на одном устройстве.

Стандарт предусматривает связь узлов с помощью 6-проводного кабеля, заключенного в общий экран. Две витые пары используются для передачи сигналов (раздельные для приемника и передатчика), два провода используются для питания устройств (8-40 В, до 1,5 А). Для гальванической развязки интерфейса используются трансформаторы (напряжение изоляции развязки до 500 В) или конденсаторы (в дешевых устройствах с напряжением развязки до 60 В относительно общего провода).

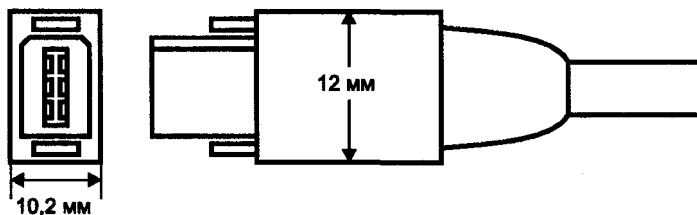


Рис. 2.68. Соединитель FireWire

Представление о разъемах дает рис. 2.68. Некоторые устройства (например, камкодеры Sony DCR-VX700 и DCR-VX1000, а также DHR-1000 DVCR) имеют только один 4-контактный разъем меньшего размера, у которого имеются только сигнальные цепи. Эти устройства могут подключаться к шине через специальный переходной кабель только как оконечные (хотя в принципе возможно и применение специальных адаптеров-разветвителей).

Стандарт 1394 определяет три возможные частоты передачи сигналов по кабелям: 98,304, 196,608 и 393,216 Мбит/с, которые округляют до 100, 200 и 400 Мбит/с. Эти частоты в стандарте обозначаются как S100, S200 и S400.

Бытовые устройства обычно поддерживают S100, большинство адаптеров поддерживают S200. К одной шине могут подключаться устройства, рассчитанные на разные скорости. При этом обмен будет происходить на согласованной скорости — минимальной для всех активных узлов. Однако, если хост-контроллер реализует карту топологии и скоростей (Topology_Map и Speed_Map), возможно использование нескольких частот в одной шине, в соответствии с возможностями конкретной пары, участвующей в обмене.

Система допускает динамическое (горячее) подключение и отключение устройств.

Идентификаторы подключаемым устройствам назначаются автоматически, без участия пользователя. Изменения топологии (состава подключенных устройств) автоматически отслеживаются шиной и передаются управляющему ПО.

2.7.2.10.2. Синонимы и дополнения стандарта IEEE1394

Одна и та же высокопроизводительная шина, рассматриваемая в данном разделе, имеет множество псевдонимов:

- IEEE 1394-1995 Standard for a High Performance Serial Bus — полное название документа, описывающего стандарт, действующий в настоящее время.
- FireWire — торговая марка реализации IEEE-1394 фирмой Apple Computer, Inc.
- P1394 — название предварительной версии IEEE-1394 (до принятия в декабре 1995 г.).
- DigitalLink — торговая марка Sony Corporation, используемая применительно к реализации IEEE-1394 в цифровых камерах.
- MultiMedia Connection — имя, используемое в логотипе 1394 High Performance Serial Bus Trade Association (1394ТА).

Поскольку фирма Apple разрабатывала концепцию FireWire еще с 1986 года, имя FireWire является самым распространенным синонимом IEEE 1394.

Кроме основного стандарта IEEE 1394-1995 имеется (и разрабатывается) его несколько модификаций, направленных на развитие и уточнение стандарта:

- 1394a рассматривается как чистовой документ, заполняющий некоторые пробелы исходного стандарта и имеющий небольшие изменения (например, ускоренная операция сброса на шине). Продуктам 1394a обеспечена обратная совместимость даже с первыми камкордерами Sony, выпущенными до принятия основного стандарта. Версия вводилась для повышения скорости до 800 Мбит/с и выше, высокоскоростные версии входят и в 1394b.
- 1394.1 определяет 4-проводный соединитель и устанавливает стандарт на шинные мосты. Мосты позволяют увеличить расстояние между устройствами (без них максимум — 4,5 м), что критично для сетей, а также сегментировать изохронный график.
- 1394.2 предполагается как стандарт на соединение кластера станций со скоростью обмена 1 Гбит/с и выше, *несовместимый* с 1394. Этот стандарт имеет корни в стандарте IEEE 1596 SCI (Scalable Coherent Interface) для суперкомпьютеров и иногда называется «Serial Express» или «SCILite». Сигнальный интерфейс 1394.2 похож на FCAL (Fiber Channel Arbitrated Loop) и подразумевает *кольцевую топологию, запрещающую* исходным стандартом 1394.

2.7.2.10.3. Сравнение FireWire и USB

Последовательные интерфейсы FireWire и USB, имея общие черты, являются существенно различными технологиями. Обе шины обеспечивают простое подключение достаточно большого числа устройств (127 для USB и 63 в одной шине для FireWire), допуская коммутации и включение/выключение устройств при работающей системе. Топология обеих шин достаточно близка. Хабы, требуемые для USB, входят в состав целевых устройств, и для пользователя их присутствие незаметно. Обе шины имеют линии питания устройств, правда, допустимая мощность для FireWire значительно выше. Обе шины полностью поддерживаются системой Plug and Play (автоматическое конфигурирование при включении и выключении) и снимают проблему дефицита адресов, каналов DMA и линий прерываний для подключения множества устройств. Главными различиями является пропускная способность и способ управления шиной.

USB ориентирована на периферийные устройства, подключаемые к PC. Ее изохронные передачи позволяют передавать только цифровые аудиосигналы. Все передачи управляются централизованно, и PC является необходимым управляющим узлом, находящимся в корне древовидной структуры шины. Соединение двух и более PC этой шиной не предусматривается.

FireWire ориентирована на интенсивный обмен между любыми подключенными к ней устройствами. Изохронный трафик позволяет по одной шине одновременно передавать как минимум два канала живого видео со стереозвуком. Шина не требует централизованного управления со стороны PC, которого может и не быть на шине. Возможно использование шины и для объединения нескольких PC и периферийных устройств в сеть.

2.7.2.11. Последовательная шина ACCESS.Bus и интерфейс I²C

Последовательная шина *ACCESS.Bus* (Accessory Bus), разработанная фирмой DEC, является шиной взаимодействия компьютера с его аксессуарами — например, монитором (канал VESA DDC), интеллектуальными источниками питания (Smart Battery) и т. п. Шина позволяет с использованием лишь двух сигнальных и двух питающих (12 В, 500 мА) проводов обеспечить подключение до 14 устройств ввода/вывода, длина шины может достигать 8 м. Аппаратной основой шины является интерфейс I²C, который характеризуется простотой реализации, но, по сравнению даже с USB, низкой

производительностью. Над аппаратным протоколом I²C для шины ACCESS.Bus имеется базовый программный протокол, с которым взаимодействуют протоколы конкретных подключенных устройств. Вся эта конструкция обеспечивает возможность подключения и отключения устройств в процессе работы без перезагрузки операционной системы.

Интерфейс I²C, разработанный фирмой Philips, в PC появился недавно и используется как внутренняя вспомогательная шина системной платы для общения с энергонезависимой памятью идентификации установленных компонентов (модулей памяти DIMM). Шина отличается предельной простотой реализации — две сигнальные линии, манипуляции с которыми могут осуществляться программно-управляемым способом. По прямому назначению эту шину использует пока только BIOS при определении состава аппаратных средств, но использование перезаписываемой памяти конфигурирования открывает новые возможности и для привязки программного обеспечения к конкретной системе (точнее, установленному модулю), и для разрушительных действий вирусов. Способ программного доступа к шине пока не стандартизован, но при желании для конкретной системной платы его можно «вычислить», изучив документацию на чипсет.

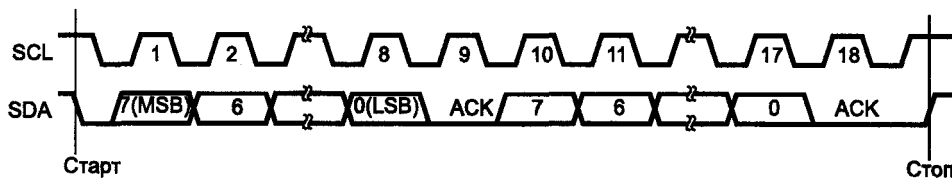


Рис. 2.69. Протокол передачи данных I²C

Последовательный интерфейс I²C обеспечивает двунаправленную передачу данных между парой устройств, используя два сигнала: данные SDA (Serial Data) и синхронизация SCL (Serial Clock). В обмене участвуют два устройства — *ведущее* (master) и *ведомое* (slave). Каждое из этих устройств может выступать как в роли *передатчика*, помещающего на линию SDA информационные биты, так и приемника, в зависимости от типа обмена. Протокол обмена иллюстрирует рис. 2.69. Синхронизацию задает ведущее устройство — контроллер, линия данных — двунаправленная с выходом типа «открытый коллектор» — управляется обоими устройствами поочередно. Частота обмена (не обязательно постоянная) ограничена только сверху величиной в 100 кГц для стандартного режима и 400 кГц для скоростного (Fast mode), что позволяет легко организовать программно-управляемую реализацию контроллера интерфейса.

Начало любой операции — условие Start — инициируется переводом сигнала SDA из высокого в низкий при высоком уровне SCL. Завершается операция переводом сигнала SDA из низкого уровня в высокий при высоком уровне SCL — условие Stop. При передаче данных состояние линии SDA может изменяться только при низком уровне SCL, биты данных стробируются положительным перепадом SCL. Каждая посылка состоит из 8 бит данных, формируемых передатчиком (старший бит — MSB — передается первым), после чего передатчик на один такт освобождает линию данных для получения подтверждения. Приемник во время девятого такта формирует нулевой *бит подтверждения* ACK. После передачи бита подтверждения приемник при необходимости может задержать следующую посылку, удерживая линию SCL на низком уровне. Приемник также может замедлять передачу по шине на уровне приема каждого бита, удерживая SCL на низком уровне после его спада, сформированного передатчиком.

Каждое ведомое устройство имеет свой адрес, по умолчанию разрядность адреса составляет 7 бит. Адрес A[6:0] передается ведущим устройством в битах [7:1] первого байта, бит 0 содержит признак операции RW (RW=1 — чтение, RW=0 — запись). 7-битный адрес содержит две части: старшие 4 бита A[6:3] несут информацию о типе устройства (например, для EEPROM — 1010), а младшие 3 бита A[0:2] определяют номер устройства данного типа. Многие микросхемы с интерфейсом I²C имеют три адресных входа, коммутацией которых на логические уровни «единицы» и «нуля» и задается требуемый адрес. Некоторые значения полного адреса зарезервированы для специальных целей (табл. 2.45).

Общий вызов позволяет включившемуся устройству заявить о себе широковещательным способом. Байт START предназначен для привлечения внимания к интерфейсу, если в устройстве он организован программным (а не аппаратным) способом. До получения этого байта микроконтроллер устройства может не тратить своих вычислительных ресурсов на опрос состояния и управления сигналами интерфейса. При использовании 10-битной адресации биты [2:1] содержат старшую часть адреса, а младшие 8 бит будут переданы в следующем байте, если признак RW=0.

Таблица 2.45. Специальные адреса I²C

Биты [7:1]	Бит 0 (RW)	Назначение
0000 000	0	General call address — адрес общего вызова
0000 000	1	START - признак начала активного обмена
0000 001	X	Адрес устройства шины CBUS (для обеспечения совместимости)
0000 010	X	Адрес для устройств иных шин
0000 011	X	Резерв
0000 1XX	X	Резерв
1111 1XX	X	Резерв
1111 0XX	X	Признак 10-битной адресации

Адрес ведомого устройства и тип обращения задается контроллером при инициировании обмена. Операции обмена данными с памятью иллюстрирует рис. 2.70.

Выполнив условие Start, контроллер передает байт, содержащий адрес устройства и признак операции RW и ожидает подтверждения. При *операции записи* следующей посылкой от контроллера будет 8-битный адрес записываемой ячейки, а за ней байт данных (для микросхем объемом более 256 байт адрес ячейки посылается двумя байтами). Получив подтверждения, контроллер завершает цикл условием Stop, а адресованное устройство может начать свой внутренний цикл записи, во время которого оно не реагирует на сигналы интерфейса. Контроллер может проверить готовность устройства посылкой команды записи (байт адреса устройства) и анализом бита подтверждения, сразу после этого формируя условие Stop. Если устройство откликнулось битом подтверждения, значит, оно завершило внутренний цикл и готово к следующей операции, которая начнется по условию Start.

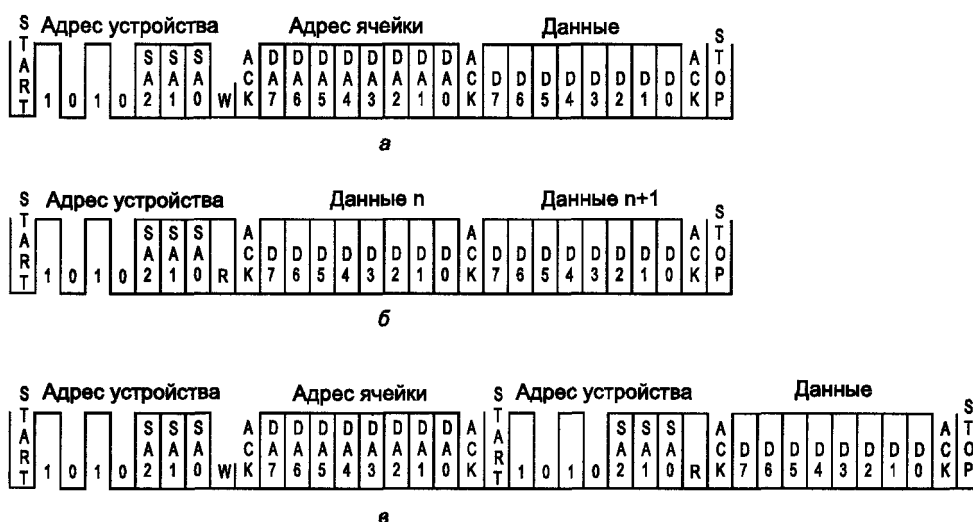


Рис.2.70. Операции обмена данными с памятью по интерфейсу I²C: SA[0:21] — адрес устройства, DA[0:7] — адрес данных, D[0:7] — данные, W—признак записи (0), R—признак чтения (1)

Операция считывания инициируется так же, как и запись, но с признаком RW=1. Возможно чтение по заданному адресу, по текущему адресу или последовательное. Текущий адрес хранится во внутреннем счетчике ведомого устройства, он содержит увеличенный на единицу адрес ячейки, участвующей в последней операции.

Получив команду чтения, устройство дает бит подтверждения и посылает байт данных, соответствующий текущему адресу. Контроллер на него может ответить подтверждением, тогда устройство пошлет следующий байт (последовательное чтение). Если на принятый байт данных контроллер ответит условием Stop, операция чтения завершается (случай чтения по текущему адресу). Начальный адрес для считывания контроллер задает фиктивной операцией записи, в которой передается байт адреса устройства и байт адреса ячейки, а после подтверждения приема байта адреса снова формируется условие Start и передается адрес устройства, но уже с указанием на операцию чтения. Таким образом реализуется считывание произвольной ячейки (или последовательности ячеек).

Интерфейс позволяет контроллеру с помощью пары сигналов обращаться к любому из 8 однотипных устройств, подключенных к данной шине и имеющих уникальный адрес (рис. 2.71). При необходимости увеличения количества устройств возможно подключение дополнительных групп. При этом возможно как использование общего сигнала SCL и отдельных сигналов SDA

(двунаправленных), так и общего сигнала SDA и отдельных однонаправленных сигналов SCL. Для обращения к одной из нескольких микросхем (или устройств), не имеющих выводов для задания собственного адреса, также применяют разделение линий SCL (или SDA).

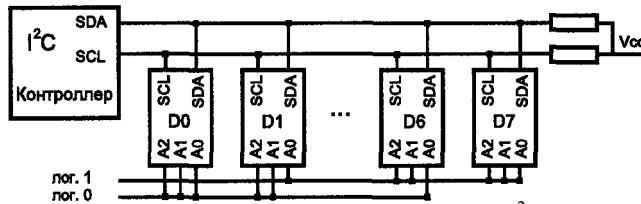


Рис.2.71. Подключение устройств к контроллеру I²C

Протокол I²C позволяет использовать одну шину нескольким контроллерами, определяя коллизии (попытки одновременного доступа к шине со стороны двух и более контроллеров) и выполняя арбитраж. Эти функции реализуются достаточно просто: если два передатчика пытаются установить на линии SDA различные логические уровни сигналов, то «победит» тот, который установит низкий уровень. Передатчик следит за уровнями управляемых им сигналов и при обнаружении несоответствия (передает высокий уровень, а «видит» — низкий) отказывается от дальнейшей передачи. Согласно протоколу, устройство может инициировать обмен только при пассивном состоянии сигналов. Коллизия может возникнуть лишь при одновременной попытке начала обмена, но, как только конфликт будет обнаружен, «проигравший» передатчик отключится, а «победивший» продолжит работу.

2.7.2.12. Интерфейс JTAG (Boundary Scan)

Интерфейс JTAG несколько выбивается из ряда вышеописанных, поскольку он используется не для регулярной работы устройств, а только в целях контроля и отладки. Интерфейс, по сути, является внешним, поскольку подразумевает подключение внешнего тестирующего устройства-контроллера.

Стандарт IEEE 1149.1 Boundary Scan Architecture (он же интерфейс JTAG) разработан для тестирования сложных логических схем, установленных в целевое устройство. Тестироваться могут многие современные процессоры, функциональные узлы системных плат, платы расширения (сигналы интерфейса JTAG входят в состав разъема шины PCI). Интерфейс JTAG содержит всего четыре сигнала:

- TMS (Test Mode Select) — сигнал выбора тестового режима.
- TDI (Test Data Input) — входные данные в последовательном двоичном коде.
- TDO (Test Data Output) — выходные данные в последовательном двоичном коде.
- TCK (Test Clock) — сигнал синхронизации последовательных данных.

Эти сигналы образуют тестовый порт TAP (Test Access Port), через который тестируемое устройство подключается к тестирующему оборудованию. В задачу тестирующего оборудования входит формирование тестовых сигналов по программе тестирования, определенной разработчиком тестируемого устройства и сравнение полученных результатов с эталонами. Один и тот же контроллер и порт могут использоваться для тестирования любого числа устройств, поддерживающих JTAG. Для этого они соединяются в цепочку (см. рис. 2.72), стандартизованный логический формат позволяет контроллеру независимо общаться с каждым из устройств цепочки (для этого, конечно, они должны иметь исправные ячейки JTAG).

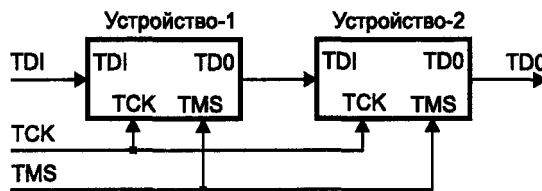


Рис. 2.72 Цепочка устройств с интерфейсом JTAG

Идея тестирования любой цифровой схемы иллюстрируется рис. 2.73. На ней показана условная цифровая система, имеющая входные, выходные (возможно, с третьим состоянием) и двунаправленные сигналы. Ячейки тестирования B/S врезаются между реальными внешними выводами устройства и собственно логическим устройством — то есть располагаются на логической границе (boundary) устройства. TAP-контроллер способен сканировать ячейки — управлять ими и считывать с них информацию. Отсюда и пошло название Boundary Scan, которое можно перевести как «сканирование границ».

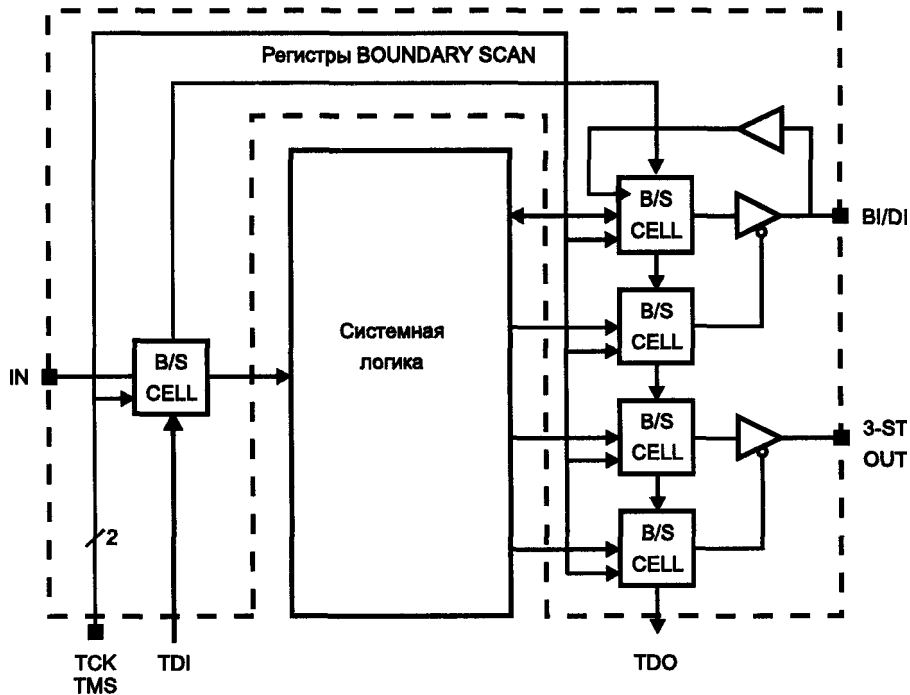


Рис. 2.73. Логическая структура регистров Boundary Scan

При включенном тестовом режиме TAP-контроллер может логически отсоединить сигналы от внешних выводов, после чего задавать входные воздействия и считывать результаты — собственно, это и все, что необходимо для тестирования последовательных схем (автоматов с памятью). Прелесть JTAG заключается в том, что независимо от сложности устройства, оно тестируется с помощью всего лишь четырех сигналов — все сложности прячутся в достаточно простые ячейки, «окутывающие» его сигнальные выводы.

- Тестовая логика, встраиваемая в устройство, поддерживающее JTAG, состоит из следующих элементов:
- Тестовый порт TAP (четыре интерфейсных сигнала).
- TAP-контроллер, управляющий тестовыми регистрами.
- Регистр инструкций IR (Instruction Register), который принимает последовательный код со входа TDI. Код инструкции используется для выбора выполняемой тестовой операции или регистра тестовых данных, к которым производится обращение.
- Регистры тестовых данных: BPR (ByPass Register), DID (Device Identification Register) и BSR (Boundary Scan Register).

Регистры инструкций и данных представляют собой независимые сдвиговые регистры, соединенные параллельно. На их входы (старшие биты) приходит сигнал TDI, с выходов (младшие биты) снимается сигнал TDO. По каждому положительному перепаду данные продвигаются на один бит.

Регистр BPR имеет длину в один бит. Он используется как кратчайший обходной путь для последовательных данных, когда остальные регистры не участвуют в обмене.

Регистр BSR представляет собой длинный сдвигающий регистр, каждым битом которого являются пограничные ячейки, установленные на всех входных и выходных сигналах процессора. Для двунаправленных сигналов (или их групп), кроме собственно информационных ячеек регистра, соответствующих внешним сигналам, имеются и управляющие ячейки, задающие режим работы информационных ячеек.

32-битный регистр DID содержит идентификатор производителя, код устройства и номер версии, по которым TAP-контроллер может распознать, с каким устройством он имеет дело.

Кроме этих обязательных регистров, устройство может иметь и специфические дополнительные регистры.

Для интерфейса JTAG существует специальный язык описания устройств *BSDL* (Boundary Scan Description Language). Состав и порядок следования информационных и управляющих ячеек в сдвиговом регистре данных специфичен для каждого устройства (для чего и существует идентификационный регистр) и сообщается его разработчиками.

В процессорах Pentium в использовании порта TAP пошли дальше: ввели дополнительный сигнал прерывания *R/S#*, по которому процессор переходит в *зондовый режим отладки*. В этом режиме с помощью дополнительных инструкций TAP возможно общение с регистрами процессора. Таким

образом могут быть реализованы отладочные средства, абсолютно не зависящие (и не блокируемые) от программного кода, исполняемого процессором.

Контрольные вопросы.

1. Перечислите особенности малых интерфейсов. Назовите основные интерфейсы ранга И4, использующиеся в мини- и микроЭВМ; каковы требования к их унификации?
2. Перечислите основные внешние и специальные интерфейсы персональных компьютеров класса IBM PC.
3. Охарактеризуйте стандарты параллельного порта (LPT).
4. Опишите интерфейс Centronics и охарактеризуйте его отличие от ИРПР.
5. Сформулируйте основные особенности стандарта IEEE 1284-1994.
6. Опишите отличия EPP и ECP.
7. Охарактеризуйте направления развития стандарта IEEE 1284.
8. Перечислите последовательные интерфейсы PC и их стандарты.
9. Опишите основные параметры интерфейса RS-232C.
10. Охарактеризуйте интерфейс «Токовая петля» и интерфейс «Инфракрасного порта».
11. Сформулируйте основные положения интерфейса MIDI.
12. Опишите особенности GAME-порта.
13. Охарактеризуйте интерфейс клавиатуры.
14. Перечислите разновидности интерфейсов с монитором и охарактеризуйте их особенности.
15. Дайте описание интерфейса НГМД.
16. Поясните назначение и область применения интерфейсов НМД ST506/412 и ESDI.
17. Перечислите разновидности интерфейса ATA.
18. Что такое PIO и Ultra DMA?
19. Охарактеризуйте шину SCSI.
20. Поясните назначение шины USB в архитектуре IBM PC и опишите ее основные характеристики.
21. Поясните назначение шины IEEE 1394 – FireWire в архитектуре IBM PC и охарактеризуйте ее.
22. Дайте сравнение шин USB и FireWire.
23. Охарактеризуйте последовательную шину ACCESS Bus и интерфейс I²S.
24. Дайте описание интерфейса JTAG (Boundary scan) и области его применения.

Классификации и описанию интерфейсов посвящена [4]. Там же приведен перечень стандартов на интерфейсы. Системные и малые интерфейсы мини и микроЭВМ рассмотрены в [3,4,21,22,23], для персональных компьютеров класса IBM PC – в [2], инструментальные интерфейсы – в [4]. Описание регистровой архитектуры LPT и COM-портов ПК можно найти в [2, 22]. Однако при практической работе следует пользоваться непосредственно стандартами, определяющими не только функциональные, но и временные требования.

В данном разделе использованы в основном материалы из [1, 2, 5].

3. ЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВВОДА-ВЫВОДА

При построении ЭВМ в виде систем с переменным составом оборудования и разработке семейств ЭВМ требование стандартизации аппаратных интерфейсов СВВ является недостаточным. Более общее требование заключается в единстве *логической структуры СВВ* в пределах каждого семейства, при этом модели ЭВМ семейства различаются лишь физической структурой. *Логическую организацию СВВ определяют форматы управляющей информации и способы ее передачи между компонентами СВВ, взаимосвязь программных средств при операциях обмена, структура и организация КВВ.*

Для организации совместной работы автономно функционирующих устройств в процессе ввода-вывода возникает необходимость в передаче между компонентами СВВ различной управляющей информации. *Команды или приказы* формируются компонентами СВВ более высокого уровня иерархии и передаются компонентам более низкого уровня; команды в закодированном виде определяют указания выполнить те или иные действия. Компоненты СВВ более низкого уровня должны *подтверждать получение команд и оповещать* компоненты СВВ более высокого уровня о возможности или невозможности их выполнения, а также о завершении действий по их выполнению; такое оповещение выполняется посредством информации о состоянии. Объем управляющей информации зависит от специфики устройства, которому передается команда или состояние которого она характеризует, однако *форматы управляющей информации и способы ее передачи* должны быть *едиными* для всех моделей ЭВМ одного семейства и всех ПУ.

Непосредственное управление ПУ осуществляется с помощью *команд*, или *приказов*. Термином «приказ» будем пользоваться только в том случае, если необходимо подчеркнуть различие управляющей информации для ПУ и других компонентов СВВ. Совокупность всех допустимых для данного ПУ приказов образует систему команд. Системы команд различны для различных ПУ. Так, например, приказ «читать» для ПЧУ будет восприниматься как недопустимый.

С точки зрения программной организации ввода-вывода все ЭВМ можно разделить на три класса:

1) *со специальной системой команд КВВ.* Эта организация характерна для ЭВМ общего назначения с развитыми ПВВ; инициирование работы ПВВ осуществляется специальными командами ввода-вывода, предусмотренными в системе команд ЦП, а работа ПВВ осуществляется под управлением собственных программ;

2) *со специальными командами ввода-вывода в системе команд машины*, однако без дополнительной системы команд КВВ. Вся управляющая информация компонентам СВВ передается посредством этих команд. Такую организацию имеют некоторые микроЭВМ и РС-подобные персональные ЭВМ (выполненные на базе процессоров фирмы Intel: i80x86, Pentium и т.д., а также на совместимых с ними процессорах других фирм).

3) *без специальных команд ввода-вывода в системе команд машины.* Необходимая управляющая информация передается компонентам СВВ посредством команд, используемых для обращения к ячейкам ОП. Этот тип организации характерен для мини- и микроЭВМ (в основном с архитектурой фирмы DEC – Digital Equipment Corporation).

3.1. Логическая организация систем ввода-вывода ЭВМ общего назначения

В ЭВМ общего назначения с отдельными интерфейсами памяти и ввода-вывода можно выделить следующие уровни иерархии в СВВ: ПВВ — контроллер — ПУ. Вся необходимая для организации обмена информация делится на две части: *не зависящая от специфики ПУ*, которая служит для инициирования операции ввода-вывода и управления передачей данных в память; *зависящая от специфики ПУ*, которая используется для непосредственного управления действиями в ПУ.

Иерархия команд. В системе команд ЦП предусматривается, по крайней мере, одна специальная команда для инициирования обмена. Эта команда служит для передачи ПВВ управления и содержит код операции инициирования и адрес месторасположения программы ПВВ в ОП; она содержит также адрес ПУ, который определяет «маршрут» передачи данных и строится по иерархическому принципу, т.е. состоит из номера ПВВ, номера контроллера и номера ПУ. При наличии нескольких альтернативных маршрутов в развитых СВВ предусматривается задание логического имени ПУ, которое передается в СВВ для определения возможного маршрута, т.е. составления физического иерархического адреса ПУ. Если команда ЦП для инициирования обмена не содержит адреса ПУ, то он определяется в командах ПВВ, что позволяет посредством одной программы ПВВ обслужить несколько однотипных ПУ (что характерно для систем управления). Местоположение программы ПВВ в ОП определяется адресом ячейки, содержащей первую команду программы ПВВ.

В системе команд ПВВ предусматривается множество операций, отражающих действия, выполняемые в ПУ, и их специфику. Однако формат этих команд должен быть унифицированным, что позволит подключать новые ПУ путем введения дополнительных программ ПВВ. При программной организации КВВ можно рассматривать как своеобразную подпрограмму, вход в которую осуществляется по команде инициирования ввода-вывода. При этом следует иметь в виду, что ЦП

должен «перестроиться» на систему команд ПВВ. Каждая команда ПВВ, или управляющее слово (УС), в общем случае содержит код операции и описание области ОП (например, начальный адрес и длину области). Код операции в УС определяет направление передачи, вид передаваемой информации и служит основой для формирования приказа для ПУ, определяющего конкретные действия в нем.

Таким образом, можно выделить три уровня управляющей информации: *команды инициализации ввода-вывода для ЦП, управляющие слова ПВВ, приказы ПУ*. Для нормального функционирования СВВ необходима информация, поступающая вверх от нижних ступеней иерархии и определяющая способность СВВ и ее отдельных компонентов выполнять операцию. Эта информация передается от ПУ в ПВВ в виде байтов состояния, а от ПВВ в ЦП — в виде слова состояния СВВ. Слово состояния СВВ содержит информацию, характеризующую совокупное состояние системы, т.е. способность или неспособность выполнить требуемую операцию, а также позволяющую возобновить операцию после устранения причин, вызвавших ее остановку.

Совокупное состояние СВВ определяется состоянием всех участвующих в операции компонентов. В простейшем случае состояние СВВ характеризуется как доступное, когда все компоненты СВВ могут осуществлять действия, связанные с выполнением данной операции, и недоступное, если хотя бы один из компонентов не может приступить к выполнению операции. Совокупное состояние не может характеризовать все многочисленные условия, возникающие в СВВ с разнообразными ПУ. Поэтому в тех случаях, когда информация о состоянии недостаточна для принятия решения, например при отказе какого-либо компонента, предусматривается возможность уточнения состояния. Информация об уточненном состоянии отражает специфику каждого конкретного ПУ, а ее объем зависит от сложности ПУ; эта информация должна обрабатываться специальными программами для каждого ПУ. Необходимость уточнения состояния СВВ в современных ВС, отличающихся высокой надежностью, возникает достаточно редко.

Упрощенная схема взаимодействия компонентов СВВ с помощью команд ЦП, управляющих слов ПВВ, приказов ПУ, байтов и слов состояния сводится к следующему. ЦП в процессе выполнения обработки обнаруживает команду инициализации ввода-вывода и передает ее в соответствующий ПВВ. Если данный ПВВ способен ее принять, то команда ввода-вывода помещается в нем на регистр РгК. При невозможности принять команду ПВВ формирует слово состояния с указанием причины, по которой команда отвергнута. Это слово состояния передается в ЦП.

Содержимое принятой команды используется для запроса первого УС программы ПВВ и, если она содержит адрес ПУ, для запроса состояния контроллера и ПУ. Адрес УС передается на адресную шину ОП, и в ответ по информационной шине ПВВ получает первое УС программы, которое размещается на регистре управляющего слова РгУС в блоке центрального управления. Адрес ПУ передается БУИ для реализации процедуры начальной выборки. ПУ отвечает о своем состоянии байтом состояния, который заносится на РгС, где формируется слово состояния СВВ. ЦП может продолжить выполнение программы обработки только после того, как убедится, что ПВВ приступил к выполнению операции, т.е. после получения информации о состоянии СВВ.

Код операции УС в ПВВ используется для формирования приказа, передаваемого в ПУ через интерфейс ввода-вывода. Обычно УС позволяет управлять передачей блока данных, поэтому оно содержит описание области ОП, где находится этот блок при выводе или где он должен быть размещен при вводе. Такое описание может быть выполнено тремя способами: *указанием начального и конечного адресов, начального адреса области и ее длины (определяется содержимым поля счетчика данных СчД) или конечного адреса и длины*. Любой из этих способов позволяет вычислить текущий адрес ячейки ОП, в которую заносится очередное слово данных, полученное из ПУ при вводе, или из которой выбирается слово для передачи на ПУ при выводе. Кроме того, можно вычислить текущую длину подлежащего передаче блока. Для вычисления очередного адреса данных при обработке каждого слова данных в ПВВ (приема и передачи) текущий адрес увеличивается на единицу, одновременно уменьшается на единицу содержимое счетчика данных СчД. При достижении нуля в СчД операция под управлением первого УС завершается. Для продолжения обмена с данным ПУ необходимо выбрать следующее УС; для этого увеличивают содержимое регистра адреса УС (РгАУС), функции которого аналогичны функциям программного счетчика в ЦП.

В программе ПВВ необходимо указать, какое УС является последним, для этого используется либо специальный код останова в системе команд ПВВ, либо цепочка команд, организуемая посредством указателей. В результате выполнения последнего УС состояние компонентов СВВ изменяется. ПВВ формирует слово конечного состояния и запрос прерывания ЦП. Слово конечного состояния, принятое ЦП в результате обработки прерывания, информирует его об условии завершения операции обмена (успешно или неуспешно).

Как видно, управление работой ПВВ осуществляется последовательностью УС, т.е. его программой. Составление таких последовательностей УС называют иногда *программированием ввода-вывода*. Оно чрезвычайно трудоемко и требует понимания специфики работы каждого используемого ПУ. Именно поэтому современные системы позволяют программисту не составлять программы ПВВ, а обращаться за ними к операционной системе (ОС).

Необходимость в написании программ ПВВ возникает только при включении в состав ВС новых ПУ. Компоненты ОС, обеспечивающие координацию действий при вводе-выводе, называют *программным обеспечением ввода-вывода*, в состав которого входят

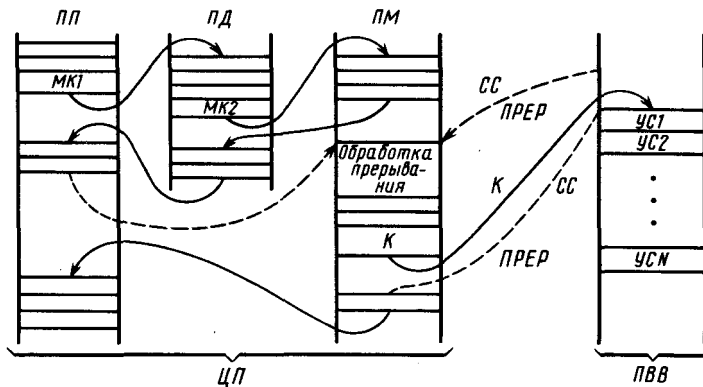


Рис. 3.1 Взаимодействие программных модулей ОС.

программы (методы) доступа (ПД), супервизор (или монитор ПМ) и ряд других программных модулей. Взаимодействие программных модулей ОС осуществляется посредством макрокоманд (рис. 3.1). При составлении прикладных программ программист описывает все используемые файлы и форматы вводимых и выводимых данных. Эти описания в процессе ассемблирования преобразуются в блоки параметров для последующей «настройки» программ ПВВ. Программы пользователя непосредственно не содержат команд инициирования ввода-вывода, так как к одному ПВВ или ПУ может быть очередь запросов от разных программ пользователей (ПП). Кроме того, к моменту выдачи команды инициирования ввода-вывода должна быть закончена настройка программы ПВВ на данную операцию. Поэтому, чтобы инициировать ввод-вывод, ПП содержит макрокоманду (МК1) обращения к системной программе ПД.

Макрокоманда МК1 передает программе ПД параметры, необходимые для настройки программы ПВВ на данную операцию. После завершения настройки управление посредством макрокоманды МК2 передается ПМ. Монитор ПМ ставит запрос в очередь, выбирает очередной запрос на обработку в ПВВ и выдает команду (К) инициирования ввода-вывода, обрабатывает прерывание, а также выполняет ряд дополнительных действий по обработке информации, полученной в слове состояния. После постановки запроса в очередь ПМ возвращает управление программе ПД, а она в свою очередь — программе ПП. После выдачи монитором команды инициирования ввода-вывода в ПВВ и подтверждения (словом состояния — СС о ее принятии к исполнению ПМ возвращает управление ПП. Программы ПП, ПД и ПМ реализуются средствами ЦП. Параллельная работа ЦП и ПВВ реализуется только после подтверждения от ПВВ о принятии к исполнению команды инициирования ввода-вывода.

3.2. Логическая организация СВВ в мини- и микроЭВМ

В мини- и микроЭВМ встречается программная организация как со специальными командами ввода-вывода (изолированный ввод-вывод), так и без них (ввод-вывод, отображенный на память). В СВВ *со специальными командами ввода-вывода* вся управляющая информация посредством этих команд передается компонентам, участвующим в операции ввода-вывода. Управляющая информация включает в себя адрес ПУ и контроллера, адрес текущей ячейки ОП или описание области ОП, приказ ПУ, режим и направление обмена и т.д. При наличии специальных команд ввода-вывода в объединенном интерфейсе обязательно предусматриваются специальные линии, сигналы на которых формируются в результате дешифрации кода операции команды и информируют все устройства о выполняемой операции. Система команд включает такие команды, как «ввод», «вывод», «передача приказа», «чтение состояния» и т.п. Адресные пространства памяти и ПУ различны, т.е. коды их адресов могут совпадать, так как обращение к ним производится командами с различающимися кодами операций. Передача информации осуществляется обычно между регистрами ЦП и ПУ.

При организации СВВ *без специальных команд ввода-вывода* в системе команд, каждое ПУ для СВВ представляет собой совокупность адресуемых регистров. Адреса этих регистров и ячеек ОП образуют общее адресное пространство, что позволяет для обращения к регистрам ПУ использовать команды пересылок в память. Коды операции в командах обращения к ПУ и ОП одинаковы; команды, таким образом, отличаются только содержимым полей адреса. Совокупность адресов регистров ПУ образуют область адресов ПУ в адресном пространстве, а совокупность адресов ячеек ОП — область адресов памяти. Эти области не пересекаются. Каждое ПУ (или его контроллер) имеет не менее двух регистров, но для сложных ПУ их может быть больше. Регистр с наименьшим адресом А0 обычно

используют в качестве регистра команд (приказов) и состояния (РгКС); адрес А0 этого регистра приписывается ПУ в качестве его номера. Адрес следующего регистра А1 определяется путем добавления единицы: $A1=A0+1$ (при двухбайтовом РгКС $A1 = A0+2$). Регистр со старшим адресом используют в качестве регистра данных (РгД). Остальные регистры являются управляющими.

При выполнении операции ввода-вывода необходимо строго соблюдать последовательность загрузки регистров управляющей информацией и данными, а также обрабатывать информацию о состоянии устройства. Очевидно, что последовательность загрузки регистров, характер управляющей информации и информации о состоянии ПУ, а также алгоритмы ее обработки зависят от специфики ПУ. Программирование операций ввода-вывода вызвало бы значительные трудности, поэтому операционные системы мини ЭВМ и большинства микроЭВМ позволяют заменить непосредственное программирование обращением к специальным управляющим программам. Этим достигается независимость программирования задач пользователя от специфики ПУ. Непосредственное управление ПУ осуществляется с помощью *программы-драйвера* и называется *обслуживанием на физическом уровне*. Каждое ПУ имеет собственное физическое имя, однозначно определяющее его адрес и управляется собственным драйвером (рис. 3.2). Программа пользователя (ПП) обычно использует логические имена. Соответствие логических и физических имен устанавливается системной таблицей (СТ), которая создается при генерации системы или автоматически при регистрации задачи пользователя. Для настройки драйвера ПУ на конкретную операцию в процессе ассемблирования для каждого файла создается блок управления данными (БУД); основой для его создания служат параметры операторов работы с файлами. При необходимости осуществить операцию ввода-вывода ПП обращается к монитору (ПМ), который анализирует возможность выполнения этой операции, т.е. проверяет наличие соответствующего БУД, и ставит запрос в очередь.

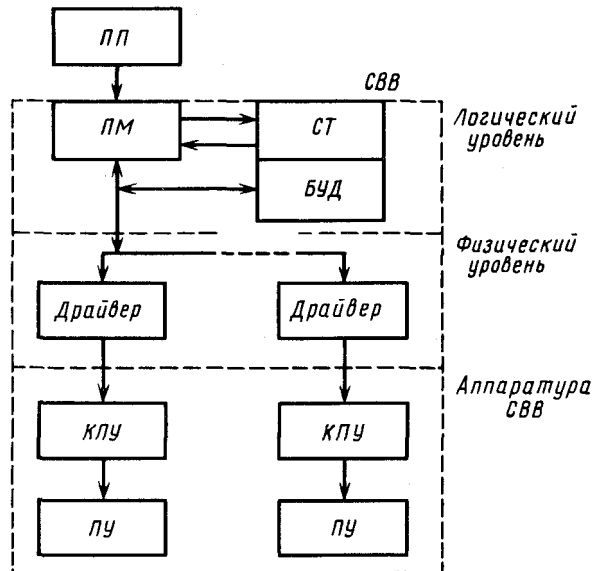


Рис. 3.2 Логическая организация СВВ мини- и микроЭВМ.

Помимо этого ПМ выполняет функции защиты файлов при мультипрограммном режиме, защиты доступа к ПУ и ряд других. БУД, СТ и ПМ образуют логический уровень управления.

Непосредственная связь программ с ПУ осуществляется через драйверы, на которые возлагают следующие функции:

- определение параметров, т.е. определение адресов регистров и векторов прерываний ПУ в адресном пространстве, назначение отдельных битов в РКС и т.п.;
- инициирование ввода-вывода, при котором проверяется готовность контроллера и ПУ, формируется управляющая информация для ПУ, определяются действия при обнаружении ошибок; после инициирования ввода-вывода драйвер возвращает управление ПМ;
- обработка прерываний, в процессе которой выявляются причины прерывания, определяется состояние ПУ;
- обработка ошибок, в результате которой определяется целесообразность повторения попытки выполнить операцию;
- завершение операции, при котором драйвер передает управление ПМ с указанием на успешное или неуспешное окончание операции.

3.2.1. Способы организации обмена в мини ЭВМ, микроЭВМ и ПЭВМ.

Существует три способа: *программный несовмещенный ввод-вывод, программный ввод-вывод с прерыванием программы, ввод-вывод через*

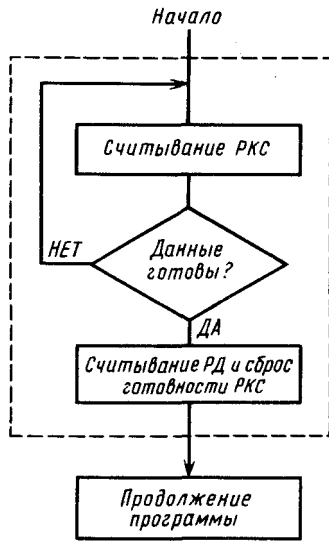


Рис. 3.3 Несовмещенный ввод-вывод

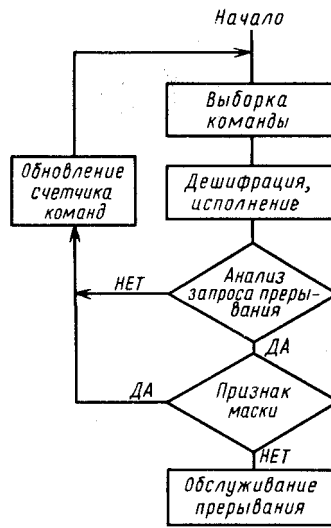


Рис. 3.4 Ввод-вывод с прерыванием

канал прямого доступа к памяти.

Программный несовмещенный ввод-вывод характеризуется тем, что обращение к ПУ осуществляется только в моменты времени, определяемые программой ЦП. Часто все действия по управлению обменом реализуются командами ПП (рис.3.3). Синхронизация ЦП и ПУ достигается организацией программного ожидания момента готовности ПУ. С этой целью в РгКС один из разрядов указывает на готовность или занятость ПУ. Участок, обведенный штриховой линией, содержится непосредственно в ПП либо выделяется в простейший драйвер, к которому обращается и от которого вновь получает управление ПП. Команда обращения к РгКС позволяет получить и затем проанализировать состояние ПУ. Если ПУ не готово, то организуется ожидание путем повторения команды чтения РгКС. Если содержимое РгКС свидетельствует о готовности ПУ, то производится чтение содержимого РгД и одновременно сбрасывается признак готовности в РгКС. Затем осуществляется возврат управления ПП. Установку признака готовности в РгКС производит ПУ синхронно по отношению к процессам, протекающим в ЦП. Этим достигается синхронизация ПУ и ЦП.

Операция вывода реализуется аналогично — вначале анализируется готовность ПУ принять данные (по значению признака в РгКС), а затем по команде записи данные передаются в РгД; одновременно с записью данных в РгД производится сброс признака готовности в РгКС. Признак готовности вновь устанавливается ПУ, как только оно будет готово принять очередной квант данных.

Такой обмен сильно загружает процессор, особенно если программа формирует и управляющие сигналы обмена. Так, например, работает драйвер параллельного порта в стандартном режиме, когда строб данных формируется двумя инструкциями OUT. В результате предел пропускной способности такого порта, в зависимости от производительности процессора, может быть порядка 150 Кбайт/с.

Если процессор разгрузить от анализа готовности и формирования строга, как, например, в EPP-режиме параллельного порта IBM PC (см.2.7.2.1.4.), то производительность порта можно повысить на порядок. Однако такой режим обмена программно-управляемым называть уже некорректно — это уже *режим программного ввода/вывода с аппаратным контролем потока*, где темп обмена определяет подключенное устройство. Высокоскоростные *режимы программного обмена PIO* (Programmed input/output) с успехом применяются и в интерфейсе IDE (ATA). Эти режимы используют инструкции блочной пересылки REP-INS/OUTS (используются в процессорах начиная с i80286), при которых процессор способен пересылать байт или слово между портом и областью памяти, затрачивая минимальное количество тактов системной шины. Скорость такого обмена превышает скорость стандартного канала прямого доступа (DMA) Поскольку эту полную скорость периферийные устройства воспринять обычно не могут, контроллер интерфейса «притормаживает» обмен до разумных скоростей, определяемых режимом обмена. Параметры этих режимов, называемых *PIO Mode* (Programmed input/output Mode — режимы программного ввода/вывода), приведены в табл. 2.38 Главы 2. В режимах 0, 1 и 2 синхронизация с устройством не предусматривается — считается, что оно должно успевать. Старшие режимы, кроме указанных ограничителей скорости сверху, используют и

сигнал готовности от устройства. Режим PIO задается при инициализации контроллера интерфейса АТА.

Программный ввод-вывод с прерываниями программы является основным способом организации ввода-вывода в ПЭВМ, мини- и микроЭВМ для ПУ малого и среднего быстродействия. Для синхронизации процессов в ЦП и ПУ используется механизм прерываний, а управление передачами данных и управляющей информации для ПУ осуществляется программно. Данные передаются между регистрами ПУ и ЦП; пересылку данных в ОП осуществляет ЦП по адресу, который он определил при выполнении программы драйвера. После выполнения каждой команды в ЦП (рис. 3.4) производится анализ запроса прерываний, а при его наличии проверяется — разрешено ли данное прерывание. При наличии разрешенного прерывания ЦП инициирует его обслуживание.

Маскирование прерываний позволяет защищать от прерываний так называемые критические секции программы пользователя, т.е. такие участки программы, на выполнение которых не должно оказывать влияние изменение содержимого памяти, вызываемое процессом ввода.

Запрос прерывания может формироваться не только ПУ, но и по специальной команде ЦП. Все запросы прерываний обрабатываются последовательно в соответствии с приоритетами. При инициировании обработки прерываний вначале определяется источник запроса; если источником запроса прерываний является ПУ, то управление передается соответствующему драйверу.

Существует несколько способов определения, от какого ПУ поступил запрос на прерывание; эти способы сводятся к различным вариантам аппаратного и программного опроса ПУ. В результате такого опроса программе обработки прерываний становится доступным адрес ПУ, по которому вычисляется начальный адрес программы-драйвера; ей и передается управление. С этой целью в большинстве микроЭВМ и ПЭВМ для каждого ПУ в основной памяти предусматривается по две ячейки, хранящие векторы прерываний. Совокупность этих ячеек для всех ПУ образует область «векторов». Вектор прерывания однозначно определяется адресом ПУ. В его ячейках хранится адрес перехода к программе-драйверу для обслуживания данного ПУ а ,иногда информация о состоянии программы и возврата. При программном вводе-выводе каждое прерывание позволяет передать между ОП и ПУ один байт или одно слово данных. Параллельная работа ЦП и ПУ происходит только в интервале между прерываниями. Обработка прерываний приводит к большим непроизводительным затратам времени ЦП, что не позволяет использовать такую организацию ввода-вывода для быстрых ПУ.

Ввод-вывод через канал прямого доступа в память используется для быстродействующих ПУ при передаче данных между ОП и ПУ блоками; это позволяет значительно сократить число прерываний. ПУ, в частности ВЗУ, подключается к объединенному интерфейсу через контроллер прямого доступа в память (КПДП). Основные функции КПДП заключаются в выработке текущего адреса ОП в процессе обмена, а также в управлении передачами через интерфейс, проверке правильности передаваемых данных и определении момента завершения передачи блока. Прямой доступ в память рассмотрен достаточно подробно в гл. 1. Здесь же отметим только, что для работы КПДП должна быть выполнена программа-драйвер, в результате которой загружаются регистры управления, регистр адреса (PгА) и счетчик данных (СчД) КПДП. Выполнение этой программы инициируется по прерыванию. После начальной загрузки регистров ПУ выполняет автономную подготовку данных; по завершении подготовки формируется сигнал запроса прямого доступа, которому присвоен наивысший приоритет, в результате управление интерфейсом передается КПДП. Обработка завершения операции осуществляется программным путем, для чего формируется соответствующий запрос прерывания и управление передается драйверу. Таким образом, КПДП управляет только непосредственной передачей данных через интерфейс между ПУ и ОП, все действия по инициированию и завершению операции ввода-вывода управляются программным путем.

В персональных компьютерах типа IBM PC скорость стандартного канала ПДП (DMA – Direct Memory Access) ограничена значением 2 или 4 мегабайта в секунду в зависимости от разрядности канала. Производительность в режиме прямого управления шиной обычно выше, чем у стандартных каналов DMA. Прогрессивные режимы DMA обеспечивают более высокие скорости обмена. Например режим Ultra DMA/33 обеспечивает скорость обмена до 33 Мбайт/с. Но этот режим доступен лишь при работе через контроллер IDE, расположенный на шине PCI. Параметры стандартных режимов обмена поDMA для интерфейса АТА-2 приведены в таблице 2.39 Глава 2

3.2.2. Контроллеры ввода-вывода.

В реальных ЭВМ подключение ПУ к системному интерфейсу осуществляется не непосредственно, а с помощью специального контроллера, как показано на рис.3.2. Такой контроллер ввода-вывода осуществляет функции преобразования последовательности сигналов системного и малого интерфейсов и за счет стандартизации малых интерфейсов позволяет использовать одни и те же ПУ в различных моделях микроЭВМ. По функциональному назначению такой контроллер можно назвать *адаптером*. *Адаптером называется устройство сопряжения между собой устройств с*

различным способом представления данных либо устройств, использующих различные виды унифицированных сопряжений (интерфейсов). Конечно, для подключения ПУ к конкретной машине необходим специальный контроллер. Предположим, что ПУ обладает «выходом» на малый интерфейс ИРПР, тогда для подключения этого ПУ к микроЭВМ «Электроника-60» необходим контроллер МПИ-ИРПР, для подключения его к РС/АТ – необходим контроллер ISA-ИРПР и т.д. Необходимые регистры ПУ физически располагаются в контроллерах. При подключении к одному контроллеру нескольких ПУ обслуживание производится поочередно, и на контроллер возлагаются дополнительные функции по мультиплексированию.

На рис.3.5 приведена структурная схема контроллера, где регистр команды (РгК) служит для приема по шине данных интерфейса Ио управляющей информации для ПУ; регистр состояния РгС— для получения информации о состоянии ПУ и передачи ее в ЦП через шину данных системного интерфейса; селектор адреса (СА)—для выбора адресуемого регистра.

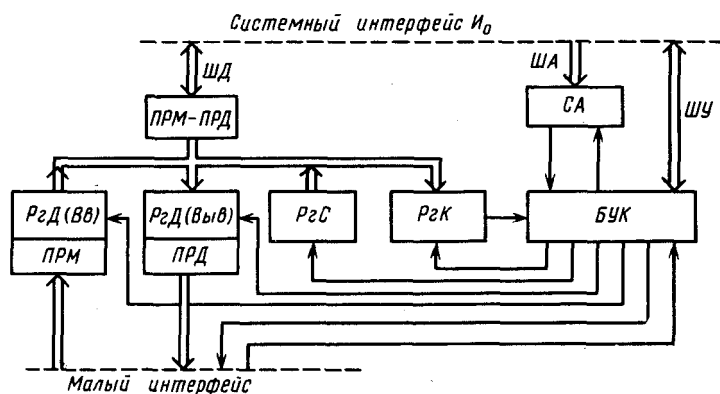


Рис. 3.5 Контроллер (адаптер) системная шина – малый интерфейс.

Адресуемым регистрам присваиваются последовательные адреса из области адресов ПУ адресного пространства, поэтому адрес любого регистра представляется в виде базового адреса контроллера (старшие разряды адреса) и смещения (младшие разряды). Физически базовый адрес в контроллере может устанавливаться с помощью перемычек. При передаче адреса по системному интерфейсу в каждом контроллере сравниваются старшие разряды передаваемого адреса с собственным базовым адресом. Совпадение адресов означает, что обращение производится к данному контроллеру. Для приема и передачи данных через интерфейс Ио служат регистры ввода РгД(Вв) и вывода РгД(Выв). На контроллер возлагаются также функции по преобразованию параллельного представления информации в последовательное и обратно, если малый интерфейс является последовательным, контролю передаваемой информации, управлению скоростью передачи при подключении ПУ через стык С2 и т.д. Все эти преобразования осуществляются с помощью регистров РгД(Вв) и РгД(Выв) и дополнительных схем управления. В состав схем контроллера входят также усилители приемники (ПРМ) и передатчики (ПРД).

При организации совмещенного ввода-вывода с прерываниями сигналы прерывания формируются контроллером на основании изменения содержимого определенных разрядов регистра состояния РгС.

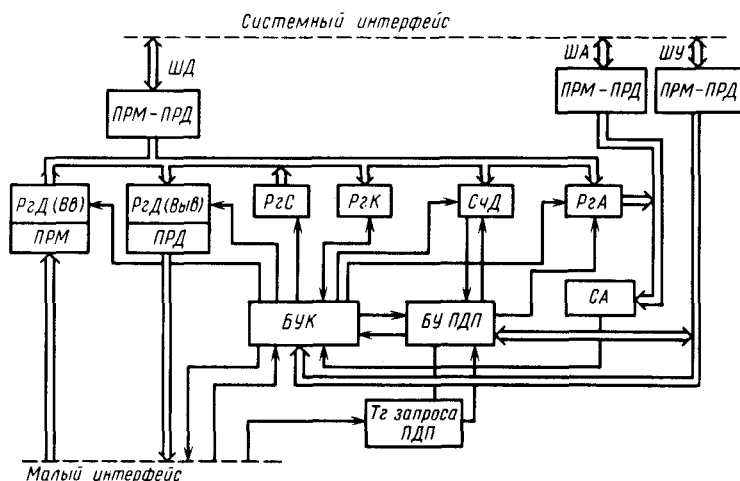


Рис. 3.6. Контроллер, поддерживающий и реализующий режим ПДП.

В случае, если контроллер предназначен для организации обмена в режиме прямого доступа в память, (например, для микроЭВМ «Электроника - 60») его структура значительно усложняется (рис. 3.6). При этом в его состав входит несколько регистров управления, в частности регистры команд (РгК), состояния ПУ (РгС), счета слов или длины блока (СчД), текущего адреса ОП (РгА), управления поиском (в случае НМД). Кроме того, такой контроллер включает в себя один или два регистра данных — для ввода-вывода. Всем перечисленным регистрам присвоены адреса в адресном пространстве, поэтому каждому ПУ соответствует последовательность адресов, число которых равно числу адресуемых регистров в нем.

Такие контроллеры имеют до 10 адресуемых регистров. Блок управления контроллера выполняет функции управления загрузкой регистров в начале операции, контролирует состояние ПУ и управляет завершением операции. Управление выработкой текущих адресов и управляющих сигналов возложено на блок управления ПДП. Помимо перечисленных функций, выполняемых любым контроллером, контроллер прямого доступа в память формирует сигналы управления системного интерфейса при передаче данных между ПУ и ОП.

В персональных ЭВМ тира IBM PC контроллер прямого доступа к памяти входит в состав подсистемы DMA и расположен на системной плате. Он обслуживает запросы на обмен в режиме ПДП, поступающие со стороны контроллеров внешних устройств по системной шине. Поэтому контроллеры (адаптеры) IBM PC, обслуживающие ПУ в режиме ПДП, незначительно отличаются от контроллеров, обслуживающих только программный обмен. В них запрос на ПДП может формироваться так же, как и запрос на прерывание, то есть по изменению содержимого определенных разрядов регистра состояния РгС.

В ПЭВМ, микроЭВМ и микропроцессорных системах адресуемые регистры данных, команд и состояния с необходимыми схемами управления называют *портами*. Соответственно различают порты ввода (РгДВв), вывода (РгДВыв), управления (РгУ) и состояния (РгС). Часто эти регистры объединяли в одной микросхеме, на которую возлагали также функции параллельно-последовательного преобразования. Такие схемы получили название *универсальных асинхронных* (или *синхронных*) *приемопередатчиков* УАПП (УСПП) и показаны на рис.3.7 и 3.8 соответственно. В современных персональных компьютерах и микроЭВМ такие схемы входят в состав сверхбольшой интегральной схемы совместно с другими компонентами системы ввода-вывода.

В УАПП принимаемые по шине данных интерфейса Ио через РгДВыв данные заносятся в регистр сдвига РгСдв, в котором параллельный код преобразуется в последовательный. Это преобразование осуществляется посредством сигналов от генератора ГСИ1, запускаемого после загрузки РгСдв и останавливаемого по завершении преобразования. При асинхронной передаче код передаваемого в последовательную линию символа обрамляется стартовыми и стоповыми разрядами, служащими для запуска и останова генератора синхроимпульсов приемника. Генератор ГСИ2 обеспечивает прием последовательного кода из линии. С помощью РгСдв этот код преобразуется в параллельный и передается в РгДВв, при этом устраняются разряды обрамления.

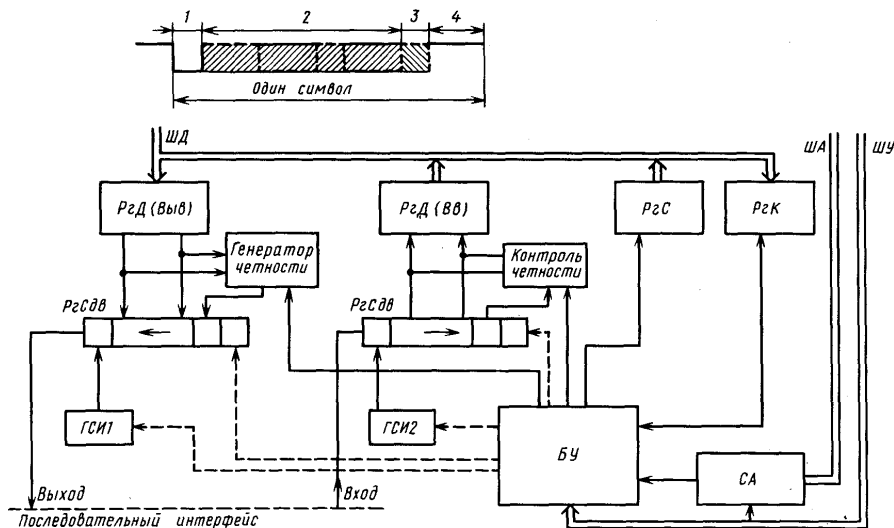


Рис. 3.7 Структурная схема УАПП.

Координация действий в УАПП и машине по обмену символами осуществляется посредством прерываний с использованием РгК и РгС, как описано выше. Регистр РгК позволяет программно задавать скорость передачи (110, 300, 600, 1200, 2400, 4800 или 9600 бит/с), число стоповых бит (1 или 2), способ контроля.

В УСПП синхронизация осуществляется посредством специальных символов SYN, которые включаются в передаваемую последовательность при выводе и детектируются для запуска и подстройки генераторов синхронизации при вводе. Остальные действия в УСПП аналогичны УАПП. Для УСПП скорость передачи устанавливается до 48000 бит/с. Некоторые микропроцессорные комплекты включают комбинированные синхронно-асинхронные приемопередатчики (УСАПП).

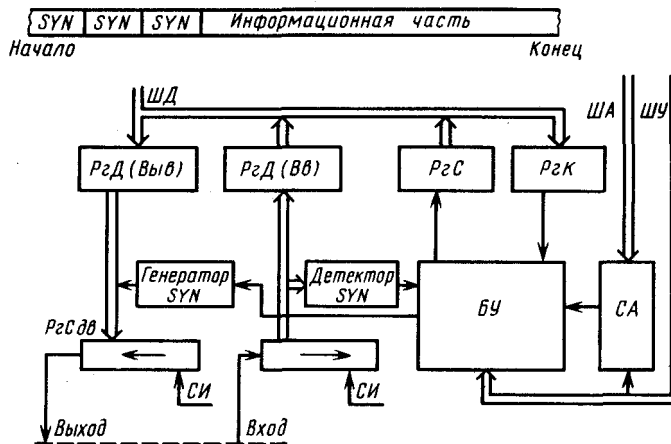


Рис. 3.8 Структурная схема УСПП.

Контрольные вопросы

1. Какие типы ЭВМ можно выделить с позиций программной организации ввода-вывода?
2. Какую управляющую информацию необходимо задавать компонентам СВВ для организации обмена?
3. Каковы особенности логической организации ввода-вывода в ЭВМ общего назначения?
4. Какая программная организация ввода-вывода характерна для микроЭВМ и ПЭВМ? Как адресуются ПУ в общем адресном пространстве?
5. Как определяются адреса ОП при программном вводе-выводе?
6. Каковы особенности организации программного ввода-вывода для процессоров i80286 и старше?
7. Какие функции выполняет КПДП?
8. Перечислите состав основных узлов контроллера для программного обмена и для обмена через КПДП.
9. Какие функции выполняет регистр команд и состояния? Как с его помощью координируются действия в ПУ и ЦП?

Логическая организация СВВ в ЭВМ различных классов более подробно изложена в [1, 3, 23]. Организация ССВ микроЭВМ описана в [23], а структура программного обеспечения – в [24]. Схемы некоторых контроллеров и их описания можно найти в [23].

В данном разделе использованы материалы из [1].

4. СИСТЕМА ВВОДА-ВЫВОДА АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ И СВЯЗИ С ОБЪЕКТАМИ УПРАВЛЕНИЯ.

В настоящее время 25% — 40% всех микроЭВМ используется в таких областях, где СВВ аналоговых сигналов и связи с объектами управления являются основными, а подчас и единственными средствами общения ЭВМ с внешним миром. Эти СВВ позволяют получать информацию об аналоговых процессах и параметрах, характеризующихся непрерывным изменением величины, например, температуры, давления, механического перемещения, напряжения. Информация о таких параметрах представляется в виде аналоговых сообщений. Для восприятия сообщения цифровой машиной аналоговое сообщение преобразуется в цифровую форму; такое преобразование выполняется посредством аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Цифровое сообщение от ЭВМ, служащее для управления аналоговым объектом, преобразуется в аналоговую форму; это преобразование осуществляется цифроаналоговым преобразователем (ЦАП).

В системах управления помимо обработки аналоговых сообщений возникает необходимость обработки сообщений о состоянии различных переключателей, а также необходимость в управлении различными переключателями и реле, включении и выключении двигателей, отключении питания и т.п. Для этих целей используются устройства, называемые соответственно устройствами ввода и вывода дискретных сигналов (УВВДС и УВВВДС). УВВДС воспринимают состояние электрических переключателей и представляют эти состояния в виде некоторого цифрового кода-сообщения, передаваемого в машину. УВВВДС выполняют обратную задачу, т.е. замыкают или размыкают электрические переключатели при получении от машин определенных цифровых сообщений. АЦП, ЦАП и УВВ дискретных сигналов объединяются в различные комбинации и часто выполнялись в виде единого блока, состоящего из одной или нескольких плат. Такой блок принято называть устройством связи с объектом (УСО). В современных управляющих и технологических микроЭВМ (например Микро-РС) эти платы устанавливаются в одном корпусе с микроЭВМ. АЦП и ЦАП применяются не только в качестве самостоятельных ПУ, плат расширения или основных компонентов УСО, но и в качестве компонентов других ПУ. Этим объясняется то, что рассмотрение АЦП и ЦАП предшествует рассмотрению других типов ПУ.

4.1. Выбор параметров аналого-цифрового преобразования

Для обеспечения правильности функционирования объектов управления или хода технологических процессов необходимо, чтобы характеристики СВВ и ее компонентов соответствовали характеру изменения параметров процесса, т.е. необходимо выбирать СВВ и ее компоненты в соответствии с характеристиками управляемых процессов.

Рассмотрим типичную схему замкнутой системы управления с использованием ЭВМ, показанную на рис. 4.1. Состояние объекта управления характеризуется множеством параметров

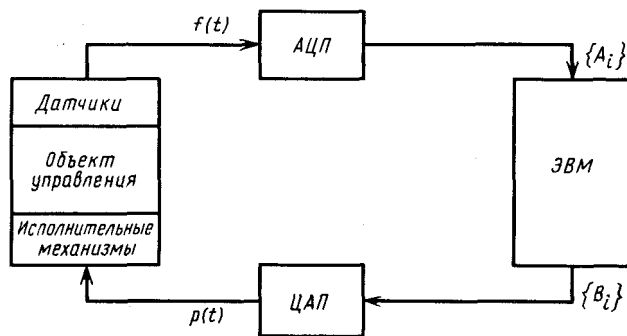


Рис. 4.1 Схема замкнутой системы управления.

(температура, давление, механическое перемещение и т.п.), изменения которых имеют непрерывный (аналоговый) характер. Управление объектом осуществляется совокупностью управляющих воздействий на исполнительные механизмы, которые также имеют аналоговый характер. Очевидно, что для того, чтобы использовать ЭВМ для цифровой обработки состояния объекта и выработки соответствующих управляющих воздействий, в систему необходимо включить два компонента - АЦП и ЦАП, осуществляющие «эквивалентную» замену входного аналогового сигнала $f(t)$ множеством числовых значений $\{A_i\}$, а затем множество полученных после обработки числовых значений $\{B_i\}$ — некоторым выходным аналоговым сигналом $p(t)$. Замену аналогового сигнала $f(t)$ множеством числовых значений $\{A_i\}$ можно считать эквивалентной в том случае, если сигнал $p(t)$, получаемый при восстановлении, т.е. при цифроаналоговом преобразовании чисел $\{A_i\}$ отличается от входного сигнала $f(t)$ не более, чем на наперед заданную величину, т.е.

$$M [f(t) - p(t)] < \Delta \quad (4.1)$$

где M — некоторая мера точности, например, максимальное отклонение, среднеквадратичное

отклонение и т.п. Дополнительным условием, влияющим на выбор параметров преобразования, является требование минимального объема перерабатываемой информации, содержащейся в множестве чисел $\{A_i\}$.

При замене аналогового сигнала $f(t)$ множеством чисел $\{A_i\}$ можно выделить два процесса — **дискретизации и квантования**. Замена сигнала $f(t)$ конечным множеством его мгновенных значений $\{f(t_i)\}$ называется *дискретизацией* и иллюстрируется на рис.4.2,а. В результате дискретизации теряется информация о поведении $f(t)$ на интервалах между узлами дискретизации t_i . Разность между двумя

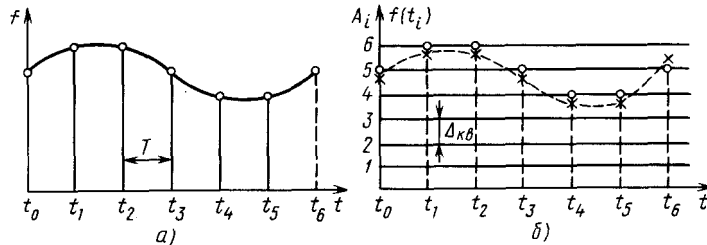


Рис. 4.2 Дискретизация и квантование.

значениями $t_i - t_{i-1} = T$ называется *шагом дискретизации*; при постоянном шаге T дискретизацию называют *равномерной*, в противном случае — *неравномерной*. Замена каждого мгновенного значения $f(t_i)$ некоторым числом-отсчетом A_i производится путем измерения величины $f(t_i)$, т.е. сравнения ее с квантованными эталонными значениями, рис.4.2,б; этот процесс называется *квантованием*. В процессе измерения также теряется информация о величине $f(t_i)$, но уже в узлах дискретизации, что приводит к появлению ошибки квантования, которая может достигать величины кванта $\Delta_{кв}$. Процессы дискретизации и квантования влияют на меру точности M и в этом смысле не являются независимыми. Однако в инженерной практике параметры аналого-цифрового преобразования — шаг дискретизации T и величину кванта $\Delta_{кв}$ принято определять изолированно.

Выбор шага дискретизации. Ограничимся рассмотрением равномерной дискретизации. Выбранный шаг дискретизации должен обеспечивать возможность восстановления преобразуемого сигнала $f(t)$ по его мгновенным значениям $\{f(t_i)\}$ с заданной точностью. Возможность такого восстановления определяется теоремой Котельникова (Найквиста), согласно которой любая функция $f(t)$, характеризуемая конечным спектром $[0, F_B]$, может быть восстановлена с любой точностью по ее мгновенным значениям $f(t_i)$, если эти значения

$$T < \frac{1}{2 F_B} . \quad (4.2)$$

Однако на практике воспользоваться этим соотношением бывает трудно, так как все реальные физические сигналы характеризуются бесконечным спектром и, следовательно, при их математическом описании посредством функций с конечным спектром возникает погрешность, оценить которую достаточно сложно. Кроме того, соотношение (4.2) предполагает, что восстановление сигнала должно выполняться в соответствии с разложением в ряд Фурье; реализация такого восстановления очень трудоемка.

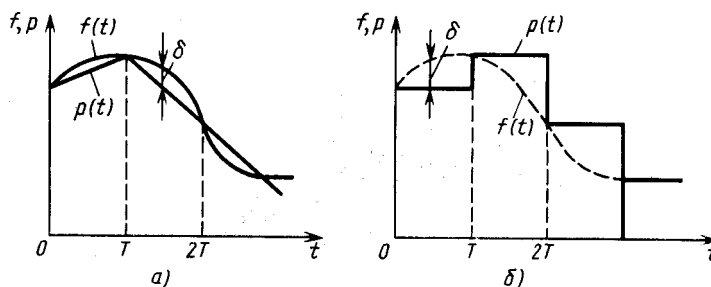


Рис. 4.3 Восстановление полиномами первой и нулевой степени.

При других методах восстановления сигнала для выбора шага дискретизации необходимо пользоваться иными соотношениями. Рассмотрим пример восстановления аналогового сигнала $f(t)$ по его мгновенным значениям $f(t_i)$ интерполяционным полиномом $p(t)$. В этом случае

$$f(t_i) = p(t_i),$$

т.е. значения полинома $p(t)$ совпадают с мгновенными значениями исходного сигнала в узлах дискретизации. Пусть используется полином первой степени, а в качестве меры точности M принято максимальное отклонение $f(t)$ от $p(t)$ на интервале $(0, T)$ —рис.4.3,а. Воспользовавшись оценкой остаточного члена в форме Лагранжа, получим

$$\delta = |f(t) - p(t)| \leq \frac{T^2 |f''(t)|_{\max}}{8},$$

где T — шаг дискретизации, а $|f''(t)|_{\max} = M_2$ — максимальное значение модуля второй производной исходного сигнала.

Величина M определяется физическими ограничениями, накладываемыми на исходный сигнал со стороны объекта управления и обычно известна; например, если $f(t)$ характеризует перемещение объекта, то величина M соответствует максимально допустимому ускорению, превышение которого может приводить к разрушению объекта. При правильном выборе шага дискретизации величина отклонения не должна превышать допустимой величины $\delta < \Delta_1$, где Δ_1 — доля погрешности дискретизации от общей погрешности Δ , возникающей при «эквивалентной» замене аналогового сигнала числовыми отсчетами, откуда

$$T \leq \frac{8\Delta_1}{M_2} \quad (4.3)$$

При восстановлении исходного сигнала $f(t)$ полиномом нулевой степени (рис.4.3,6) аналогичные рассуждения позволяют получить

$$T \leq \frac{\Delta_1}{M_1} \quad (4.4)$$

где $M_1 = |f'(t)|_{\max}$ — максимальное значение модуля первой производной $f(t)$.

Уменьшение шага дискретизации T независимо от способа восстановления сигнала приводит к уменьшению погрешности дискретизации, однако при этом возрастает объем перерабатываемой машиной информации. При работе ЭВМ в режиме реального масштаба времени, наиболее характерном для систем управления объектами и процессами, ввод каждого отсчета, его обработка и вывод результата должны быть завершены до появления следующего отсчета, т.е. за интервал T . Таким образом, шаг дискретизации определяет не только погрешность преобразования, но и требования, предъявляемые к быстродействию машины, архитектуре и параметрам СВВ, а также ограничения на сложность алгоритмов обработки.

Выбор величины кванта. Величина кванта $\Delta_{\text{КВ}}$ не должна превышать допустимой погрешности квантования, т.е.

$$\Delta_{\text{КВ}} < \Delta_2, \quad (4.5)$$

где Δ_2 — доля общей погрешности процесса эквивалентной замены аналогового сигнала его отсчетами, приходящаяся на квантование.

Суммарная погрешность, вызванная погрешностями вследствие дискретизации (Δ_1) и квантования (Δ_2) не должна превышать величины в выражении (4.1). Погрешности дискретизации и квантования являются методическими.

4.2. Компоненты системы ввода-вывода аналоговых сигналов

Ограничимся рассмотрением СВВ, в которых в качестве ЦАП и АЦП используются преобразователи цифровых кодов в напряжение постоянного тока (ПКН) и напряжения в цифровые коды (ПНК). Помимо ПНК и ПКН в состав этих СВВ входят мультиплексоры и демультимплексоры аналоговых сигналов, схемы сохранения уровней напряжения (аналоговые запоминающие элементы), ключи и т.п.

Помимо ЦАП и АЦП широко распространены непосредственные преобразователи механических перемещений в цифровые коды и обратно; такие преобразователи широко используются в качестве узлов систем управления, в частности в электромеханических ПУ.

К основным характеристикам АЦП и ЦАП принято относить диапазон изменения входной (или выходной) величины, разрешающую способность, инструментальную погрешность и быстродействие.

Диапазон изменения входной величины определяет допустимые уровни преобразуемого сигнала; для ПНК этот диапазон задается в виде максимального U_{\max} и минимального U_{\min} напряжений на входе преобразователя. Наиболее распространены ПНК с диапазоном 5В или (0-10)В.

Разрешающая способность R для АЦП определяется величиной кванта $\Delta_{\text{КВ}}$ и характеризует наименьшее различимое изменение входной аналоговой величины. Общее число состояний входного сигнала, различимых посредством АЦП, определяется отношением $(U_{\max} - U_{\min})/R$. В случае, если для представления цифрового сообщения в таком АЦП или ЦАП используется двоичный (прямой, инверсный, смещенный и т.п.) код, то разрядность, т.е. число двоичных разрядов n этого кода, составит:

$$n = \text{ent} \left(1 + \log_2 \frac{U_{\max} - U_{\min}}{R} \right), \quad (4.6)$$

где символ ent означает выделение целой части числа; $R = \Delta_{\text{КВ}} \cdot$

Инструментальная погрешность включает в себя погрешности настройки, временной и температурной нестабильности, нестабильности источников питания и т.п. Все инструментальные

погрешности проявляются в виде смещения нуля передаточной характеристики, изменения коэффициента передачи и отклонения передаточной характеристики от идеальной. Значение инструментальной погрешности определяется возможностями технологии и используемыми компонентами для выбранного алгоритма преобразования; снижение инструментальной погрешности обычно связано со значительными затратами. При правильном выборе АЦП и ЦАП инструментальная погрешность должна соответствовать величине кванта, т.е. $\Delta_{\text{ИНСТР}} \approx \Delta_{\text{КВ}}$.

Таким образом, инструментальная погрешность определяет возможную разрядность преобразователя. Современные ПНК характеризуются разрядностью $n = (8-14)$ и выше (до 64). Каждый отсчет, представляемый в АЦП и ЦАП n -разрядным числом, является неделимым для обработки квантом информации, однако передаваться через интерфейс он может параллельно-последовательным способом. [Разрядность преобразователей угловых и линейных механических перемещений в цифровой код достигает $n = (20-22)$].

Быстродействие АЦП и ЦАП характеризуют временем преобразования $T_{\text{ПР}}$, т.е. интервалом от начала преобразования до момента получения выходного сигнала. Для АЦП значение $T_{\text{ПР}} < T$, где T — шаг дискретизации; для ЦАП в качестве $T_{\text{ПР}}$ принимают время установления выходной величины с заданной точностью (обычно с точностью до величины кванта). Время преобразования определяется не только быстродействием используемых элементов АЦП, но и алгоритмом преобразования и разрядностью преобразователя.

Преобразователи цифрового кода в напряжение постоянного тока. Принцип действия ПНК заключается в суммировании аналоговых величин (токов или напряжений), пропорциональных весам разрядов входного цифрового кода.

Однополярные ПНК. Выходное напряжение U_A ПНК можно описать выражением:

$$U_A = \sum_0^{n-1} U_i = U_0 \sum_0^{n-1} p_i a_i,$$

где U_i — аналоговая величина (напряжение или ток), пропорциональная весу p i -го разряда; a_i — значение i -го разряда входного кода; а U_0 — масштабный множитель.

При использовании естественных двоичных кодов $a_i = 0$ или 1 , $p_i = 2^i$ последнее равенство можно преобразовать к виду:

$$U_A = \frac{U_{\Sigma}}{2} \sum_0^{n-1} a_i 2^i = \frac{U_{\Sigma}}{2^n} A, \quad (4.7)$$

где $A = (a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_1, a_0)$ — преобразуемое двоичное число, а U_{Σ} , значение эталонного напряжения, определяющее диапазон изменения выходного напряжения ПНК.

В состав ПНК входят аналоговые ключи с цифровым управлением, служащие для коммутации эталонных напряжений или токов, делители для получения совокупности взвешенных опорных напряжений U_i из одного эталонного напряжения U_{Σ} и сумматоры аналоговых сигналов. На рис.4.4а приведена схема реализации ПНК, основанная на независимом суммировании токов, осуществляемом операционным усилителем (ОУ). Напомним, что ОУ имеет высокий коэффициент усиления (обычно свыше 50 000), потенциал его входа (Вх) близок к нулю, а входное сопротивление велико (т.е. $\rightarrow \infty$). При этих условиях токи I_j через входные резисторы определяются как $I_j = U/(2^j R)$, если соответствующий ключ К $_j$ замкнут; $I_j = 0$, если ключ разомкнут.

Напряжение U_A на выходе ОУ определяется выражением

$$U_A = -I_{\Sigma} R_{OC} = -R_{OC} \sum_0^{n-1} \left(\frac{U_{\Sigma}}{R 2^j} \right) = -\frac{U_{\Sigma} R_{OC}}{R 2^n} \sum_0^{n-1} a_j 2^j,$$

Это выражение с точностью до постоянного коэффициента совпадает с выражением (4.7), т.е. такой ПНК позволяет поставить в соответствие двоичному коду A положительное значение напряжения постоянного тока в диапазоне от 0 до $(U_{\Sigma} R_{OC}/R)$. Отметим, что для получения положительного выходного напряжения эталонное напряжение должно быть отрицательным.

На практике из-за больших погрешностей, вызываемых допусками на прецизионные резисторы различных номиналов, такая схема применения не находит. Наиболее распространенными схемами ПНК являются схемы, использующие резистивную сетку R-2R (рис.4.4,б), источники равных токов в разрядах и интегральные делители опорных токов.

Несколько подробнее рассмотрим схему, использующую резистивную сетку R-2R. Входной цифровой код $A = (a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_1, a_0)$, где a_0 — младший разряд, фиксируется на регистре (на схеме рис.4.4,б регистр не показан). В зависимости от значения разряда a_j соответствующий ключ К $_j$ подключает к j -ому входу сетки источник эталонного напряжения $U_{\Sigma 1}$ или $U_{\Sigma 2}$. Воспользовавшись законами Ома и Кирхгофа, можно найти ток I_{Σ} втекающий в суммирующую точку ОУ при любых положениях ключей:

$$I_{\Sigma} = \frac{U_{\Sigma 1}}{3R 2^n} \sum a_j 2^j + \frac{U_{\Sigma 2}}{3R 2^n} \sum a_j 2^j.$$

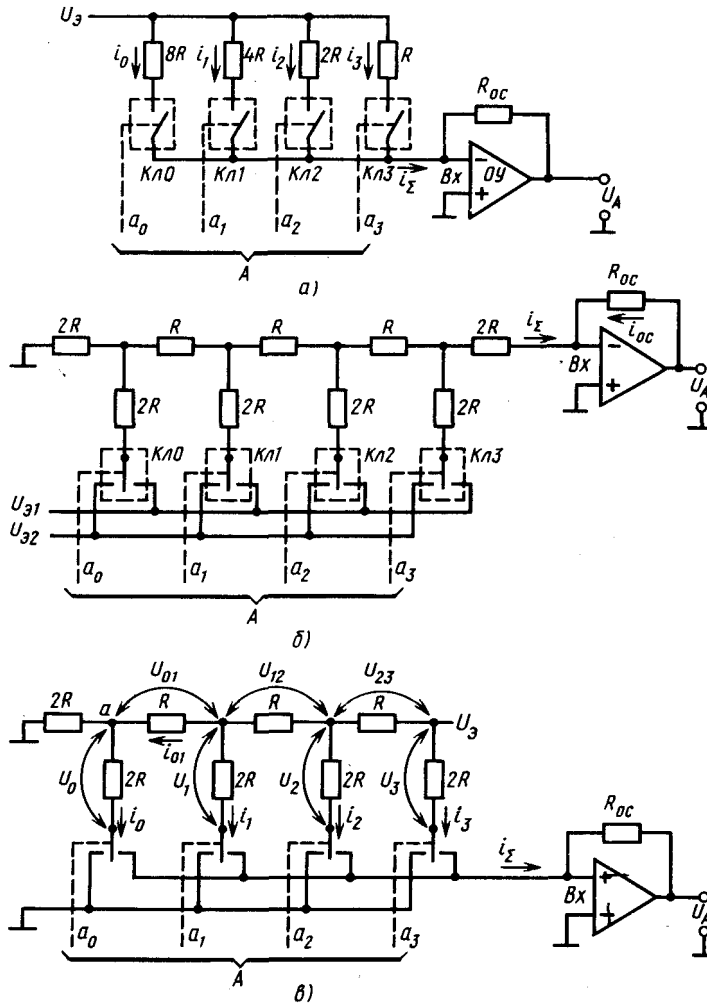


Рис. 4.4 Однополярные ЦАП.

Положим далее, что $U_{э2} = 0$, а $U_{э1} = U_{э}$ и найдем напряжение U_A на выходе ПКН:

Это выражение с точностью до постоянного коэффициента совпадает с выражением (4.7). Таким образом, выходное напряжение U_A ставится в соответствие входному цифровому коду. Необходимая

$$U_A = -I_{\Sigma} R_{oc} = -\frac{U_{э} R_{oc}}{3R2^n} \sum_0^{n-1} a_j 2^j,$$

точность преобразования обеспечивается только при малых погрешностях сопротивления резисторов сетки $R-2R$, при этом необходимо также учитывать внутреннее сопротивление замкнутых ключей.

Быстродействие схемы определяется затратами времени на перезаряд паразитных емкостей резистивной сетки при переключении входных токов. На рис.4.4,в показана резистивная сетка в схеме обращенного ПКН, обладающего более высоким быстродействием. Резистивная сетка $R-2R$ служит для получения от одного источника токов, отношения значений которых пропорциональны степени двойки. Эти токи затем подаются на суммирующую точку ОУ для получения напряжения U_A , соответствующего положениям переключателей Кл, т.е. входному коду А.

Рассмотрим работу схемы обращенного ПКН, начиная с левого края. Согласно закону Ома, $U_0 = I_0 2R$. Ток I_0 в точке (а) разветвляется по двум равным сопротивлениям $2R$ и, следовательно, $I_{01} = 2I_0$, т.е. $U_{01} = I_{01} R = I_0 2R$. Поскольку $U_1 = U_0 + U_{01}$, то $U_1 = 2(2R)I_0$. Продолжая рассуждения, получим

$$I_3 = I_3; I_2 = I_3/2; I_1 = I_3/4; I_0 = I_3/8;$$

при этом $I_3 = U_3/(2R)$ т.е.

$$U_A = -\frac{U_{э} R_{oc}}{R2^n} \sum_0^{n-1} a_j 2^j,$$

В этой схеме переключатели Кл служат для подачи соответствующего «взвешенного» тока на суммирующую точку ОУ или на шину земли. Как и в предыдущей схеме, на точность преобразования,

а следовательно, и на возможное число разрядов преобразуемого кода влияют погрешности сопротивления резисторов сетки и непосредственно внутреннего сопротивления ключей. Обратные ПЧ имеют разрядность 10-12 и выше.

Получение достаточно точных значений сопротивлений сетки при использовании интегральной технологии 90-ых годов оказалось затруднительным; это является причиной создания ПЧ с активными делителями опорных токов, однако разрядность таких ПЧ при использовании тех же технологий составила также $n=10-12$.

Современные технологии позволяют изготавливать ЦАП в составе сверхбольших интегральных схем с разрядностью $n=16$ и выше. Так 16 разрядные ЦАП используются в обычных мультимедийных звуковых платах расширения и работают на частотах в сотни килогерц и выше.

Обязательным компонентом всех ПЧ являются электронные ключи, служащие для коммутации аналоговых токов. Такие ключи должны обладать малым внутренним сопротивлением во включенном

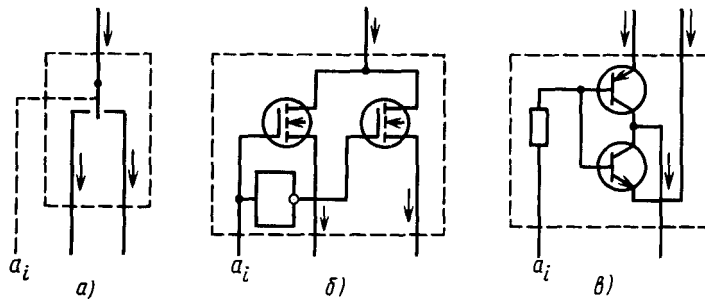


Рис. 4.5 Аналоговые ключи.

состоянии и малой длительностью переключения. На рис.4.5 показаны условное обозначение ключа (а) и две возможные схемы его реализации на МОП-транзисторах (б) и биполярных транзисторах (в). Такие ключи служат для соединения одного из аналоговых входов с аналоговым выходом (схема в) или для подключения аналогового входа к одному из аналоговых выходов (схема б); переключение осуществляется под управлением дискретного сигнала, подаваемого на управляющий вход ключа.

Двуполярные ПЧ. Для получения на выходе ПЧ напряжения любой полярности необходимо наличие двух источников эталонного напряжения (рис.4.6,а) или дополнительного коммутируемого инвертора выходного сигнала (рис.4.6,б). В первом случае дополнительный источник эталонного напряжения служит для «смещения» выходного напряжения на постоянную величину, соответствующую половине диапазона изменения U_A .

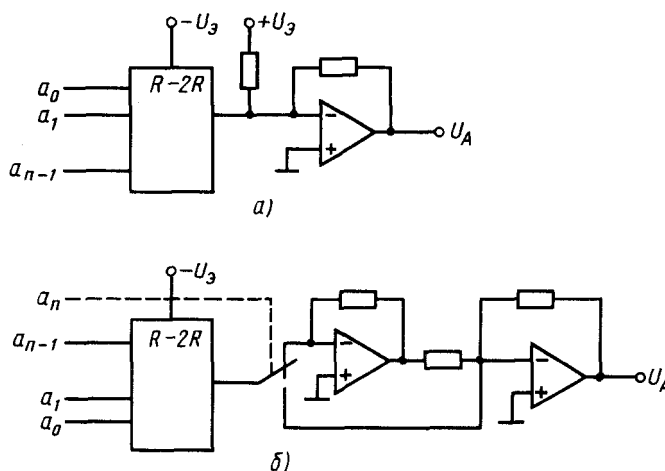


Рис. 4.6 Двуполярные ЦАП.

При этом поступающая на вход ПЧ цифровая величина должна быть представлена в смещенном двоичном коде, в котором значению $A=(0,0,\dots,0,0)$ соответствует максимальное отрицательное значение U_A , значению $A=(1,1,\dots,1,1)$ —максимальное положительное U_A , а нулевому значению $U_A=0$ соответствует входной код $A=(1,0,\dots,0,0)$ или $A=(0,1,\dots,1,1)$. Работа схемы пояснений не требует. При наличии двух разнополярных источников эталонных напряжений и использовании смещенного двоичного кода приведенная на рис.4.6,а схема также позволяет получить на выходе двуполярное напряжение U_A .

Аналогичные результаты можно получить при использовании коммутатора и инвертора

выходного напряжения рис.4.6,б. В этом случае входная величина представлена прямым двоичным кодом, причем старший знаковый разряд a_n используется для коммутации инвертора.

Способ представления двоичного числа, обеспечивающий правильную работу двуполярного ПКН, необходимо учитывать при программировании операций ввода-вывода аналоговых сигналов.

Преобразователи напряжения постоянного тока в цифровой двоичный код.

Принцип действия большинства ПКН основан на подборе кода, который, будучи преобразованным в напряжение, позволяет получать минимальное отклонение от входного напряжения U_x , поступающего на ПКН. В схемах ПКН используются преобразователи кода в напряжение, логические схемы подбора кода и компараторы, осуществляющие сравнение входного напряжения U_x и напряжения U_A на выходе ПКН. Компараторы (их иногда называют схемами сравнения, или нуль-органами) строятся, как правило, на базе дифференциальных ОУ; они позволяют формировать дискретный выходной сигнал C в зависимости от знака разности входных аналоговых напряжений U_x и U_A , т.е.

$$C = \begin{cases} 0, & \text{если } U_x \geq U_A \\ 1, & \text{если } U_x < U_A \end{cases}$$

Алгоритм подбора кода определяет быстродействие ПКН, сложность его технической реализации и во многих случаях достижимую разрядность. Одним из наиболее распространенных является **алгоритм последовательного приближения**. Схема ПКН, реализующая этот алгоритм, приведена на рис.4.7,а, временная диаграмма и последовательность подбираемых кодов, устанавливаемых на входном регистре ПКН, приведена на рис. 4.7,б.

Сигнал начала преобразования приводит к установке на входном регистре РгПКН кода $A=(1000\dots0)$; по первому синхроимпульсу (СИ1). В результате установленный на регистре код преобразуется посредством ПКН в напряжение U_A , которое сравнивается компаратором (нуль-органом — НО) с входным преобразуемым напряжением U_x . Если $C = 0$, т.е. $U_x > U_A$, с входным преобразуемым напряжением U_x . Если $C = 1$, т.е. $U_x < U_A$,

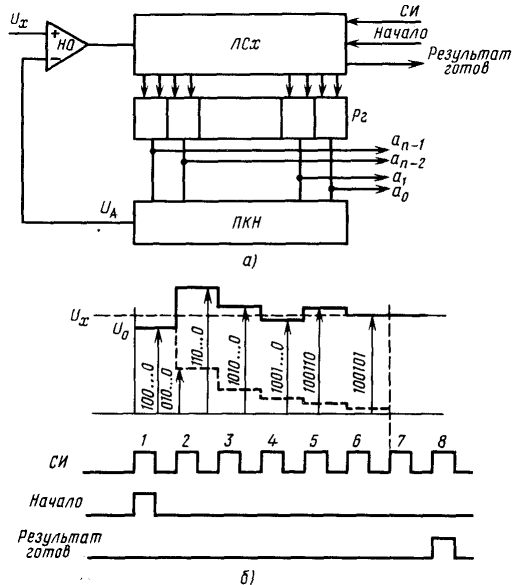


Рис. 4.7 АЦП последовательного приближения.

то установленный на регистре код A недостаточен и должен быть увеличен; если $C=1$, т.е. $U_x < U_A$ (рис.4.7,б), то код превышает требуемый и его необходимо уменьшить. В зависимости от значения сигнала C логическая схема (ЛСх) во втором такте (по сигналу СИ2) производит установку в регистр Рг кода $A = (1100\dots0)$, если $C = 0$, или $A = (0100\dots0)$, если $C = 1$. Вновь установленный код преобразуется в напряжение U_A , которое по-прежнему сравнивается с U_x . Таким образом, в момент прихода СИЗ в Рг устанавливается новый код в соответствии с вновь выработанным значением C . Этот процесс подбора производится непрерывно и завершается после «анализа» кода A , в котором установлен младший разряд. В этот момент ЛСх вырабатывает сигнал готовности результата, который может быть прочитан на регистре Рг. Последовательность кодов, устанавливаемых на Рг в процессе подбора, иллюстрируется на рис.4.7,в. Длительность полного цикла преобразования $T_{пр}$ занимает $(n + 1)$ тактов, $T_{пр} = T_{сн} (n + 1)$, где $T_{сн}$ — период тактовых сигналов. Очевидно, что верхней границей $T_{пр}$ является допустимый период дискретизации, т.е. $T_{пр} = T$ [см. (4.3) и (4.4)].

Описанный процесс подбора кода справедлив только для случая неизменного во времени

входного сигнала U_x , однако реальный сигнал U_x , поступающий на вход ПНК, не остается неизменным. Максимальное изменение ΔU_x этого сигнала за время цикла преобразования $\Delta U_x = M_1 T_{np}$, где M_1 — максимально возможная скорость изменения U_x . Потребуем, чтобы код на выходе ПНК отличался от кода, соответствующего входному сигналу в момент начала цикла преобразования, не более чем на единицу младшего разряда; это значит, что

$$\Delta_{кв} \geq M_1 T_{np} .$$

Если последнее условие не выполняется, т.е. ПНК не обладает достаточным быстродействием, возникает дополнительная погрешность, обусловленная непрерывным изменением сигнала U_x .

Для уменьшения такой погрешности необходимо использовать более быстродействующие схемы ПНК, а также применять на входе преобразователей схемы сохранения уровня напряжения (схемы выборки — хранения), которые фиксируют значение входного аналогового сигнала U_x в момент начала преобразования и сохраняют его постоянным до завершения преобразования. Принцип действия таких схем основан на заряде конденсатора от входного сигнала в течение периода $T_{вб}$ и поддержания на нем постоянного потенциала в течение периода хранения $T_{хр}$.

Одна из наиболее часто используемых на практике схем выборки-хранения приведена на рис.4.8,а; принцип ее работы поясняется на рис.4.8,б. Схема состоит из операционных усилителей ОУ1 и ОУ2 с единичными коэффициентами усиления, «запоминающего» конденсатора С и аналогового ключа Кл. Под воздействием дискретного управляющего сигнала s ключ Кл замкнут в течение периода выборки и разомкнут в течение периода хранения. В период выборки конденсатор С заряжается до потенциала входного сигнала U_x ; заряд происходит большим выходным током усилителя ОУ1 и, следовательно, постоянная времени заряда достаточно мала. Потенциал заряженного конденсатора «передается» на выход усилителя ОУ2 и далее на вход ПНК. Большое входное сопротивление ОУ2 обеспечивает большую постоянную времени разряда и, следовательно, возможность сохранять постоянным потенциал на конденсаторе в течение сравнительно длительного времени ($T_{хр} > T_{вб}$). Для ускорения процесса заряда конденсатора С в период выборки в практических схемах выборки-хранения обратная связь операционного усилителя ОУ1 подается с выхода ОУ2 (рис.4.8,в). За счет отсутствия отрицательной обратной связи при разомкнутом ключе коэффициент усиления ОУ1 велик и при замыкании контактов ключа на конденсатор С подается

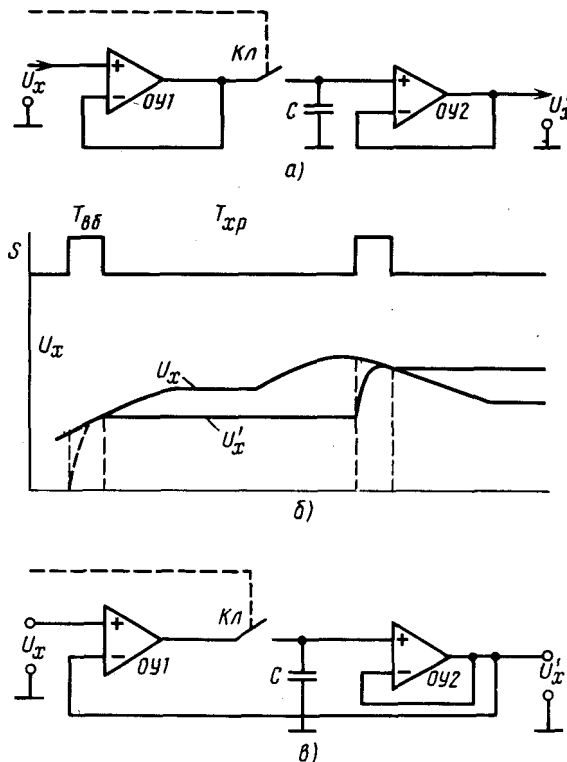


Рис. 4.8 Схемы выборки-хранения.

большая разность потенциалов, ускоряющая его заряд. Такая схема приводит также к некоторому снижению требований, предъявляемых к характеристикам ключа и усилителя ОУ2.

Алгоритмы преобразования и схемные решения ПНК характеризуются большим разнообразием, что обусловлено необходимостью получения высокой точности или высокого быстродействия, а также особенностями технологии. Наибольшим быстродействием обладают ПНК *непосредственного считывания* (рис.4.9), в которых реализуется *алгоритм параллельного преобразования*. Входной

сигнал U_x сравнивается с набором $(2^n - 1)$ эталонных напряжений, обычно формируемых посредством делителя. На выходах всех компараторов с 1-го по i -ый формируется сигнал «0», если $U_{эi} > U_x$; на выходах компараторов с $(i+1)$ -го по $(2^n - 1)$ -й формируется сигнал «1», если $U_{э(i+1)} \leq U_x$, т.е. на входы шифратора Ш поступает единичный нормальный код $00\dots011\dots1$, который преобразуется в выходной код ПНК (например, двоичный или циклический). ПНК такого типа требуют больших аппаратных затрат, пропорциональных 2^n , поэтому рассмотренные схемы используются обычно в качестве составных узлов ПНК, реализующих комбинированные алгоритмы, для ускорения преобразования.

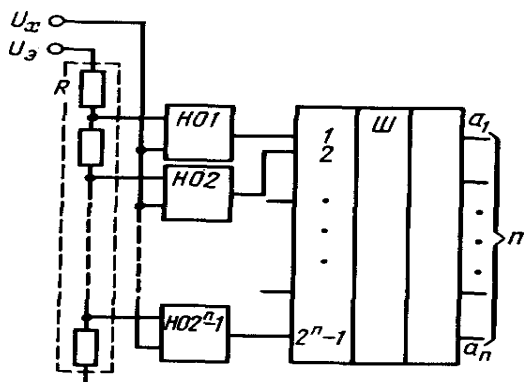


Рис 4.9 АЦП непосредственного считывания с алгоритмом прямого преобразования.

Весьма распространенным методом преобразования является **двойное интегрирование**. ПНК, реализующие этот метод, позволяют получать высокую точность, соответствующую 14-16 двоичным разрядам. Однако такие ПНК имеют низкое быстродействие. Упрощенная схема ПНК с двойным интегрированием приведена на рис.4.10,а, а временная диаграмма его работы — на рис.4.10,б. Его основными компонентами являются интегратор И, построенный на базе операционного усилителя с емкостью C в цепи обратной связи, аналоговые ключи Кл1 и Кл2, компаратор НО, счетчик Сч и схема управления СУ. При поступлении импульса запуска S начинается цикл преобразования, имеющий два этапа длительностью T_0 и T_x . Сигнал запуска S начинает первый этап преобразования; он приводит к установке в единичное состояние двух триггеров в схеме управления, что вызывает замыкание аналогового ключа Кл2 и установку ключа Кл1 в верхнее положение. На вход интегратора подается сигнал U_x , который интегрируется в течение интервала T_0 . Одновременно на вход счетчика подаются импульсы тактовой частоты ТИ. Конец интервала T_0 определяется моментом переполнения счетчика, т.е. сигналом P . Таким образом, при использовании двоичного n -разрядного счетчика $T_0 = T_{ТИ} 2^n$. Напряжение на выходе интегратора в этот момент соответствует величине $U_x T_0 K$, где K — постоянная интегрирования. Сигнал P переключает один из триггеров СУ в нулевое состояние, что приводит к переключению Кл1 в нижнее положение. В этот момент начинается второй этап преобразования длительностью T_x , в течение которого на вход интегратора подается напряжение от эталонного источника ($-U_{э}$). Момент завершения этого этапа определяется фронтом сигнала $Сно$ от компаратора, когда напряжение на выходе интегратора становится равным нулю.

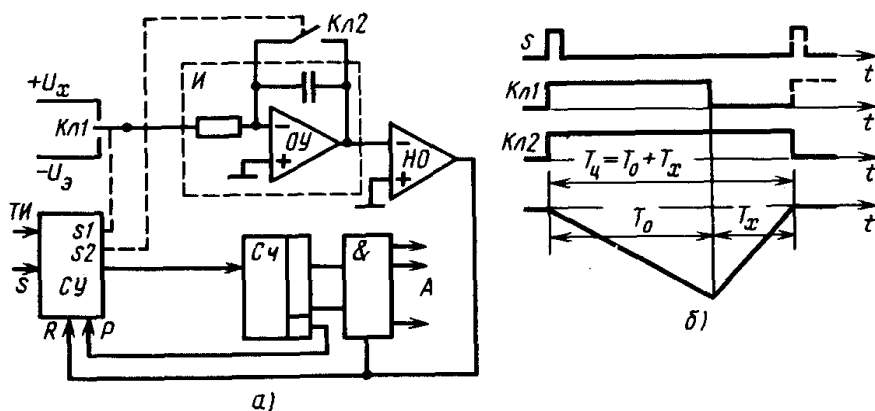


Рис 4.10 АЦП с двойным интегрированием.

Именно в этот момент код A на выходе счетчика соответствует входному напряжению U_x . По фронту сигнала $Сно$ схема управления прекращает передачу на счетчик сигналов тактовой частоты и замыкает ключ Кл2, переводя интегратор в начальное состояние. Поскольку в момент переключения

сигнала U_x напряжение на выходе интегратора равно нулю, а постоянная интегрирования одинакова на протяжении всего цикла, то справедливо следующее равенство: $U_x T_0 = U_3 T_x$, или, поскольку $T_x \approx T_{\text{TH}} A$ (с точностью до единицы младшего разряда)

$$A = \frac{2^n}{U_3} U_x ,$$

т.е. напряжению U_x поставлен в соответствие выходной код A .

В ПНК с двойным интегрированием в значительной степени скомпенсированы ошибки, вызванные погрешностями пассивных компонентов, так как на этапах T_0 и T_x эти ошибки имеют разные знаки. Кроме того, при интегрировании происходит сглаживание случайных флуктуаций сигнала U_x , вызванных внешними наводками. Таким образом, ПНК рассматриваемого типа осуществляет преобразование среднего на интервале T_0 значения напряжения U_x .

Многоканальные АЦП и ЦАП. В СВВ аналоговых сигналов приходится решать задачу преобразования в цифровой код напряжений от множества различных источников во внешнем мире, а также выдачи аналоговых напряжений множеству внешних потребителей. Чтобы решить эту задачу, можно использовать отдельные ПНК для каждого источника и отдельные ПКН для каждого потребителя. Каждый такой ПКН или ПНК следует рассматривать как отдельное ПУ и оборудовать его соответствующими схемами подключения к интерфейсу. Однако такое решение слишком дорого.

Для снижения затрат в многоканальных СВВ применяют аналоговые мультиплексоры и демультимплексоры, позволяющие использовать дорогостоящие ПНК и ПКН на основе разделения времени для нескольких источников и потребителей аналоговой информации. Кроме того, сокращаются схемы подключения к интерфейсу. Аналоговый мультиплексор представляет собой совокупность аналоговых ключей с дискретным управлением и цифрового дешифратора. Обычно мультиплексор подключается ко входу схемы выборки-хранения, соединяя непосредственно источники аналоговых сигналов со схемой. Однако если диапазоны изменения аналоговых сигналов от источников значительно различаются, на каждом входе мультиплексора включают специальный инструментальный усилитель, нормирующий входное напряжение. В некоторых случаях такой усилитель включается между выходом мультиплексора и входом схемы выборки-хранения, однако, при этом его коэффициент усиления должен устанавливаться программно, в соответствии с номером подключенного мультиплексором аналогового канала.

На рис.4.11 показан пример четырехканального аналогового мультиплексора (МС), на выходе которого напряжение U_{MC} принимает поочередно значения напряжений на входах U_{x1} , U_{x2} , U_{x3} или U_{x4} в соответствии с номером канала, установленным в регистре R_2 . Такой мультиплексор служит для коммутирования аналоговых сигналов, передаваемых по однопроводной схеме. Существуют мультиплексоры для коммутации дифференциальных сигналов.

Работа ПНК и мультиплексора должна быть синхронизирована так, чтобы перед переключением мультиплексора на очередной канал был полностью завершён цикл преобразования для предыдущего канала. При использовании мультиплексоров увеличивается интервал между последовательными циклами преобразования по одному каналу; это следует учитывать в особенности для быстроизменяющихся процессов, так как должно выполняться условие $T_{np} < T$. Мультиплексоры приводят также к увеличению погрешности преобразования за счет дополнительной коммутации аналогового сигнала; этот недостаток проявляется особенно заметно при использовании многоступенчатых мультиплексоров.

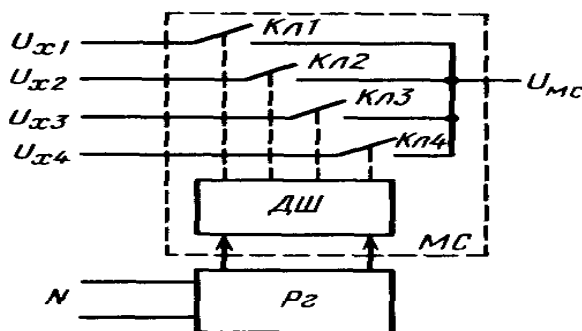


Рис 4.11. Четырехканальный аналоговый мультиплексор.

Схемы управления многоканальными ПНК могут самостоятельно вырабатывать последовательность адресов каналов, например, с помощью адресного счетчика. В этом случае номер начального канала i загружается в R_2 от центральной части машины (обычно под управлением программы), а после завершения каждого цикла преобразования в ПНК в этот регистр добавляется единица, т.е. осуществляется переход к следующему каналу. При этом часто вместе с кодом, формируемым на выходе ПНК, в центральную часть машины передается и номер текущего канала. В

СВВ такому многоканальному ПНК присваивается один номер, что позволяет сократить схемы сопряжения. Многоканальные схемы вывода аналоговой информации могут быть также построены на базе одного ПНК, к выходу которого посредством аналогового демультиплексора подключается множество схем выборки-хранения. Однако на практике стоимость ПНК соизмерима со стоимостью схемы выборки-хранения и поэтому для каждого внешнего потребителя аналоговой информации используют отдельный ПНК. Несколько ПНК (по числу каналов) объединяют в одно ПУ, обладающее необходимыми схемами сопряжения с интерфейсом, а загрузку регистров ПНК осуществляют на основе разделения времени. Для этого в ПУ предусматривают специальный регистр номера канала и цифровой селектор.

4.3. Структура и управление системой ввода-вывода аналоговых сигналов

В состав СВВ аналоговых сигналов, помимо рассмотренных многоканальных схем ПНК и ПНК, входят различные логические схемы, предназначенные для организации сопряжения ПНК и ПНК с центральной частью машины, определения текущего номера входного или выходного аналогового канала, задания темпа опроса каналов, буферизации преобразуемых данных и т.д. На рис.4.12 приведен пример полной СВВ аналоговых сигналов, предназначенной для мини- или микроЭВМ с объединенным интерфейсом. Схема включает в себя три секции:

1) многоканального приема аналоговых сигналов, содержащую схемы управления (СУ) АЦП, генератор тактовых импульсов перестраиваемой частоты (ПГТИ), запоминающее устройство (ЗУ) для хранения коэффициентов усиления инструментального усилителя (ИУ) по каждому входному каналу, аналоговый мультиплексор (МС), схему выборки-хранения (В-Х) и собственно преобразователь (ПНК);

2) многоканальной выдачи аналоговых сигналов, содержащую схему управления (СУ ЦАП), селектор номера канала (СНК), входные регистры $R_{г1} - R_{гN}$ и собственно преобразователи ПКН1-ПКН N ;

3) управления режимами работы и сопряжения с интерфейсом; эта секция включает в себя адресный селектор (СА), регистры адреса данных (РгАД), номера канала (РгНК), числа каналов (РгЧК), команд и состояния (РгКС), скорости опроса каналов (РгСО), данных (РгД), а также схемы управления прямым доступом (БУПДП) и прерываниями (БУП).

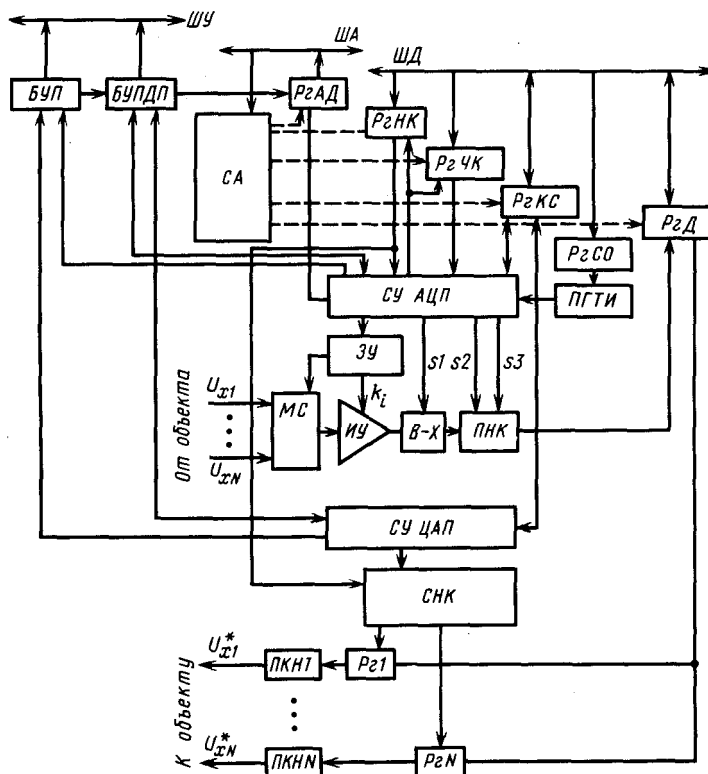


Рис. 4.12 СВВ аналоговых сигналов для микроЭВМ.

Непосредственный процесс аналого-цифрового преобразования по каждому каналу начинается по сигналу $S1$, формируемому в схеме СУ АЦП. По этому сигналу схема В-Х переходит в режим выборки. По заднему фронту сигнала $S1$ схема В-Х переходит в режим хранения, т.е. значение напряжения на ее выходе соответствует значению входного напряжения в момент завершения

выборки. В этот момент по сигналу S2 начинается цикл преобразования в ПНК; завершается цикл по сигналу S3 передачей сформированного кода из ПНК в буферный регистр РгД. Одновременно сигнал S3 позволяет сформировать запрос прерывания или прямого доступа для передачи сформированного кода из РгД в память машины. Однако, чтобы СУ АЦП смогла начать выработку сигналов управления процессом преобразования, должны быть заданы режимы ее работы, способы формирования номеров каналов и выдана команда «начать преобразование».

Возможны два основных способа задания адресов каналов (или способа опроса каналов) — произвольный и последовательный.

При *произвольном способе опроса каналов* номер канала задается программой-драйвером и по шине данных (ШД) заносится на РгНК. Непосредственно вслед за занесением адреса канала программа-драйвер выдает команду «начать преобразование» и заносит ее на РгКС. В системах с объединенным интерфейсом все регистры СВВ, подключенные к ШД, являются программно доступными, т.е. имеющими собственные адреса. Для выборки требуемого регистра используется схема адресного селектора СА, на вход которой по шине адреса (ША) подается адрес загружаемого регистра. Код номера аналогового канала из РгНК передается на мультиплексор МС для подключения соответствующего канала к выходу ИУ и на адресный вход памяти для выборки коэффициента усиления K_i , соответствующего подключенному к ИУ каналу. Значения коэффициентов усиления предварительно загружаются в ЗУ. Получив команду начать преобразование, СУ АЦП вырабатывает последовательность сигналов управления, а после завершения преобразования — сигнал запроса прерывания, формируемый в БУП. Данные передаются из РгД программе в режиме программного доступа. Чтобы осуществить преобразование по другому каналу, программа вырабатывает номер этого канала, передает его в РгНК и вновь выдает команду «начать преобразование».

При *последовательном способе опроса каналов* одна команда «начать преобразование» позволяет инициировать последовательность циклов преобразования для опроса группы различных каналов. Предварительно наименьший номер канала в группе заносится программой-драйвером на РгНК; на РгЧК заносится общее число каналов в группе, опрашиваемых по одной команде. Получив команду, СУ АЦП начинает обычный цикл преобразования для канала, номер которого содержится в РгНК. После завершения цикла сигнал S3 используется не только для организации передачи сформированных данных в ОП, но и для определения очередного номера аналогового канала, для чего к текущему содержимому РгНК добавляется единица; при этом число в РгЧК уменьшается на единицу. При последовательном опросе каналов обычно используют прямой доступ в память, управление которым осуществляет блок управления (БУ ПДП). Для этого в памяти машины отводится непрерывная область с базовым адресом АБо для приема преобразуемых данных от всех входных аналоговых каналов. Адрес ячейки памяти, в которую передаются данные из РгД, формируется в РгАД путем сложения базового адреса АБо и номера текущего канала i . После передачи числа из РгД в память машины СУ АЦП вновь формирует сигнал S1, т.е. начинает новый цикл преобразования для очередного канала. Этот процесс продолжится, пока содержимое РгЧК не станет равным нулю.

Новый цикл опроса входных аналоговых сигналов инициируется очередной командой начала опроса от ЦП или автоматически по сигналу от ПГТИ, выполняющего роль таймера. Настройка ПГТИ осуществляется программно с помощью РгСО или путем переключения тумблеров на лицевой панели УВВ. Во многих случаях частота опроса задается объектом управления, а период опроса изменяется в пределах от единиц мкс до единиц секунд. Если в машине имеется собственный таймер, то такой ПГТИ необязателен.

Вывод аналоговых сигналов осуществляется с использованием отдельных ПКН для каждого выходного канала. Для запоминания и декодирования номера текущего канала применяются логические схемы, аналогичные используемым в секции ввода. Вывод аналоговых сигналов также может осуществляться в режимах произвольного задания номеров каналов и последовательного опроса. Аналогично операции ввода при произвольном задании номера канала используется программный доступ, а при последовательном опросе — прямой доступ в память. Последовательности действий в этих режимах при выводе аналогичны последовательностям действий при вводе.

В значительной степени можно упростить аппаратуру управления СВВ аналоговых сигналов, если применить микропроцессоры. При этом вместо отдельных функциональных регистров, доступ к которым производится посредством адресной шины и селектора адреса, используют несколько портов ввода-вывода. Все функции преобразования управляющей информации в процессе опроса, а также выработки управляющих сигналов возлагаются на МП. При применении в СВВ аналоговых сигналов однокристалльных микроЭВМ (например, типа 1816BE51), обладающих внутренней памятью, на них можно возложить ряд дополнительных функций по предварительной обработке, таких, как фильтрация преобразованных данных, определение рациональной последовательности опроса каналов, вычисление параметров, которые не могут быть измерены непосредственно, и т.д. МП позволяют «улучшить» метрологические параметры АЦП за счет линеаризации характеристик с помощью таблиц поправок, автоматизации процессов калибровки и компенсации смещения нуля в

используемых ОУ. Помимо перечисленных функций МП может осуществлять переключение диапазонов изменения входных и выходных аналоговых величин, управлять форматами данных и т.д.

В последние два десятилетия широкое применение нашли так называемые цифровые сигнальные процессоры (DSP), ориентированные на обработку аналоговых сигналов: цифровая фильтрация, распознавание звука и речи, обработка изображений, спектральный анализ, цифровая звукотехника, измерительная техника, медицина, управление системами, модуляция – демодуляция, кодирование и т.д.. Многие DSP имеют в своем составе встроенные ЦАП и АЦП. В настоящее время уже реализованы DSP 4-ого поколения с производительностью в сотни миллионов и более операций с секунду с плавающей запятой..

Приведем основные характеристики, отражающие возможности типичной СВВ аналоговых сигналов для микроЭВМ (ПЭВМ):

Число выходных каналов	— 16 или 32
Число входных каналов	— 16 или 32 (с возможностью расширения до 256)
Тип входных каналов	— дифференциальные и однопроводные
Диапазон преобразуемого напряжения	— 0-5В; 0—10В; +5В; +10В
Используемые коды	— прямой, смещенный, дополнительный, двоичные
Разрешающая способность	— до 14 двоичных разрядов и выше
точность	— (0,05—0,02)%
Скорость преобразования	— (20-200)10 ³ преобразований/с при вводе и до 500 10 ³ преобразований/с при выводе (в цифровой осциллографии эти показатели достигают десятков и сотен миллионов преобразований в секунду).

Поскольку СВВ аналоговых сигналов используются в управляющих ЭВМ, программы для которых составляются специалистами в области управления процессами, упрощение программирования приобретает особое значение. В большинстве языков высокого уровня реального времени предусматриваются специальные операторы, позволяющие присваивать переменным значения, поступающие по определенному входному аналоговому каналу. Номер канала в этом операторе используется в качестве параметра. Для цифровой осциллографии используют графический интерфейс, реализующий так называемый «Виртуальный осциллограф» с характерными для настоящих осциллографов средствами управления и настройки. При отсутствии таких языковых средств и соответствующих средств программной поддержки программирование должно выполняться на ассемблере.

Контрольные вопросы

1. Определите необходимую частоту дискретизации:
 - а) речевого сигнала, передаваемого по телефонному каналу, полоса пропускания которого составляет 4 кГц,
 - б) сигнала, пропорционального скорости перемещения каретки графопостроителя, если погрешность позиционирования не должна превышать 0,1 мм, а ускорение ограничено и не может превышать 20 м/с.
2. Назовите основные параметры, которыми принято характеризовать АЦП и ЦАП; дайте определения.
3. Определите число двоичных разрядов ПКН системы отклонения электронного луча индикатора растрового типа на ЭЛТ при числе строк раstra 625.
4. Назовите основные компоненты ПКН и ПНК и перечислите их функции.
5. Какими факторами определяются инструментальные погрешности ПКН и ПНК?
6. Составьте структурную схему ПНК, реализующую алгоритм последовательного приближения; на примере какого-либо фиксированного значения входного напряжения поясните последовательность действий по подбору кода.
7. Поясните принцип действия ПНК, основанного на методе двойного интегрирования. В чем достоинства и недостатки такого ПНК?
8. Какие компоненты необходимы для многоканальной СВВ аналоговых сигналов? Предложите вариант организации опроса каналов.

Интегральные схемы ПКН и ПНК, аналоговых ключей и устройств выборки и хранения приведены в [10, 11]. Описание полной схемы СВВ аналоговых сигналов и ее компонентов содержится в [12, 13, 14]; схемы, используемые в УВВ дискретных сигналов, приведены в [25].

В разделе использованы основные материалы из [1].

5. СИСТЕМЫ ВВОДА-ВЫВОДА РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Речь является наиболее естественным способом общения между людьми. Человек обладает развитыми системами формирования и восприятия речи. Системы ввода-вывода речи освобождают человека от необходимости занимать непрерывно место за пультом, так как «слуховой канал» не является узконаправленным; высвобождают глаза и руки оператора для выполнения других работ; позволяют ускорить подготовку оператора для работы с ЭВМ. В системах управления, использующих ЭВМ, подача команд голосом позволяет снизить задержки и улучшить качество управления, при этом предоставляется возможность работать в темноте и в других условиях, когда невозможно использовать глаза и руки. Несмотря на очевидные преимущества, системы ввода-вывода речи не получили пока широкого распространения в качестве универсальных ПУ ЭВМ. Это объясняется сложностью автоматического распознавания и синтеза слитной речи. Для понимания принципов автоматического распознавания и синтеза речи необходимо кратко познакомиться с механизмами формирования и восприятия ее человеком, а также с информативными характеристиками речевого сигнала.

5.1. Механизмы формирования и восприятия речи человеком

Речь человека формируется посредством голосового тракта из периодического или шумового сигнала и передается в виде звуковых колебаний воздушной среды. Голосовой тракт, модель которого приведена на рис.5.1,а, включает в себя множество органов: легкие 1, трахею и бронхи 2, голосовые связки 3, гортань 4, язык 5, полости носа 6 и рта 7 и ряд других. Под воздействием мышечных усилий легкие создают избыточное давление воздуха, которое приводит к размыканию ранее сомкнутых голосовых связок и освобождению прохода для воздуха; давление при этом падает и связки вновь смыкаются. В результате действия такого механизма возникает периодический сигнал давления, частота которого называется *частотой основного тона*. Формируемые при этом звуки называются *звонкими*; примерами могут служить звуки при произношении букв «а» или «э». Голосовой тракт может возбуждаться даже при слегка раскрытых голосовых связках, когда воздух проходит сквозь них непрерывно и вызывает вибрацию связок; формируемые таким образом звуки называются *глухими*. Выше голосовых связок располагаются полости глотки, рта и носа, которые являются резонаторами и определяют спектральную форму звука. В упрощенной модели голосового тракта мягкое небо и носовую полость не учитывают, тогда модель можно представить в виде акустической трубы, которая

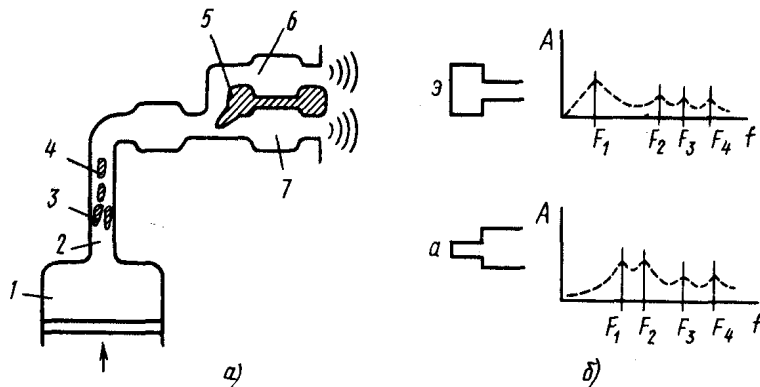


Рис. 5.1 Модель голосового тракта.

с одной стороны «накачивается» управляемым генератором давления (т.е. легкими и голосовыми связками), а другой ее конец, соответствующий рту, излучает звук.

На акустической частотной характеристике трубы отмечается ряд резонансов, частоты которых называются *формантами* голосового тракта. Расположение формантных частот в спектре и распределение амплитуд колебаний вблизи них и определяет звук, который человек интерпретирует как речь. Наибольшее значение форманты имеют при воспроизведении гласных звуков. Обычно предполагают, что информативные признаки речи укладываются в полосу частот от 100 Гц до 4 кГц (так полоса пропускания телефонного канала обычно не превышает 3,5 кГц), хотя органы слуха человека способны воспринимать и более высокие частоты (до 15 кГц). В этом частотном диапазоне находятся четыре форманты для голосового тракта мужчины и три — для голосового тракта женщины. Все формантные частоты присутствуют в речи одновременно и непрерывно смещаются в частотном спектре в соответствии с произносимыми звуками. Смещение формантных частот обеспечивается мышечными усилиями, которые приводят к изменению параметров голосового тракта; эти изменения на модели отражаются изменением диаметра акустической трубы. Изменение формы акустической трубы и соответствующие амплитудно-частотные характеристики $A(f)$ приведены на рис.5.1,б для случаев произношения звуков «э» и «а». Разборчивость речи определяется первыми

трием формантами.

Восприятие речи человеком происходит посредством уха, состоящего из ушной раковины, среднего и внутреннего уха. Ушная раковина направляет звуковые волны на барабанную перепонку, вызывая ее колебания. Колебания барабанной перепонки через слуховые косточки и стремечко среднего уха передаются в систему внутреннего уха, где в полукружных каналах и улитке вызывают раздражения рецепторных нервных клеток. Далее сигналы от этих клеток передаются по соответствующим слуховым нервам в мозг. Таким образом осуществляется преобразование звуковых волн (давления звука) в биосигналы, распространяющиеся по нервным волокнам.

Согласно наиболее распространенной в настоящее время теории слуха, называемой теорией места, выделение различных частот из звукового сигнала производится за счет возбуждения рецепторных клеток, находящихся в различных местах полукружных каналов и улитки. Таким образом, передача информации о звуковом сигнале в мозг человека осуществляется параллельно-последовательно. Информация поступает в мозг отдельно от каждой частотной составляющей звука: высота тона определяется конкретными волокнами, по которым передаются импульсы в мозг, а восприятие громкости зависит от интенсивности импульсов, передаваемых по данному волокну. В соответствии с этой теорией человеческое ухо способно различать даже довольно близкие частотные составляющие звукового сигнала, но практически безразлично к их относительным фазовым сдвигам.

Модель слуховой системы человека можно представить в виде спектрального анализатора, определяющего амплитуду различных составляющих звукового сигнала. Такая модель хорошо согласуется со строением уха и объясняет способность человека различать близкие частоты и нечувствительность к фазовым сдвигам.

5.2. Структура речевого сигнала

Согласно моделям голосового тракта и слуховой системы человека речевое сообщение можно рассматривать как непрерывную последовательность сменяющих друг друга звуков, каждому из которых соответствует определенная акустическая характеристика. Смысловое содержание речевого сообщения определяется изменениями кратковременного спектра. Последовательности звуков образуют слова, словосочетания, фразы. Часть информации передается временными интервалами (паузами), высотой и интенсивностью звука и другими просодическими признаками. Речевой сигнал имеет иерархическую организацию, при которой образы одного уровня объединяются в более сложные образы следующего уровня по определенным правилам. Эти правила таковы, что ограничивают число возможных вариантов объединения, т.е. делают каждый последующий уровень избыточным. Избыточность позволяет человеку безошибочно воспринимать речь в условиях шумов. Процесс распознавания и обработки речевого сообщения мозгом человека изучен слабо. Поэтому в основе работы УВВ речевых сообщений лежит не моделирование процесса выделения смыслового содержания, осуществляемого мозгом человека, а установление соответствия между отдельными элементами речевого сигнала и символическими представлениями, используемыми в ЭВМ. Для установления такого соответствия необходимо создать фонологический алфавит, т.е. совокупность элементов, каждому из которых можно поставить в соответствие определенное символическое (кодированное) представление в ЭВМ. В качестве элементов фонологического алфавита УВВ речевой информации используют определенные звуки (фонемы, аллофоны), слоги, слова и словосочетания.

Фонема — наименьший компонент речевого сигнала, так называемый базовый звук, позволяющий отличать произносимые высказывания на определенном языке или диалекте. Например, при произношении слогов «ДАМ» и «ТАМ» в русской речи фонемы <Д> и <Т> различают по признаку звонкости-глухости, т.е. по наличию или отсутствию в сигнале явно выраженной периодической составляющей, обусловленной колебаниями голосовых связок. Общее число фонем в различных языках составляет 20 — 60: для русского языка—44, для английского—40. Набор фонем определяет наименьшее число распознаваемых элементов языка.

Аллофон — альтернативный вариант произношения фонемы в зависимости от ее положения в слове или фразе. Каждой фонеме может соответствовать от одного до нескольких аллофонов. Выделение аллофонов в речевом сигнале несколько проще, но общее число аллофонов языка может достигать сотен, что значительно усложняет обработку, если аллофоны использовать в качестве элементов фонологического алфавита.

Дифтонг характеризует звук, который формируется при «переключении» голосового тракта в момент перехода от произнесения одной фонемы к другой; таким образом, этот звук может находиться только между двумя фонемами. К сожалению, фонемам, аллофонам и дифтонгам не всегда можно найти однозначное символическое представление. Это значительно усложняет процесс выделения смыслового содержания из речевого сообщения.

Отличительной особенностью *слов* и *словосочетаний* является то, что им можно найти однозначное соответствие символического представления. Однако недостатком слов как элементов фонологического алфавита является то, что, во-первых, их общее число очень велико и, во-вторых, затруднено их выделение, так как в слитной человеческой речи отсутствуют выраженные границы

разделения слов.

Для выделения смыслового содержания из речевого сообщения в ЭВМ звуковые колебания воздушной среды, возникающие при речевом общении, посредством микрофона преобразуются в аналоговый электрический сигнал, который может передаваться по проводам, преобразовываться в цифровую форму и подвергаться другим видам обработки. Таким образом, выделение элементов фонологического

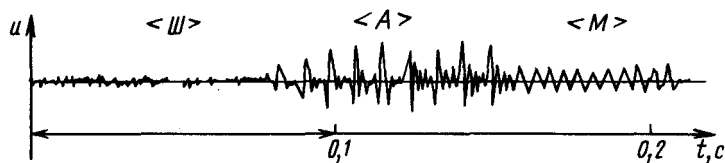


Рис. 5.2 Временная диаграмма речевого сигнала.

алфавита в сообщении и их распознавание по существу сводится к выделению определенных признаков в электрическом сигнале.

Произносимые звуки — фонемы — могут быть гласными и согласными; согласные звуки, в свою очередь, — взрывными звонкими и глухими (<Т,Д>; <П,Б>; <К,Г>); фрикативными, которые характеризуются отсутствием специфических формантных частот и также могут быть звонкими и глухими (<Ф,В>; <Ш,З>); носовыми, при произнесении которых участвует носовая полость (<Н>, <М>); промежуточными (как звук <W> в английском слове winter) и полугласными (<Р>, <Л>).

Гласные и звонкие согласные образуются при вибрации голосовых связок и имеют выраженные периодические составляющие. Глухие согласные не имеют выраженных периодических составляющих и формируются при прохождении воздуха через фильтр, образуемый языком, губами, зубами и т.д. Все эти особенности отражаются в форме электрического сигнала $u(t)$ на рис.5.2. Звук <Ш> является глухим, звуки <А> и <М> — звонкими. Однако конкретная форма сигнала определяется не только произносимым звуком, но и речевыми особенностями говорящего, например, тембром голоса, интонацией, темпом речи и т.д. Все это существенно осложняет лингвистическую интерпретацию речевого сигнала, т.е. его распознавание. При выводе речевых сообщений неучет таких факторов делает звучание неестественным.

Рассмотрение устройств начнем с УВыв речи, так как процесс формирования речевых сообщений несколько проще процесса их распознавания; кроме того, в настоящее время УВыв речи распространены шире, чем УВв.

5.3. Формирование речевых сообщений и устройства вывода речи

Устройства, или системы вывода речи, осуществляют преобразование символьного представления информации, принятого в ЭВМ, в звуковой сигнал речевого сообщения (речевого сигнала). Формирование речевого сигнала осуществляется различными способами и техническими средствами, выбор которых определяется требуемым качеством синтезируемой речи, объемом словаря и допустимыми аппаратными затратами. Многообразие существующих способов формирования речевого сигнала можно разбить на две группы:

- 1) формирование по образцам (компилятивный синтез);
- 2) синтез по правилам.

Процесс преобразования символьного представления информации в сигнал речевого сообщения состоит из двух основных этапов: конструирования речевого сообщения и собственно синтеза речевого сигнала. *Конструирование речевого сообщения* заключается в выработке некоторой последовательности команд управления аппаратными средствами собственно синтезатора, в соответствии с которой на выходе синтезатора формируется речевой сигнал. Конструирование речевого сообщения может выполняться программным путем с использованием аппаратуры ЦП- или МП-средств, встроенных в УВыв речи. Синтез речевого сигнала выполняется аппаратурой ПУ. Действия, выполняемые на каждом из шагов, определяются принятым в данном ПУ способом формирования речевого сигнала.

Формирование речевого сообщения по образцам. Процесс формирования речевого сообщения по образцам по существу представляет собой восстановление аналогового сигнала, заранее закодированного и введенного в память системы. Систему вывода речи, реализующую формирование речевого сообщения по образцам, можно представить в виде запоминающего устройства аналоговых сигналов (например, «быстрого магнитофона»), в которое заранее занесены возможные выходные речевые сообщения ЭВМ. Совокупность всех возможных речевых сообщений образует *словарь устройства*. При необходимости вывести некоторое сообщение на этапе конструирования вырабатываются соответствующие ему поисковые признаки. На этапе синтеза УВыв по этим признакам находит нужное сообщение в своей памяти и выводит его через канал воспроизведения

звука. Несмотря на кажущуюся простоту такого способа, его непосредственная реализация в УВыв речи затруднена из-за слишком медленного процесса поиска нужного сообщения в памяти аналоговых сигналов, причем это время возрастает с ростом числа сообщений, хранимых в памяти.

Устройства и системы речевого вывода, реализующие формирование речевого сообщения по образцам, хранят речевые сообщения в памяти в цифровом виде. Для этого в процессе формирования словаря, т.е. записи оператором в память устройства возможных выходных сообщений, аналоговый сигнал от микрофона преобразуется в последовательность цифровых отсчетов, которая затем подвергается операции сжатия. Полученная в результате операции сжатия последовательность числовых значений называется описанием речевого сигнала и заносится в память устройства. В процессе вывода на этапе конструирования речи производится поиск нужного сжатого описания в памяти устройства, а на этапе синтеза — восстановление первоначального несжатого описания, цифроаналоговое преобразование и воспроизведение речевого сигнала.

Существует большое разнообразие систем и устройств формирования речи по образцам, которые различаются способами описания речевого сигнала. Эти способы определяют возможный словарь, качество звучания восстановленной речи и сложность аппаратной реализации. Все способы формирования речи по образцам обеспечивают сравнительно хорошее качество речи, но при ограниченном словаре и ограниченной длительности. Некоторые системы допускают изменение словаря в процессе эксплуатации.

Описание речевого сигнала. Рассмотрим некоторые наиболее распространенные способы цифрового описания речевых сигналов: импульсно-кодovou модуляцию (ИКМ), кодирование с линейным предсказанием (ЛПК), частотную корреляцию (ПАРКОР) и параметрическое кодирование.

Вначале определим параметры аналого-цифрового преобразования речевого сигнала, осуществляемого в процессе составления его описания. Эти параметры — частота дискретизации $F = 1/T$, где T — период дискретизации, и число разрядов n двоичного представления каждого отсчета. Определим их для речевого сигнала, качество которого соответствует возможностям телефонного канала. Телефонный канал характеризуется полосой пропускания, нижняя граница которой составляет $F_n = 300$ Гц, а верхняя — $F_v = 3500$ Гц, и разрешающей способностью по амплитуде $R = (3-5)\%$, определяемой уровнем шумов. Поскольку для восстанавливаемого речевого сигнала по существу определена верхняя частотная составляющая $F_v = 3500$ Гц, воспользуемся соотношением (4.2), согласно которому

$$F \geq 2 F_v, \text{ т.е. } F > 7 \text{ кГц.}$$

Однако для компенсации погрешностей, вызванных отличием реализуемых законов восстановления аналогового сигнала от теоретически необходимого, значение частоты дискретизации устанавливают обычно $F = 10$ кГц. Для оценки числа разрядов n двоичного представления отсчета X воспользуемся соотношением (4.6). Пусть речевой сигнал описывается уравнением

$$X = A \sin 2\pi Ft,$$

где A — амплитуда, тогда

$$n = \log_2 \frac{X_{\max} - X_{\min}}{R}, \quad n = 5-6$$

Отметим, что если восстановление аналогового сигнала, соответствующего речевому сообщению, выполнять полиномом первого порядка, то частота дискретизации определяется в соответствии с соотношением (4.3) и при $M_2 = X'_{\max} = 4\pi 2AF_v$ и допустимом отклонении восстановленного сигнала от исходного не более 5% по амплитуде составляет около 30 кГц.

Импульсно-кодывая модуляция (ИКМ) предполагает прямое кодирование каждого отсчета. Таким образом, речевому сигналу длительностью в 1с будет поставлено в соответствие цифровое описание, содержащее 10 000 отсчетов X_i (при $F = 10$ кГц), каждый из которых представлен (5-6) разрядным двоичным числом. Для хранения такого описания потребуется область памяти в (50-60) Кбит. Поскольку формирование речи по образцам предполагает, что в памяти системы хранятся описания всех сообщений, то суммарная длительность $T_{сл}$ всех сообщений словаря и размер области памяти словаря $V_{сл}$ связан линейной зависимостью

$$V_{сл} = K T_{сл} \quad (5.1)$$

где K — коэффициент пропорциональности, характеризующий способ описания речевого сигнала. Для ИКМ $K = 60$ Кбит/с.

Структура УВыв речи, в которой использована ИКМ, приведена на рис.5.3. Цифровые описания каждого сообщения словаря хранятся в виде непрерывных массивов $\{X_i\}$ в памяти описаний (ПОп). В блок управления поиском (БУП) от центральной части ЭВМ (или от программы пользователя) передается идентификатор выводимого сообщения (ИС). В качестве идентификатора в зависимости от способа реализации памяти описаний используются имя сообщения, базовый адрес, значение ключа и т.п. Блок управления считыванием (БУСч) после завершения поиска нужного описания осуществляет последовательное считывание хранимых цифровых отсчетов X_i с постоянной частотой, равной F , и передает их на ЦАП. Выходное напряжение ЦАП через фильтр Φ подается на громкоговоритель Γ_r ,

где и формируется звуковой сигнал. Выдача цифровой последовательности на ЦАП прекращается при обнаружении в БУСч признака конца сообщения. Поскольку для хранения описания сообщений можно использовать ОЗУ или ПЗУ центральной части ЭВМ, то управление поиском может быть реализовано программно. В этом случае аппаратура УВыв речи представляет собой совокупность контроллера прямого доступа в память (КПДП), ЦАП, Ф и Гр.

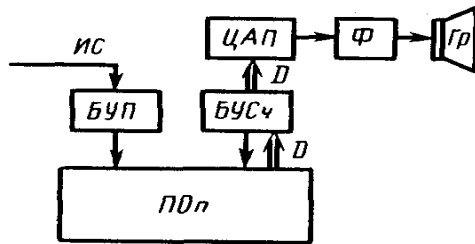


Рис- 5.3 Структура УВыв речи, в которой использована ИКМ

Достоинством такой схемы является предельная простота этого устройства, однако словарь речевых сообщений очень ограничен. Так, при наличии области памяти описаний в 128 Кбайт суммарная длительность всех сообщений словаря составляет около 20 с.

Некоторой экономии памяти или увеличения объема словаря можно добиться, используя *дельта-модуляцию* (ДМ). В этом случае вместо абсолютных значений отсчетов X_i описание речевого сообщения составляется в виде последовательности приращений ΔX_i . При восстановлении речевого сигнала на ЦАП передаются значения X_i , которые предварительно вычисляются по формуле

$$X_i = X_{i-1} + \Delta X_i .$$

Для хранения кода приращения ΔX_i требуется (3-4) двоичных разряда, т.е. меньше, чем для хранения абсолютных значений X_i . Этим объясняется, что для ДМ коэффициент пропорциональности в выражении (5.1) составляет $K = (30-40)$ Кбит/с. Предварительное вычисление X_i не вызывает трудностей, а во многих случаях и не требует дополнительных затрат. ДМ не приводит к существенному сокращению необходимых объемов памяти по сравнению с ИКМ, так как речевой сигнал характеризуется наличием участков с быстрым изменением амплитуды.

Более экономичным способом описания является *кодирование с линейным предсказанием* (ЛПК); для этого способа в выражении (5.1) коэффициент пропорциональности составляет $K = (2-5)$ Кбит/с. Способ ЛПК основан на том, что характер речевого сигнала сравнительно мало изменяется при произнесении какого-либо одного звука, а изменение характера этого сигнала происходит значительно реже (по отношению к частоте дискретизации) при переходе от звука к звуку (см. рис.5.2).

Рассмотрим способ ЛПК подробнее. Для этого будем считать, что исходное описание речевого сообщения-образца составлено с использованием ИКМ, т.е. представляет собой совокупность значений $\{X_i\}$, $i = 0, 1, 2, \dots$. Вычислим «предсказываемые» значения $\{X_i^*\}$ в виде линейной суммы

$$X_i^* = a_1 X_{i-1} + a_2 X_{i-2} + \dots + a_p X_{i-p} ,$$

где a_k ($k = 1, \dots, p$)—коэффициенты предсказания, зависящие от характера речевого сигнала на рассматриваемом интервале, а также отклонения e_i истинного значения X_i от предсказанного X_i^* , т.е.

$$e_i = X_i - X_i^* .$$

В этом случае исходное описание речевого сообщения-образца можно восстановить, если известны коэффициенты предсказания $\{a\}$ и величина отклонений $\{e_i\}$. Поскольку для каждого интервала речевого сигнала параметры a выбираются так, чтобы отклонения e_i были минимальными, то в большинстве случаев предсказанные и истинные значения совпадают. Это позволяет в сжатом описании указывать значения не всех отклонений e_i а только тех, которые отличны от нуля. Сокращенное описание, использующее ЛПК, для речевого сообщения-образца образуется совокупностью коэффициентов $\{a_k\}$ и пар $\{e_i, i\}$ для $e \neq 0$. При составлении сокращенного описания коэффициенты $\{a_k\}$ обычно вычисляются для последовательности из 200 цифровых отсчетов запоминаемого речевого сообщения. При $F=10$ кГц это соответствует интервалу 20 мс, т.е. через каждые 20 мс при выводе речевого сообщения из памяти описаний должны быть выбраны новые значения коэффициентов $\{a_k\}$. Обычно предсказание выполняется по 10 отсчетам, т.е. количество коэффициентов $p=10$; запись каждого параметра выполняется (7-8) разрядным двоичным числом.

При выводе речевого сообщения вначале восстанавливается его исходное описание в виде последовательности отсчетов X_i которые затем подаются на ЦАП. Восстановление отсчетов X_i производится в реальном масштабе времени, т.е. в течение интервала $T=100$ мкс, в соответствии с формулами (2.2) и (5.3). Эти вычисления требуют не менее 10 операций умножения и 10 операций сложения для восстановления каждого значения X_i . Таким образом, система прямого восстановления исходного описания речевого сигнала должна обладать высоким быстродействием, что вызывает

трудности при ее реализации с помощью МП-средств. Отметим, что, несмотря на отмеченные трудности, первые МП-системы прямого восстановления речевого сигнала по его ЛПК описанию были созданы. Для вычисления коэффициентов $\{a_k\}$ необходимо минимизировать среднеквадратическое отклонение исходного сигнала от предсказанного, т.е. минимизировать величину

$$E = \sum e^2 = \sum [X_i - \sum_{k=1}^p a_k X_{i-k}]^2 .$$

Для этого вычисляются производные dE/da_k , которые полагают равными нулю, а затем решают полученную систему уравнений относительно a_k . В настоящее время разработано несколько методов решения этой системы уравнений, в соответствии с которыми различают несколько вариантов описания речевого сигнала.

Рассмотренные способы восстановления речевого сигнала, при которых производится вычисление каждого цифрового значения отсчета исходного описания с последующим преобразованием последовательности восстановленных отсчетов в аналоговый сигнал, называют *способами прямого восстановления*, а используемые при этом способы — *способами кодирования во временной области*.

Сокращенное описание речевого сигнала можно использовать не только для прямого восстановления речи, но и для управления ее синтезом. Применяемые при этом способы кодирования называют *способами кодирования в частотной области*. Рассмотренный выше способ ЛПК наиболее часто служит для восстановления (синтеза) речи в частотной области. Синтез речевого сигнала осуществляется с помощью электронной модели голосового тракта человека, а коэффициенты — параметры сокращенного описания речевого сигнала — используются для управления «настройкой» этой модели. Электронная модель голосового тракта (или синтезатор) аналогична синтезатору, используемому при синтезе речи по правилам. Однако при конструировании речевого сообщения для его восстановления по описанию в частотной области используются параметры, полученные в результате обработки реального речевого сигнала, полученного при произнесении сообщения человеком. Исходный речевой сигнал разбивается на интервалы постоянной длительности (20мс), как описано выше, для которых и производится определение коэффициентов-параметров настройки модели. Эти параметры в течение всего интервала остаются постоянными, т.е. перестройка синтезатора осуществляется 50 раз в секунду. Синтезированный сигнал отличается от исходного по форме, однако человек легко воспринимает исходное речевое сообщение, так как слуховой аппарат его не восприимчив к фазовым искажениям сигнала. Методы кодирования речевых сигналов в частотной области не сохраняют информации о фазе и за счет этого обеспечивают более высокую степень сжатия исходного описания: значение коэффициента пропорциональности в выражении (5.1) для них составляет $K = (1,2-2,4)$ Кбит/с.

Одна из возможных структур синтезаторов показана на рис.5.4. В состав синтезатора входят: генератор высоты основного тона (ГВОТ), генератор псевдослучайного шума (ГШ), переключатель (П), многоразрядный управляемый цифровой фильтр (ЦФ), ЦАП, усилитель (У) и громкоговоритель (Гр).

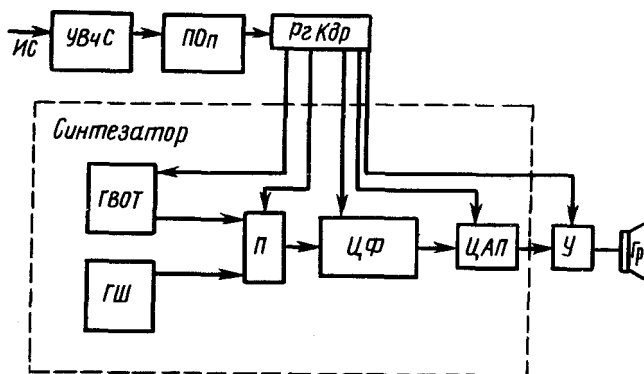


Рис. 5.4 Одна из возможных структур синтеза способом кодирования в частотной области.

Идентификатор сообщения (ИС) из центральной части ЭВМ передается в узел управления выборкой и синхронизации (УВиС); этот узел осуществляет поиск описания выводимого сообщения в памяти описаний (ПОП). Описание сообщения представляет собой последовательность кадров, соответствующих интервалам 20 мс, в течение которых коэффициенты предсказания $\{a_k\}$ остаются постоянными. Каждый кадр содержит коэффициенты предсказания $\{a_k\}$, параметр громкости, параметр частоты основного тона и ряд других; кадры последовательно через интервалы 20 мс выводятся на регистр кадра (РгКдр). ГВОТ служит для формирования звонких звуков, ГШ — для

формирования глухих. Коэффициенты предсказания служат для управления многозвенным цифровым фильтром (ЦФ), который моделирует собственно голосовой тракт; параметры этого тракта остаются неизменными в течение всего кадра. Громкость звука устанавливается в зависимости от значения параметра громкости. Перечисленные узлы являются типичными для устройств прямого синтеза, однако следует отметить, что в данном случае синтезатор управляется посредством коэффициентов, предварительно вычисленных по реальным образцам речевых сообщений.

Образец речевого сообщения обрабатывается посредством специальной инструментальной системы подготовки описаний, в состав которой помимо средств для получения исходного цифрового описания образца речевого сообщения (микрофона, АЦП, устройства сопряжения с ЭВМ) входит достаточно мощная ЭВМ с развитыми средствами интерактивного взаимодействия с оператором. В процессе подготовки образцов речевых сообщений, синтезируемых ЭВМ при выводе, оператор посредством клавиатуры вводит имена (идентификаторы) сообщений, а затем посредством микрофона и сами образцы. Для каждого идентификатора при вводе образца речевого сообщения формируется исходное описание, т.е. последовательность цифровых отсчетов $\{X_i\}$. Затем совокупность $\{X_i\}$ подвергается процедуре сжатия, т.е. программной обработке, в результате которой формируется совокупность параметров управления синтезатором $\{a_k\}$ для всех последовательных кадров. Этой совокупности параметров приписывается то же имя сообщения-образца. Исходное описание после выполнения процедуры сжатия может быть утеряно; сжатое описание речевого сигнала переносится в память основной ЭВМ для конструирования речевого сообщения в процессе его вывода.

При формировании речи по образцам число возможных речевых сообщений ограничено теми сообщениями, описания которых составлены заранее и хранятся непосредственно в памяти описаний или составляются в процессе вывода путем слияния нескольких описаний элементарных сообщений, также хранящихся в памяти. Составление описаний более сложных сообщений выполняется программными средствами ЦП. Так, например, соответствующее фразе «Температура воздуха в Москве в XX часов была YY градусов» речевое сообщение может быть составлено из пяти элементарных сообщений, поиск и выбор которых из памяти описаний выполняется программно, причем выбор элементарных сообщений XX и YY зависит от информации, поступающей в ВС от других ПУ (часов текущего времени и АЦП, связанного с датчиком температуры). Формирование более сложных сообщений требует наличия базы синтаксических правил, сложных программ, а также элементов, присущих способам синтеза по правилам (например, для изменения звучания окончания слова при его склонении).

Синтез речевых сообщений по правилам. Основу действия систем вывода, осуществляющих синтез речи по правилам, составляет формантный способ синтеза речи. Многочисленные разновидности реализации этого способа основываются на расчленении речевого сигнала на отдельные фонетические составляющие — фонемы, аллофоны, дифтонги. При синтезе речи по правилам, аналогично ЛПК-синтезу, используется электронная модель голосового тракта человека, т.е. синтезатор. Настройка синтезатора при синтезе по правилам выполняется для каждого отдельного элемента фонетического алфавита (а не для постоянного интервала времени, как в случае ЛПК-синтеза). Таким образом, чтобы вывести речевое сообщение, необходимо вначале иметь фонетическое описание произносимого слова или фразы. Фонетическое описание представляет собой последовательность элементов фонетического алфавита, включая паузы, с указанием длительности звучания каждого из них. Каждому элементу фонетического алфавита ставится в соответствие набор параметров настройки синтезатора. Эти параметры могут быть неизменными в течение всей продолжительности звучания фонемы или аллофона, но могут и меняться, как, например, для дифтонгов; в последнем случае элементу фонетического алфавита ставится в соответствие последовательность нескольких наборов параметров. Наборы параметров настройки синтезатора для каждого из элементов фонетического алфавита в виде управляющих слов (УС) хранятся в памяти. В качестве памяти обычно используют ПЗУ. Код элемента фонетического алфавита используется в качестве адреса и позволяет найти и выбрать нужное УС или их последовательность. Каждое УС содержит, помимо набора параметров настройки синтезатора $\{P_i\}$, параметр длительности звучания фонологического элемента, флаг цепи УС и ряд других флагов.

Значения параметров каждого набора подбираются при настройке системы речевого вывода. Наиболее распространенными параметрами, используемыми при формантном синтезе, являются амплитуда сигнала основного тона A_0 , частота основного тона F_0 , значения трех формантных частот (F_1 , F_2 , F_3), амплитуда шума $A_{ш}$ и частота $F_{ш}$ генератора шума, моделирующего свистящие и шипящие звуки, а также параметр «придыхания» A_n . На рис.5.5,а показана система, использующая эти параметры для настройки синтезатора, а на рис 5.5,б приведен пример изменения параметров в процессе синтеза речевого сигнала «siks», соответствующего произношению английского слова «six». Схема содержит два тракта.

Первый тракт состоит из управляемого генератора высоты основного тона (ГВОТ), усилителя (У1) и двух фильтров (Ф1 и Ф2), причем Ф2 является управляемым. Эти компоненты участвуют в формировании гласных звуков. Формирование большинства согласных звуков производится с

помощью тех же фильтров $\Phi 1$ и $\Phi 2$ при подаче на них сигнала, сформированного управляемым аттенуатором (X) из сигнала генератора шума (ГШ).

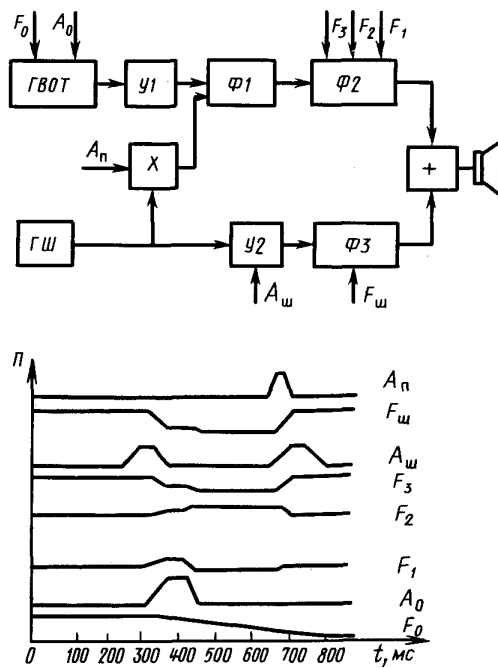


Рис 5.5. Система, использующая параметры голосового тракта для настройки синтезатора,

Второй тракт состоит из ГШ, управляемого усилителя Y_2 и управляемого резонансного фильтра $\Phi 3$ и служит для формирования шипящих звуков. Сигналы от этих трактов подаются на смеситель (+) и затем на устройство воспроизведения звука (громкоговоритель). Эта схема довольно точно моделирует работу голосового тракта человека.

Конструирование речевого сообщения при синтезе по правилам включает в себя два этапа:

- 1) символьное представление «орфографического текста», принятое в ЭВМ, преобразуется в фонетическое описание;
- 2) последовательность элементов фонетического алфавита преобразуется в последовательность УС для непосредственного управления синтезатором.

Эти преобразования иллюстрируются на рис.5.6. Последовательность слов и словосочетаний текста (ТЕКСТ) в виде символьного представления передается программе (П1) преобразования орфографического текста в фонетическое описание. Программа преобразования П1 реализуется

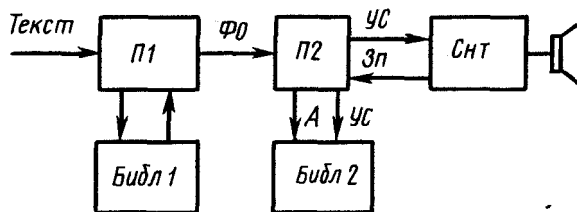


Рис. 5 6 Конструирование речевого сообщения при синтезе по правилам.

средствами ЦП или специализированными средствами цифровой обработки, встроенными в УВыв речи. Основой для выполняемого преобразования служит набор правил, хранимых в библиотеке БИБЛ1. Эти правила определяются фонетическими особенностями языка; они достаточно сложны и неоднозначны и содержат большое число исключений. Поэтому иногда первый этап конструирования речи выполняется не в процессе вывода речевого сообщения, а в процессе создания системы речевого вывода человеком-оператором. Во втором случае оператор, используя инструментальную систему, заранее создает словарь, т.е. фонетические описания всех доступных для будущей системы речевого вывода слов и словосочетаний. Эти описания в виде последовательностей кодов фонетического алфавита хранятся в памяти системы, словарь которой становится ограниченным, но память используется более экономично, чем при формировании речи по образцам. Коэффициент пропорциональности K в выражении (5.1) для случая синтеза по правилам может достигать $K = 300$ бит/с при вполне различной речи.

Пользуясь библиотекой правил БИБЛ1 или словарем, программа П1 передает фонетическое описание ФО программе П2 формирования последовательности УС. Программа П2 чаще всего реализуется МП-средствами системы речевого вывода. Эта программа последовательно получает коды элементов фонетического описания, по ним формирует адрес А, находит УС в библиотеке описаний фонетических элементов БИБЛ2, соответствующие каждому элементу, и направляет их в синтезатор. Каждое следующее УС передается в синтезатор по его запросу (Зп) по окончании интервала звучания, определяемому параметром длительности звучания в предыдущем УС. Новое УС выбирается по адресу следующего фонетического элемента, если воспроизведение предыдущего завершено, или по следующему по порядку адресу, если в предыдущем УС установлен флаг цепи УС, т.е. если воспроизведение фонетического элемента не завершено.

Речь, формируемая таким способом, отличается сравнительно невысоким качеством, но вполне различима; такая речь звучит неестественно, так как в ней отсутствуют присущие человеческой речи ритм, интонации, изменения громкости и т.п. Существенным достоинством такой системы речевого вывода является достаточно большой объем словаря. Для улучшения качества речи часто встречающимся коротким словам и сочетаниям ставят в соответствие отдельные описания, выполняемые, например, способом ЛПК.

Большинство современных промышленных устройств вывода речи выпускаются в виде отдельных плат для установки в ПЭВМ. Так, серийно изготавливались платы речевого вывода для ПЭВМ IBM.PC и APPLE.II. Принцип действия этих устройств основан на методе дельта—модуляции (например, синтезатор речи фирмы «Диджитокер», построенный на базе ИС речевого процессора MM 54104) или ЛПК-синтезе (например, синтезатор TMS 5200 фирмы «Тексас инструменте»). На плате устройства речевого вывода располагались ИС речевого процессора, словарного ПЗУ, сопряжения с интерфейсом ввода-вывода ПЭВМ, а также звуковой усилитель, фильтр и ряд вспомогательных схем. Словарь таких устройств ограничивается 30-300 словами, общая длительность звучания которых зависит от использованного способа кодирования и объема ПЗУ и составляет 40 — 200с.

В настоящее время успешно выпускаются карманные переводчики с языка на язык с речевым интерфейсом и запасом слов в несколько тысяч.

5.4. Система ввода речевых сообщений

В основе действия любых систем ввода речевых сообщений лежит принцип распознавания образов. Система выделяет из поступающего речевого сигнала набор некоторых признаков, составляющих его «описание», затем сравнивает полученное описание с эталонными описаниями, хранящимися в памяти системы ввода, т.е. вычисляет меры сходства. Если значение меры сходства превышает некоторый установленный уровень, то система «распознает» сигнал, присваивая ему значение соответствующего эталона. Различия систем речевого ввода определяются тем, какие элементы речевого сообщения выделяются и распознаются, какие признаки образуют описание речевого сигнала, какие алгоритмы используются для определения меры сходства и какими аппаратно-программными средствами они реализуются. Помимо распознавания элементарных составляющих речевых сигналов, система должна интерпретировать речевые сообщения, т.е. находить соответствующие им орфографические текстовые последовательности, интерпретировать и выполнять команды, запоминать и заносить в память данные и т.п.

Базовым фонологическим элементом для подавляющего большинства систем распознавания и интерпретирования речевых сообщений является слово (или словосочетание); произнесенным словом может быть однозначно поставлено в соответствие их орфографическое представление.

Определение границ слов в естественной человеческой речи встречает большие трудности. Обычное разграничение слов выполняется на основе анализа длительности пауз, скорости изменения сигнала перед и после паузы и ряда других признаков, выделяемых из звукового сигнала. Однако ни один из перечисленных признаков, ни их совокупности не позволяют надежно устанавливать границы слов. Кроме того, все перечисленные признаки зависят от особенностей говорящего. В связи с этим все системы ввода речи принято делить по следующим критериям:

- способности распознавать слитную речь или отдельно произносимые слова;
- объему словаря распознаваемых слов;
- ориентированности на одного говорящего или на произвольное число говорящих.

Наиболее желательна система, способная воспринимать слитную речь при неограниченном словаре и независимая от говорящего. Для интерпретирования речевых сообщений с неограниченным словарем должны быть созданы сложные экспертные системы, содержащие различные базы знаний (словари, наборы эталонных описаний речевых сигналов, наборы лингвистических правил и т.д.) и обеспечивающие интерпретирование в темпе говорящего.

Большинство систем и устройств ввода речи предназначены для персональных и управляющих микроЭВМ, следовательно, одним из основных требований, предъявляемых к таким системам ввода, является их низкая стоимость. Низкая стоимость достигается за счет ограничения словаря отдельно произносимых слов и упрощения алгоритмов обработки при ориентации системы на одного

говорящего.

Обобщенная структурная схема такой системы речевого ввода показана на рис.5.7. Акустический речевой сигнал воспринимается микрофоном (М) и в виде аналогового электрического сигнала передается на высокочастотный фильтр (ФВЧ) и АЦП. Цифровые отсчеты с выхода АЦП направляются на препроцессор (ПП). Задача ПП состоит в том, чтобы уменьшить объем (а следовательно, и скорость) передаваемых данных при сохранении существенной для распознавания речевых сигналов информации. В зависимости от принятого набора признаков, составляющих описание сигнала, ПП может представлять собой спектроанализатор, детектор формантных частот, анализатор ЛПК и т.п. Полученное в результате предварительной обработки сокращенное описание

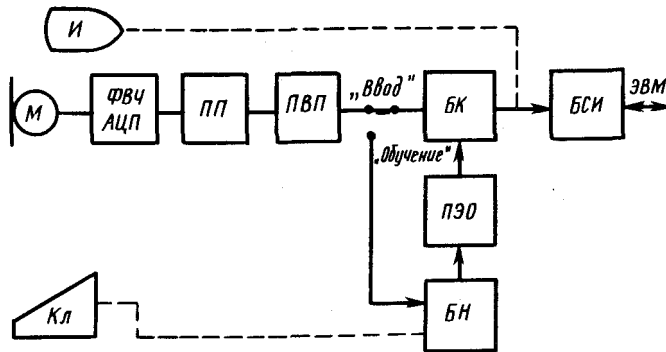


Рис. 5.7 Обобщенная структурная схема упрощенной системы речевого ввода

речевого сигнала передается в процессор выделения признаков (ПВП) и затем в систему принятия решений, включающую в себя блок классификатора (БК), память эталонных описаний (ПЭО) и блок настройки (БН). Система принятия решений работает в двух режимах — ввода и обучения.

В режиме ввода описание входного речевого сигнала подается в блок классификатора, который вычисляет меры сходства этого описания с эталонными, хранящимися в памяти. В результате вычисления мер сходства для всей совокупности эталонов может быть найдена максимальная мера и принято решение о соответствии входного сигнала одному из эталонов. Входному речевому сигналу приписывается имя—идентификатор этого эталона. Затем найденный идентификатор передается прикладной программе или в центральную ЭВМ через блок сопряжения УС.

Описание распознаваемого слова всегда отличается от эталонного. Это вызвано изменениями амплитуды акустического сигнала, темпа произнесения слова говорящим, различием тембров и другими особенностями дикторов. Увеличить меру сходства, а следовательно и вероятность правильного распознавания слов, можно за счет предварительного «обучения» системы ввода речи.

В режиме обучения описания входных речевых сигналов подаются в блок настройки. В этот же блок обычно с помощью клавиатуры (Кл) заносится имя-идентификатор речевого сигнала. БН находит «усредненное» описание для несколько раз повторенных слов или словосочетаний одним говорящим, затем приписывает это усредненное описание идентификатору, т.е. формирует эталон.

Такое «обучение» позволяет сформировать систему эталонных описаний для каждого диктора, т.е. в значительной мере учесть особенности произнесения ими слов. Более сложно учесть изменения темпа произнесения слова одним говорящим. Во многих случаях изменение темпа пытаются компенсировать нормализацией сигнала по времени, однако удовлетворительный результат достигается только для сравнительно коротких слов. Лучшие результаты достигаются за счет использования алгоритмов динамического программирования при сравнении распознаваемого и эталонных описаний. При этом в процессе сравнения эталонное описание подвергают допустимым «деформациям», число которых ограничено. Процесс распознавания произносимых слов во многом аналогичен распознаванию печатных символов в читающих устройствах (Том 2). Велись и ведутся работы по изучению распознавания клипированных речевых сообщений [39,35], т.е. сигналов с постоянной амплитудой. УВв речи, основанные на распознавании клипированных сигналов, проще других, а качество клипированной речи достаточно хорошее.

Все системы ввода речевых сигналов, как и системы распознавания образов вообще, принято характеризовать вероятностью правильного распознавания, вероятностью (частотой) отказов от распознавания, вероятностью (частотой) ошибок при распознавании. Численные значения этих характеристик зависят от объема словаря и используемых алгоритмов распознавания. Для словарей объемом 200-300 слов и словосочетаний вероятность правильного распознавания составляет 95-98%. Так, устройство речевого ввода ИКАР, предназначенное для работы в информационно-справочных системах и САПР на базе ЕС ЭВМ, имело объем словаря 200 слов, вероятность правильного распознавания 95% и время распознавания каждого слова менее 0,5 с. Устройство позволяло проводить цикл «обучения» и обеспечивало работу до 256 операторов.

В системах речевого ввода для повышения достоверности обычно предусматривают визуальную обратную связь. На рис.5.7 эта связь показана в виде индикатора И, на экран которого выдается символическое представление произнесенного слова; непосредственный ввод этого символического представления в ЭВМ осуществляется только после подтверждения правильности распознавания, осуществляемого нажатием клавиши. При неправильном распознавании может быть подана устная команда отмены и ввод слова повторяется. Несмотря на то, что такая визуальная обратная связь лишает систему речевого ввода многих преимуществ, высокая достоверность ввода оправдывает ее применение во многих областях, в частности при подготовке данных. Рассматриваемая система обеспечивает более высокую скорость ввода по сравнению со скоростью ввода с клавиатуры.

Контрольные вопросы

1. Как можно представить упрощенную модель голосового тракта человека и какие основные признаки характеризуют гласные и согласные звуки?
2. Какие элементы могут образовывать фонологический алфавит?
3. В чем принципиальное различие способов формирования речевого сообщения по образцам и синтеза по правилам?
4. Чем отличаются способы сокращенного описания речевых сигналов во временной и частотной областях? Приведите структурные схемы УВв речи, реализующие эти способы.
5. Каким образом достигается сжатие информации при ЛПК ?
6. По каким критериям можно классифицировать УВв речи?
7. Приведите структурную схему УВв речи с ограниченным словарем и настройкой на диктора. Что дает режим «обучения» системы?

Организация речевого общения с ЭВМ достаточно подробно изложена в [16,17]. Методы синтеза рассмотрены в [18]; в этой же работе приведены примеры схем синтезаторов. Теория речи, методы и системы распознавания речи подробно изложены в [15].

В разделе использованы основные материалы из [1].

6. УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ ВВОДА-ВЫВОДА ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Устройства ввода-вывода текстовой информации образуют многочисленную группу устройств, основанных на различных физических принципах действия; функции этих УВВ ограничены кодированием и преобразованием формы представления информации. Ввод текстовой информации человек-оператор осуществляет вручную посредством клавиатуры либо в ЭВМ, либо на промежуточный носитель. В первом случае для более эффективной загрузки ЭВМ ввод часто производят с нескольких клавиатур в режиме разделения времени. Кодирование информации посредством клавиатуры осуществляется при участии оператора, а преобразование формы ее представления — одновременно с кодированием. При предварительной подготовке данных, т.е. при переносе подлежащих вводу данных в закодированном виде на промежуточный носитель, кодирование и первичное преобразование форм представления информации выполняется устройствами подготовки данных при участии оператора. Последующий ввод выполняется устройствами ввода с промежуточного носителя, к числу которых относятся УВВ с перфолент (ПЛ) и перфокарт (ПК), магнитной ленты (МЛ), магнитных карт и гибких магнитных дисков (ГМД). Эти устройства выполняют функции вторичного преобразования форм представления закодированной информации. Для ввода текста с листов бумаги, называемых первичными документами, служат устройства непосредственного ввода — оптические и магнитные читающие автоматы и сканеры.

Выводимая из ЭВМ текстовая информация может служить для оперативного использования, документирования и последующего анализа, а также для долговременного хранения вне машины. При оперативном использовании, например при управлении технологическими процессами или отладке программ, информация по прошествии некоторого времени теряет ценность и может не сохраняться. Устройства вывода, используемые для оперативного вывода, называют устройствами отображения информации (УОИ). При необходимости получить изображение текста на бумаге или ином носителе используют устройства регистрации или документирования, наиболее распространенными из которых являются печатающие устройства. При необходимости длительного хранения выводимой информации вне машины используются системы микрофильмирования, в которых применяют рулонную или плоскую фотопленку с высокой разрешающей способностью. При эксплуатации ЭВМ возникает потребность во вмешательстве оператора в ход вычислительного процесса; оно реализуется посредством пульта ЭВМ, позволяющего вводить и выводить цифровые сообщения.

6.1. Кодирование текстовой информации

Текстовая информация представляется последовательностью алфавитно-цифровых символов, каждый из которых определенным образом кодируется. Для кодирования символов в качестве внутреннего кода ЭВМ наиболее часто используется двоичный код обработки информации (ДКОИ), построенный на основе международного кода EBCDIC. Этот код позволяет кодировать 256 символов, при этом кодирование десятичных цифр и букв строится по весовому принципу, согласно которому двоичный код символа (или его «вес») возрастает последовательно на единицу при переходе от цифры к цифре (в порядке возрастания цифр от 0 до 9) и от буквы к букве (в алфавитном порядке). Такое построение кода значительно упрощает наиболее частые операции обработки текстов — сортировку и поиск. Кодирование символов посредством ДКОИ осуществляется согласно табл.6.1. Символы располагаются в узлах таблицы на пересечении строк и столбцов; строки и столбцы пронумерованы. Код символа определяется путем приписывания к номеру столбца номера строки, на пересечении которых находится символ, например, символу W соответствует код 11100110. Для сокращения записи кода часто используется шестнадцатеричная система; символу W при этом соответствует обозначение E6.

Для кодирования алфавитно-цифровых символов в ПУ, в частности в устройствах, используемых при передаче дискретных сообщений по каналам связи, хранении информации в системах внешней памяти, при обмене с другими машинами, в клавиатурах, устройствах печати и т.п., наиболее распространен 7-разрядный код КОИ-7 (ГОСТ 13052-74). При выборе системы кодирования определяющим здесь являются требования стандартизации, обеспечивающие совместимость различного оборудования. Весь алфавит графических и служебных символов распределен по трем кодовым таблицам: КОИ-7Н0, КОИ-7Н1 и КОИ-7С1 (табл.6.2). Каждая таблица КОИ-7Н0 и КОИ-7Н1 содержит по 128 графических и служебных символов. Таблица КОИ-7Н0 содержит буквы латинского, а таблица КОИ-7Н1 — русского алфавитов; цифры, графические знаки и служебные символы в обеих таблицах повторяются. Семиразрядный код символа определяется приписыванием номера строки к номеру столбца, на пересечении которых он находится. Так, букве V соответствует код 101 0110 (см. табл. КОИ-7Н0); такой же код соответствует букве «Ж» (см. табл. КОИ-7Н1). Таблица КОИ-7С1 содержит только управляющие символы (32 символа), которые кодируются аналогично; так, указанному коду 1010110 соответствует символ «ВП» (при приеме этого кода в ПУ формируется сигнал, используемый для перевода печатающего механизма в верхнее положение).

Таблица 6.1 Таблица кодирования 8-разрядным кодом ДКОИ.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
3	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	

0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0				
0	0	0	1				
0	0	1	0				
0	0	1	1				
0	1	0	0				
0	1	1	0				
0	1	1	1				
1	0	0	0				
1	0	0	1				
1	0	1	0				
1	0	1	1				
1	1	0	0				
1	1	0	1				
1	1	1	0				
1	1	1	1				

№ п/п	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	ПУС	AP1	ВЛР	Д16	Пробел	&	—		ц	й	я	ь	{	}	\	0
1	НЗ	(СУ1)	НЗ	Д17		/			а	ј	—	ы	А	Ј	Д31	1
2	НТ	(СУ2)	РТ	СИН					б	к	ѕ	з	В	К	Ѕ	2
3	КТ	(СУ3)	Д03	Д19					с	т	т	ш	С	Л	Т	3
4	ВЫХ	ВСТ	БК	ВКП					д	т	у	э	Д	М	Д	4
5	ГТ	НС	ЛС	ОСУ					е	п	ч	щ	Е	Н	У	5
6	НП	ВШ	КБ	ВП					ю	ф	о	ш	ч	Ф	О	Ш
7		ОЖД	АР2	КП					а	g	р	ж	ъ	Г	Р	Х
8	Д23	АН	Д08	Д24					б	ћ	q	у	ю	н	q	У
9	Д13	КН	Д09	Д25					і	г	z	А	І	Р	Z	9
A	НРВ	УЖ	УР	Д26	[ ]	|	:	ѳ	к	р	Б	Х	Н	Т	З	
B	ВТ	СП1	СП2	СП3	.	ѳ	,	#	е	л	с	ц	и	о	у	ш
C	ПФ	РФ	Д12	СТП	<	*	%	©	ф	м	т	д	й	п	ж	э
D	ВК	РГ	КТМ	НЕТ	()	—	’	’	з	н	у	Е	К	Я	В	Ц
E	ВЫХ	РЗ	ДА	Д30	+	;	>	=	х	о	ж	Ф	Л	Р	Ь	Ч
F	ВХ	РЭ	ЗВ	ЗМ	!	→	?	"	и	п	в	Г	М	С	Ы	ЗБ

Таблица 6.2. Таблицы кодирования символов 7-разрядными кодами КОИ -7

								КОИ-7Н ₀								КОИ-7Н ₁								КОИ-7С ₁		
								σ ₇	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
								σ ₆	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
								σ ₅	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
σ ₇	σ ₆	σ ₅	σ ₄	σ ₃	σ ₂	σ ₁	№ п/п	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	4	5	
							0	ПУС	AP1	Пробел	0	@	Р	р	ПУС	AP1	Пробел	0	ю	п	Ю	П	ВЦФ			
							1	НЗ (СУ1)	!	І	A	Q	a	q	НЗ (СУ1)	!	І	a	я	A	Я	НЗН				
							2	НТ (СУ2)	»	2	B	R	h	r	НТ (СУ2)	»	2	б	р	Б	Р	РП	УУК			
							3	КТ (СУ3)	#	3	C	S	c	s	КТ (СУ3)	#	3	ц	с	Ц	С					
							4	КП	СТП	ѳ	4	D	T	d	t	КП	СТП	ѳ	4	д	т	Д	Т	БК	ВКП	
							5	КТМ	НЕТ	%	5	E	U	e	u	КТМ	НЕТ	%	5	е	у	Е	У	НС	ОСУ	
							6	ДА	СИН	&	6	F	V	f	v	ДА	СИН	&	6	ф	ж	Ф	Ж	НП	ВП	
							7	ЗВ	КБ	↗	7	G	W	g	w	ЗВ	КБ	↗	7	г	в	Г	В	ОЖД		
							8	ВШ	АН	(	8	H	X	h	x	ВШ	АН	(	8	х	ь	Х	Ь		
							9	ГТ	КН	)	9	I	Y	i	y	ГТ	КН	)	9	и	ы	И	Ы		
							10	ПС	ЗМ	*	:	J	Z	j	z	ПС	ЗМ	*	:	й	з	Й	З	УР		
							11	ВТ	АР2	+	:	K	[	k	{	ВТ	АР2	+	:	к	ш	К	Ш	СП2	СП3
							12	ПФ	РФ	,	<	L	\	l	|	ПФ	РФ	,	<	л	э	Л	Э		ВЫП	
							13	ВК	РГ	—	=	M	|	m	|	ВК	РГ	—	=	м	щ	М	Щ		ВСТ	
							14	ВЫХ	РЗ	.	>	N	—	n	—	ВЫХ	РЗ	.	>	н	ч	Н	Ч	НРВ		
							15	ВХ	РЭ	/	?	O	—	o	ЗБ	ВХ	РЭ	/	?	о	ъ	О	ЗБ	СП1		

Для обеспечения однозначности кодирования предусмотрены специальные управляющие символы ВХ, ВЫХ, AP2 называемые символами переключения регистров и служащие для увеличения мощности алфавита. Если в принимаемой последовательности символов встречается символ «ВХ» (код 0001111), то все последующие коды расшифровываются в соответствии с табл. КОИ-7Н₀; если встречается символ «ВЫХ», то все последующие коды расшифровываются в соответствии с табл. КОИ-7Н₁. Для расшифровки кода символа в соответствии с табл. КОИ-7С₁ каждому такому коду должен предшествовать код 0001011 символа AP2. При отсутствии управляющих символов

переключения регистров кодирование и декодирование осуществляется согласно табл. КОИ-7Н0.

Чтобы сократить число символов переключения регистров в сообщении, алфавит разбивается на группы символов, включаемых в одну таблицу, с учетом вероятности их совместного использования. Например, все латинские буквы расположены в табл. КОИ-7Н0, а все русские — в табл. КОИ-7Н1. При этом наиболее часто встречающиеся символы повторяют в нескольких группах, например, цифры и графические знаки повторяются в табл. КОИ-7Н0 и КОИ-7Н1. Кроме того, предусматривают управляющие символы, изменяющие значение только для одного последующего кода.

Кроме КОИ-7, в системах связи и телеобработки используются международные телеграфные коды (МТК-2, МТК-5); в ВЗУ на магнитных носителях — 8-разрядный код обмена информацией КОИ-8 (ГОСТ 19768-74); в перфокарточном оборудовании — КПК-12 (ГОСТ 19769-74).

В персональных компьютерах широко применяются следующие кодовые таблицы:

- кодовая таблица MS WINDOWS 1251 (Таблица 6.3);
- кодовая таблица ISO8859-5 (Таблица 6.4);
- альтернативная (866) кодировка (дополнительная кодовая таблица ПЭВМ) (Таблица 6.5).

В Internet часто применяется кодировка КОИ-8 (Таблица 6.6).

Таблица 6.3. Кодировка MS WINDOWS 1251

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0				0	@	P		p					A	P	a	p
1			!	1	A	Q	a	q					Б	С	б	с
2			“	2	B	R	b	r					В	Т	в	т
3			#	3	C	S	c	s					Г	У	г	у
4			\$	4	D	T	d	t					Д	Ф	д	ф
5			%	5	E	U	e	u					Е	Х	е	х
6			&	6	F	V	f	v					Ж	Ц	ж	ц
7			`	7	G	W	g	w					З	Ч	з	ч
8			(	8	H	X	h	x			Ё	ё	И	Ш	и	ш
9			)	9	I	Y	i	y			№	№	Й	Щ	й	щ
A			*	:	J	Z	j	z					К	Ъ	к	ъ
B			+	;	K	[	k	{					Л	Ы	л	ы
C			,	<	L	\	l	|					М	Ь	м	ь
D			-	=	M	]	m	}					Н	Э	н	э
E			.	>	N	^	n	~					О	Ю	о	ю
F			/	?	O	_	o						П	Я	п	я

Таблица 6.4. Кодировка ISO8859-5 (Кодовая таблица ПЭВМ)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	ПУС	▶	ПРО БЕЛ	0	@	P	'	p	▒	┌	┌	A	P	a	p	Ё
1	☺	СУ1	!	1	A	Q	a	q	▒	└	└	Б	С	б	с	ё
2	☹	СУ2	“	2	B	R	b	r	▒	└	└	В	Т	в	т	/
3	♥	СУ3	#	3	C	S	c	s	▒	└	└	Г	У	г	у	\
4	♦	СУ4	\$	4	D	T	d	t	▒	└	└	Д	Ф	д	ф	/
5	♣	§	%	5	E	U	e	u	▒	└	└	Е	Х	е	х	\
6	♠	—	&	6	F	V	f	v	▒	└	└	Ж	Ц	ж	ц	→
7	ЗВ	↑	`	7	G	W	g	w	▒	└	└	З	Ч	з	ч	←
8	ВШ	АН	(	8	H	X	h	x	▒	└	└	И	Ш	и	ш	↑
9	ГТ	↓	)	9	I	Y	i	y	▒	└	└	Й	Щ	й	щ	↓
A	ПС	→	*	:	J	Z	j	z	▒	└	└	К	Ъ	к	ъ	÷
B	ВТ	AP2	+	;	K	[	k	{	▒	└	└	Л	Ы	л	ы	±
C	ПФ	┌	,	<	L	\	l	|	▒	└	└	М	Ь	м	ь	№
D	ВК	↔	-	=	M	]	m	}	▒	└	└	Н	Э	н	э	☼
E	ВЫХ	▲	.	>	N	^	n	~	▒	└	└	О	Ю	о	ю	■
F	ВХ	▼	/	?	O	_	o	ЗБ	└	└	└	П	Я	п	я	

Таблица 6.5. Альтернативная (866) кодировка (Дополнительная кодовая таблица ПЭВМ).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	ПУС	▶	ПРО БЕЛ	0	@	P	'	p	A	P	a	▒	Л	Ш	p	Ё
1	☺	СУ1	!	1	A	Q	a	q	Б	С	б	▒	┌	┐	с	ё
2	☹	СУ2	“	2	B	R	b	r	В	Т	в	▒	└	┘	т	/
3	♥	СУ3	#	3	C	S	c	s	Г	У	г	▒	├	┤	у	\
4	♦	СУ4	\$	4	D	T	d	t	Д	Ф	д	▒	┌	┐	ф	/
5	♣	§	%	5	E	U	e	u	Е	Х	е	▒	├	┤	х	\
6	♠	—	&	6	F	V	f	v	Ж	Ц	ж	▒	├	┤	ц	→
7	ЗВ	↑	‘	7	G	W	g	w	З	Ч	з	▒	├	┤	ч	←
8	ВШ	АН	(	8	H	X	h	x	И	Ш	и	▒	├	┤	ш	↑
9	ГТ	↓	)	9	I	Y	i	y	Й	Щ	й	▒	├	┤	щ	↓
A	ПС	→	*	:	J	Z	j	z	К	Ъ	к	▒	├	┤	ъ	÷
B	ВТ	AP2	+	;	K	[	k	{	Л	Ы	л	▒	├	┤	ы	±
C	ПФ	┌	,	<	L	\	l	|	М	Ь	м	▒	├	┤	ь	№
D	ВК	↔	-	=	M	]	m	}	Н	Э	н	▒	├	┤	э	☼
E	ВЫХ	▲	.	>	N	^	n	~	О	Ю	о	▒	├	┤	ю	■
F	ВХ	▼	/	?	O	_	o	ЗБ	П	Я	п	▒	├	┤	я	

Таблица 6.6. Кодировка КОИ-8.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0				0	@	P		p					ю	п	Ю	П
1			!	1	A	Q	a	q					а	я	А	Я
2			“	2	B	R	b	r					б	р	Б	Р
3			#	3	C	S	c	s					ц	с	Ц	С
4			\$	4	D	T	d	t					д	т	Д	Т
5			%	5	E	U	e	u					е	у	Е	У
6			&	6	F	V	f	v					ф	ж	Ф	Ж
7			`	7	G	W	g	w					г	в	Г	В
8			(	8	H	X	h	x					х	ь	Х	Ь
9			)	9	I	Y	i	y					и	ы	И	Ы
A			*	:	J	Z	j	z					й	з	Й	З
B			+	;	K	[	k	{					к	ш	К	Ш
C			,	<	L	\	l	|					л	э	Л	Э
D			-	=	M	]	m	}					м	щ	М	Щ
E			.	>	N	^	n	~					н	ч	Н	Ч
F			/	?	O	_	o						о	ъ	О	Ъ

6.2. Устройства ручного ввода

В качестве устройств ручного ввода используются клавиатуры, состоящие из набора клавиш и позволяющие кодировать передаваемые в машину символы. Предусматривается ряд клавиш для выполнения функций управления собственно клавиатурой и связанным с ней оборудованием. Число клавиш клавиатуры всегда меньше числа символов в алфавите, поэтому используются специальные клавиши, изменяющие коды для остальных клавиш. Форма и размеры клавиш определяются эргономическими факторами; расположение клавиш в клавиатуре — стандартное, аналогичное расположению клавиш в пишущей машинке: буквы русского алфавита располагаются в соответствии с правилом ЙЦУКЕН, а буквы латинского алфавита в соответствии с правилом QWERTY (первые слева 6 символов второго сверху ряда клавиш).

Надо помнить, что в клавиатурах, предназначенных для ввода как русских, так и латинских букв, могут использоваться различные стандартные расположения клавиш, соответствующие машинке с русским или латинским шрифтом.

6.2.1. Клавиатура.

6.2.1.1. Устройство клавиатуры.

Клавиатура включает в себя совокупность ключей, замыкаемых при нажатии соответствующих клавиш, а также схемы управления для формирования кода при замыкании ключа, исключения неоднозначности кодирования из-за «дребезга» контактов и выполнения других управляющих функций. Ключ (рис.6.1) состоит из клавиши 1, возвратной пружины 2, плунжера 3, корпуса 4 и собственно контактов 5. В основе действия контактов лежит изменение электрического сопротивления

при их замыкании вследствие механического воздействия (рис.6.1, а), магнитного воздействия подвижным магнитом *б* на герметизированные контакты *7* (герконы на рис.6.1,б); изменения емкости между подвижными *8* и неподвижными *9* пластинами (рис.6.1,в), а также эффект Холла, т.е. возникновение разности потенциалов в полупроводнике под действием магнитного поля. Применяются также и индуктивные датчики.

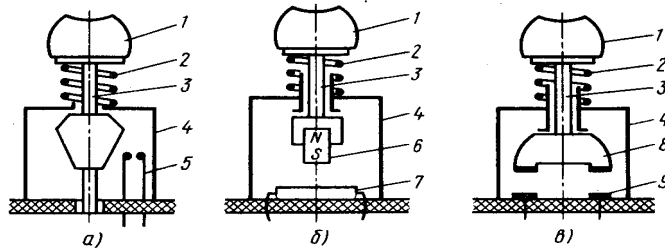


Рис. 6.1 Устройство клавиш.

Нажатие на клавишу приводит к опусканию плунжера и переходу ключа из состояния, соответствующего логическому «0», в состояние логической «1». Так как такой переход связан с физическим замыканием (размыканием) контактов или изменением напряжения, то он происходит не мгновенно, а в течение короткого интервала времени и сопровождается возможными обратными изменениями состояний, называемыми *дребезгом контактов*. Схемы управления должны устранять влияние дребезга контактов, в противном случае при однократном нажатии клавиши формируется последовательность неопределенной длины из одинаковых кодов.

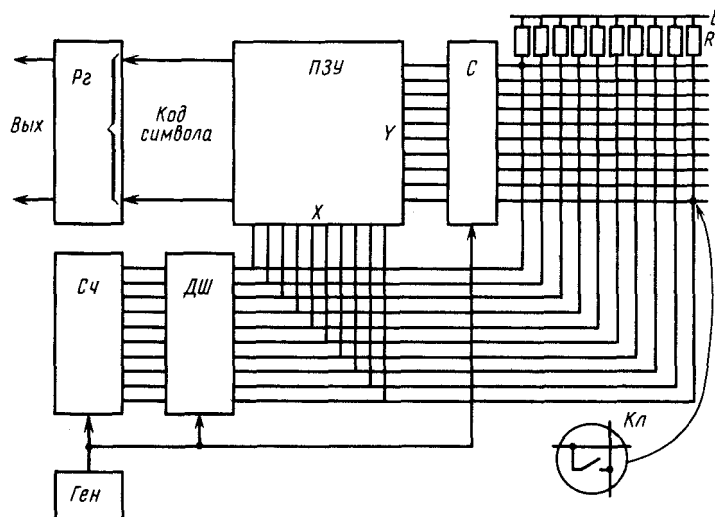


Рис. 6.2 Функциональная схема клавиатуры.

6.2.1.2. Схемы управления.

Основная функция схемы управления— сформировать код, соответствующий нажатой клавише. Кодирование обычно производится в соответствии с ДКОИ или КОИ-7. (В клавиатурах для персональных компьютеров как правило формируются не коды символов, а коды сканирования клавиш (скан-коды), которые преобразуются в соответствующие коды символов драйвером клавиатуры. Это позволяет менять кодовые таблицы программным путем).

Простейшая схема для реализации этой функции приведена на рис.6.2. Схема, состоящая из генератора тактовых импульсов Ген, счетчика Сч и дешифратора ДШ, последовательно опрашивает состояние ключей Кл, расположенных в столбцах X матрицы-клавиатуры. В случае, если какая-либо клавиша нажата, то сигнал через замкнутый контакт поступает на соответствующую горизонтальную шину Y матрицы и затем через селектор С поступает на вход ПЗУ. Сигналы с дешифратора и селектора образуют адресный вход ПЗУ, в ячейках которого записаны коды символов (их младшие разряды), т.е. содержимое ячейки ПЗУ с адресом ХУ выдается на регистр символа Рг (по заднему фронту тактового сигнала).

Старшие разряды кода определяются содержимым специального регистра. При нажатии на клавишу переключения регистров соответствующий ей код фиксируется в нем и определяет значения дополнительных старших разрядов кода символа. Значения этих разрядов остаются неизменными до перехода к другому регистру клавиатуры, т.е. до следующего нажатия на другую клавишу

переключения регистров. Многие клавиатуры, особенно предназначенные для ПЭВМ, содержат до пяти регистров и позволяют при нажатии одной клавиши формировать последовательности кодов символов, соответствующие наиболее часто встречающимся операторам языков ПЭВМ. Специальные клавиши управления могут менять значение старшего разряда кода символа только на время нажатия одной клавиши. Для исключения влияния дребезга контактов выдача кода символа из регистра задерживается на время завершения переходного процесса.

В последнее время для управления работой клавиатуры все чаще используют микропроцессоры (МП). Это позволяет упростить аппаратуру кодирования, расширить ее возможности, а также существенно уменьшить влияние дребезга контактов. Вертикальные и горизонтальные шины матрицы контактов подключаются, соответственно, к портам вывода (Пвыв) и ввода (Пвв) МП (рис.6.3); для передачи в ЭВМ сформированного кода символа используется второй порт вывода МП.

Программа МП для управления работой клавиатуры выполняет следующие функции: формирует последовательность кодовых комбинаций для опроса X (столбцов); анализирует входные комбинации сигналов Y (строк) клавиатуры; проверяет правильность полученных комбинаций; формирует код символа в соответствии с кодовыми таблицами используемого в ЭВМ внутреннего кода; передает сформированный код символа в ЭВМ.

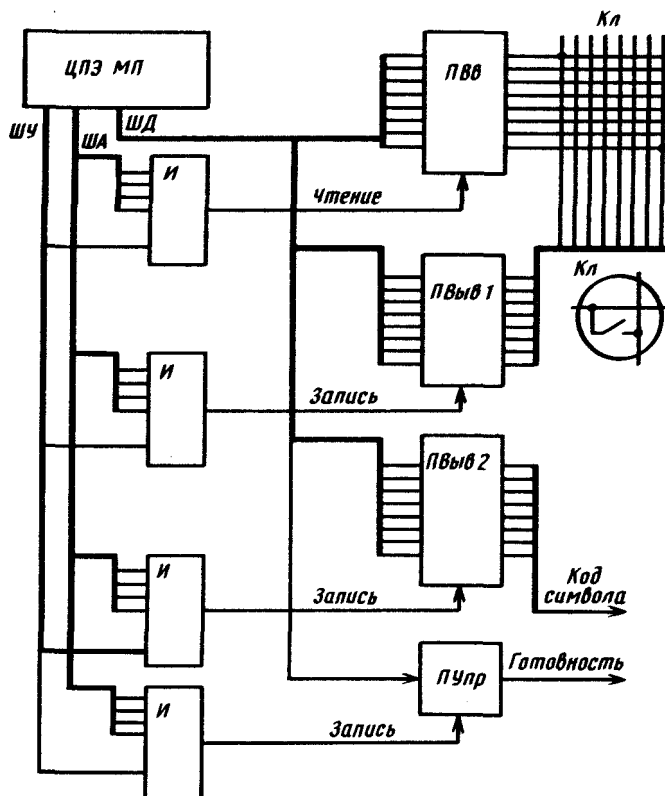


Рис. 6.3. Схема клавиатуры на базе однокристалльной микро-ЭВМ.

Вначале программа МП (рис.6.4) устанавливает исходное состояние счетчика повторений $n:=0$ и начальные коды столбца $X_0:=00\dots01$ и строки $Y_0:=00\dots00$. Каждое следующее значение кода X формируется путем циклического сдвига X_0 на один разряд. Значение X передается в Пвыв1, к выходам которого подсоединены вертикальные шины матрицы ключей клавиатуры. На горизонтальных шинах матрицы, подключенных к входам Пвв, формируется одна из комбинаций сигналов, программно считываемая МП. Эта комбинация содержит:

- все нули, если ни одна из клавиш не нажата или нажатая клавиша не находится в вертикальном ряду, на который от Пвыв1 подается сигнал «1»; программа производит очередной сдвиг кода X , т.е. продолжает поиск нажатой клавиши;

- несколько единиц, если нажато две клавиши в вертикальном столбце, соответствующем сигналу «1» из Пвыв1, эта ситуация является ошибочной и МП может включать звуковой сигнал; программа МП реализует возврат к началу;

- одну единицу, если нажата одна клавиша вертикального ряда, которому соответствует сигнал «1» на выходе Пвыв1. По текущему значению кода опроса столбца X и принятому из Пвв значению кода строки Y программно формируется весовой код нажатой клавиши, т.е. замкнутого ключа. Для этого вначале коды опроса столбца X и строки Y преобразуются к двоичному или двоично-десятичному виду $X_{ст}$ и $Y_{ст}$ с помощью программных счетчиков. Затем определяется весовой

значение K нажатой клавиши

$$K = pX_{ст} + Y_{ст},$$

где p — число ключей в одной строке матрицы клавиатуры.

Значение K запоминается и цикл опроса клавиатуры повторяется. При каждом последующем цикле опроса клавиатуры производится сравнение текущего значения K_i и предшествующего K_{i-1} . При их совпадении увеличивается на единицу содержимое счетчика повторений, а при несовпадении счетчик повторений сбрасывается в нуль и в качестве весового значения нажатой клавиши принимается текущее значение K . Если в течение $n=N$ циклов весовое значение нажатой клавиши K не менялось, то оно используется для формирования стандартного кода символа.

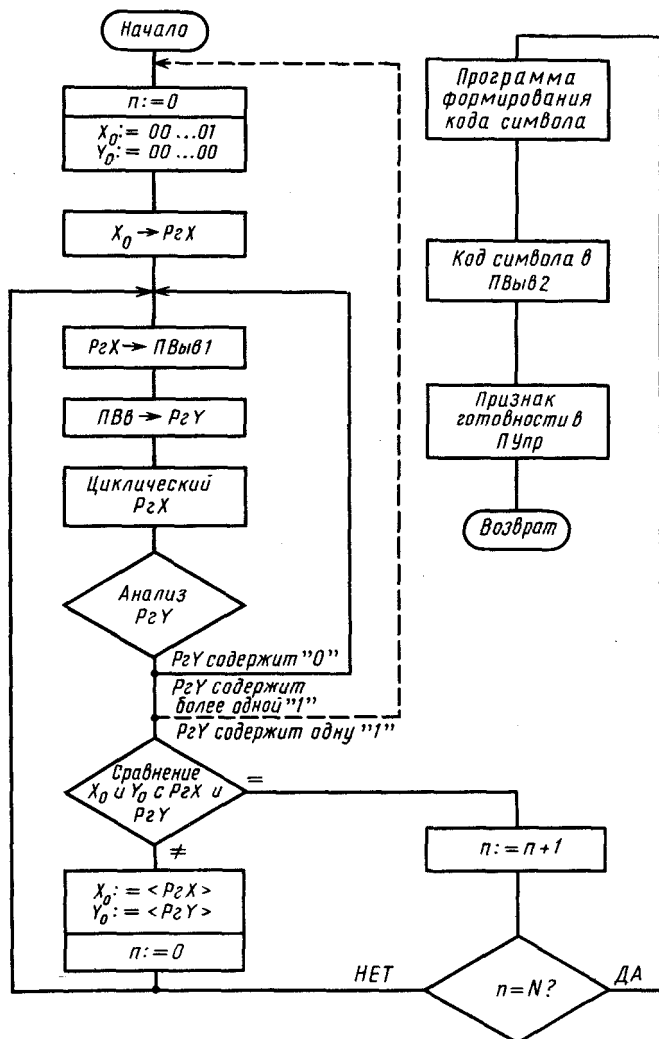


Рис. 6.4. Алгоритм функционирования электронной клавиатуры.

Этим достигается «задержка» на время переходного процесса в ключе, т.е. исключаются ошибки из-за дребезга контактов. Таким же образом выявляется случай одновременного нажатия клавиш, находящихся в разных столбцах. Код символа может формироваться посредством таблицы, хранимой в ПЗУ. В этом случае весовое значение клавиши используется в качестве смещения или базового адреса ячейки ПЗУ с искомым значением кода. Весовые значения клавишей переключения регистров клавиатуры используются в качестве базового адреса, а остальных клавиш — в качестве смещения. В более простых случаях код символа формируется программно, например, код нажатой клавиши определяет младшие разряды кода символа, а номер регистра клавиатуры — старшие разряды.

6.3. Устройства ввода с промежуточного носителя

В первых ЭВМ для ввода текстовой информации использовались УВв с перфолент (ПЛ) и перфокарт (ПК). В основе их действия лежали принципы, широко используемые к тому времени в устройствах телеграфии и фактурных машинах. Такие УВв позволили повысить скорость по сравнению со скоростью при непосредственном вводе с клавиатуры; производить повторный ввод после замены или добавления нескольких ПК, что имело важное значение при высокой стоимости

аппаратуры ЦП и малых объемах ЗУ этих ЭВМ; сравнительно легко визуально проконтролировать закодированную информацию на ПЛ и ПК.

Недостатки ПЛ и ПК заключаются в невозможности многократного нанесения информации, больших затратах бумаги, невозможности значительного повышения быстродействия из-за принципиальных ограничений скорости УВв с ПЛ и ПК.

В настоящее время ведущие фирмы практически прекратили выпуск перфокарточного и перфоленточного оборудования.

Технические характеристики ранее наиболее распространенных УВв с ПК приведены в табл.6.7; перемещение ПК в них производится узкой стороной.

Таблица 6.7 Технические характеристики УВв с перфокарт.

Модель УВв	Скорость ввода, ПК/мин	Тип механизма захвата	Емкость кармана, ПК
ЕС 6012	500	ножевой	100
ЕС 6019	1200	вакуумный	300

Магнитные ленты (МЛ) и гибкие магнитные диски (ГМД) в качестве промежуточных носителей имеют ряд преимуществ: обеспечивают возможность многократной записи, более высокие плотность и скорость ввода. Существенный недостаток магнитных носителей заключается в невозможности визуального контроля информации. Для подготовки данных на МЛ и ГМД служили системы подготовки данных (СПД), построенные на базе микроЭВМ, а также ряд УПД, в которых широко использовались МП. Это позволяло произвольно устанавливать границы полей записи, осуществлять автоматический поиск поля, контролировать допустимость занесения каждого кода в текущее поле и правильность нанесения информации на магнитный носитель путем контрольного считывания и т.д. Для ввода информации в машину подготовленный магнитный носитель устанавливался в стандартное ВЗУ или специальное УВв.

Примерами устройств и систем подготовки данных могут служить УПД на МЛ ЕС 9004, УПД на ГМД ЕС 9075, многопультные системы СПД 9000 и ЕС 9003.

Использование промежуточных носителей обеспечивало более полную загрузку ЦП, однако вызывало необходимость значительных затрат ручного труда при подготовке данных, т.е. при кодировании, контроле, редактировании. Участие в процессе подготовки человека приводило не только к низкой производительности труда, но и к значительному количеству вносимых им ошибок. Избежать отмеченных недостатков позволяло применение устройств автоматического ввода.

6.4. Устройства автоматического ввода текстовой информации.

Устройства автоматического ввода, или читающие автоматы (ЧА), предназначаются для ввода текстовой информации с первичного документа. При этом текстовая информация на первичном документе представляется последовательностью алфавитно-цифровых символов, напечатанных или написанных от руки на исходном носителе— обычно листах бумаги; такая форма представления информации пригодна для чтения человеком. Последовательности символов располагаются в виде строк параллельно одной из кромок листа. Различие коэффициентов отражения света от участков бумаги, содержащих символ, и от чистых участков фона позволяет человеку воспринимать напечатанный символ. Это различие коэффициентов отражения света лежит в основе *оптического способа восприятия* информации ЧА. Устройства автоматического ввода, использующие оптический способ восприятия, называются *оптическими читающими автоматами* (ОЧА). Существует также *магнитный способ восприятия изображений символов*, имеющих на первичном документе. При этом знаки наносятся на носитель специальными магнитными чернилами, которые обладают необходимыми оптическими свойствами для восприятия символа человеком и одновременно имеют магнитную проницаемость, существенно отличающуюся от магнитной проницаемости чистой бумаги. Это позволяет воспринимать информацию об изображении символов с помощью специальных магнитных головок (МГ); устройства, реализующие этот способ, называются *магнитными читающими автоматами* (МЧА).

В связи с широким распространением методов и средств телеобработки, а также сетей ПЭВМ интерес к универсальным ЧА несколько снизился. Однако ЧА, ориентированные на специальные шрифты, находят все более широкое применение в таких областях как торговля, почтовая связь, банковское дело.

6.4.1. Принцип автоматического чтения текстовой информации.

Задача ЧА состоит в последовательном распознавании и кодировании каждого символа первичного документа для последующей передачи полученного кода непосредственно в ОП ЭВМ или фиксации на промежуточном носителе. Для решения этой задачи в ЧА должны быть реализованы следующие функции:

- осмотр и восприятие изображения, в процессе которых вырабатывается электрический сигнал, соответствующий графическому начертанию вводимого символа;
- выделение существенных признаков и составление описания воспринятого изображения символа;
- распознавание символа, в процессе которого описание воспринятого изображения вводимого символа сравнивается с описаниями эталонов и принимается решение относительно соответствия символа тому или иному эталону.

6.4.1.1. Осмотр и восприятие изображения.

В процессе осмотра (оптического или магнитного) изображения символа производится его «дискретизация». Как правило, для этого формируется развертка, при которой все поле изображения символа как бы покрывается прямоугольной сеткой, что можно сравнить с проектированием изображения на сетчатку глаза человека. Размер ячеек сетки определяется используемыми кодами и разрешающей способностью узла считывания ЧА. Каждой ячейке ставится в соответствие некоторое число, характеризующее интенсивность отраженного от данной ячейки света или величину сигнала от магнитной головки. В простейшем случае может быть использовано всего два уровня, обозначаемые «0» (участок фона) и «1» (ячейка, приходящаяся на элемент изображения). Опрос ячеек сетки производится в фиксированном порядке и поэтому получаемая совокупность чисел характеризует воспринимаемые изображения, т.е. является первоначальным описанием. При осмотре изображения необходимо выполнить ряд вспомогательных операций, таких, как захват документа, отделение его от других документов, перемещение в позицию осмотра, а также выравнивание строки документа относительно направления развертки, нормирование размеров изображений символов, центрирование их и т.д. Все операции, связанные с перемещением документов, выполняются механическими узлами ЧА.

Операции по выравниванию строки, нормированию размеров и центрированию изображения символа могут производиться вручную, автоматически механическими узлами ЧА или в процессе предварительной обработки первоначального описания.

Операция выравнивания строки наиболее сложна для произвольных первичных документов; для формуляров эта операция упрощается за счет прямых линий, параллельных строкам текста; для малоформатных формуляров эта операция выполняется путем базирования по одной из кромок документа.

Операции нормализации размеров и центрирования изображений совершенно необходимы при использовании обычных шрифтов и особенно при чтении рукописных символов. Эти операции значительно упрощаются или необходимость в них отпадает при использовании специальных шрифтов.

6.4.1.2. Выделение существенных признаков и составление описания.

Первичное описание изображения символа составляется в процессе его восприятия, когда каждой клетке сетки ставится в соответствие некоторое число, характеризующее ее яркость. Однако объем информации в таком описании чрезмерно велик и оно неудобно для обработки. Поэтому во многих случаях возникает необходимость во вторичном описании, т.е. выделении из первичного описания ряда более информативных вторичных признаков. К их числу относят геометрические и топологические. Примерами геометрических признаков могут служить прямой вертикальный штрих в изображении символа (например, в букве «Н»), дуга с выпуклостью вправо или влево (например, в изображении цифр «9» или «6»), штрих над или под строкой (например, в изображении букв «р» и «h») и т.д. Примерами топологических признаков могут служить замкнутые контуры различной связности, узлы различной кратности и т.д. Так изображение буквы «О» характеризуется контуром нулевой связности, цифры «8» — контуром первой связности из-за наличия пересечения; в изображении буквы «А» можно выделить два узла первой кратности (нижние концы), узел второй кратности (вершина) и два узла третьей кратности (точки соединения с горизонтальным штрихом).

Вторичные признаки должны выбираться так, чтобы описание изображения символа однозначно его определяло и было по возможности инвариантным к размерам и ориентации символа, а также нечувствительным к небольшим полиграфическим дефектам. Топологические признаки инвариантны к размерам и ориентации, но весьма чувствительны к полиграфическим дефектам, например, к разрывам линии изображения; они не позволяют различить такие символы, как «9» и «6», открывающую и закрывающую скобки. Геометрические признаки менее чувствительны к полиграфическим дефектам, но не инвариантны к размерам, наклону и центрированию изображения. Реальное вторичное описание, т.е. перечисление в определенном порядке значений признаков, всегда включает в себя элементы геометрического и топологического описаний.

6.4.1.3. Распознавание символа.

Полученному описанию изображения ставится в соответствие код символа из системы кодов, принятой в ЭВМ. В памяти ЧА хранятся эталонные описания всех распознаваемых устройством символов; каждому эталонному описанию однозначно соответствует стандартный код одного символа алфавита, являющийся как бы именем эталонного описания. В процессе распознавания вычисляются

меры сходства введенного описания каждому эталону и принимается решение о принадлежности вводимого символа эталону, для которого эта мера оказалась максимальной. Последовательность логических и вычислительных операций над описаниями вводимых символов и эталонными описаниями, в результате которой описанию изображения ставится в соответствие один из эталонов, называется *алгоритмом распознавания*. Он может быть реализован как программно-аппаратными средствами ЧА, так и программными средствами ЦП. Алгоритм распознавания упрощается и затраты времени на его реализацию значительно сокращаются при уменьшении объема алфавита.

Из-за помех (типографские дефекты, плохое качество бумаги и т.п.) полное совпадение описаний вводимого символа и одного из эталонных обычно не происходит. Если значение меры сходства для одного из эталонов значительно выше, чем для остальных, то вводимому символу приписывается код-имя данного эталона. Если значения меры сходства для двух или нескольких эталонов совпадают или различаются незначительно, то ЧА оказывается неспособным распознать предъявленный ему символ. По этим причинам ЧА принято характеризовать:

— *вероятностью (частотой) ошибок распознавания*, т.е. относительным числом неправильных решений;

— *вероятностью (частотой) отказов от распознавания*, т.е. относительным числом символов, для которых ЧА не находит нужного соответствия эталону.

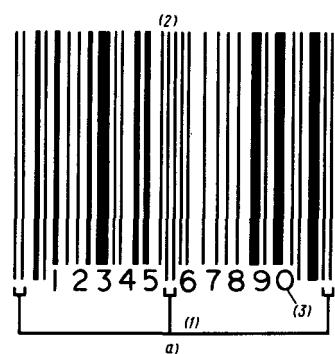
Наиболее громоздкими являются описания для рукописных символов; описания значительно упрощаются, а вероятность ошибок и отказов при распознавании уменьшается для специальных шрифтов.

6.4.1.4. Специальные шрифты для ЧА.

Вид шрифта определяется областью использования ЧА. Принято выделять *кодированные, стилизованные и нормализованные шрифты*.

В *кодированных шрифтах* знаки представляют собой различные комбинации точек или штрихов, наличие или отсутствие которых и является признаками для составления описания. На первичном документе каждое кодированное изображение символа, воспринимаемое ЧА, часто сопровождается изображением, привычным для человека. Обычно алфавит кодированных шрифтов ограничен десятичными цифрами. Наиболее распространены так называемые штриховые коды, используемые, в частности, в системах автоматизированной продажи и учета товаров (на складах, в магазинах, библиотеках). Рассмотрим некоторые способы кодирования с помощью штриховых кодов.

Первый способ кодирования служит для записи 12-разрядного десятичного числа, являющегося идентификатором изделия. Запись числа, приведенная на рис. 6.5,а, состоит из направляющих полосок 7, кодовых комбинаций темных и светлых полосок для цифр 2 и надпечатки 3, содержащей обычные изображения цифровых символов. Каждая цифра кодируется семью полосками — темными и светлыми. Таким образом, общее число возможных комбинаций составляет 128. В правой и левой половинах числового кода, разделенных направляющими полосками, кодирование цифр различно, что дает возможность определить направление чтения слева направо или справа налево. Всего используются 20 различных кодовых комбинаций, а 108 являются недопустимыми. Наличие темной полоски в изображении символа соответствует «1» в его описании, а светлой — «0».



A B C D E F G H I J K L M

N O P Q R S T U V W X Y Z

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

• , : ; = + / \$ * ^ & |

! - { } % ? [\] ^ _

Ü Ñ Ä Ö ö Æ Å £ ¥

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

A B C D E F G H

I J K L M N O P Q

R S T U V W X Y Z

1 2 3 4 5 6 7 8

9 0

Рис. 6.5. Кодированные и стилизованные шрифты.

Смежные темные или светлые полоски сливаются, образуя более широкие полосы. В

изображении каждой цифры всегда используется две темных и две светлых результирующих полосы, причем для левой половины числового кода в изображении каждой цифры крайней левой полосой является светлая, а крайней правой — темная; для правой половины числового кода — наоборот. Переходу от цифры к цифре всегда соответствует переход от темной полосы к светлой. Коды десятичных цифр, построенные по этому правилу, приведены в табл.6.8. Коды в правой и левой половинах таблицы являются инверсными. Для повышения достоверности считывания одна из шести десятичных цифр в каждой половине числового кода используется в качестве контрольной.

Таблица 6. 8 Кодировка десятичных цифр штриховым кодом.

Десятичная цифра	Код половины		Десятичная цифра	Код половины	
	левой	правой		левой	правой
0	0001101	1110010	5	0110001	1001110
1	0011001	1100110	6	0101111	1010000
2	0010011	1101100	7	0111011	1000100
3	0111101	1000010	8	0110111	1001000
4	0100011	1011100	9	0001011	1110100

Чтобы избежать ошибок, вызванных типографскими дефектами и загрязнением изображения, считывание производится путем перемещения нескольких светочувствительных детекторов перпендикулярно направлению штрихов. В описание символа заносится «0» или «1» в соответствии с сигналами, поступающими от детекторов для данной полосы по правилу большинства. Направляющие полосы служат для определения начала и конца изображения, что делает возможным получение описания, не зависящего от скорости перемещения детекторов.

Второй способ кодирования использует чередующиеся темные и светлые полосы различной ширины. Широкой полоске изображения ставится в соответствие «1» в его описании, а узкой — «0». Общее число полосок в изображении фиксируется (например, 5—темных и 4 — светлых). Изображение каждого символа начинается и заканчивается темной полоской; между символами предусматривается пропуск-пробел.

Оба описанных способа штрихового кодирования могут использоваться при ручном перемещении детекторов относительно изображения, так как позволяют при составлении описания как бы «нормализовать» скорость этого перемещения. Примером может служить устройство считывания штрихового кода (считывающий карандаш) СМ 6409, представляющего собой фотооптическую головку, перемещаемую оператором вручную по штриховому изображению вводимого числа. Головка подключается к ЭВМ посредством контроллера и обеспечивает возможность использования штриховых кодов EAN 13 и CODE 39, допустимую скорость перемещения 76 — 760 мм/с и разрешающую способность 0,3 мм. Очевидно, что для нанесения штриховых кодов должны существовать специальные устройства.

Стилизованные шрифты. Примеры таких шрифтов для оптического (РОС-А по ГОСТ 16330-70, образованный добавлением недостающих русских букв к шрифту OCR-A) и магнитного (E13B и СМС-7) считывания приведены соответственно на рис.6.5, б,в,г.

Для МЧА, ориентированных на использование шрифта E13B, магнитная головка МГ, ширина которой превышает высоту символа, с постоянной скоростью перемещается вдоль строки (рис.6.6).

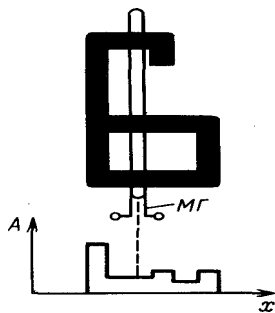


Рис. 6.6. Профиль символа и соответствующий ему сигнал с магнитной головки.

Амплитуда A сигнала на выходе МГ пропорциональна площади магнитных чернил, находящихся под головкой в каждый момент, т.е. суммарной ширине всех горизонтальных отрезков в изображении символа для текущего положения X головки относительно изображения. Полученный сигнал преобразуется в цифровую форму и каждому изображению символа ставится в соответствие

фиксированное количество чисел, отображающих амплитуду сигнала для различных положений МГ относительно изображения.

В коде СМС-7 отличительным признаком являются различные расстояния между штрихами, нанесенными магнитными чернилами.

МЧА применяются при обработке банковских документов. Примерами могут служить устройства 1259 и 1419 фирмы IBM, обеспечивающие считывание цифровой информации (объем алфавита 14 символов в коде ЕІЗВ) со скоростью до 1600 документов в минуту.

Для ОЧА одним из наиболее распространенных является стилизованный шрифт РОС-А. Первичное описание символа составляется в соответствии с величиной сигнала, получаемого при отражении света от отдельных элементов прямоугольной сетки; вторичное описание представляет собой набор структурных признаков: наклонного штриха и их взаимное расположение.

Нормализованные шрифты предназначаются для нанесения изображений символов от руки в строго определенных местах специально отведенного прямоугольника. Прямоугольники предварительно печатаются на бланке документа тонкими или цветными линиями, которые не воспринимаются фотодетекторами при автоматическом считывании. Примером может служить шрифт для нанесения почтового индекса.

6.4.1.5. Методы и алгоритмы распознавания символов в ЧА.

Несмотря на многообразие методов распознавания для ЧА, они характеризуются следующими общими свойствами: во-первых, осуществляется распознавание разделенных межбуквенными промежутками символов, причем каждого символа последовательно вне связи с другими символами текста; во-вторых, распознавание символа базируется на результатах сравнения его описания со всеми эталонными описаниями символов используемого шрифта. Методы различаются выбором меры сходства и анализируемыми признаками. В настоящее время наиболее распространены два метода: корреляционный и распознавания по вторичным признакам.

Корреляционный метод. Пусть анализируемое изображение символа «х» описывается последовательностью чисел, характеризующих яркость каждого элемента сетки. Такое описание можно представить в виде N -мерного вектора $V(x)$, где N — число точек сетки, а V_i — значение яркости i -й точки. Каждому символу «а» алфавита A ($a \in A$) соответствует исходное эталонное описание $e(a)$. Это описание также является вектором с элементами $e_i(a)$.

Из-за отличия освещенности изображения символа от идеальной и наличия светового фона сравнение описания $V(x)$ осуществляется не с исходными, а с преобразованными эталонными описаниями.

Помимо изменений освещенности, существуют другие факторы, вызывающие необходимость преобразования эталонных описаний, например, смещение символа, его перекося относительно линии строки. Назовем эти факторы γ . Тогда яркость каждого элемента в преобразованном эталонном описании определяется как

$$E_i(a, \gamma) = \alpha e_i(a, \gamma) + \beta,$$

где α и β — параметры, характеризующие изменение освещенности и яркости фона, γ — параметры, определяющие другие допустимые преобразования. Преобразованный вектор

$$E(a, \gamma) = \alpha e(a, \gamma) + \beta J$$

служит преобразованным эталонным описанием, где J — единичный вектор.

В качестве меры сходства при корреляционном методе распознавания используют скалярное произведение вектора $V(x)$ на нормированную составляющую $C(a, \gamma)$ вектора $E(a, \gamma)$, ортогональную J .

Решение относительно соответствия символа «х» тому или иному символу $a \in A$ принимается в соответствии с максимальным значением этого произведения, для чего необходимо выполнить следующие действия:

1) построить для первого символа алфавита все допустимые преобразованные эталонные описания $E(a, \gamma)$ и найти для них скалярное произведение $V(x) C(a, \gamma)$. Найти и сохранить максимальное значение этого произведения (для всех γ), т.е. $\max V(x) C(a, \gamma)$;

2) повторить действия п.1 для исходных эталонных описаний второго и всех последующих символов алфавита. Найти максимальное значение среди всех сохраненных значений скалярных произведений (для всех символов), т.е. $\max (\max V(x) C(a, \gamma))$;

3) определить разность между максимальным значением и ближайшим к нему значением скалярных произведений (для двух различных эталонов) и сравнить с пороговым значением. Если разность превышает пороговое значение, то символу «х» приписывается значение «а», которому соответствует максимальное значение скалярного произведения, в противном случае автоматическое распознавание невозможно.

Корреляционный метод требует значительных вычислений и поэтому в ЧА он обычно используется в тех случаях, когда число исходных эталонных описаний ограничено (алфавит содержит менее 50-70 символов) и когда число допустимых преобразований сравнительно невелико (менее 2000). Однако он может использоваться для нестилизованых шрифтов, для которых

затруднено распознавание по признакам.

При использовании *метода распознавания по вторичным признакам* принятие решения распадается на два этапа:

- 1) выделяется признак и принимается решение о его наличии в изображении;
- 2) принимается решение о соответствии анализируемого изображения тому или иному символу алфавита.

При принятии окончательного решения используются логические или пороговые функции. Распознавание по признакам характерно для ЧА, рассчитанных на применение стилизованных шрифтов. Рассмотрим этот метод на примере распознавания цифровых символов шрифта РОС-А, которое реализовано в ЧА ЕС 6031. Изображения цифр и специальных символов шрифта РОС-А формируются посредством вертикальных и горизонтальных штрихов. Признаком считается наличие определенного вертикального или горизонтального штриха (рис.6.7).

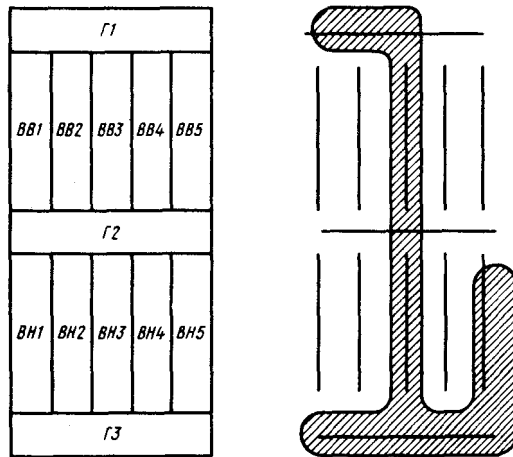


Рис. 6.7. Выделение признаков.

Всего анализируется десять вертикальных (по 5 — в верхнем ВВ1 — ВВ5 и нижнем ВН1-ВН5 рядах) и три горизонтальных Г1-Г3 штриха. В результате осмотра и восприятия изображения (при сканировании знака вдоль строки посредством линейки фотодиодов) создается матрица из единиц и нулей: темному элементу сетки соответствует единица, а светлому — нуль. Шаг сетки таков, что каждому штриху соответствует по толщине два элемента сетки. Это позволяет при анализе матрицы исключить влияние некоторых дефектов печати — непропечаток, искажений штриха и т.п. При выделении признаков анализируется полученная матрица. Вертикальный штрих считается найденным, если в столбце матрицы имеется непрерывная последовательность единиц, число которых больше числа единиц N_r , соответствующего толщине горизонтального штриха. Горизонтальные штрихи обнаруживаются при наличии непрерывной последовательности единиц в строке матрицы, число которых должно превышать число единиц N_r , соответствующее наиболее широкому вертикальному штриху. Каждому найденному штриху во вторичном описании изображения ставится в соответствие единица, а не найденному — нуль. Таким образом, вторичное описание представляет собой двоичный 13-разрядный код ВВ1...ВВ5,ВН1...ВН5,Г1,Г2,Г3. Для символа “1” этот код запишется как 0010000101101.

Чтобы окончательно определить, какому символу соответствует анализируемое изображение, полученный код сравнивается с кодами-эталономы всех символов алфавита. При точном совпадении с одним из эталонов его имя приписывается вводимому символу; в противном случае ЧА формирует сигнал отказа от распознавания. При большом числе признаков возможно сделать вторичное описание избыточным. При этом значение вводимого символа устанавливается не в результате точного совпадения кода вторичного описания с кодом эталона, а по наименьшему кодовому расстоянию. Правила принятия решения здесь аналогичны правилам исправления ошибок при использовании избыточных кодов.

Операции выделения вторичных признаков значительно усложняются при наличии наклонных штрихов и криволинейных отрезков.

6.4.2. Структура и основные узлы ЧА.

Структуры схемы и конструкции ЧА весьма разнообразны и определяются способом восприятия информации, видом документа, алгоритмами распознавания символов, аппаратно-программными способами реализации этих алгоритмов, механизмами захвата и перемещения документов, способами сканирования для получения сетки на изображениях символов и многими

другими характеристиками.

На рис.6.8 приведена одна из возможных структурных схем ОЧА. Устройство захвата (УЗ) отделяет верхний документ из стопки и передает на вращающийся барабан (Б). Наиболее часто УЗ реализуют в виде штанг с вакуумными присосками. Чтобы не происходило захвата нескольких документов, применяют «раздув», т.е. направляют струю воздуха на торец стопки документов. Подача документа осуществляется роликовым или ременным транспортером. Документ подается так, чтобы строка располагалась по окружности барабана; тогда при его вращении последовательность символов одной строки проходит под считывающей головкой (СчГ). Для перехода к следующей строке

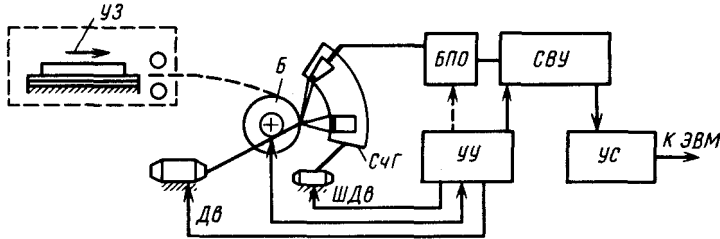


Рис. 6.8. Структурная схема ОЧА.

необходимо переместить СчГ на один шаг; обычно для этого используется шаговый двигатель ШДв.

Считывающая головка представляет собой осветитель и линейку фотодиодов, расположенную вертикально относительно строки. Линейка фотодиодов и вращающийся барабан позволяют получить сетку изображения символа.

Применяют и другие механизмы: ЭЛТ со сканированием луча, лазерные устройства и т.п..

Сигнал от СчГ попадает в блок предварительной обработки (БПО), где формируется предварительное описание изображения. Это описание передается в специализированное вычислительное устройство (СВУ), а код распознанного в нем символа — в устройство сопряжения с ЭВМ (УС). СВУ не только обнаруживает и распознает символы заданного шрифта, но и определяет начало текста (положение первого символа в строке) и пропуски между символами.

Пропуск может рассматриваться как особый символ, в котором темные элементы отсутствуют по крайней мере в двух смежных столбцах сетки.

Устройство управления (УУ) осуществляет синхронизацию работы всех узлов, переключает режимы при отказе от распознавания, при поиске строки и т.д. Приведем некоторые характеристики типичных ОЧА.

1) ЕС 6031 (Бланк-3) предназначен для считывания цифр и специальных символов шрифта РОС-А с формуляров размером до 210x297 мм. Скорость считывания — до 400 документов/мин при частоте ошибок 0,001% и частоте отказов от распознавания 0,01%. Распознавание выполняется путем анализа структурных признаков.

2) ЕС 6037 позволяет считывать все символы шрифтов пишущих машинок «Оптим» и «Ятрань» и ряда ПЧУ с произвольных документов форматов А3, А4, А5. Скорость считывания—до 300 зн/с при частоте ошибок 0,005% и частоте отказов от распознавания 0,02%. В устройстве реализован корреляционный метод с последующим уточнением распознавания по структурным признакам.

Частота отказов от распознавания для ОЧА обычно на порядок выше частоты ошибок. Это достигается соответствующей установкой пороговых значений для меры сходства. В случае отказа от автоматического распознавания неопознанный символ ОЧА передается для распознавания человеку-оператору, для этого большинство ОЧА комплектуют специальными проекционными системами и клавиатурой. Однако вмешательство оператора снижает скорость ввода.

В настоящее время большая производительность персональных ЭВМ позволяет реализовывать методы распознавания программным путем. При этом в качестве читающего устройства используют универсальные сканеры – устройства для считывания (ввода) текстовой и графической информации в компьютер. Сканеры бывают настольными, обрабатывающими лист бумаги целиком, и ручные, которые проводятся над листом бумаги вручную. Сканеры подключаются к компьютеру, как правило, через интерфейс SCSI, а в последнее время и через последовательную шину USB. Считываемая информация представляется в графическом формате. Для распознавания текста графические файлы обрабатываются специальными распознающими программами. В России наиболее распространен пакет FineReader 4.0 и 5.0. Он может, например, работать одновременно с русским и английским текстом. Более подробно про сканеры можно прочесть в разделе 7.5.3.1.

6.5. Устройства регистрации текстовой информации.

Устройства регистрации текстовой информации включают в себя многочисленную группу печатающих устройств (ПЧУ), а также устройства вывода на микрофильм. К ПЧУ принято относить

УВыв на носитель, которым человек может пользоваться без каких-либо дополнительных средств. В качестве носителя применяется обычная или специальная бумага. В устройствах микрофильмирования используют фотопленку, восприятие информации с которой возможно только с помощью специальной проекционной техники. Многие современные ПЧУ и устройства микрофильмирования позволяют регистрировать не только текстовую, но и графическую информацию.

6.5.1. Классификация и основные характеристики ПЧУ.

Широкое распространение ПЧУ обусловлено удобством пользования для человека документальной формой представления информации на бумаге в виде текста и графики, возможностью сохранения вне машины в течение длительного времени информации в готовом для непосредственного использования виде, возможностью распространения информации среди пользователей без применения каких-либо специальных средств, развитостью методов получения печатного вида текстовой информации, сравнительно низкой стоимостью аппаратуры, возможностью формирования документа в произвольные моменты, что особенно важно при пакетном режиме обработки в ЭВМ. Вывод текстовой информации посредством ПЧУ не лишен и ряда недостатков— сравнительно высокой стоимости однократно используемого носителя (бумаги), сложности организации и громоздкости систем хранения информации в печатном виде.

Классификация ПЧУ. ПЧУ принято классифицировать следующим образом:

— по способу регистрации, т.е. по физическим или химическим процессам, используемым в устройстве для получения видимого изображения на носителе;

— по способу формирования изображения; в соответствии с ним все ПЧУ принято делить на знакопечатающие (или полнопрофильные), для которых изображение выводимых символов непрерывно, и знаковосинтезирующие (матричные), для которых изображение формируется из более мелких элементов (точек, штрихов) в процессе вывода;

— по числу символов, изображения которых формируются на носителе в одном такте работы ПУ; принято различать последовательные и параллельные (построчные и страничные) ПЧУ.

Основные требования к характеристикам ПЧУ. Ими являются: высокое качество печати, возможность использования различных шрифтов, получения многоцветного изображения, нескольких копий, высокое быстродействие и низкая стоимость. Указанные требования могут быть противоречивыми.

Качество изображения принято оценивать контрастностью и разрешающей способностью. **Контрастность** D определяет различие в отражающих свойствах наиболее темного (светлого) участка изображения и фона:

$$D = \lg(\Phi_n - \Phi_\phi) / \Phi_n$$

где Φ_n — отражаемый световой поток от единицы поверхности участка изображения, а Φ_ϕ — поверхности фона.

Разрешающая способность R определяет максимальное число различных элементов изображения на единице длины бумаги. Отметим, что разрешающая способность невооруженного глаза человека на расстоянии наилучшего видения (около 25 см) составляет 6,3 линии/мм.

6.5.2. Способы регистрации.

Для формирования видимого изображения на носителе используют ударный, струйный, термический, электрофотографический, а также ряд других способов.

Ударный способ регистрации основан на перенесении части красящего вещества на бумагу вследствие контакта, возникающего при ударе. Обычно этот способ реализуется одним из следующих вариантов (рис. 6.9).

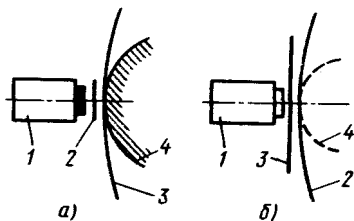


Рис. 6.9. Варианты ударного способа печати.

Красящее вещество наносится на ленту 2, которая размещается перед бумагой 3. Молоточек 1 ударяет по красящей ленте и через нее по бумаге и опоре-наковальне 4 — рис.6.9,а, либо по бумаге и через нее по красящей ленте и наковальне—рис.6.9,б. Элемент изображения формируется (т.е. осуществляется перенос красителя на бумагу) в тех местах, где при ударе возникает достаточное контактное давление.

Для избирательного создания контактного давления элемент изображения наносится в виде выступающего рельефа на молоточек (*а*) или опору-наковальню (*б*). Возможен также вариант, когда рельефы одновременно наносятся и на молоточек, и на наковальню; тогда на бумаге получается изображение, соответствующее пересечению этих рельефов. Если нанесенный на молоточек или наковальню рельеф соответствует изображению полного символа, то на бумаге его контур получается в процессе одного удара (знакопечать); если рельеф соответствует точке или штриху, то для получения контура символа производится несколько ударов (знакосинтезирование). Совокупность элементов ПЧУ, содержащих рельефы символов, принято называть *шрифтоносителем*. Если шрифтоноситель во время удара совершает движение, которое не совпадает с направлением удара, то печать называют *печатью «на лету»*. Возникающее смазывание из-за конечной длительности удара ухудшает разрешающую способность и ограничивает допустимую скорость печати.

Ударный способ регистрации обеспечивает высокое качество изображения, возможность одновременного получения нескольких копий и использования обычной бумаги. К недостаткам следует отнести сравнительно малое быстродействие, высокую шумность, сложность или невозможность получения многоцветных изображений.

Струйный способ регистрации основан на избирательном окрашивании символа на бумаге с помощью струи жидкого красителя, который выбрасывается в виде струи из сопла или нескольких сопел под воздействием импульсного или статического избыточного давления. Возможны две разновидности струйного способа.

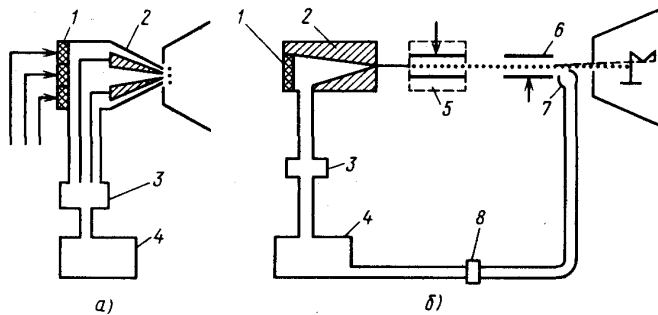


Рис.6.10 Разновидности струйного способа.

При *первой разновидности способа* (рис. 6.10,а) выброс струи производится только в тот момент, когда сопло 2 направлено в нужную точку изображения. Перемещение сопла или наличие нескольких сопел позволяет синтезировать контур в виде мозаики отдельных точек. Наличие нескольких сопел создает, кроме того, предпосылки для получения многоцветного изображения. Импульсное давление в сопле создается пьезоэлектрическим элементом 1. Подвод красителя к соплу осуществляется из резервуара 4 посредством насоса 3. Такая разновидность способа регистрации обеспечивает сравнительно высокое качество печати и возможность создания устройств последовательной печати с быстродействием в несколько сот символов в секунду.

При *второй разновидности способа* (рис.6.10,б), из сопла 2 выбрасывается непрерывная струя, немедленно распадающаяся на отдельные капли. Выброс струи обеспечивается избыточным давлением, создаваемым насосом 3 и пьезоэлементом 7, на который подается постоянный высокочастотный сигнал (около 100 кГц).

Капли струи приобретают электрический заряд при прохождении зарядной камеры 5, а затем посредством пластин 6 электрическим способом отклоняются аналогично электронному пучку в ЭЛТ. Изменяя напряжение на отклоняющих пластинах, можно формировать контур изображения на бумаге. Лишний краситель собирается отражателем 7 и после фильтрации фильтром 8 вновь возвращается в резервуар (4) и подается к соплу насосом (3).

Основной недостаток струйного способа регистрации заключается в подверженности сопел загрязнению. Для предотвращения загрязнения используют специальную жидкость, подаваемую в сопло отдельной системой по окончании цикла печати, что, однако, удорожает ПЧУ.

Термический способ регистрации основан на способности ряда веществ изменять свои физико-химические свойства при нагревании свыше некоторой критической температуры. Обычно регистрация производится на специальном носителе — бумаге, пропитанной термокрасителем. При нагревании выше критической температуры в нем происходит химическая реакция, в результате которой меняется цвет. Для формирования изображения используется специальная термоголовка, соприкасающаяся с термобумагой. Головка представляет собой керамическую подложку, на поверхность которой нанесены нагревательные элементы-резисторы. Каждый резистор служит для формирования на бумаге одного элемента изображения контура; таким образом, при термическом способе регистрации всегда реализуется знаковсинтезирование. Резисторы могут быть расположены по вертикали или по горизонтали; существуют термоголовки, содержащие полную матрицу элементов

символа (5x7).

Были разработаны ПЧУ, в которых стандартная термоголовка служит для нагревания ленты с красящим веществом; это вещество при определенной температуре размягчается и проникает в поры обычной бумаги, формируя изображение. Проводились работы по созданию специальных красящих лент с проводящей основой, при использовании которых роль головки сводилась только к передаче электротока в нужном месте изображения, а нагревание происходило бы за счет объемного сопротивления красящей ленты. В устройствах, использующих термический способ регистрации, отсутствуют механически подвижные элементы (кроме механизма транспортировки бумаги), что обеспечивает стойкость к ударным нагрузкам, высокую надежность и бесшумность. Однако этот способ не обеспечивает высокого качества печати и быстродействия, что объясняется отсутствием резкой границы между нагретыми и не нагретыми участками носителя из-за его теплопроводности и необходимостью охлаждения головки. Обычно применение этого способа ограничено ПЧУ последовательного действия.

Электрофотографический способ регистрации используется в ПЧУ с быстродействием от 8 до 250 страниц/мин (до 20-80 тыс.строк/мин), его разрешающая способность составляет около 10 линий/мм и выше. Способ основан на явлении местного разрушения электростатического заряда, созданного в слое полупроводникового материала, под действием света. Разновидность способа, использующего в качестве источника света управляемый лазер, часто называют *лазерным способом регистрации*. Суть его поясняется рис.6.11,а.

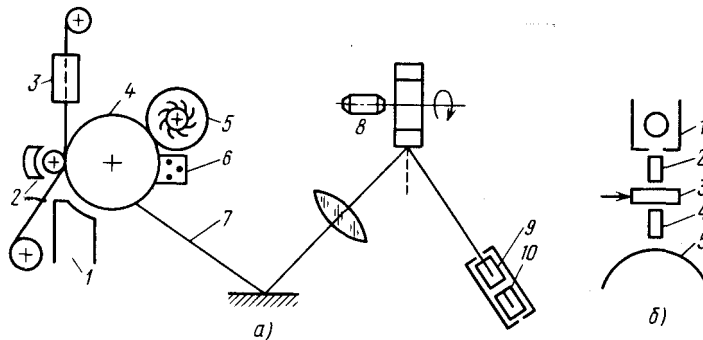


Рис.6.11. Разновидности электрофотографического способа регистрации.

Барабан или лента 4 из фотопроводника, который в темноте является изолятором, заряжается вследствие образования на его поверхности слоя положительных ионов под действием ионизатора 6. При попадании на поверхность барабана луча света 7 фотопроводник приобретает проводимость, достаточную для "стекания" заряда с этой области поверхности барабана. Таким образом, если избирательно осветить поверхность барабана, то на ней можно создать «скрытое электростатическое» изображение, формируемое лучом от источника лазерного излучения 10, модулируемого модулятором 9. Растр на поверхности барабана образуется за счет вращения многогранного зеркала 8 и барабана 4; изображение формируется в виде отдельных точек. Скрытое электростатическое изображение «проявляется» путем осаждения на положительно заряженные участки поверхности отрицательно заряженных частиц красителя 1. Затем «проявленное» изображение переносится на бумагу 2, где краситель фиксируется термическим закрепителем 3. Поверхность барабана очищается очистителем 5 и подготавливается для формирования скрытого изображения следующего кванта информации, выводимого из машины.

На рис.6.11,б приведена схема получения скрытого электростатического изображения на поверхности барабана 5, в которой использован более дешевый источник света — газоразрядная лампа 1. Свет от этой лампы расщепляется на отдельные лучи с помощью системы оптоволоконных световодов 2; каждый луч модулируется независимо от других посредством индивидуального жидкокристаллического затвора. Совокупность этих затворов выполнена в виде единой панели 3. Затем оптическая фокусирующая матрица 4 формирует отдельные модулированные пучки света так, что на поверхности барабана образуется горизонтальный ряд точек строки изображения. Развертка по вертикали обеспечивается вращением барабана.

Электростатический способ регистрации использует скрытое электростатическое изображение, формируемое под воздействием коронного разряда посредством ряда электродов. Изображение формируется на промежуточном носителе — барабане или ленте с диэлектрическим покрытием — или на специальной многослойной бумаге. Обычно систему электродов, включающую в себя электроды возбуждения, управляющие и экранирующие электроды, строят таким образом, чтобы с их помощью можно было сформировать один горизонтальный ряд точек одной строки. Вертикальная развертка осуществляется за счет перемещения носителя. Проявление скрытого изображения и последующее закрепление его на бумаге осуществляется так, как описано при

электрофотографическом способе. Рассматриваемый способ позволяет исключить сложную оптическую систему, сократить число подвижных узлов и уменьшить размеры устройства по сравнению с электрофотографическим способом. Ограничения данного способа связаны с необходимостью использования коммутируемых высоковольтных электродов для формирования изображения. При этом быстродействие и разрешающая способность несколько ниже, чем при лазерной печати. Использование способа для получения изображения непосредственно на оконечном носителе — специальной бумаге — сдерживается ее высокой стоимостью.

Феррографический способ регистрации основан на создании с помощью МГ скрытого магнитного изображения на поверхности барабана или ленты с магнитным покрытием. Под действием магнитного потока в зазоре головки в слое магнитотвердого материала (Co-Ni) создается скрытое изображение. Оно проявляется ферромагнитным красящим веществом, переносимым затем на бумагу так же, как и при электрофотографическом способе. Преимущество способа — простота по сравнению с электрофотографическим способом; основные трудности реализации связаны с технологией изготовления МГ и покрытия барабана. Быстродействие при лазерном и феррографическом способах примерно одинаково, однако разрешающая способность феррографического способа несколько ниже.

По разным причинам другие способы регистрации широкого распространения не получили. Отметить следует лишь «перьевой» способ, который применяется в устройствах регистрации графической информации. Способ основан на капиллярных свойствах пишущего органа: краситель из резервуара по капиллярам пера, фломастера или шарикового стержня переносится на бумагу при наличии механического контакта пишущего органа с ней.

6.5.3. Способы формирования изображения символов.

Контур напечатанного символа может быть непрерывным или состоящим из отдельных элементов — точек или штрихов. Символы с непрерывными очертаниями контура принято называть полнопрофильными, а состоящие из отдельных элементов — матричными.

Для получения **полнопрофильного** изображения символов предусматривают специальный шрифтоноситель, представляющий собой набор полнопрофильных изображений (литер) всех подлежащих печати символов. Изображение символа на бумаге получается путем выбора необходимой литеры шрифтоносителя и переноса ее изображения на бумагу. Перенос изображения на бумагу реализуется двумя способами:

- 1) посредством удара (поэтому полнопрофильное изображение символов характерно для ударных способов регистрации);
- 2) непрерывным перемещением «пишущего» органа по контуру символа в процессе печати (так формируется изображение при струйном и перьевом способах).

Основным узлом, определяющим конструктивные особенности ПЧУ и функции управления при полнопрофильном изображении символов, является *шрифтоноситель*. Наиболее распространенными видами шрифтоносителей являются цилиндрические и сферические головки, лепестковые носители в виде ромашки или корзинки, для последовательных ПЧУ, и барабаны и ленты, для параллельных ПЧУ. Кратко рассмотрим основные виды шрифтоносителей.

На *сферической головке* (рис.6.12,а) литеры располагаются на поверхности в несколько (обычно четыре) рядов. Печать символа производится в два этапа. На первом этапе в результате дешифрации кода символа вырабатываются сигналы для поворота головки φ вокруг оси на угол φ и наклона на угол ψ ; эти углы соответствуют положению символа на головке относительно ее исходного положения. В результате поворота и наклона головки (посредством системы рычагов и тяг) литера выбранного символа оказывается в позиции печати. На втором этапе головка используется в качестве молоточка для удара по красящей ленте 3 и бумаге 2.

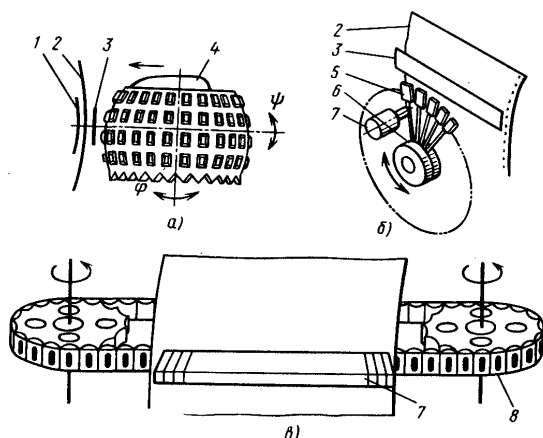


Рис.6.12. Способы полнопрофильной печати.

Расстояние между головкой и валиком 1 может составлять менее 1 мм, что обеспечивает быстрое действие до 15 знаков/с. Сферические головки позволяли получать высокое качество печати, а также заменять шрифт путем смены головки. Головка изготавливалась из металлизированной пластмассы; масса головки составляла около 9 г. Для печати следующего символа головка перемещается на один шаг вдоль строки.

В *лепестковых носителях* функции молоточка и шрифтоносителя 6 разделены (рис.6.12,6). Литера 5 располагается на гибком упругом лепестке диска (ромашка) или корзинки; шрифтоноситель находится между молоточком 7 и красящей лентой 3. Печать символа также осуществляется в два этапа. На первом производится поворот диска на угол, соответствующий расположению символа относительно текущего положения диска. В результате литера выбранного для печати символа оказывается в позиции печати. На втором этапе подается сигнал на электромагнит молоточка — молоточек ударяет по лепестку, лепесток — по красящей ленте и бумаге 2. Диск с приводом и молоточек с электромагнитом возбуждения располагаются на подвижной каретке, которая перемещается вдоль строки. Для уменьшения массы и обеспечения необходимых значений упругости лепестковые шрифтоносители изготавливаются из пластмассы.

Носитель в виде корзинки позволяет разместить большее число литер, однако требует больше места и менее удобен в обращении. Лепестковые шрифтоносители допускают быструю замену шрифта; они были распространены в ПЧУ для микро- и миниЭВМ и обеспечивали быстрое действие до 60 знаков/с и обладали низкой стоимостью. Однако в последнее время такие ПЧУ были вытеснены матричными.

Все рассмотренные шрифтоносители обеспечивают статическую печать, при которой во время удара отсутствует боковое смещение шрифтоносителя относительно бумаги. В параллельных ПЧУ с полнопрофильными очертаниями символов печать производится «на лету», т.е. при непрерывном перемещении шрифтоносителя. На рис.6.12, в показана схема печати «на лету» при использовании ленточного шрифтоносителя 8. Для каждой позиции печати на строке предусматривается отдельный молоточек 7 с независимым возбуждением. Срабатывание молоточка происходит в тот момент, когда код символа, подлежащего печати в данной позиции, совпадает с кодом литеры шрифтоносителя, проходящей под данным молоточком.

Матричное изображение символа представляет собой комбинацию отдельных точек, внешне напоминающую очертание символа. Изображение любого символа формируется в процессе печати путем выбора надлежащей комбинации точек из совокупности точек, образующих прямоугольную матрицу.

Матричное изображение символа используется как для последовательных, так и для параллельных ПЧУ. Регистрирующие органы (печатающие иголки, сопла, терморезисторы, электроды) располагаются в ряд по вертикали, что характерно для последовательных ПЧУ, или по горизонтали — для параллельных ПЧУ. Если регистрирующие органы размещаются в «печатающей» головке вертикально, то матрица точек формируется за счет перемещения головки вдоль строки с шагом, равным шагу матрицы. В параллельных ПЧУ матрицы символов создаются за счет перемещения бумаги. Матричный способ обеспечивает достаточно высокое качество печати (при размерах матрицы 7х9 и выше), электронную замену шрифтов, возможность получения цветного изображения. Одно из самых больших достоинств этого способа заключается в возможности использования аппаратуры для вывода графических изображений. Последовательные матричные ПЧУ распространены в качестве УВыв для мини- и микроЭВМ, ПЭВМ. Быстрое действие устройств зависит от способа регистрации и изменяется от 80 до 200 симв/с.

6.5.4. Последовательные ПЧУ.

За один полный цикл работы на бумаге в последовательных ПЧУ формируется изображение лишь одного символа в очередной позиции строки. Вследствие этого механические узлы последовательных ПЧУ сравнительно просты и стоимость устройств невелика, однако они обладают и сравнительно малым быстрым действием. Повышение производительности последовательных ПЧУ достигается не за счет усложнения механических узлов, а за счет оптимизации перемещений при управлении от встроенных МП.

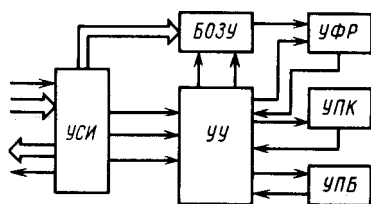


Рис. 6.13. Структурная схема последовательного ПЧУ.

Их подключение к ЭВМ производится через унифицированные малые интерфейсы.

6.5.4.1. Структура последовательного ПЧУ.

В состав последовательного ПЧУ входят следующие основные узлы (рис.6.13): формирования и регистрации изображения символа на бумаге (УФР); перемещения каретки вдоль строки (УПК); подачи бумаги (УПБ); буферной памяти (БОЗУ); управления и синхронизации (УУ); сопряжения с интерфейсом (УСИ).

Узел управления формированием и регистрацией изображения (УФР). При статическом полнопрофильном способе формирования изображения этот узел служит для перемещения шрифтоносителя в положение, при котором возможна регистрация выбранного символа; при печати «на лету» — определяет момент выдачи управляющего сигнала на молоточек регистрирующего устройства.

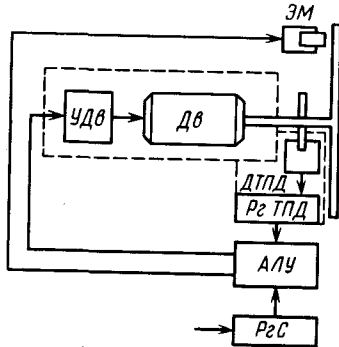


Рис. 6.14. Узел управления формированием и регистрацией изображения ПЧУ с ромашковым шрифтоносителем.

Функции этого узла рассмотрим сначала на примере лепесткового шрифтоносителя. В состав узла входят (рис. 6.14) двигатель со схемой управления (УДв), датчик текущего положения диска (ДТПД), логическая схема (АЛУ) и узел управления электромагнитом молоточка (ЭМ). В АЛУ из регистра текущего положения диска РгТПД поступает код символа, литера которого в данный момент находится напротив молоточка. В эту же схему из регистра символа печати РгС поступает код символа, подлежащего печати. АЛУ производит вычитание кодов; полученная разность соответствует углу, на который необходимо повернуть диск для получения оттиска нужного символа. Для повышения быстродействия поворот диска осуществляется по кратчайшему расстоянию по часовой стрелке или против. Разность кодов (с учетом знака для определения направления поворота диска) подается на схему УДв. В качестве двигателя используют либо шаговые, либо малоинерционные двигатели постоянного тока. Основным компонентом схемы управления двигателем постоянного тока служит ЦАП, который формирует сигнал на обмотку возбуждения, пропорциональный разности адресов. Диск датчика текущего положения и диск шрифтоносителя закрепляются на оси двигателя; ДТПД выполняет функции преобразователя угла поворота вала в цифровой код. В процессе поворота шрифтоносителя сигналы от датчика изменяют содержимое РгТПД в соответствии с текущим положением диска. Литеры на диске шрифтоносителя, т.е. на «лепестках» ромашки, размещают при этом в порядке возрастания кодов. В момент, когда содержимое РгТПД и РгС совпадут, вырабатывается сигнал останова и удержания двигателя в этом состоянии; после остановки двигателя подается сигнал на ЭМ молоточка. Наличие направляющих позволяет во время удара молоточка по лепестку скомпенсировать возможные незначительные отклонения его положения относительно средней линии знакоместа на бумаге. В схеме УДв предусматриваются средства для ускорения, разгона, останова и для удержания двигателя в неподвижном положении во время удара молоточка.

Перечисленные функции реализуются более простыми аппаратными средствами при применении шаговых двигателей (ШД). Наиболее распространены ШД с четырьмя парами обмоток в статоре. Управление ШД осуществляется путем коммутации тока в этих обмотках; порядок коммутации определяется требуемой функцией и графической характеристикой (зависимостью момента от угла поворота ротора) ШД. На вход схемы управления ШД от АЛУ подается код разности текущего и требуемого положений шрифтоносителя, а также сигналы разрешения-запрещения движения и направления вращения. В схеме управления ШД используют генератор с частотой 16-32 кГц. Шаг угла поворота в применяемых ШД составляет $1,875^\circ$, таким образом, при 48 литерях на диске переход от литеры к литере требует четырех шагов ШД.

При *матричном способе* узел формирования изображения вырабатывает сигналы управления на исполнительные органы регистрации отдельных элементов (точек) контура. Основой этого узла служит знакогенератор — ПЗУ, в котором хранятся описания всех регистрируемых изображений символов, т.е. кодовые комбинации, в которых «1» соответствует наличию точки в изображении, а «0» — ее отсутствию. В последовательных ПЧУ регистрирующие органы наиболее часто располагают в головке по вертикали, что позволяет одновременно регистрировать элементы одного столбца

матрицы. Поэтому в знакогенераторах предусматривается возможность получения описания каждого столбца за одно обращение (рис.6.15). Адрес (А) описания столбца в ПЗУ формируется из трех компонентов — базового адреса $A_{шр}$ (может выдаваться программно и определяет используемый шрифт при наличии в ПЗУ описаний нескольких шрифтов), порядкового номера символа в алфавите X (код символа) и номера текущего столбца матрицы I , т.е. $A = A_{шр} + X + I$. Код символа поступает в знакогенератор из БЗУ, а номер текущего столбца — от датчика перемещения каретки устройства.

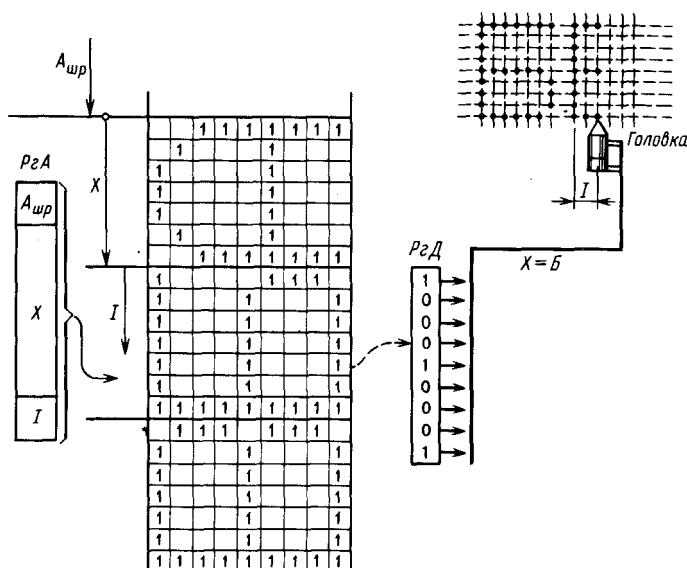


Рис.6.15. Матричный способ формирования символа.

Узел перемещения каретки (УПК на рис. 6.13) содержит двигатель со схемами управления, датчик текущего положения каретки, а также направляющие. Используются как шаговые двигатели, так и серводвигатели постоянного тока. Шаг перемещения каретки зависит от способа формирования изображения символа: при полнопрофильном способе шаг соответствует интервалу между символами на бумаге, а при матричном — интервалу между соседними столбцами матрицы. Стандартный интервал между символами на бумаге составляет 2,54 мм; при использовании шагового двигателя можно реализовать программный выбор шага. Непосредственный привод каретки осуществляется зубчатым ремнем или проволочным тросиком.

Датчик текущего положения каретки преобразует механическое перемещение ее вдоль строки в цифровой код. Конструктивно он выполняется в виде зубчатой рейки и фотодетектора или в виде диска на оси двигателя привода каретки. Информация от датчика поступает в блок управления (УУ) для выборки очередного символа из БЗУ. Управление работой двигателя аналогично описанному управлению перемещением шрифтоносителя. Однако на схему управления ШД здесь подаются сигналы вперед-назад и разрешения-запрещения движения от АЛУ и сигналы от датчика угла поворота двигателя. Сигнал вперед-назад служит командой на поворот ШД на один шаг, который соответствует перемещению каретки на расстояние одного интервала между соседними столбцами матрицы символа. Таким образом, если сигналы разрешения/запрещения формируются АЛУ, то предоставляется возможность каждому символу на бумаге ставить в соответствие различное число шагов поворота ШД, т.е. управлять плотностью расположения символов на бумаге.

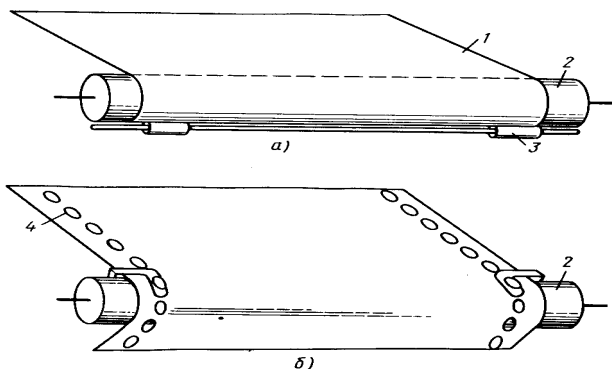


Рис.6.16. Узлы подачи бумаги.

Узел подачи бумаги (УПБ). Используется бумага трех типов: рулонная, фальцованная и в виде отдельных листов. Отдельные листы с ручной закладкой в ПЧУ используют в ПЭВМ. Перемещение бумаги I осуществляется посредством трения с помощью ведущего 2 и прижимного 3 роликов (рис.6.16,а), либо посредством зубчатой подачи (рис.6.16,б). Для зубчатой подачи используется бумага с отперфорированными по краям отверстиями 4. Зубчатый привод может быть реализован в виде зубчатых колес на ведущем валике для устройства средней производительности или двух зубчатых бесконечных ремней для устройств более высокой производительности. Зубчатая подача обеспечивает отсутствие проскальзывания между приводным механизмом и бумагой или между несколькими слоями бумаги при получении нескольких копий. Отсутствие проскальзывания позволяет сохранить постоянство размеров страницы при печати на длинных «лентах» бумаги, сравнительно просто реализовать управление вертикальным форматом.

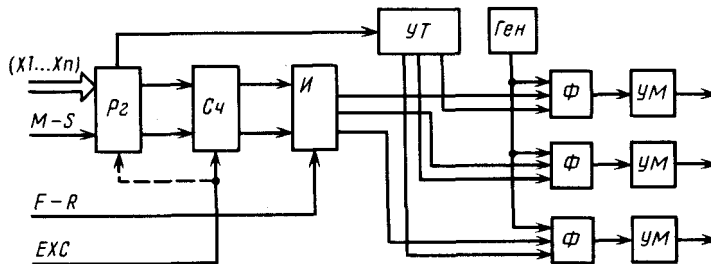


Рис.6.17. Схема управления шаговым двигателем.

В приводе бумаги также часто используются ШД, но с тремя парами обмоток статора, шаг которых составляет $3,75^\circ$ или $7,5^\circ$. Схемы управления такими ШД несколько проще; на рис.6.17 показан пример такой схемы. Код требуемого перемещения бумаги (X_1, \dots, X_n) и сигнал управления движением вперед-назад ($F-R$) подаются от логических схем контроллера на приемный регистр (P_2) и вентили управления направлением движения (I) соответственно. Кроме того, на схемы управления током ШД ($УТ$) поступает сигнал разрешения-запрещения перемещения ($M-S$). Удержание ротора ШД в стационарном состоянии осуществляется током $0,3$ А; перемещение — током около 1 А. Коммутация тока в обмотках осуществляется посредством счетчика ($Сч$), выполненного по схеме Джонсона, времяформирующих цепей (Φ) и усилителей мощности ($УМ$). На $Сч$ при повороте ШД на один шаг подается сигнал исполнения от датчика перемещения бумаги. Этот же сигнал используется для обновления содержимого $R_г$.

Буферные ЗУ служат для согласования скоростей приема информации из интерфейса и выполнения действий в устройстве. Минимальный объем БОЗУ — один символ. В современных ПЧУ объем БЗУ обычно соответствует двум строкам символов на бумаге и более. Это позволяет прием второй строки из машины совместить с печатью первой, а также выполнить ряд других функций.

Узел управления и синхронизации (УУ, рис. 6.13) выполняется обычно на основе специальных МП, называемых однокристалльных микроЭВМ. Такой МП включает (в одном корпусе) собственно процессорный блок, небольшое ПЗУ для хранения программ (объемом 2-4 Кбайт), ОЗУ объемом 128-256 байт для хранения промежуточных результатов и буферизации принимаемых символов, несколько портов ввода-вывода, счетчика-таймера, схемы прерываний и регистры задания режимов. Характерным примером МП может служить отечественный МП КР1816ВЕ. Порты ввода-вывода МП соединены со схемами управления регистрацией символа, перемещения каретки и бумаги, порт ввода служит для приема данных от схем сопряжения с интерфейсом.

Управление работой последовательных ПЧУ организуется с помощью системы приказов, которая, помимо приказов непосредственной печати, включает в себя приказы: ВК (CR) — возврат каретки, ПС (LF) — перевод строки, ПФ (FF) — перевод страницы, а также ряд дополнительных приказов по горизонтальной табуляции (ГТ), вертикальной табуляции (ВТ), переключению шрифтов, иницированию и отмене графического режима и т.д. Эти приказы в виде кодов управляющих символов передаются непосредственно в регистр данных ($R_гД$) узла сопряжения с интерфейсом и затем в буферную область ОЗУ МП. При считывании каждого кода из буферной области производится его анализ, в результате которого МП вырабатывает сигналы на блоки управления механизмами. Если считываемый код соответствует графическому символу, печать которого предусмотрена в данном устройстве, то этот код передается в узел регистрации. Если код соответствует пробелу, то МП формирует сигнал, имитирующий сигнал исполнения от узла регистрации, так как пробел печатать не надо; тем самым исключается перемещение шрифтоносителя (или остановка каретки для печати столбцов матрицы при матричном способе) и сокращаются общие затраты времени.

При обнаружении кодов символов ВК и ПС микропроцессор формирует соответствующие сигналы управления перемещением каретки или бумаги. Приказы ПФ, ВТ, ГТ и другие вызывают переход к подпрограммам в МП для выполнения соответствующих действий и выработки

последовательности управляющих сигналов. Приказ ГТ позволяет использовать последовательность символов для установки начальной и конечной позиций строки (размеры полей), установки определенных фиксированных значений перемещения каретки и т.п. Чтобы выполнить приказ ВТ, необходимо в памяти МП иметь описание или «образ» страницы. Вертикальная табуляция позволяет программе задавать формат страницы и расположение текста на ней по вертикали.

Более сложные команды, например, смена кодовой таблицы, загрузка пользовательской кодовой таблицы, переключение в графический режим, изменение плотности печати и т.п., производится специальными кодовыми последовательностями, начинающимися символом ESC или AP2. Набор выполняемых печатающим устройством команд приводится в инструкциях по эксплуатации. Как правило этот набор команд соответствует набору команд принтеров фирм IBM или Epson.

Повышение производительности последовательных ПЧУ может быть достигнуто за счет уменьшения длины холостых перемещений каретки. В простейшем случае сигнал на возврат каретки в начальное положение формируется при обнаружении в последовательности кода ВК и при достижении последней позиции печати на строке. В этом случае каретка возвращается назад, причем время на ее возврат $T_{вк}$ пропорционально длине пути (т.е. числу напечатанных символов N_i и постоянной времени T_k , определяемой характеристиками привода каретки, $T_{вк} = T_k N_i$, после этого следующая строка начинает печататься с первой позиции. Если вторую строку печатать с конца, то каретку необходимо переместить на расстояние, соответствующее разности длин строк n_1 и n_2 . Обычно строки заполняются равномерно и разность $|n_1 - n_2|$ составляет в среднем не более 1÷3 символов.

При типичных значениях $T_k = 3$ мс, длине строки 60 символов и времени перевода строки $T_c = 100$ мс достигается повышение производительности на 30%. Для реализации перемещения каретки в двух направлениях буферная область МП должна включать в себя два участка, каждый размером в одну строку. В момент заполнения первого участка буферной области фиксируется (путем анализа пробелов) номер последней занятой ячейки, соответствующий значению n_1 . Затем аналогично определяется длина второго участка буферной области n_2 . Определив разность ($n_1 - n_2$), МП вырабатывает сигнал на печать с начала или конца строки в соответствии с минимальным перемещением каретки. Участки буферной области при приеме каждой очередной строки переключаются. В более простом случае этот анализ может не производиться, но смежные строки будут печататься в разных направлениях; причем каретка каждый раз будет перемещаться до конца (или начала при печати в обратном направлении) ширины страницы.

В табл.6.9 приведены характеристики некоторых типичных последовательных ПЧУ первого поколения с микропроцессорным управлением. Для привода каретки и бумаги использованы ШД.

Таблица 6.9. Характеристики последовательных ПЧУ.

Модель	СМ6302	ЕС7145.01	СМ6317	IBM6640	Series 2000
Быстродействие, знаков/с	180	165	40	92	160
Способ формирования символа	матрица 9x7	матрица 11x9	лепестковая 96 символов	матрица 24x40	матрица 5x10
Способ регистрации	Ударный	Ударный	Ударный	Струйный	Термический

6.5.4.2. Печатающие устройства последовательного типа для РС.

Наиболее распространенными последовательными принтерами для РС в настоящее время являются *игольчатые* и *струйные*, которые используют матричный принцип формирования изображения символа. Для цветной печати фотографического качества используют также разновидность современных термопечатающих устройств – сублимационные и термовосковые принтеры.

Игольчатый принтер относится к печатающим устройствам ударного типа. Он формирует знаки несколькими иглами, расположенными в головке принтера.

Механика подачи бумаги имеет обычную схему — бумага втягивается с помощью вала; между бумагой и головкой принтера располагается красящая лента. При ударе иглол по этой ленте на бумаге остается окрашенный след.

Иголочки, расположенные внутри головки, обычно приводятся в действие электромагнитами. Головка перемещается по горизонтальным направляющим с помощью шагового двигателя.

В первых игольчатых принтерах в головке принтера находилось 9 иглол, затем появились 18-игольчатые принтеры. В настоящее время большинство фирм-изготовителей перешли на производство 24-игольчатых принтеров.

Благодаря горизонтальному движению головки принтера и активизации отдельных иглол

напечатанный знак образует как бы матрицу, причем отдельные буквы, цифры и знаки записаны в память принтера (ПЗУ) в виде бинарных кодов. Поэтому головка принтера "знает", какие иголки и в каких комбинациях необходимо активизировать, чтобы, например, создать за 10 шагов головки букву "К" (см. рис. 6.18).

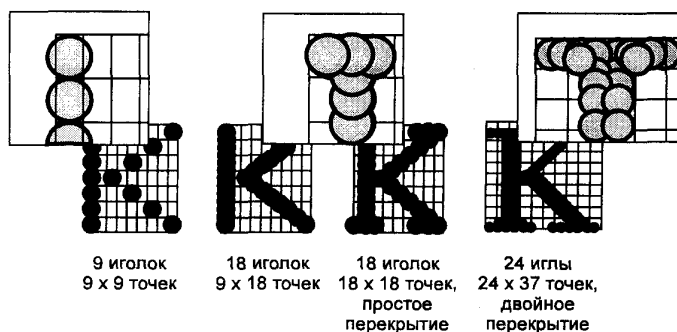


Рис. 6.18. Матрица для буквы "К" в зависимости от количества иголок в головке принтера и режима печати.

Так как напечатанные знаки внешне представляют собой матрицу, а воспроизводит эту матрицу игольчатый принтер, то зачастую его называют *матричным* принтером.

Хотя наличие девяти иголок в головке принтера обеспечивает высокую скорость печати, высокого качества достичь не удастся.

В 24-игольчатых принтерах (сегодняшний стандарт матричных принтеров) используется технология последовательного расположения иголок в два ряда по 12 иголок. Вследствие того, что иголки в соседних рядах сдвинуты по вертикали, точки на распечатке перекрываются таким образом, что их невозможно различить.

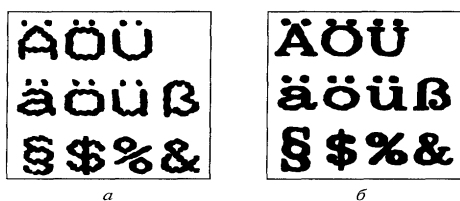


Рис. 6.19. Типичные знаки, полученные на 9-игольчатом (а) и 24-игольчатом (б) принтере (увеличение).

Также имеется возможность прохода головки дважды для каждой строки, чтобы знаки пропечатались еще раз с небольшим смещением. Изображение буквы, возникающее таким образом, только при тщательном рассмотрении можно идентифицировать как "произведение" игольчатого принтера. Поэтому такое качество печати обозначают как LQ, что является сокращением от Letter Quality (высокое качество). Несколько худшую по качеству печать соответственно обозначают NLQ (Near Letter Quality) (см. рис. 6.19).

Таблица 6.10. Параметры 24-игольчатых принтеров

	Citizen Swift24e	Epson LQ2550	Fujitsu DL1100	NEC P6+	OKI ML 380
Диаметр иголки, мм				0,2	0,2
Срок службы головки, млн.знаков	200		200		100
Скорость печати, cps	216	400	240	265	180
Разрешение, dpi	360x360	360x360	360x360	360x360	180x360
Объем памяти. Кбайт	8	8	0,256	80	32
Уровень шума, дБ	55	55	52		58
Срок службы красящей ленты, млн.знаков	2	3	2		3

При работе в режиме LQ скорость печати уменьшается незначительно, так как головка печатает при движении в обоих направлениях: как слева направо, так и справа налево.

В таблице 6.10. приведены характеристики некоторых моделей 24-игольчатых принтеров.

Струйные принтеры

Качество печати струйного принтера лишь немногим уступает качеству печати лазерных принтеров, при этом финансовые затраты аналогичны затратам при покупке матричного принтера. Эти принтеры идеально подходят для домашнего применения, потому что работают они тихо и просты в обслуживании, как и многие другие домашние приборы.

Принцип работы струйных принтеров

В струйных принтерах для формирования изображения используются специальные сопла, через которые на бумагу подаются чернила. Тонкие, как волос, сопла находятся на головке принтера, где установлен резервуар с жидкими чернилами, которые, как микрочастицы, переносятся через сопла на материал носителя. Число сопел зависит от модели принтера и его изготовителя. Обычно их бывает от 16 до 64. Некоторые последние модели имеют гораздо большее число сопел, например, головка принтера *DeskJet 1600* имеет 300 сопел для черных чернил и 416 — для цветных.

Поскольку образ символа воспроизводится с использованием всех задействованных сопел одновременно, в качестве параметра, определяющего скорость печати, в струйных принтерах также принято считать количество символов в секунду (cps), хотя в рекламных проспектах скоростью печати называют число страниц, печатаемых в минуту.

Хранение чернил осуществляется двумя методами:

- головка принтера является составной частью патрона с чернилами, замена патрона с чернилами одновременно связана с заменой головки;
- используется отдельный сменный резервуар, который через систему капилляров обеспечивает чернилами головку принтера.

Фирмы-изготовители реализуют различные способы нанесения чернил на бумагу:

- пьезоэлектрический метод;
- метод газовых пузырей;
- метод drop-on-demand.

Пьезоэлектрический метод. Для реализации этого метода в каждое сопло установлен плоский пьезокристалл, связанный с диафрагмой. (развитие метода, рассмотренного в разделе 6.5.2). Как известно, под воздействием электрического поля происходит деформация пьезоэлемента.

При печати находящийся в трубке пьезоэлемент, сжимая и разжимая трубку, наполняет капиллярную систему чернилами. Чернила, которые отжимаются назад, перетекают обратно в резервуар, а чернила, которые "выдавлились" наружу, оставляют на бумаге точку (см. рис.6.20). Подобные устройства выпускают компании *Epson, Brother* и др

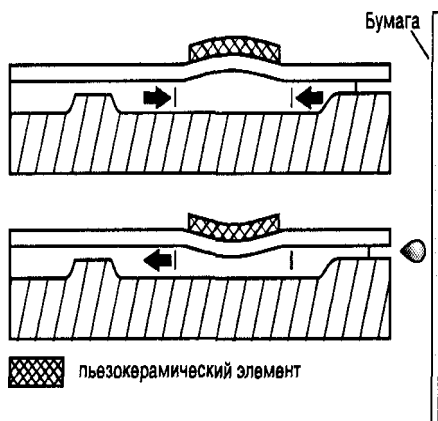


Рис. 6.20. Подача чернил через сопло с пьезоэлементом.

Метод газовых пузырей. Второй способ базируется на термическом методе и больше известен под названием Bubblejet (инжектируемые пузырьки). При использовании этого метода каждое сопло оборудовано нагревательным элементом, который при пропускании через него тока за несколько микросекунд нагревается до температуры около 500°C. Возникающие при резком нагревании газовые пузыри (bubbles) стараются вытолкнуть через выходное отверстие сопла необходимую порцию (каплю) жидких чернил, которые переносятся на бумагу (см. рис.6.21). При отключении тока нагревательный элемент остывает, паровой пузырь уменьшается и через входное отверстие поступает новая порция чернил. Подобную технологию использует фирма Canon.

Благодаря тому, что в механизмах печати, реализованных с использованием метода газовых пузырей, меньше конструктивных элементов, такие принтеры надежнее в работе и срок их

эксплуатации более продолжителен. Кроме того, использование этой технологии позволяет добиться наиболее высокой разрешающей способности принтеров. Обладая высоким качеством при прорисовке линий, данный метод имеет недостаток при печати областей сплошного заполнения: они получаются несколько расплывчатыми. Применение метода газовых пузырей целесообразно при печати графиков, гистограмм и т. п., тогда как печать полутоновых графических изображений получается более качественной при использовании метода drop-on-demand.

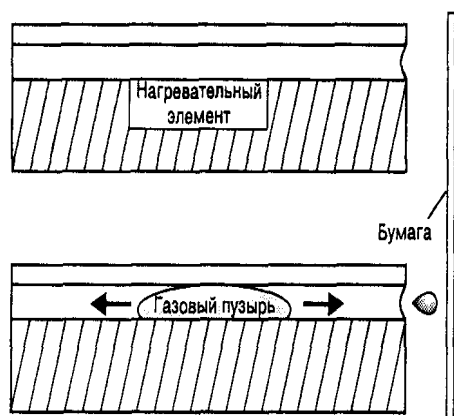


Рис. 6.21. Подача чернил по методу газовых пузырей.

Метод drop-on-demand. Третий метод, разработанный фирмой Hewlett-Packard, называется

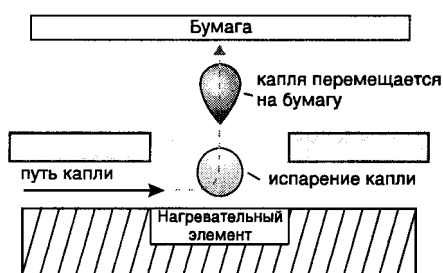


Рис. 6.22. Подача чернил по методу drop-on-demand.

методом drop-on-demand. Так же как в методе газовых пузырей, здесь для подачи чернил из резервуара на бумагу используется нагревательный элемент. Однако при этом дополнительно используется специальный механизм (рис. 6.22).

Технология drop-on-demand обеспечивает наиболее быстрый впрыск чернил, что позволяет существенно повысить качество и скорость печати. Цветовое представление изображения в этом случае более контрастно.

Цветные струйные принтеры.

Способность струйных принтеров создавать цветное изображение привела к их широкому распространению.

Цветная печать с помощью игольчатых принтеров не дает желаемого качества. Использование для этой цели других типов принтеров, лазерных или термических, многим обычным пользователям не по карману. Применение же чернил различного цвета является недорогой, но все же качественной альтернативой.

Обычно цветное изображение формируется при печати наложением друг на друга изображений трех основных типографских цветов: голубого (cyan), пурпурного (magenta) и желтого (yellow). Хотя, теоретически, наложение этих трех цветов 100%-насыщенности должно в итоге давать черный цвет, на практике в большинстве случаев получается серый или коричневый. Потому в качестве четвертого основного цвета добавляют еще и черный (black). Такую цветовую модель называют CMYB.

По этой причине в новых моделях струйных принтеров применяется не три, а четыре цветных патрона для создания цвета (дополнительный патрон с чернилами черного цвета). Благодаря этому появилась возможность широкого использования таких принтеров для обычной печати текстов и черно-белых графических изображений с одновременной экономией цветных чернил.

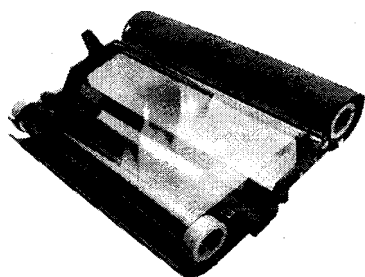
В табл.6.11 представлены основные параметры некоторых струйных принтеров.

Таблица 6.11. Основные параметры некоторых струйных принтеров

	Canon BJC-70	HP DeskJet 660C	HP DeskJet 1600CM	Epson Stylus Color
Число сопел (монохромных/цветных)	64/64	48/48	300/416	64/48
Максимальное разрешение, dpi	360x360	600x600	600x600	720x720
Объем памяти (стандарт/максимум), Мбайт	0,035/0,035	0,512/0,512	6/70	
Скорость печати в черновом режиме, стр./мин	4	4	9	8
Скорость печати в режиме улучшенного качества, стр./мин		1 (монохр.) 3(цветн.)	8	

Сублимационные и термовосковые принтеры

Для получения цветного изображения с качеством, близким к фотографическому, или для изготовления допечатных цветных проб используют сублимационные и термовосковые принтеры, или, как их еще называют, цветные принтеры высокого класса. Имеются принтеры, которые совмещают в себе технологию сублимационной и термовосковой печати. Такие принтеры позволяют печатать на одном устройстве как черновые, так и чистовые оттиски.

**Рис. 6.23.** Кассета с пленкой сублимационного принтера *NEC Superscript Color 3000*.

Общим для сублимационной и термовосковой технологий является нагрев красителя и перенос его на бумагу (пленку) в жидкой или газообразной фазе. Многоцветный краситель, как правило, нанесен на тонкую лавсановую пленку толщиной 5 мкм (рис. 6.23). Пленка перемещается с помощью лентопротяжного механизма, который конструктивно похож на аналогичный узел игольчатого принтера. Матрица нагревательных элементов за 3—4 прохода формирует цветное изображение.

Таблица 6.12. Основные параметры принтеров с термпереносом красителя.

	Fargo PrimeraPro Color Printer	General Parametrics Spectra*Star DSx	Tektronix Phaser 220i
Формат	A	A	A
Технология печати	Сублимационная/ Термовосковая	Сублимационная	Термопластичная
Максимальное разрешение, dpi	600x300	300x300	300x600
Объем памяти (станд./макс.), Мбайт	0,032/0,032	16/96	10/14
Скорость цветной печати, стр/мин	0,1 (сублимац.) 0,6 (термовоск.)	0,6	0,7
Процессор	использует CPU PC	33 МГц Intel 80960	16 МГц AMD 29000

Отличие термовосковой печати от сублимационной заключается в том, что в первом случае пленка покрыта воскоподобной мастикой, а во втором — специальным красителем.

Термовосковые принтеры переносят краситель, растворенный в воске, на бумагу, нагревая ленту с цветным воском. Как правило, для подобных принтеров необходима бумага со специальным покрытием. Термовосковые принтеры обычно используются для красочной печати деловой графики.

При сублимационной печати осуществляется перевод красителя в газообразное состояние путем нагрева ленты. Этот газ затем поглощается полистирольным покрытием специальной бумаги. Диффузионный перенос красителя обеспечивает получение высококачественного цветного изображения без видимых тональных переходов.

Впервые сублимационная технология была успешно реализована фирмой Tektronix в принтерах серии *Phaser*. Будучи одной из самых прогрессивных технологий в мире цветной печати, цветная сублимационная технология является идеальным средством обеспечения фотографического качества изображения.

Ученые используют такие принтеры при решении задач спектрального анализа. В некоторых странах сублимационные принтеры используют для анализа почв в сельскохозяйственных целях. Очевидны практически неограниченные прикладные возможности технологии, обеспечивающей с помощью компьютерных средств достижение фотографического качества изображения.

Основные параметры принтеров с термпереносом красителя представлены в табл. 6.12.

6.5.5. Параллельные ПЧУ.

Они предназначаются для одновременного формирования изображений всех символов одной строки на бумаге. При использовании ударного способа регистрации большинство параллельных ПЧУ относятся к классу полнопрофильных. В качестве шрифтоносителя в них используются барабаны и бесконечные ленты (цепи, ремни). Быстродействие таких устройств определяется числом строк в минуту. В наиболее производительных ПЧУ используется предварительное формирование скрытого изображения на поверхности промежуточного носителя с последующим построчным переносом на бумагу (например, лазерные принтеры). Быстродействие такого рода ПЧУ определяют числом страниц в минуту.

6.5.5.1. Структурная схема.

Рассмотрим ранее наиболее распространенные параллельные ПЧУ. При использовании барабана в качестве шрифтоносителя параллельное ПЧУ можно рассматривать как совокупность элементарных устройств, способных формировать изображение символа только в одной позиции на строке. Шрифтоносителем элементарного устройства является колесо с литерами. Совокупность отдельных колес, число которых соответствует числу символов в строке, образует барабан. При вращении барабана литеры последовательно оказываются в позиции печати. Барабан имеет общий для всех колес датчик текущего положения. Сравнение кодов символа, подлежащего печати, и символа, полученного с датчика текущего положения барабана, производится для каждой позиции строки независимо. Это сравнение может производиться отдельными схемами либо одной схемой на основе разделения времени. Печать полной строки завершается за один оборот барабана.

Шрифтоноситель в виде бесконечной ленты, цепи или ремня обладает рядом преимуществ по сравнению с барабаном: его легко заменить, что дает возможность замены шрифтов; при ограниченном алфавите на ленте можно разместить несколько наборов литер и за счет этого увеличить скорость печати; менее заметны дефекты, присущие печати «на лету», так как они проявляются в виде менее воспринимаемых глазом человека непостоянных интервалов между символами строки, а не в виде неровностей расположения их вдоль строки как при барабане; скорость движения ленты может быть несколько меньше скорости движения барабана, так как перемещение ленты происходит вдоль короткой стороны символа (соотношение длины и ширины символа составляет 4:3).

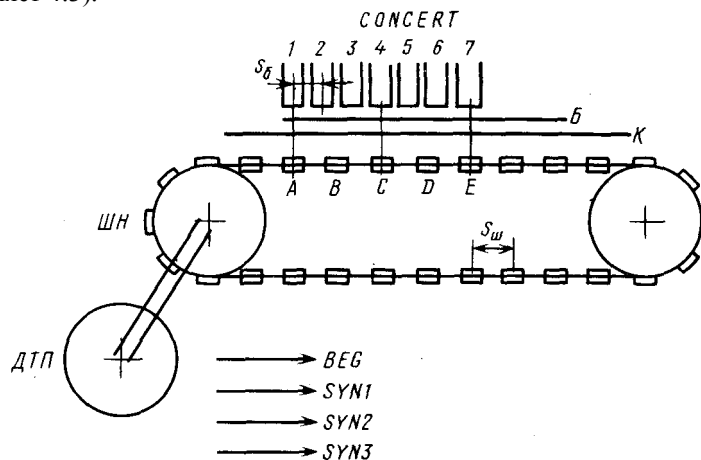


Рис.6.24. Параллельное ПЧУ со шрифтоносителем в виде бесконечной ленты.

Однако, поскольку в положении печати для различных позиций строки одновременно находятся разные литеры, управление таким ПЧУ усложняется. Кроме того, должны быть предусмотрены специальные меры, предотвращающие вибрацию шрифтоносителя и его вытягивание при движении.

Вследствие ряда конструктивных ограничений шаг между отпечатками символов на бумаге S_b (обычно $S_b = 2,5$ мм) несколько меньше шага между литерами на шрифтоносителе $S_{ш}$. Наиболее распространенным является соотношение $S_{ш} - S_b = 3:2$ (рис.6.24). Номера позиций строки и соответствующие молоточки обозначены цифрами. Печать происходит при ударе молоточка по бумаге B , красящей ленте K и литере.

Пусть должно быть отпечатано слово CONCERT, начиная с первой позиции строки, и пусть первая литера соответствует букве А, а все последующие располагаются в алфавитном порядке. С приводом шрифтоносителя (ШН) механически связан датчик текущего положения (ДТП), представляющий собой преобразователь перемещения в цифровой код. На выходе этого датчика формируются сигналы ВЕГ, когда литера А находится напротив молоточка 1, и сигналы SYN1, SYN2 и SYN3, когда литеры находятся напротив молоточков 1, 2 и 3 соответственно. Очевидно, что если какая-либо литера с порядковым номером X находится в первой позиции строки (напротив молоточка 1), то в позициях $1+3i$ находятся литеры с порядковыми номерами $X+2i$, здесь $i = 0, (S-1)/3$, где S — число символов в строке.

Печать символа в любой позиции строки производится в тот момент, когда напротив молоточка находится соответствующая литера ШН. Таким образом, весь процесс печати строки можно представить рядом последовательных циклов, которые реализуются посредством схемы, показанной на рис.6.25. В состав устройства управления входят БЗУ образа шрифтоносителя (БЗУ ШН), в последовательных ячейках которого в порядке расположения литер на шрифтоносителе хранятся коды символов, соответствующие этим литерам; БЗУ строки (БЗУ Ст), ячейки которого соответствуют позициям на строке и содержат коды символов, подлежащих печати, а также схема сравнения (СС), регистры кода литеры $P_{гЛ}$ и кода символа $P_{гС}$, схемы адресации и управления БЗУ и распределения сигналов на электромагниты молоточков (дешифраторы ДШ, счетчики $S_{ч}$, коммутаторы K).

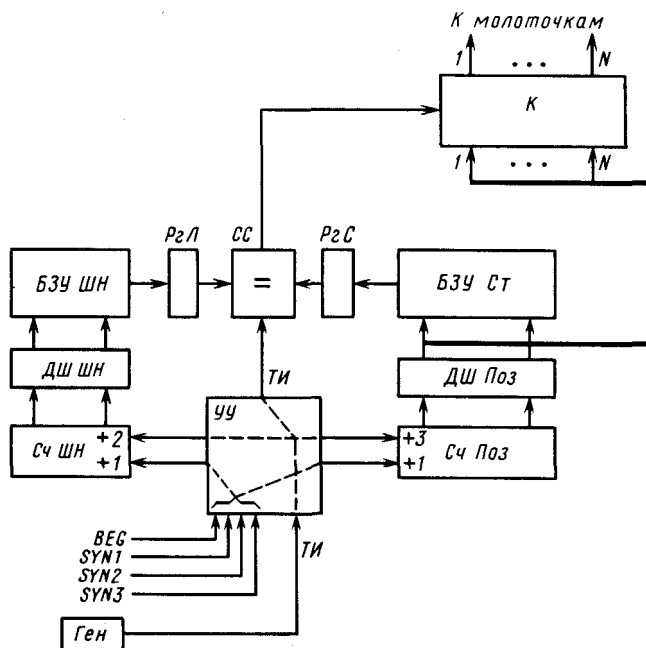


Рис. 6.25. Схема печати символа в любой позиции.

Сигнал ВЕГ устанавливает счетчики управления БЗУ шрифтоносителя (СчШН) и управления БЗУ строки (СчПоз) в исходное состояние, которое соответствует положению литеры А в первой позиции строки. Одновременно с сигналом ВЕГ формируется сигнал SYN1, начинающий первый цикл опроса БЗУ. Вначале из БЗУ ШН выбирается содержимое первой ячейки, т.е. код литеры А; из БЗУ Ст — содержимое второй ячейки, в данном примере код символа С. Эти коды сравниваются схемой СС, и поскольку, они не совпали, то сигнал на выходе этого блока отсутствует. Затем с частотой тактового генератора Ген последовательно опрашиваются третья ячейка БЗУ ШН и четвертая ячейка БЗУ Ст, пятая ячейка БЗУ ШН и седьмая ячейка БЗУ Ст и т.д. В данном примере при опросе третьей ячейки БЗУ ШН и четвертой ячейки БЗУ Ст выявляется совпадение кодов С, при этом схема СС сформирует сигнал, который через коммутатор-селектор (К) поступает на электромагнит четвертого молоточка и на бумаге получается оттиск буквы С в четвертой позиции строки. После завершения первого цикла сформируется сигнал SYN2, означающий, что литера В оказалась в позиции 2 (см.рис.6.18). Затем цикл повторяется, но для ячеек $2+2i$ БЗУ ШН и $2+3i$ БЗУ Ст. После формирования сигнала SYN3 цикл вновь повторяется. Полный анализ состояния готовности печати в каждой позиции строки требует трех циклов опроса БЗУ. Чтобы напечатать всю строку, такой анализ

выполняется для каждого символа алфавита на ШН. При переходе от цикла к циклу по сигналам SYN в счетчики Сч ШН и Сч Поз добавляется 1.

В схеме управления ПчУ обычно предусматривается специальный регистр исполнения РгИ (на рисунке не показан). Длина РгИ соответствует длине строки; перед началом печати строки он сбрасывается в нуль. Единицы в каждом его разряде устанавливаются в двух случаях — при срабатывании соответствующего электромагнита молоточка в момент удара или при обнаружении в соответствующей ячейке БЗУ Ст кода пробела; таким образом, если все разряды РгИсп содержат единицы, то печать строки закончена. Наличие РгИсп позволяет ускорить формирование сигнала о завершении печати и выявить некоторые ошибки печати, например, наличие ненапечатанных символов.

Поскольку шрифтоноситель движется непрерывно, за время цикла опроса БЗУ происходит смещение положения литеры относительно позиции строки. Для компенсации этого смещения шаг шрифтоносителя увеличивается на величину смещения, т.е.

$$S_{\text{шн}} = 3/2 S_0 + V_{\text{шн}} T,$$

где $V_{\text{шн}}$ — линейная скорость перемещения шрифтоносителя, T — период тактовых сигналов генератора Ген.

6.5.5.2. Система приказов параллельного ПчУ.

Все приказы можно разбить на четыре группы: печати, управления форматом, начальной загрузки и контроля.

Приказы печати служат для загрузки строки символов в БЗУ Ст, запуска автономных схем управления печатью, перемещения бумаги на заданное число шагов после завершения печати строки. Модификации этих приказов определяют лишь различия в числе шагов перемещения бумаги.

Приказы управления форматом устанавливают величину перемещения (протяжки или прогона) бумаги без печати. Модификации этих приказов позволяют задавать протяжку бумаги на 1,2 или 3 строки или прогон бумаги в соответствии с одной из «программ». Программы управления прогоном в большинстве параллельных ПчУ представляют собой последовательность пробивок на одной из дорожек кольцевой перфоленты, перемещаемой вместе с бумагой (длина ПЛ кратна длине страницы). Приказ прогона определяет лишь номер такой дорожки. Каждая пробивка на дорожке перфоленты воспринимается датчиком, сигнал от которого приводит к остановке механизма перемещения бумаги. Сигналы с определенных дорожек перфоленты используются как указания о завершении печати последней строки на странице (конец формата) и как сигнал физического конца страницы. По этим сигналам в РгС устанавливаются соответствующие указатели.

Приказы начальной загрузки служат для загрузки кодов в БЗУ ШН в соответствии с установленным в устройстве шрифтоносителем. Эти приказы определяют операции подготовки БЗУ к загрузке и собственно загрузку.

Приказы контроля позволяют опросить регистры состояния и уточненного состояния устройства, а также проверить соответствие содержимого БЗУ ШН установленному на устройстве шрифтоносителю. Проверка выполняется путем поиска в БЗУ ШН специфических для данного набора кодов символов.

В процессе вывода текста из ОП машины информация построчно заносится в БЗУ Ст параллельного ПчУ. Сигнал о завершении передачи строки формируется либо программно, если строка неполная, либо аппаратно при заполнении БЗУ Ст. Сигнал завершения передачи используется устройством для инициирования действия по печати принятой строки и устанавливает указатель заполнения буфера в РгС, формируемый при этом сигнал приостанавливает передачу. Программа управления выводом ожидает установки указателя исполнения печати в РгС, после получения которого осуществляется вывод следующей строки. Более подробно взаимосвязь аппаратных средств ПчУ и программных средств машины можно описать только для конкретных архитектур СВВ.

В табл.6.13 приведены основные характеристики некоторых параллельных ПчУ. Все эти устройства являются полнопрофильными и используют ударный способ регистрации.

Таблица 6.13. Характеристики некоторых параллельных ПчУ.

Модель АЦПУ	Быстродействие, строк/мин	Тип шрифто-	Длина строки	Набор символов
СМ 6361	1000	лента	132	64/96
ЕС 7038	700/1300	лента	132	96/140
ЕС 7039	900/1200/1500	цепь	132,160	48 / 64 / 96

Наивысшим быстродействием обладают параллельные ПчУ (страничного типа) с электрофотографическим и феррографическим способами регистрации. Так, лазерное ПчУ СМ 6314 обладает быстродействием 8-12 страниц формата А4 в минуту при длине строки 80/60 символов и

обеспечивает возможность печати 192 различных символов. Лазерное ПЧУ ЕС 7230 обладает быстродействием 20 страниц/мин, а ЕС 7231 — до 140 страниц/мин; феррографическое ПЧУ 9700 фирмы XEROX — до 600 страниц/мин. Разрешающая способность этих устройств составляет 75-95 точек/мм по горизонтали и 50-70 точек/мм по вертикали, все они обладают квазиграфическими возможностями.

6.5.6. Устройства постраничной печати для РС.

В качестве устройств постраничной печати наибольшее распространение в настоящее время получили *лазерные принтеры*.

6.5.6.1. Краткая история развития лазерного принтера.

Толчком к созданию первых лазерных принтеров послужило появление , новой технологии, разработанной фирмой Canon. Специалистами этой фирмы, специализирующейся на разработке копировальной техники, был создан механизм печати LBP-CX. Фирма Hewlett-Packard в сотрудничестве с Canon приступила к разработке контроллеров, обеспечивающих совместимость механизма печати с компьютерными системами PC и UNIX. Принтер *HP LaserJet* впервые был представлен в начале 1980-х годов. Первоначально конкурируя с лепестковыми и матричными принтерами, лазерный принтер быстро завоевал популярность во всем мире. Другие компании-разработчики копировальной техники вскоре последовали примеру фирмы Canon и приступили к исследованиям в области создания лазерных принтеров. Toshiba, Ricoh и некоторые другие менее известные компании тоже были вовлечены в этот процесс. Однако успехи фирмы Canon в области создания высокоскоростных механизмов печати и сотрудничество с Hewlett-Packard позволили им добиться поставленной цели. В результате на рынке лазерных принтеров модель *LaserJet* вплоть до 1987-88 годов занимала доминирующее положение.

Следующей вехой в истории развития лазерного принтера явилось использование механизмов печати с большей разрешающей способностью под управлением контроллеров, обеспечивающих высокую степень совместимости устройств.

Другим важным событием явилось появление цветных лазерных принтеров. Фирмы XEROX и Hewlett-Packard (далее сокращенно называемая HP) представили новое поколение принтеров, которые использовали язык описания страниц PostScript Level 2, поддерживающий цветное представление изображения и позволяющий повысить как производительность печати, так и точность цветопередачи. Язык принтера PCL 6 также поддерживает расширенные цветовые возможности представления изображений для принтеров серии *HP Color LaserJet*.

6.5.6.2. Лазерные технологии печати

Доминирующими для лазерных принтеров являются электрофотографическая и светодиодная (LED, Light Emitting Diode) технологии. Электрофотографическая технология подобна используемой в копировальных аппаратах. В светодиодной технологии в качестве оптического устройства, формирующего изображение, используются светодиоды (исторически светодиодные принтеры относятся к классу лазерных). Светодиодная технология, как правило, находит применение в широкоформатных принтерах (до 36 дюймов). Электрофотографическая технология обычно используется в настольных и офисных лазерных принтерах.

Формирование изображения. Лазерные принтеры формируют изображение путем позиционирования точек на бумаге (растровый метод). Первоначально страница формируется в памяти принтера и лишь затем передается в механизм печати. Растровое представление символов и графических образов производится под управлением контроллера принтера. Каждый образ формируется путем соответствующего расположения точек в ячейках сетки или матрицы, как на шахматной доске (рис. 6.26).

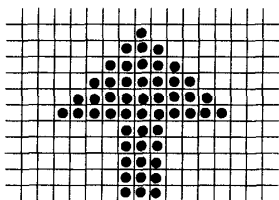


Рис 6.26. Растровый метод формирования образа.

Принцип действия. Лазерные принтеры используют технологию фотокопирования, называемую еще электрофотографической (см. раздел 6.5 2), которая заключается в точном позиционировании точки на странице посредством изменения электрического заряда на специальной пленке из фотопроводящего полупроводника.

Подобная технология печати применяется в ксероксах. Принтеры фирм HP и QMS, например, используют механизм печати ксероксов фирмы Canon.

Важнейшим конструктивным элементом лазерного принтера является вращающийся фотобарабан, с помощью которого производится перенос изображения на бумагу (рис.6.27).

Фотобарабан представляет собой металлический цилиндр, покрытый тонкой пленкой из фотопроводящего полупроводника (обычно оксид цинка). По поверхности барабана равномерно распределяется статический заряд с помощью тонкой проволоки или сетки, называемой коронирующим проводом. На этот провод подается высокое напряжение, вызывающее возникновение вокруг него светящейся ионизированной области, называемой короной.

Лазер, управляемый микроконтроллером, генерирует тонкий световой луч, отражающийся от

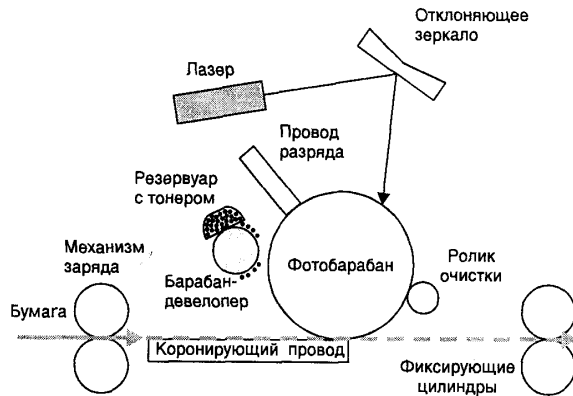


Рис. 6.27. Функциональная схема лазерного принтера

вращающегося зеркала. Этот луч, попадая на фотобарабан, засвечивает на нем элементарные площадки (точки), и в результате фотоэлектрического эффекта в этих точках изменяется электрический заряд. Для некоторых типов принтеров потенциал поверхности барабана уменьшается от -900 до -200 В. Таким образом, на фотобарабане возникает копия изображения в виде потенциального рельефа.

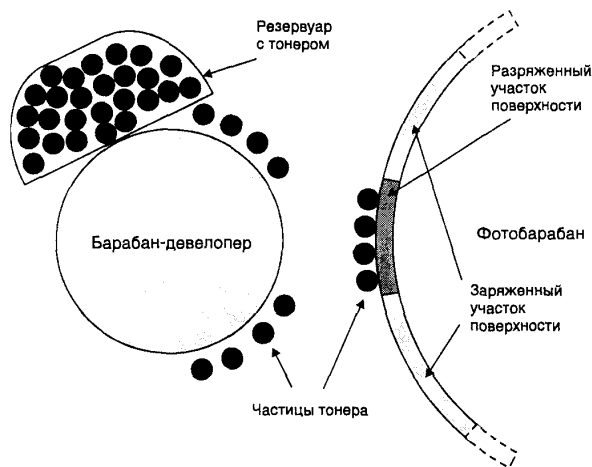


Рис. 6.28. Создание копии изображения на фотобарабане.

На следующем рабочем шаге с помощью другого барабана, называемого девелопером (developer), на фотобарабан наносится тонер — мельчайшая красящая пыль. Под действием статического заряда барабана мелкие частицы тонера легко притягиваются к поверхности барабана в точках, подвергшихся экспозиции, и формируют на нем изображение (рис. 6.28).

Лист бумаги из подающего лотка с помощью системы валиков перемещается к барабану (рис. 6.29). Затем листу сообщается статический заряд, противоположный по знаку заряду засвеченных точек на барабане. При соприкосновении бумаги с барабаном частички тонера с барабана переносятся (притягиваются) на бумагу.

Для фиксации тонера на бумаге листу вновь сообщается заряд и он пропускается между двумя роликами, нагревающими его до температуры около 180° — 200° С. После собственно процесса печати барабан полностью разряжается, очищается от прилипших частиц тонера и готов для нового цикла печати. Описанная последовательность действий происходит очень быстро и обеспечивает высокое качество печати.

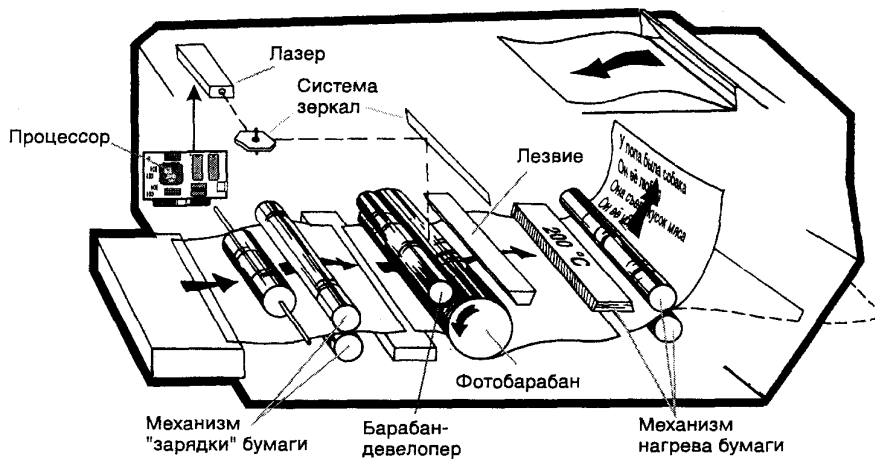


Рис. 6.29. Обобщенная схема работы лазерного принтера.

В светодиодном принтере для засвечивания барабана вместо лазерного луча, управляемого с помощью системы зеркал, используется неподвижная светодиодная строка (линейка), состоящая из 2500 светодиодов, которой формируется не каждая точка изображения, а целая строка (рис. 6.30). На этом принципе, например, работают лазерные принтеры фирмы OKI.

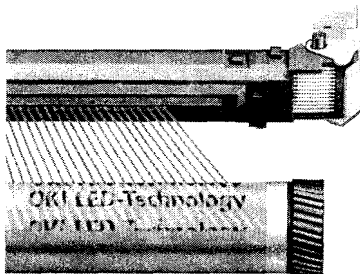


Рис. 6.30. Формирование изображения с помощью LED-технологии.

Цветная печать. При печати на цветном лазерном принтере используются две технологии.

В соответствии с первой, широко используемой до недавнего времени, на фотобарабане последовательно для каждого отдельного цвета (Cyan, Magenta, Yellow, Black) формировалось соответствующее изображение, и лист печатался за четыре прохода, что, естественно, сказывалось на скорости и качестве печати.

В современных моделях (например, *HP Color LaserJet 5*) в результате четырех последовательных прогонов на фотобарабан наносится тонер каждого из четырех цветов. Затем при соприкосновении бумаги с барабаном на нее переносятся все четыре краски одновременно, образуя нужные сочетания цветов на отпечатке. В результате достигается более ровная передача цветовых оттенков, почти такая же, как при печати на цветных принтерах с термопереносом красителя.

Соответственно в цветных лазерных принтерах используются четыре емкости для тонеров. Принтеры этого класса оборудованы большим объемом памяти, процессором и, как правило, собственным винчестером. На винчестере содержатся разнообразные шрифты и специальные программы, которые управляют работой, контролируют состояние и оптимизируют производительность принтера. Цветные лазерные принтеры имеют довольно крупные габариты и большую массу.

Технология процесса цветной лазерной печати весьма сложна, поэтому и цены на цветные лазерные принтеры еще очень высоки.

В настоящее время даже дорогие модели цветных лазерных принтеров не дают идеального фотографического качества. Для этой цели лучше воспользоваться термическими принтерами.

6.5.6.3. Основные характеристики лазерных принтеров.

Лазерный принтер является сложным оптико-механическим устройством, которое, независимо от конструктивного исполнения, характеризуется большим количеством различных параметров. С потребительской точки зрения все параметры можно разбить на группы, определяющие:

- качество печати;
- скорость печати;
- удобство в эксплуатации;
- экономичность работы;
- дополнительные возможности.

6.5.6.3.1. Качество печати

Качество печати лазерного принтера, в первую очередь, определяется:

- разрешающей способностью механизма печати;
- интерполяционными возможностями;
- качеством тонера;
- языком принтера;
- используемым драйвером.

Разрешающая способность механизма печати. Под разрешающей способностью лазерного принтера понимают количество точек, которое способен воспроизвести механизм печати в области, площадь которой равняется квадратному дюйму. Чем выше разрешающая способность, тем выше качество печати. Этот параметр измеряется количеством точек на дюйм (*dots per inch, dpi*) и является очень удобной характеристикой для сравнения принтеров. Принтеры *HP LaserJet 4L* имеют разрешение 300x300 точек на дюйм. Это означает, что на каждый дюйм изображения приходится триста точек. Специалистам фирм-производителей лазерных принтеров удалось добиться повышения разрешающей способности вдвое и достичь значения 600 dpi (например, у принтера *HP LaserJet 6P*). В настоящее время выпускаются лазерные принтеры с разрешением 1200 dpi.

Разрешение лазерного принтера по горизонтали и по вертикали определяется различными факторами:

- вертикальное разрешение соответствует шагу вращения фотобарабана, значение которого для большинства принтеров составляет 1/600 дюйма (для более дешевых 1/300 дюйма);
- горизонтальное разрешение определяется числом точек в одной "строке" и зависит от точности наведения и фокусировки лазерного луча на поверхности барабана.

Достичь высокого разрешения по горизонтали проще, чем по вертикали. Поэтому многие модели принтеров сегодня имеют "несимметричное разрешение", равное, например, 1200x600 dpi, когда точность перемещения лазерного луча составляет 1/1200 дюйма, а шаг вращения барабана — 1/600 дюйма. Воспроизводимое изображение разбивается при этом не на квадраты, а на прямоугольники со сторонами 1/600 и 1/1200 дюйма. Так как луч лазера может перемещаться не только по горизонтали, но и по вертикали, то он способен поставить точку либо в верхней, либо в нижней части прямоугольника. В этом случае говорят об **алгоритмическом разрешении** (рис. 6.31).

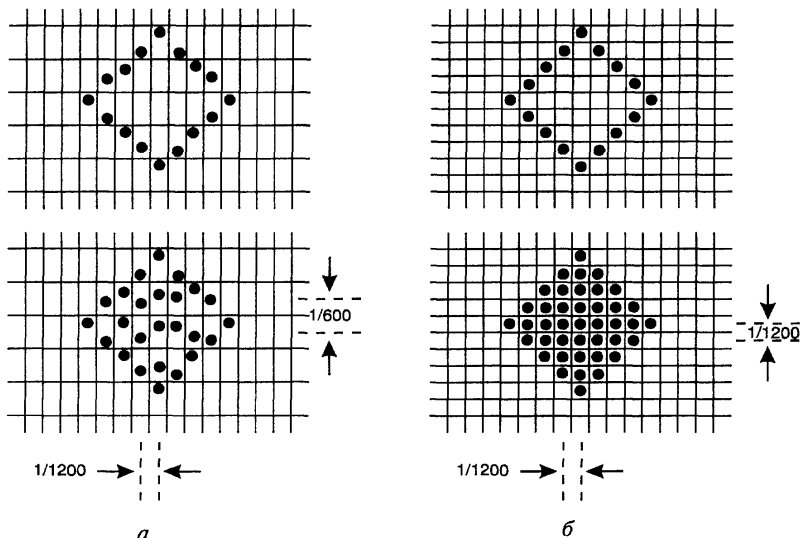


Рис. 6.31. Разрешение 1200 dpi алгоритмическое (а) и аппаратное (б)

Очевидно, что высокое алгоритмическое разрешение заменяет аппаратное лишь отчасти. Оно позволяет сделать края изображений более гладкими.

Для передачи полутонов изображение принято разбивать на несколько ячеек. Например, для принтеров с разрешением 300x300 dpi часто применяется квадратная ячейка, состоящая из 25 точек размером 0,42x0,42 мм (длина стороны 1/60 дюйма), со сторонами, повернутыми на 45° относительно вертикали. При этом возможна передача 26 оттенков серого (от 0 до 25 точек в ячейке). Именно таковы рекомендации языка PostScript Level 1. Так как размер ячейки достаточно велик, а число оттенков мало, то изображение получается зернистым.

В более высококачественных принтерах такая ячейка состоит из 128 точек (например, в принтерах фирмы Lexmark) и также имеет вид квадрата, повернутого на 45°. При разрешении 1200x1200 dpi его размер составляет 0,25x0,25 мм. Качество изображения улучшается не только потому, что размер ячейки меньше, но и из-за увеличения числа оттенков серого до 129.

Интерполяционные возможности. Как уже отмечалось, при печати на лазерном принтере

каждый элемент изображения формируется путем соответствующего расположения точек в ячейках сетки или матрицы (см. рис. 6.26). В результате этого возникает так называемый "лестничный эффект", который проявляется не только при печати графических изображений, но и при печати текста крупным шрифтом.

Эта проблема впервые была разрешена фирмой HP с помощью технологии повышения разрешения, так называемой RET-технологии (Resolution Enhancement Technology). Основным составным элементом при этом является собственный чип, предназначенный для управления интенсивностью луча лазера, что позволяет изменять энергию заряда каждой точки растра на барабане в пределах пяти градаций для получения точек разного размера, позиционирование которых приводит к сглаживанию краев изображения. При этом сокращается расход тонера при печати пересекающихся линий. RET-технология увеличивает видимое разрешение до уровня выше аппаратного и повышает качество вывода текста, штриховых и полутоновых изображений (рис. 6.32).

Другие изготовители используют эту технологию под собственными названиями. Фирма OKI назвала ее Smoothing Technology, фирма NEC оборудует свои принтеры технологией SET (Sharp Edge Technology), а фирма Epson, не мудрствуя лукаво, назвала ее RIT (Resolution Improvement Technology). Чтобы избавиться от зазубренности линий, в принтерах фирмы Brother используются средства HRC (High Resolution Control — управление высоким разрешением), а для повышения качества печати полутоновых рисунков — ATP (Advanced PhotoScale Technology — усовершенствованная технология печати фотографического качества), что позволяет получить 61 уровень серого при линиатуре 150 lpi для разрешения 1200 dpi.

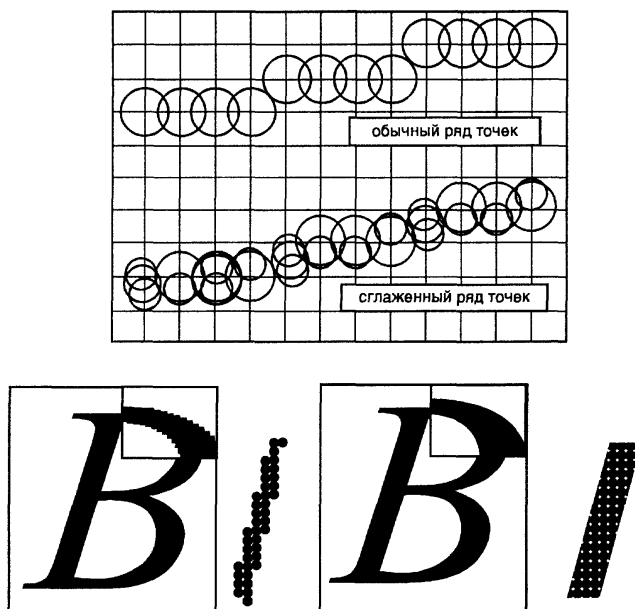


Рис. 6.32. Результат применения RET-технологии

Некоторые принтеры фирмы Apple (например, *Apple LaserWriter 16/600 PS*) позволяют получить разрешение 600 dpi при использовании технологии сглаживания краев изображений символов и штриховой графики Apple FinePrint, а также использовать технологию улучшения полутоновых изображений Apple PhotoGrade, но для этого вам потребуется к 8 Мбайт памяти базовой модели дополнительно установить еще 4 Мбайт.

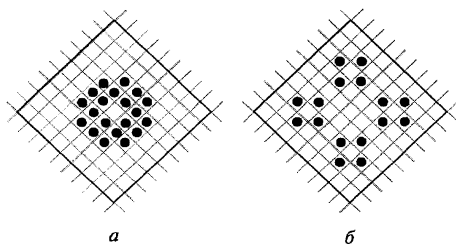


Рис. 6.33. Результат применения алгоритма Lexmark PictureGrade

В современных моделях принтеров *Optra* фирмы Lexmark качество передачи полутоновых изображений повышается за счет технологии Lexmark Picture-Grade, основанной на специальном алгоритме нанесения тонера при заполнении ячеек полутоновых изображений. На рис. 6.33

представлена элементарная ячейка полутонового изображения при зачернении 17% с использованием стандартного алгоритма (а) и алгоритма Lexmark Picture Grade (б).

Что касается интерполированной или повышенной разрешающей способности, которая часто указывается в характеристиках лазерных принтеров, то эти цифры следует воспринимать критически. С помощью регулирования размера точки на бумаге и ее расположения принтеры могут добиваться отличного сглаживания ступенчатых краев штриховых изображений и символов текста, однако нет единого мнения относительно того, как этот эффект выразить в виде разрешающей способности числом точек на дюйм.

Реальную проверку разрешающая способность проходит на бумаге, поэтому, чтобы убедиться в соответствии параметров принтера вашим потребностям, внимательно изучите примеры распечаток. При этом можно воспользоваться лупой.

Качество тонера. На качество печати влияет не только разрешающая способность печатающего механизма и интерполяция, важную роль играют также размеры и форма частиц тонера, которые определяют форму и размеры точек, из которых состоит растровое изображение.

Фирмы-изготовители лазерных принтеров ведут серьезные работы по созданию тонера, максимально обеспечивающего плотность черных элементов, равномерность линий и четкость краев изображения. Так, например, в лазерных принтерах фирмы OKI применяется уникальный мелкодисперсный тонер сферического типа со средним размером частиц 8 мкм. На рис. 6.34 представлена микроструктура тонера низкого и высокого качества.

При заправке тонером израсходованного картриджа используйте тонер, предназначенный только для вашей модели. В противном случае качество распечатанного изображения может заметно ухудшиться (полосы, неравномерное распределение тонера и др.).

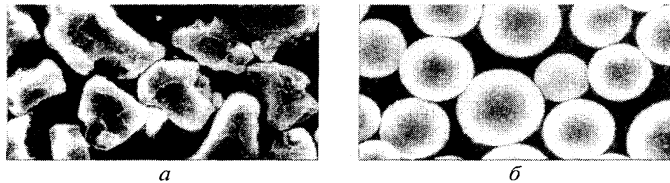


Рис. 6.34. Микроструктура тонера низкого (а) и высокого (б) качества

Язык принтера. Качество печати зависит и от языка, который использует принтер для интерпретации команд и данных, поступающих от компьютера.

Существуют несколько таких языков. Вот некоторые из них: PCL 3, PCL 4, PCL 5, PCL 6, HP-GL, HP-GL/2 (фирмы Hewlett-Packard), PostScript Level 1, PostScript Level 2 (фирмы Adobe). Практически все современные принтеры совместимы хотя бы с одним из перечисленных языков.

Если, например, вам необходимо получить при печати шрифт высокого качества, то следует использовать принтер, обладающий встроенным (или дополнительно установленным) интерпретатором языка описания страниц PostScript. Если ваш принтер "понимает" только язык PCL 3, то добиться разрешения выше 300 dpi вы не сможете.

Многие разработчики программного обеспечения гарантируют совместимость своих продуктов с новейшими возможностями языка принтера фирмы Hewlett-Packard PCL 5 позволяющими воспользоваться возможностями принтеров с разрешающей способностью 600 dpi. Менее известные фирмы-производители в качестве языка лазерного принтера собственной разработки обычно используют языки принтеров наиболее популярных фирм. Такие языки называются эмуляциями, поскольку они лишь имитируют работу, принятую в качестве стандарта. Большинство нашедших широкое распространение эмуляций совместимы с лазерными принтерами серий *HP LaserJet II, III и 4*.

Драйверы принтера. Драйверы принтера — это вспомогательные программы, которые осуществляют преобразование данных, предназначенных для печати из пользовательской программы, в понятные для принтера команды. Многие принтеры поставляются без драйверов, однако их наличие в комплекте пользовательской программы позволяет выйти из положения.

На рынке периферийных устройств имеются сотни различных принтеров и множество разработанных для их обслуживания драйверов. Некоторые принтеры могут работать сразу с несколькими из них, что позволяет расширить область их применения по сравнению с принтерами, ориентированными на использование стандартного драйвера. Разработчики программного обеспечения с целью расширения области его применения вынуждены использовать множество драйверов принтера. К счастью, в операционных средах Windows 3.x, Windows NT и Windows 95 диспетчер печати (Print Manager) организован таким образом, что проблемы выбора драйвера принтера не существует. Однако во многих программах, созданных для работы в операционных системах MS-DOS, UNIX и др., применение специфических драйверов принтера по-прежнему необходимо.

Многие лазерные принтеры могут работать с драйверами, предназначенными для других

принтеров. Однако наивысшего качества изображения можно достичь, только используя драйвер, рекомендованный фирмой-изготовителем.

6.5.6.3.2. Скорость печати

Скорость печати лазерного принтера измеряется количеством страниц, распечатываемых принтером за минуту. Естественно, она зависит от сложности распечатываемого файла (количество шрифтов, наличие растровой или векторной графики и др.). В технических характеристиках принтера, приведенных в журналах и рекламных буклетах, указываются данные по скорости печати "чистого текста".

Скорость печати лазерного принтера в основном определяется:

- объемом установленной памяти принтера;
- используемым интерфейсом;
- типом процессора;
- языком принтера;
- количеством встроенных шрифтов.

Память. В отличие от матричных и струйных принтеров, лазерный принтер строит растровый образ целой страницы, что, естественно, связано с большим количеством вычислений.

Как мы уже отмечали, печатаемая страница создается из множества точек, соответствующего тексту (знакам) и графическим изображениям. Этот образ страницы создается процессором в памяти принтера в виде двумерного массива, состоящего из нулей и единиц.

Нетрудно подсчитать, сколько точек потребуется для создания изображения с разрешением 600x600 dpi на полный лист формата А4, который имеет размеры 210x297 мм, а с учетом "нерабочих полей" — 200x287 мм. При разрешении 600 dpi в одном миллиметре размещается $600/25,4 = 24$ точки. Все изображение будет состоять из $(200 \times 24) \times (287 \times 24) = 3,3 \times 10^7$ точек. Поскольку каждая точка определяется одним битом, то для печати такой страницы требуется около 3,9 Мбайт памяти. При разрешении 1200x1200 dpi на странице формата А4 насчитывается более 130 миллионов точек.

Объем памяти принтера должен соответствовать объему двумерного массива образа, предназначенного для печати.

Объем памяти лазерного принтера, равный 1 Мбайт, является минимальным, при котором еще возможна печать. Нехватка памяти может привести к тому, что принтер выдаст сообщение об ошибке, либо напечатает полностью только текст страницы, а графическое изображение целиком или частично не распечатается. Последнее относится к лазерным принтерам *HP LaserJet*. Дело в том, что драйверы этих моделей работают таким образом, что сначала посылают в принтер весь текст, содержащийся в документе, а затем графические изображения. При обработке драйвером графического изображения вся страница делится на "ленты" шириной один дюйм, начинающиеся с верхнего края и заканчивающиеся на нижнем крае страницы ("ленты" могут быть и горизонтальными в зависимости от типа драйвера). Драйвер посылает "ленты" последовательно и, если памяти принтера недостаточно, то часть графической информации не помещается и, следовательно, не распечатывается. Драйвер PostScript не делает различия между текстом и графикой, передавая сразу целую страницу.

Если вы собираетесь печатать материалы настольной издательской деятельности, то при выборе принтера необходимо убедиться в достаточной емкости его памяти. Для обработки большинства графических страниц с разрешением 600 dpi необходима память емкостью не менее 4 Мбайт. Принтеры с разрешением 1200 dpi позволяют получить качество печати, близкое к типографскому. Однако возможность печати с разрешением 1200 dpi окажется излишней для тех, кто собирается печатать только тексты и электронные таблицы.

Производители принтеров сумели добиться повышения разрешения печати без увеличения объема памяти путем внедрения технологии "сжатия". Теперь для обработки целой страницы с разрешением 600 dpi процессору принтера достаточно всего 2 Мбайт. Правда при этом соответственно снижается производительность. Поэтому если для вас существенно быстрое действие печати, не экономьте на памяти.

Лазерный принтер может быть дооборудован дополнительной памятью. Обычно в него устанавливаются специальные карты с DRAM или SIMM-модулями. Некоторые принтеры (например, принтер *Lexmark Optra Lx* и др.) имеют возможность расширения памяти с помощью стандартных SIMM-модулей (как правило, 72-контактных), что очень удобно.

Выбирая лазерный принтер, обратите внимание на возможность расширения его памяти стандартными модулями.

Следует учитывать, что не вся имеющаяся в принтере память используется для создания образа страницы. Часть ее резервируется для хранения шрифтов TrueType и другой информации, а также в качестве ОЗУ процессора принтера.

Некоторые современные лазерные принтеры содержат внутренний винчестер для хранения шрифтов. Это позволяет сэкономить время, затрачиваемое на постоянную загрузку и выгрузку шрифтов, особенно при использовании принтера в сети. Для многих современных принтеров (например, фирм Lexmark, QMS и Xerox) предусмотрена возможность дополнительной установки

винчестера.

Дорогие принтеры часто оборудованы флэш-памятью (ППЗУ — перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство, EEPROM, см. главу 8), которая предназначена для хранения различных шрифтов, шаблонов и др. Обладая флэш-памятью, принтер выигрывает в скорости за счет того, что не тратит время на загрузку этих аксессуаров из РС. Модели принтеров различных фирм с этой же целью оснащаются шрифтовыми картриджами, которые, к сожалению, для русскоязычного пользователя порой совершенно бесполезны. Флэш-память объемом 1 Мбайт позволяет записать и держать наготове до двух десятков кириллических шрифтов. Кроме того, во флэш-памяти могут храниться некоторые программы, например, программа сетевого адаптера и др.

Некоторые принтеры (например, *Brother HL-960, 1260*) имеют гнездо для платы РС Type III PC Card, позволяющей использовать винчестер или флэш-память для хранения шрифтов.

Интерфейс. Сопряжение вашего РС с принтером осуществляется при помощи специального интерфейса. Электрическое соединение обеспечивается кабелем с соответствующими разъемами. Поскольку из РС в принтер необходимо передавать все большее количество информации, важное значение приобретает повышение быстродействия интерфейса. В большинстве современных лазерных принтеров реализуются двунаправленные параллельные интерфейсы, а некоторые из них снабжены высокоскоростным портом с расширенными возможностями ECP (Extended Capabilities Port), при этом драйвер принтера также должен поддерживать режим ECP (см. раздел 2.7.2).

Если принтер поддерживает интерфейс ECP, конфигурирование параллельного порта как порта ECP позволяет существенно повысить пропускную способность стандартного параллельного порта.

Благодаря использованию двунаправленного параллельного порта, принтеры получили возможность сообщать РС информацию о своем состоянии более подробно, чем раньше (сигналы "автономный режим" (off-line) и "нет бумаги" (paper out)).

Кроме того, фирмами-изготовителями предлагаются специальные карты для ускорения процесса печати. Так, например, фирмой FarPoint Communications разработана специальная карта F/Port Plus ECP для ускорения процесса печати. В отличие от встроенного порта ECP, эта карта имеет дополнительные буферы и другие усовершенствованные средства, позволяющие повысить производительность печати на 25—40%.

При необходимости подключения быстродействующего принтера через параллельный порт вам нужно сравнить пропускную способность встроенных портов ECP с пропускной способностью дополнительных средств, таких как карта фирмы FarPoint Communications.

Некоторые модели принтеров, наряду со стандартным разъемом типа Centronics, оборудованы разъемом типа C, называемым еще C-соединителем или C-портом. Этот разъем имеет более плотное расположение контактов и аналогичен разъему, используемому при подключении внешних SCSI-устройств. Преимущество разъема типа C заключается в том, что в отличие от обычного разъема Centronics длина подключаемого к нему соединительного кабеля может достигать 10 м, а не 3 м. Кроме того, он изначально ориентирован на двунаправленную скоростную передачу данных. Так что, покупая новый принтер, нелишне узнать, какой кабель поставляется с ним в комплекте и какой кабель нужен вам (рис. 6.35).

Почти все лазерные принтеры используют как последовательный интерфейс RS-232C, так и параллельный интерфейс Centronics.

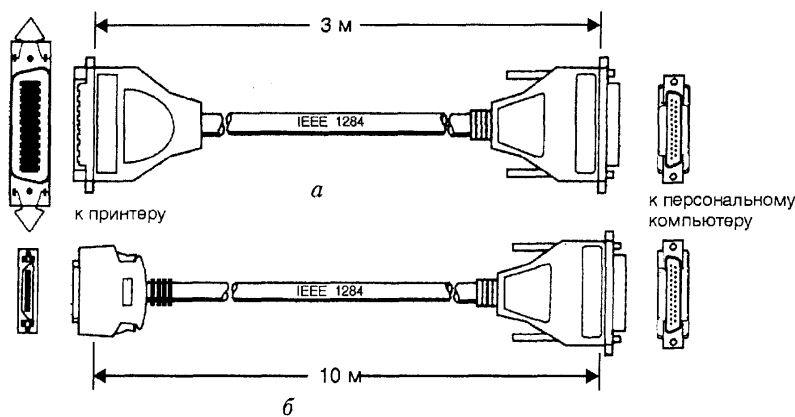


Рис. 6.35. Стандартный кабель для подключения принтера к разъему Centronics (а) и C-кабель (б)

Процессор. Процессор обеспечивает выполнение инструкций управления принтером, распределение входных данных и их трансляцию на механизм печати. Он осуществляет управление всеми механическими и электронными функциями принтера. Процессор можно сравнить с мозгом принтера, который синхронизирует события так, чтобы формируемые символы отображались именно

там, где и должны отобразиться. Также процессор идентифицирует язык управления принтером.

Скорость обработки данных, естественно, зависит от тактовой частоты работы процессора принтера.

В принтерах применяются как RISC-, так и CISC-процессоры. Напомним, что CISC расшифровывается как "вычисления со сложным набором команд". В первые годы существования PC лучшим способом заставить их работать быстрее было заложить в процессор как можно больше инструкций. И по мере усложнения программ инженерам приходилось добавлять в микропроцессоры все больше транзисторов. Это происходило до тех пор, пока процессоры не стали сложными, энергоемкими и дорогими. RISC-процессоры имеют сокращенный набор команд. Они содержат только те инструкции, которые используются чаще всего. И если PC понадобится сложная команда, RISC-процессор моментально соберет ее из нескольких простых. Созданные по такой логической схеме RISC-процессоры работают быстрее, тратят меньше энергии и стоят дешевле, чем CISC-процессоры.

Принтеры на основе интерфейса GDI (Graphics Device Interface) оснащаются довольно простым контроллером, поскольку для построения образа страницы и пересылки данных принтеру используя процессор самого PC (например, лазерный принтер *Star WinType4000*). Несколько лет назад, когда процессоры были дороги, а снижение числа компонентов приводило к значительному удешевлению принтера, эта идея выглядела весьма замечательной. Сейчас, когда цены на микросхемы снизились, недостатки такого решения превышают выгоду от экономии небольшой суммы.

Дело в том, что работа с принтером GDI создает дополнительную нагрузку на всю систему, и без того озадаченную ресурсоемкими приложениями. А при печати на подобных принтерах сложного графического документа производительность PC падает почти до нуля.

Язык принтера и программное обеспечение. Как уже отмечалось, скорость печати зависит от производительности процессора. Однако эта производительность определяется не только его тактовой частотой, но и эффективностью встроенной программы, интерпретирующей команды и данные, поступающие с компьютера на принтер, и создающей битовую страницу. Набор поступающих команд и формат данных определяется языком принтера. В мире лазерных принтеров широкое распространение получили языки PCL и PostScript, каждый из которых имеет различные модификации. В соответствии с используемым языком принтеры делятся на принтеры PostScript и принтеры PCL (или принтеры non-PostScript). Естественно, лучше, если ваш принтер оборудован последней версией языка, которая обеспечивает не только повышение качества, но и увеличение скорости печати.

Последней версией языка описания страниц PostScript является PostScript Level 2 фирмы Adobe, который осуществляет уплотнение данных. Различие в скорости печати между PostScript Level 1 и Level 2 ощутимо, если распечатанная страница содержит большое количество различных шрифтов и рисунков.

Современные лазерные принтеры PostScript способны интерпретировать и распечатывать информацию, переданную с компьютера в формате как PostScript, так и PCL. При этом подобные лазерные принтеры автоматически распознают вид, в котором передаются данные, и используют соответствующий интерпретатор.

Скорость печати также зависит от взаимодействия драйвера принтера с программным обеспечением компьютера. Обычно в руководстве пользователя на программный продукт указываются особенности его работы с тем или иным принтером.

Встроенные шрифты. Шрифт — это набор символов определенного начертания и размера.

Все принтеры имеют хотя бы один встроенный шрифт. Этот набор символов используется для печати при получении соответствующей команды. Некоторые принтеры оснащаются масштабируемыми шрифтами, которые могут быть воспроизведены в любом масштабе по желанию пользователя. При этом файл шрифта содержит только образы базового размера.


Courier	<i>CG Times It</i>	Univers Md Cd It
Courier Bd	<i>CG Times Bd It</i>	<i>Univers Bd Cd It</i>
<i>Courier It</i>	<i>Coronel</i>	Antique Olive
<i>Courier Bd It</i>	Univers Md	Antique Olive Bd
Letter Gothic	Univers Bd	<i>Antique Olive It</i>
Letter Gothic Bd	<i>Univers Md It</i>	Albertus Md
<i>Letter Gothic It</i>	<i>Univers Bd It</i>	Albertus XBd
CG Times	Univers Md Cd	Wingdings 
CG Times Bd	Univers Bd Cd	

Рис. 6.36. Образцы встроенных шрифтов лазерного принтера *HP LaserJet 5L*

Современные принтеры содержат большое количество встроенных шрифтов. Например, принтер

HP LaserJet 5MP имеет 35 встроенных масштабируемых шрифтов Adobe Type 1 и 45 встроенных масштабируемых шрифтов TrueType и Intellifont (Рис. 6.36). К сожалению, все эти шрифты содержат символы только латинского алфавита. Правда, если принтер имеет флэш-память, то можно записать и кириллический шрифт

6.5.6.3.3. Удобство в эксплуатации

Удобством в эксплуатации любого технического устройства, в конечном итоге, определяется качество его продукции, производительность и др. Среди характеристик, определяющих условия эксплуатации лазерного принтера, можно выделить следующие:

- совместимость с технологией Plug&Play;
- дистанционное управление;
- дистанционное сообщение о состоянии;
- сетевые карты;
- специальные интерфейсы;
- используемая бумага;
- русификация.

Совместимость с технологией Plug&Play. Совместимость принтера с технологией Plug&Play ("включай и работай") означает, что после подключения кабеля принтера к порту PC и инициализации Windows 95 устройство автоматически сообщит о себе компьютеру. Система отыщет в базе данных нужный драйвер принтера и самостоятельно установит его. При отсутствии подходящего драйвера Windows 95 предложит выбрать совместимый или установить новый. Фирмы-изготовители быстро приспосабливаются к стандарту PnP (Microsoft Plug and Play).

Если у вас по какой-либо причине установлена нелицензионная система Windows 95, мы рекомендуем использовать драйверы, поставляемые на дискетах вместе с принтером.

В настоящее время рабочей группой DMTF (Desktop Management Task Force), разрабатывается новый стандарт на интерфейс непосредственного взаимодействия DMI (Desktop Management Interface), который идет дальше технологии PnP и должен предоставить пользователям и администраторам сетей более широкие возможности управления сетевым принтером. Первая версия стандарта — MIF (Management Information Format — формат управляющей информации), позволяет администраторам управлять настольными принтерами в локальных вычислительных сетях, а любым программным средствам, совместимым со стандартом DMI, управлять любым принтером, удовлетворяющим требованиям этого стандарта.

Дополнительно созданная организация Printer Working Group (рабочая группа по принтерам), завершила разработку подобного MIF-совместимого стандарта, называемого MIB (Management Information Base — информационная справочная база для управления). MIB определяет набор стандартных команд для принтера и сообщений о его состоянии. Принтеры, отвечающие требованиям этого стандарта, могут получать и передавать информацию посредством протокола управления сетью SNMP (Simple Network Management Protocol). Этот стандарт совместим со спецификацией DMI и, в конечном счете, означает, что пользователи смогут находить среди различных принтеров сети тот, который отвечает конкретным требованиям к бумаге для данного задания, или тот, в котором отсутствует бумага, произошло замятие бумаги или кончился тонер. Администраторы локальных вычислительных сетей смогут узнать, какие имеются в сети ресурсы печати, какие принтеры обладают возможностями PostScript, какие принтеры имеют возможность "двусторонней" печати и могут печатать на бумаге формата А3 (297x420 мм).

Большинство ведущих изготовителей принтеров, включая Apple, Canon, Digital Equipment Corp., HP, Lexmark, QMS, Tektronix и Xerox, планируют в последующих моделях предусмотреть реализацию возможностей MIB.

Дистанционное управление. Совместно со многими принтерами поставляются сложные утилиты, работающие в среде Windows и позволяющие с экрана монитора управлять принтером так, как если бы вы нажимали кнопки непосредственно на его панели управления. На многих принтерах, например, *Epson ActionLaser*, *HP LaserJet 5P* и *5MP*, *NEC Silentwriter* и *Panasonic KX-P6100*, панели управления совсем нет, что позволило сделать их еще дешевле. О состоянии устройства сообщают световые индикаторы, а все параметры устанавливаются с помощью управляющей программы.

Чтобы пользователи и администраторы локальных вычислительных сетей (ЛВС) могли эффективнее работать с сетевым принтером, были разработаны два типа программных средств. Первый тип программ дает возможность пользователям производить небольшие изменения установок для индивидуальных заданий на распечатку и дистанционно проверять наличие бумаги в принтере. Это приводит к значительному снижению затрат времени — не надо идти к удаленному принтеру, чтобы узнать об отсутствии в нем бумаги.

Более широкое распространение получили программы дистанционного управления, которые обычно поставляются вместе с сетевой интерфейсной платой. Эти программы предназначены для администраторов сетей и по возможностям дистанционного управления превосходят даже типовые сетевые операционные системы, такие как, например, NetWare. Они также позволяют

администраторам ЛВС получать основную диагностическую информацию об использовании принтера и инициировать средства обеспечения безопасности, предотвращающие блокирование одними пользователями выполнение задач печати других пользователей или изменение установленных параметров принтера.

Лучшими из программ дистанционного управления принтером считаются JetAdmin и JetPrint фирмы HP, Marc Vision фирмы Lexmark и Document Services for Printing фирмы Xerox.

Утилита JetAdmin представляет собой набор простых для использования средств управления: не поднимаясь с кресла, вы можете проверить, находится ли принтер в оперативном режиме, не кончилась ли в нем бумага и достаточно ли тонера. Для администраторов сети утилита JetAdmin контролирует вычислительную среду NetWare или Unix, собирая диагностическую информацию по использованию принтера и предотвращая изменение его установок пользователями. JetAdmin содержится на дистрибутивном диске CD-ROM Windows 95 в каталоге ADMIN\NETTOOLS\HPJETADM.

При работе под управлением Windows 95 клиенты сети смогут отыскивать серверы печати в окне диалога Browse for Printer, что позволит им без труда просматривать очереди к сетевым принтерам и подсоединять принтеры с использованием имен очередей, принимаемых по умолчанию. К сожалению, это может вызвать ряд непредусмотренных последствий. Некоторые широко распространенные прикладные программы, включая Lotus Notes, ищут идентификаторы портов, например LPT1, а не действительные имена очередей к принтеру. Для преодоления этой трудности вам потребуются всего лишь изменить карту идентификаторов на экране настройки прикладной программы.

Дистанционное сообщение о состоянии. Современные драйверы, как правило, сообщают об окончании бумаги, ее деформации в механизме протяжки или нарушении контакта в соединительном кабеле путем вывода на экран монитора соответствующего изображения и (или) воспроизведения голосового сообщения.

К сожалению, все голосовые сообщения воспроизводятся обычно на английском языке. Если вы хотите "русифицировать речь" принтера, это можно сделать, заменив соответствующие wav-файлы, которые располагаются, как правило, в каталоге ..\WINDOWS\SYSTEM. Для этого вам необходимы только звуковая карта и микрофон.

Например, для того чтобы принтер *HP LaserJet 5P* при окончании бумаги в лотке "произносил" не "Add Paper to Tray two!", а "Добавьте бумагу во второй лоток!" необходимо заменить файл raddpar.wav другим файлом с тем же именем. Заметим, что при создании собственного wav-файла необходимо использовать не 16-, а 8-разрядное представление данных.

Сетевые карты. В последнее время широкое распространение получило использование лазерных принтеров в сети. Конечно же это удобнее, чем переносить файл с помощью дискет или аналогичных носителей на другой PC с подключенным принтером.

Если принтер используется как сетевой, то его прямое подключение к сети крайне выгодно по следующим причинам:

- нет необходимости выделять отдельную рабочую станцию для управления принтером;
- принтер может быть установлен в любом удобном месте. Напомним, что при подключении принтера к файловому серверу или рабочей станции через параллельный интерфейс, длина кабеля, соединяющего принтер с PC, обычно не превышает 2—3 м.

Для использования принтера в качестве сетевого в него должна быть установлена сетевая интерфейсная карта NIC (Network Interface Card) или подключен внешний блок аппаратного сервера печати (принт-сервера), один разъем которого подсоединяется к параллельному порту принтера. В последних моделях сетевых лазерных принтеров карта NIC, как правило, уже установлена. Принтеры, содержащие карту NIC, позволяют обойтись без выделенного PC и могут уменьшить затраты времени на печать по сравнению с другими вариантами организации вывода на печать в сетевой среде.

Естественно, к сетевым принтерам предъявляются повышенные требования. Прежде всего, это касается скорости работы механизма печати. В качестве рекомендации для рабочих групп, насчитывающих до 20 пользователей, следует применять принтеры со скоростью 12—16 страниц в минуту. Если пользователей больше, то лучше использовать быстродействующие принтеры со скоростью печати от 20 до 30 страниц в минуту, такие как *QMS 3825* или *Xerox 4230/MRP*.

Специальные интерфейсы. Некоторые принтеры оборудованы инфракрасным (ИК) интерфейсом (Infrared Data Association, IrDa), который позволяет PC, также оснащенный им, обмениваться информацией с принтером при помощи инфракрасного излучения, делая ненужным кабельное соединение. Это должно особенно понравиться пользователям портативных компьютеров типа Notebook и Laptop, которым не придется постоянно подключать и отключать кабели. ИК-порт принтеров фирмы Hewlett-Packard выведен на переднюю панель (*HP LaserJet 5*, *HP LaserJet 5MP* и др.)

Работа с бумагой. Производители принтеров уделяют большое внимание процессу подачи бумаги, поскольку от этого зависит качество печати.

Как правило, большинство лазерных принтеров может печатать на бумаге формата A4 и меньше,

правда в последнее время появились принтеры, способные печатать на листах формата А3. Кроме того, если раньше печать на рулоне считалась прерогативой лишь игольчатых принтеров, то сейчас на рынке появились модели лазерных принтеров, которые также могут использовать для работы бумагу в рулоне (например, *Pentax Losefold 300E*).

Ограниченный формат бумаги, используемый в лазерных принтерах, создает проблемы при подготовке крупноформатных оригинал-макетов для типографии. Обычно печать возможна лишь на бумаге формата 216x280 мм (8,5x11 дюйм). Появление принтеров с печатью на бумаге формата А3 (297x420 см) позволило пользователям настольно-издательских систем на одном листе печатать две страницы формата 216x280, не прибегая к склейке при монтаже пленки или оригинал-макета.

Если вы хотите использовать лазерный принтер по-деловому, то желательно, чтобы он имел, по меньшей мере, два лотка для бумаги. В одном из них может находиться фирменная бумага с логотипом фирмы, а в другом — бумага для повседневной работы. Это избавит вас (или секретаршу) от большого количества ручной работы.

Для некоторых принтеров, предназначенных для работы в сети, предусмотрены специальные виды работ с бумагой: выборка листов из нескольких карманов, печать на листе формата А3 и даже раскладка напечатанных листов по нескольким приемным карманам.

Многие принтеры имеют два тракта подачи бумаги: прямой (рис. 6.37, а) и обратный (рис. 6.37, б) и соответственно два лотка для бумаги — нижний и верхний. Прямой тракт подачи бумаги обеспечивает более высокую надежность протяжки плотной бумаги и устойчив к ее заминанию. Например, в лазерном принтере *HP LaserJet 5P* нижний лоток предназначен для бумаги плотностью 50—80 г/м², а верхний (прямой тракт) — до 150 г/м².



Рис. 6.37. Подача бумаги в лазерном принтере *HP LaserJet 5P*

Совмещенный картридж. Фотобарабан вместе с барабаном-девелопером (см. рис. 6.27, 6.28) объединены в единый узел — картридж. Резервуар с тономером может входить как в состав картриджа, так и устанавливаться отдельно (в зависимости от модели принтера). В первом случае при окончании тонера необходимо заменить (или заправить) весь картридж. Во втором случае необходимо заменить только резервуар с тономером, поскольку ресурс фотобарабана может быть еще не выработан. Например, в принтерах *Okipage 16n* ресурса тонера хватает на печать 5000 страниц формата А4, а ресурс барабана составляет 30 000 страниц, так что прежде чем заменить картридж с фотобарабаном, вы успеете шесть раз заправить его новым тономером. Для сравнения, стандартный картридж для принтера *HP LaserJet 5P* рассчитан на печать 4000 страниц формата А4 с 5% заполнением.

Принтеры, использующие отдельно барабан и резервуар для тонера, менее удобны по сравнению с устройствами, в которых эти узлы объединены в одном картридже. Однако в первом случае вы получите наиболее низкую себестоимость печати одной страницы.

6.5.6.3.4. Экономичность в работе

Перед тем как выбирать принтер, следует заранее подумать об экономической целесообразности приобретения той или иной модели. Современный лазерный принтер может за 15—20 мин "известить" 500 листов, покрыв их дорогостоящим тономером. Поэтому, приобретая принтер, обратите внимание на то, какую бумагу он использует, каков ресурс картриджа, сколько стоит новый картридж и какими дополнительными функциями по экономии расходных материалов он оборудован.

Как правило, затраты на приобретение более дорогостоящего оборудования впоследствии окупаются за счет экономии средств на расходные материалы. Можно выделить следующие характеристики лазерного принтера, определяющие экономичность его работы:

- возможность двусторонней печати;
- возможность печати в экономичном режиме (*EconoMode*);
- расчетная нагрузка на месяц;
- себестоимость напечатанной страницы;
- ресурс тонера и картриджа.

Двусторонняя печать. Мы не рекомендуем вам печатать на обратной стороне уже отпечатанного листа, поскольку при этом "старый" тонер вновь разогревается и частично оседает на барабане. В результате, спустя некоторое время, барабан загрязнится, фиксация тонера на нем ухудшится, и на распечатке может появиться мягкое затемнение или светлые пятна.

Для экономии бумаги на рабочем месте удобно иметь одновременно лазерный и игольчатый принтеры. Лазерный — для изготовления оригинал-макетов и черновиков со сложной графикой, а игольчатый — для черновой распечатки текста на обратной стороне использованной бумаги.

В настоящее время выпускаются принтеры, обеспечивающие двустороннюю печать. Это позволяет в два раза сократить расходы на бумагу за счет печати на обеих сторонах листа.

Печать в экономном режиме. В целях экономии тонера при печати черновиков большинство лазерных принтеров имеют специальный экономный режим работы (EconoMode).

При работе в этом режиме расход тонера уменьшается более чем на 50%, поскольку черными печатаются только контуры символа, а остальная его часть заполняется серым цветом.

Ресурс тонера и картриджа. Главным элементом, определяющим качество работы и срок службы лазерного принтера, является сменный фотобарабан. Ресурс барабана лазерного принтера зависит от модели и составляет 2000—30 000 страниц.

Некоторые изготовители оборудуют картридж несколькими составными элементами (например, объединенный фотобарабан и резервуар с тонером у принтеров фирмы HP, что экономически не совсем оправданно. Однако работа с принтером, у которого барабан и резервуар для тонера размещены отдельно, менее удобна. К тому же многие изготовители, например, OKI, HP и другие фирмы принимают картриджи для восстановления и заправки их тонером.

6.5.6.3.5. Дополнительные возможности.

Факс-модуль. В состав лазерных принтеров может входить специальная плата — факс-модем, обеспечивающая возможность факсимильной передачи и приема информации по телефонной линии.

При установленном факс-модеме принтер может отсылать и принимать факсы PostScript через резидентную программу DOS или непосредственно из прикладных программ Windows.

Некоторые модели лазерных принтеров включают также и факс-сканер и поэтому могут целиком заменить аппарат факсимильной связи.

Если у вас имеется планшетный сканер, то вы можете использовать принтер в качестве ксерокса.

В таблице 6.14. приведены основные характеристики некоторых персональных лазерных принтеров.

Таблица 6.14. Характеристики некоторых лазерных принтеров.

● Да ◎ Факультативно ○ Нет	HP LaserJet 5P	GCC Elite XL 608	HP LaserJet 6MP	GCC Elite XL 1208
Емкость ОЗУ (стандарт/максимум), Мбайт	2/50	6/64	3/35	24/64
Память со сжатием	●	●	●	●
Размеры (высота×ширина×глубина), см	20x40,1x44,5	27x43,7x58,4	20x40,1x44,5	27x43,7x58,4
Масса, кг	11,1	18		18
Технология	Лазер.	Лазер.	Лазер.	Лазер.
Номин. скорость печати (A4), страниц/мин	6	8	8	8
Максим. разрешение механизма печати, dpi	600x600	800x800	600x600	1200x1200
Максим. разрешение с интерполяцией, dpi			600x600	
Процессор/тип, тактовая частота, МГц	MCF 5102/RISC, 20	AMD 29030/RISC, 25		AMD 29030/RISC, 25
Бумага				
Емкость стандартных лотков и кассет, листов (дюйм)	100 (универс.) 250 (универс.)	250 (8,5x11), 50(многоцел.)	250 (универс.)	250 (8,5x11), 50(многоцел.)
Двусторонняя печать	○	○		○
Интерфейсы				
Паралл./послед. порты	●/○	●/●	●/○	●/●

Дополнительные порты	Двунаправл., Параллельный порт С, LocalTalk, ИК- порт	LocalTalk	Двунаправл., Параллельны и порт С, ЕСР, LocalTalk, ИК-порт	LocalTalk
Автоматическое переключение интерфейсов	●	●		●
Одновременная работа портов	●	●		●
Прочие возможности				
Повышение разрешения	●	○	●	●
Автоматическое переключение эмуляторов	●	●		●
Совместимость с HP PCL	PCL5e	PCL 5	PCL6	PCL 5
Совместимость с PostScript	Adobe Level 2 Ⓢ	Клон Level 2	Adobe Level 2	Клон Level 2
Режим GDI/требуемый объем ОЗУ РС, Мбайт	○	○	○	○
Факс-модуль	Ⓢ	○		○
Совместимость Plug-and-Play	●	○	●	○

6.5.6.4. Развитие технологии лазерной печати.

Технология лазерной печати продолжает развиваться в направлении повышения разрешающей способности при одновременном снижении себестоимости печати, наряду с повышением уровня совместимости принтера. Первый шаг к повышению уровня совместимости принтера — появление стандартизованного языка описания страниц PostScript фирмы Adobe. Лазерные принтеры, использующие язык PostScript, полностью совместимы с персональным компьютером и Unix-ориентированной рабочей станцией. Ведутся исследования по разработке сетевых принтеров, получивших название Ethernet-совместимых принтеров.

Перечислим основные направления развития лазерных принтеров:

- Разрешение печати 600 dpi и выше становится стандартом.
- Все большее количество моделей принтеров оснащаются интерфейсами Ethernet.
- Версия языка PostScript Level 2 позволяет работать с цветными изображениями, существенно экономить память принтера за счет применения векторного представления информации, а также осуществлять операции редактирования команд языка.
- В современных принтерах применяется технология повышения разрешения, которая позволяет увеличить видимое разрешение до уровня выше аппаратного.
- Фирмами Hewlett-Packard и Microsoft ведутся работы по внедрению двунаправленных инфракрасных (беспроводных) интерфейсов.

6.5.7. Системы микрофильмирования.

Они представляют собой совокупность устройства отображения текстовой или графической информации и аппаратуры для электрофотографической съемки изображения на рулонную (микрофильм) или плоскую (микрофиш) пленку, обладающую высокой разрешающей способностью. В некоторых системах запись на фотопленку производится непосредственно с помощью управляемого электронного или светового луча. Скрытое фотографическое изображение проявляется и фиксируется химическим способом. Примером может служить устройство ЕС 7602, построенное на основе ЭЛТ. Микрофиши из вводной кассеты поочередно передаются в блок экспозиции, а затем в приемную кассету. Проявление осуществляется вне устройства. Скорость вывода составляет 100000 зн/с; использован стандартный микрофиш размером 143x105мм; емкость кассет — по 50 микрофишей. Готовые микрофиши передаются в специальные хранилища, обеспечивающие полуавтоматической поиск и проецирование кадров микрофиша на экран. Поиск выполняется с помощью краевой перфорации. Многие устройства, например ПФА-2, позволяют получать документальные копии на бумаге.

6.6. Устройства отображения текстовой информации

При отладке программ, при автоматизированном управлении и контроле возникает необходимость в оперативном выводе текста на экран и его редактировании. Вывод на экран индикатора позволяет экономить бумагу, ускорить процесс и упростить взаимодействие оператора с машиной. В устройствах отображения информации (УОИ) функции преобразования электрических

сигналов в видимое изображение на экране реализуются различными индикаторами. Для реализации функций редактирования УО оборудуют различными средствами ручного ввода, чаще всего клавиатурой. Совокупность совместно работающих УОИ и средств ручного ввода называют дисплеем видеотерминалом).

6.6.1. Классификация устройств отображения.

В соответствии с формой представления информации (текстовая и графическая) все УОИ принято делить на алфавитно-цифровые и графические. Такое деление обусловлено не только формой представления информации, но и различием схем управления, программного обеспечения и требований со стороны пользователей, хотя в обоих типах устройств могут использоваться однотипные индикаторы. В зависимости от использования отображаемой информации одним или одновременно несколькими пользователями различают устройства (системы) отображения индивидуального и коллективного пользования. УОИ индивидуального пользования входят в состав дисплеев и персональных компьютеров и обеспечивают интерактивное взаимодействие оператора и ЭВМ; системы коллективного пользования в качестве индикатора используют большие экраны и обеспечивают возможность отображения текущей обстановки и принятия коллективных решений в АСУ. Системы коллективного пользования обычно являются графическими.

Устройства отображения различаются также типом используемого индикатора и способом формирования изображения на экране.

6.6.1.1. Основные типы индикаторов.

Преобразование электрических сигналов в видимое изображение основывается на явлениях люминесценции, газового разряда, изменения оптических свойств жидких кристаллов, светоизлучения полупроводниковыми материалами и т.д.

Требования, предъявляемые к индикаторам, определяются в основном особенностями зрительного восприятия информации и строения глаза — зрительного анализатора человека. Вследствие этого большинство требований, предъявляемых к индикаторам, являются общими для различных устройств и систем вывода текстовой и графической информации. Так, аналогично печатающим устройствам изображение на экране индикатора принято характеризовать контрастностью D и разрешающей способностью R . Помимо этого изображение должно обладать определенной яркостью I , чтобы энергия светового воздействия была достаточной для восприятия рецепторами глаза, но не чрезмерной (отсутствовал эффект ослепления). Для монохромных индикаторов важным параметром является базовый цвет, влияющий на утомляемость оператора (наиболее приемлемый зеленый). Во многих случаях чрезвычайно важно получать цветное изображение на экране.

Для большинства типов индикаторов характерно, что изображение на экране может наблюдаться только при расположении глаза оператора в пределах определенного угла (относительно экрана), называемого углом обзора. Индикаторы принято характеризовать, кроме того, размером экрана, числом символов на экране (или числом отдельных точек для графических систем), а также временными параметрами — временами адресации и стирания. Действие любого индикатора основано на изменении оптических свойств его элементов под влиянием электрических сигналов. Эти измененные свойства совокупности элементов индикатора и создают видимое изображение. Элемент индикатора может сохранять измененные оптические свойства после снятия сигнала (такой индикатор называют индикатором с памятью), либо возвращаться в первоначальное невозбужденное состояние (индикатор без памяти). Примерами индикаторов с памятью могут служить запоминающие ЭЛТ, некоторые типы жидкокристаллических и газоразрядных индикаторных панелей; примерами индикаторов без памяти — ЭЛТ, светодиодные индикаторы, электр люминесцентные панели.

Возможность использования индикаторов без памяти основана на свойствах человеческого зрения не различать как отдельные явления вспышки света, если частота их следования превышает некоторое пороговое значение, называемое критической частотой мерцаний. Критическая частота мерцаний зависит от яркости и длительности действия возбудителя, уровня окружающей освещенности и ряда других факторов; обычно это значение лежит в пределах 25-50 Гц. Таким образом, в индикаторах без памяти необходимо непрерывно поддерживать видимое изображение с частотой выше критической частоты мерцаний; такой процесс называется регенерацией изображения. В УО для регенерации изображения в большинстве случаев приходится предусматривать специальное ЗУ.

6.6.1.2. Физические принципы получения видимого изображения.

Светодиодные индикаторы. Принцип работы светодиодных индикаторов основан на явлении испускания света точечным переходом в некоторых полупроводниках при приложении к нему напряжения прямого смещения. В зависимости от материала можно получать различные цвета излучения. Устройство светодиодного индикатора показано на рис.6.38. Индикатор состоит из нескольких сегментов, образованных $p-n$ переходом 7, отражателем 2 и рассеивателем 3, обеспечивающим равномерную яркость всего сегмента. Индикаторы различаются материалом перехода и конструкцией отражателя и рассеивателя. Наиболее часто светодиодные индикаторы изготавливаются в виде точечных матриц небольшого размера; они легко сопрягаются с ТТЛ схемами

и широко используются в простейших МП-системах.

Жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ) являются пассивными, т.е. они лишь управляют прохождением (отражением) света от внешнего источника света, вследствие чего обладают малым энергопотреблением. Основной работы ЖКИ является использование свойств некоторых органических соединений изменять свои оптические характеристики под действием электрического поля. Наиболее часто используются явления динамического рассеивания и скручивания нематической фазы. Обычно ЖКИ представляют собой совокупность линейчатых сегментов-ячеек, имеющих слоистую конструкцию, образованную (рис.6.39) стеклянными пластинами 1 и 5 с нанесенными на них электродами 2 и 4, между которыми заключен тонкий (10—20 мкм) слой ЖК-вещества 3. Электроды должны быть прозрачными.

Стержневидные молекулы ЖК-вещества под действием сил межмолекулярного взаимодействия ориентируются в определенном направлении. Воздействием электрического поля можно разрушить ориентацию молекул или изменить ее направление. При использовании эффекта динамического рассеивания за счет специальной обработки подложек молекулы ориентированы перпендикулярно их поверхности. При приложении электрического поля ориентация нарушается и ячейка изменяет показатели отражения (или пропускания) света. Из-за нестабильности и значительной подверженности внешним условиям ЖКИ, основанные на эффекте динамического рассеивания, вытесняются ЖКИ, основанные на эффекте скручивания нематической фазы. В таких ЖКИ электроды на стеклянных пластинах взаимноортогональны; молекулы ЖК-вещества ориентированы вдоль электродов. Таким образом, в толще вещества происходит поворот ориентации молекул на 90° .

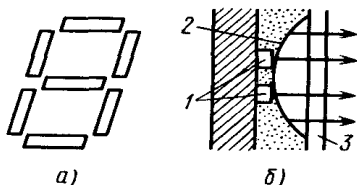


Рис. 6.38. Светодиодные индикаторы.

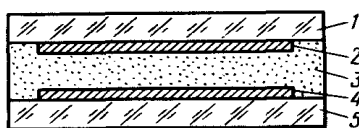


Рис. 6.39. Структура жидкокристаллического индикатора.

На стеклянных пластинах дополнительно нанесены слои поляризатора. ЖК-вещество поворачивает ось поляризации проходящего через него света на 90° . Если направление осей поляризации совпадает с направлением электродов на пластинах, то ячейка прозрачна, если ось поляризации одного из слоев перпендикулярна направлению электродов, то ячейка непрозрачна. Под действием внешнего электрического поля ориентация молекул ЖК-вещества в ячейке изменяется, тем самым изменяя прозрачность (и отражательные свойства) ячейки.

Для использования ЖКИ необходим определенный уровень внешнего освещения или специальный источник света. Располагая ось поляризации поляризатора параллельно или перпендикулярно направлению электродов, можно получить светлое изображение на темном фоне или темное — на светлом. ЖКИ, основанные на эффекте скручивания нематической фазы, обеспечивают высокую контрастность, способны работать в диапазоне температур от -10° до $+70^\circ\text{C}$, легко сопрягаются с ТТЛ-схемами (напряжение переключения около 5В). Потребление тока составляет менее 0,5 мкА. ЖКИ используются для простейших МП-систем. Угол обзора для ЖКИ ограничен.

В настоящее время ЖК-индикаторы, изготавливаемые по современным технологиям, широко применяются в переносных персональных компьютерах обеспечивая цветное изображение хорошего качества.

Электронно-лучевые трубки (ЭЛТ), несмотря на ряд присущих им недостатков, остаются одним из наиболее распространенных типов индикаторов. ЭЛТ представляет собой стеклянную колбу с плоским основанием-экраном (рис.6.40), покрытым с внутренней стороны люминофором. В колбе размещается несколько электродов. Катод 1 нагревается подогревателем 6 до температуры около 1100К.

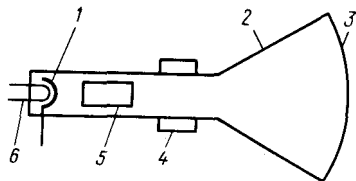


Рис. 6 40. Электронно-лучевая трубка.

Под воздействием электростатического поля ускорения, создаваемого катодом и анодом 2, электроны с поверхности нагретого катода устремляются в сторону анода и экрана 3; эти электроны

проходят через фокусирующую систему 5 и образуют узкий пучок, который, ударяясь о поверхность экрана, вызывает вторичную эмиссию и свечение люминофора. Пучок электронов отклоняется электростатической или электромагнитной отклоняющей системой 4. Значение отклонения [см] на экране можно определить по приближенным формулам:

— для электростатической системы:

$$\Delta_x \approx \frac{L D}{2 U_a d} U_x,$$

где L — длина пластины, см; D — расстояние пластин до экрана, см; U_a — ускоряющее напряжение. V ; d — расстояние между пластинами, см; U_x — напряжение на отклоняющих пластинах, В.

— для электромагнитной системы:

$$\Delta_x \approx L D H_x \sqrt{e/2mU_a},$$

где L — ширина катушки (см), H_x — напряженность магнитного поля (Гс), e/m — отношение заряда к массе электрона.

При одинаковых ускоряющих напряжениях большее отклонение достигается при использовании электромагнитной системы, а следовательно, можно применять более короткие трубки; однако быстроедействие электромагнитной отклоняющей системы ниже и ограничивается индуктивностью катушки. В ряде случаев в индикаторах используют одновременно обе системы. Важной характеристикой ЭЛТ является минимальный диаметр пятна на экране, который составляет 0,25-0,4 мм и определяет ее разрешающую способность.

ЭЛТ позволяет получать полутоновые и цветные изображения, обеспечивают сравнительно высокую яркость и разрешающую способность. Существенными недостатками ЭЛТ являются большие габаритные размеры, низкая надежность, необходимость в высоковольтных источниках питания, высокое энергопотребление.

Газоразрядные или плазменные индикаторы выпускаются в виде панелей, состоящих из линейных сегментов для нескольких знакомест, а также в виде панелей, в которых образована точечная матрица. Принцип действия этих индикаторов основан на газовом разряде в среде инертных газов. Для возбуждения и поддержания газового разряда используется постоянный или переменный ток. Лучшими характеристиками обладают газоразрядные индикаторные панели (ГИП) переменного тока, имеющие слоистую конструкцию, которая напоминает конструкцию ЖК—ячейки. Взаимно ортогональные проводники, выполняющие функции катодов и анодов, нанесены на стеклянные пластины-подложки, между которыми посредством уплотнителей формируется герметизированное пространство, заполняемое смесью аргона и неона. Проводники защищены от газовой среды слоем диэлектрика. Все элементы конструкции выполнены из прозрачного материала. На катоды и аноды подается знакопеременное «поддерживающее» напряжение, меньшее напряжения возникновения разряда. Возбуждение разряда в ячейке матрицы происходит при подаче импульсов возбуждения на соответствующие проводники катодов и анодов. При суммарном напряжении между ними превосходящем напряжение возбуждения, возникает разряд. При протекании разрядного тока на соответствующем данной ячейке участке диэлектрика накапливаются заряды, которые приводят к прекращению разряда в течение данного полупериода поддерживающего напряжения, однако способствуют возникновению разряда в данной ячейке в следующем полупериоде, когда его полярность изменяется и совпадает с полярностью напряжения от накопленного заряда на диэлектрике. Так обеспечивается повторное возникновение разряда и «запоминание» информации. Для стирания информации подаются внешние импульсы, устраняющие заряд с участка диэлектрика данной ячейки. Благодаря запоминающим свойствам яркость изображения не зависит от размера поля экрана, при этом значительно снижаются требования к быстрдействию. ГИП переменного тока обеспечивают разрешающую способность около 2-3 линий/мм, достаточно высокую яркость и хороший угол обзора, однако в них трудно получить цветное изображение, технологически сложно изготавливать коммутирующие элементы.

Тонкопленочные электролюминесцентные панели (ТЭЛП) — типичная конструкция показана на рис.6.41. Электролюминесцентный слой 1 из легированного марганцем сульфида цинка, расположен между двумя прозрачными изолирующими слоями 2.

В свою очередь, эти слои заключены между слоями задних строчных 5 и передних прозрачных столбцовых 4 взаимно ортогональных электродов, которые образуют матрицу. Слой стекла 3, покрывающий столбцовые электроды, образует лицевую панель. Электролюминесценция возникает на участках слоя 1 в узлах матрицы под действием электрического поля. Поле, достаточное для возникновения люминесценции в каждой точке матрицы, образуется импульсами противоположной полярности, подаваемыми на систему строчных и столбцовых электродов. Люминесценция возникает только при одновременной подаче импульсов на строчный и столбцовый электроды; если сигнал подан лишь на один электрод, то люминесценция не возникает. Строчные электроды опрашиваются последовательно, независимо от формируемого изображения; на столбцовые электроды сигнал подается только в том случае, если в соответствующем узле матрицы на экране должна быть получена

яркая точка. ТЭЛП обеспечивают высокую разрешающую способность, хорошую контрастность, большой угол обзора; они имеют малые габаритные размеры, но не обладают памятью и в них затруднено получение полутоновых и цветных изображений.

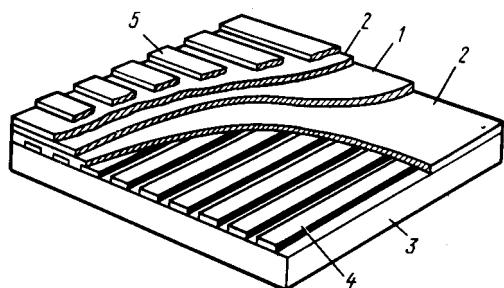


Рис. 6.41. Структура тонкопленочной элетролюминисцентной панели.

6.6.2. Управление формированием символов на экране.

Отдельные индикаторы, например светодиодные или ЖКИ, на одно «знакоместо» могут объединяться в блоки, часто выпускаемые в виде единой микросхемы. Они применяются в простейших МП—системах, контроллерах, электронных приборах с цифровой индикацией и т.д. В индикаторах второго типа (индикаторы со сканированием) экран можно представить в виде равномерной прямоугольной сетки. Эти индикаторы используются для отображения не только текстовой, но и графической информации. Узлы сетки экрана являются опорными точками для получения изображения алфавитно-цифрового символа или графического образа. Совокупность узлов сетки позволяет образовывать матрицы, посредством которых формируются контуры символов. Расположение матриц на экране фиксированы и определяется схемами управления; каждая матрица на экране называется знакоместом.

6.6.2.1. Управление индикаторами, выполненными в виде блока знакомест.

При формировании контура символа на отдельном индикаторе из матрицы точек, например, 5×7 , поступающий код символа преобразуется в 35-разрядный код описания его контура, в котором «1» в каком-либо разряде означает «включенное» состояние соответствующего данному разряду элемента матрицы, а «0» — «выключенное». Преобразование кодов выполняется посредством шифратора (часто используют микросхемы ПЗУ, в которых хранятся коды описания контуров всех символов используемого алфавита). Если знакоместо образовано линейными сегментами, то число разрядов кода описания контура определяется числом этих сегментов.

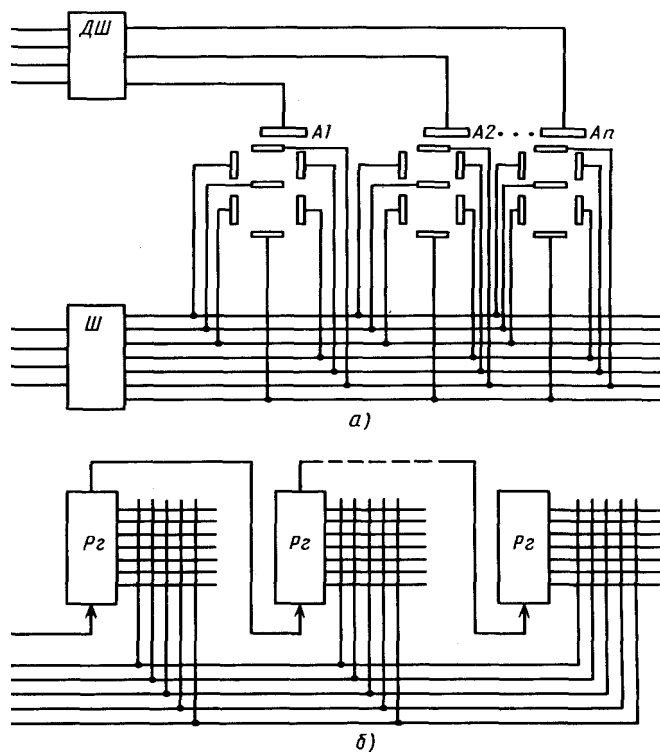


Рис. 6.42. Управление индикаторами, выполненными в виде блока знакомест

В цифровых индикаторах, изготовленных в виде одной микросхемы, такие шифраторы часто выполняют встроенными. Между шифраторами и электродами индикатора располагаются наиболее сложные компоненты-усилители, служащие для формирования уровней напряжения, необходимых для управления включением-выключением элементов индикатора. Число этих усилителей можно сократить, если их использовать для возбуждения одноименных элементов различных знакомест на основе мультиплексирования.

На рис.6.42,а показана индикаторная панель, состоящая из нескольких 7-сегментных знакомест. Одноименные катоды-сегменты всех знакомест объединены и возбуждаются от общих усилителей. Мультиплексирование обеспечивается поочередной подачей разрешающих потенциалов на отдельные аноды знакомест ($A_1 \text{—} A_n$). Такая индикаторная панель может быть подключена к порту вывода МП. При отображении числовой информации в одном 8-разрядном слоге можно разместить и код символа (старшие четыре разряда), и номер знакоместа (младшие разряды). Это позволяет подключить шифратор кодов (Ш) и дешифратор номера (ДШ) знакоместа соответственно к старшим и младшим разрядам порта вывода. Для исключения мерцаний цикл вывода повторяется с частотой 25-50 Гц.

Рассмотрим теперь панель, состоящую из отдельных светодиодных матриц (рис.6.42,б). Матрица 5×7 позволяет отображать не только цифры, но и буквы. Однако из-за последовательного опроса элементов матрицы длительность светоизлучения каждым сегментом, а следовательно, и кажущаяся яркость снижаются. Для устранения этого недостатка аноды светодиодов строки матрицы подключаются к параллельным выходам сдвиговых регистров Rг; в эти регистры загружаются коды описания контуров символов (7-разрядные), относящиеся к отображаемому в данный момент столбцу. Сначала загружаются коды всех первых столбцов и подается разрешающий потенциал на катоды элементов, расположенных в первых столбцах всех матриц, затем коды для вторых, третьих столбцов и т.д. Процесс также должен повторяться с частотой не менее 25-50 Гц.

6.6.2.2. Управление индикаторами со сканированием

Управление индикаторами со сканированием несколько сложнее. Экраны таких индикаторов можно рассматривать как прямоугольную сетку, в узлах которой находятся отдельные элементарные индикаторы (ЭИ), способные под воздействием управляющих сигналов изменять свои оптические свойства. Сетка создается либо в процессе изготовления индикатора (система ортогональных электродов в ГИП и ТЭЛП), либо в процессе формирования изображения (например, при перемещении луча по экрану ЭЛТ). Включение и выключение ЭИ для формирования видимого изображения на экране производится в определенной последовательности, называемой *последовательностью опроса ЭИ*. Принято различать *функциональный метод формирования изображения*, при котором последовательность опроса определяется конкретным отображаемым контуром, и *растровый метод*, при котором последовательность опроса ЭИ не зависит от изображения и всегда постоянна.

В современных устройствах отображения текстовой информации применяется исключительно растровый метод, причем используется разновидность раstra, называемого полноформатным (телевизионным). Функциональный метод формирования изображения будет рассмотрен далее применительно к графическим системам. При полноформатном растре последовательность опроса ЭИ такова: слева направо опрашиваются ЭИ, расположенные в верхнем горизонтальном ряду сетки экрана, затем опрашиваются также слева направо ЭИ, расположенные во втором ряду и т.д. После опроса ЭИ последнего нижнего ряда возобновляется опрос ЭИ верхнего ряда. При использовании ЭЛТ в качестве индикатора формирование сетки ЭИ и их опрос производится в процессе перемещения луча по экрану. Луч равномерно перемещается горизонтально слева направо, как бы прочерчивая одну «телевизионную» строку раstra — прямой ход луча. Во время прямого хода луча в моменты времени, определяемые синхроимпульсами (СИ), интенсивность луча можно увеличить, при этом в строго определенном месте экрана возникает яркая точка. Таким образом, сетка ЭИ на экране создается за счет временной синхронизации. После завершения прямого хода луча на отклоняющие системы ЭЛТ подаются сигналы, возвращающие луч к началу второй телевизионной строки раstra. Во время обратного хода луча его интенсивность уменьшена, и поэтому он не оставляет следа на экране. Аналогично осуществляется возврат луча к началу первой строки после завершения прямого хода на последней нижней телевизионной строке экрана. Полный цикл опроса ЭИ называется кадром.

В телевизионной технике используется так называемая чересстрочная развертка, при которой кадр состоит из двух полукадров; в первом полукадре луч перемещается по нечетным строкам раstra, во втором — по четным.

6.6.2.2.1. Структурная схема дисплея на основе ЭЛТ.

На рис.6.43,а и б приведены структурная схема дисплея на основе ЭЛТ и пример формирования текста на экране соответственно. Помимо блоков, непосредственно участвующих в формировании изображения, показаны узлы для подключения клавиатуры Кл и узел сопряжения с интерфейсом УС. Строка текста на экране занимает несколько (N_y) телевизионных строк, например 9; строки разделены межстрочными промежутками, которые в данном случае соответствуют 10-14 телевизионным

строкам. На этих строках располагается специальный маркер (или курсор). Символы занимают несколько (N_x) столбцов (здесь с 1-го по 7-й) и отделяются друг от друга столбцами 8 и 9. Таким образом, каждое знакоместо представлено матрицей точек 7×9 , а весь экран можно рассматривать как матрицу знакомест размером $M_x \times M_y$ (например, 80×24). Перемещение луча по экрану ЭЛТ посредством отклоняющих систем и блока развертки БР синхронизируется сигналами СИЗ блока синхронизации БСИ. Модулятор M служит для изменения интенсивности электронного луча в те моменты (СИ2), когда он направлен в узел сетки экрана.

Отображаемый текст заносится в БЗУ, в каждой ячейке которого хранится код одного символа. В режиме отображения информации на экране синхронно с перемещением луча с помощью счетчика позиций (СЧА) вырабатываются последовательные адреса ячеек БЗУ. Адрес ячейки передается в РГА и соответствует номеру знакоместа на экране и состоит из двух частей — номера информационной строки A_y и номера позиции в строке A_x . При обращении к БЗУ по адресу $A_y A_x$ код соответствующего символа поступает на знакогенератор ЗнГ, представляющий собой ПЗУ, в котором хранятся описания изображений всех отображаемых символов, см. рис. 6.43, б.

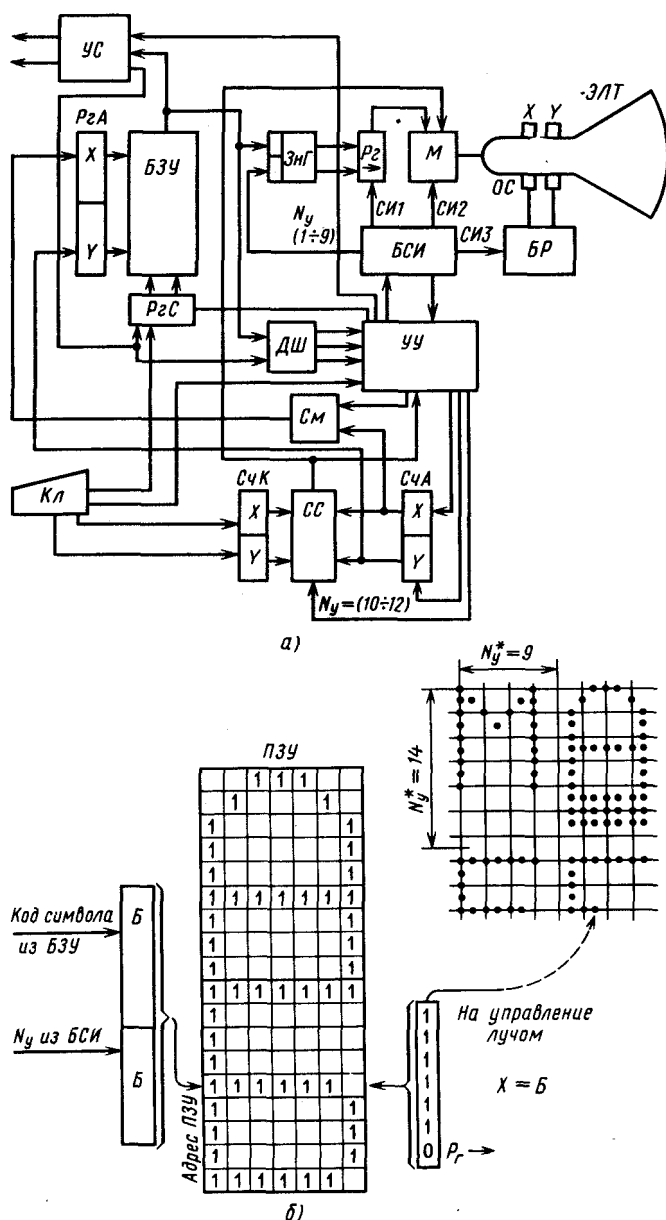


Рис. 6.43. Структурная схема дисплея на основе ЭЛТ (а) и пример формирования текста на экране (б).

Поскольку луч перемещается по экрану вдоль строки, то в процессе прямого хода луча должны быть сформированы одноименные горизонтальные элементы всех символов одной информационной строки. Для этого в качестве адресной информации в ЗнГ помимо кода отображаемого символа (из БЗУ) подается код текущей телевизионной строки развертки (N_y); в результате в сдвиговый регистр

(Pг→) поступает описание одного горизонтального элемента одного символа (сравни с ПЗУ ПЧУ на рис.6.15). Сигналы, снимаемые с последовательного выхода этого регистра, служат для управления модулятором, т.е. для формирования светлых или темных точек изображения символа в узлах сетки. В БЗУ могут храниться коды управляющих символов; в этом случае их описания в ПЗУ знакогенератора отсутствуют и эти символы не отображаются на экране.

С помощью дешифратора ДШ коды управляющих символов преобразуются в сигналы для устройства управления (УУ). Считывание кодов символов из БЗУ производится синхронно с формированием изображения на экране. Предположим, что считывание из БЗУ производится посимвольно. Время формирования t_c каждого горизонтального элемента символа можно определить, исходя из частоты регенерации изображения $F_p = 50$ Гц, числа символов в строке ($M_x=80$), числа строк ($M_y=24$) и ширины строки текста (т.е. числа строк раstra, приходящихся на одну строку с учетом межстрочных поомежутков $N_y = 14$):

$$t_c = 1/(F_p M_x M_y N_y).$$

В нашем примере $t_c < 0,7$ мкс. При недостаточном быстродействии БЗУ можно производить одновременное считывание нескольких байт. Для операций редактирования символ на экране отмечается маркером. Отмеченное маркером знакоместо соответствует ячейке БЗУ с адресом, который совпадает с содержимым счетчика позиции маркера (СчК). В процессе опроса БЗУ содержимое счетчика СчА постоянно изменяется; при совпадении содержимого счетчиков СчА и СчК и при наличии сигнала о том, что номер текущей телевизионной строки N_y соответствует 10-12, схема совпадения (СС) вырабатывает сигнал на модулятор М, при этом на экране формируется изображение маркера. Сигнал совпадения может использоваться в БУ для разрешения записи кода символа из регистра символа PгС в соответствующую ячейку БЗУ. Таким образом, код символа нажатой клавиши на клавиатуре попадает в ячейку БЗУ, соответствующую расположению маркера на экране.

6.6.2.2.2. Операции редактирования.

Как уже отмечалось, дисплей или экранный пульт представляет собой совокупность УО и клавиатуры. Клавиатура дисплея должна предоставлять возможность оператору производить операции редактирования текста, отображаемого на экране. К числу операций редактирования принято относить: ввод, стирание или изменение символа; ввод, стирание или вставка строки или ее части; установка полей отображаемого формата; выделение символов или слов посредством подчеркивания, изменения яркости, инверсного отображения (на светлом фоне темный символ) или мерцания, смещение страницы на одну строку вверх и т.д.

Управление положением маркера. Положение маркера на экране определяется содержимым счетчика СчК (рис.6.43,а), состоящего из двух частей: счетчика строк СчКу и счетчика позиций в строке СчКх. Для перемещения маркера вправо или влево вдоль строки необходимо добавить (или отнять) единицу к содержимому счетчика СчКх; соответствующий сигнал формируется при нажатии одной из функциональных клавиш клавиатуры. Аналогично для перемещения маркера на одну строку вниз или вверх необходимо добавить (отнять) единицу к счетчику СчКу. Эти сигналы также формируются при нажатии соответствующих функциональных клавиш, а также при переполнении счетчика СчКх и после записи кода символа в БЗУ из PгС. Маркер можно вернуть на первую позицию экрана, обнулив счетчик СчК.

Смещение страницы на одну строку вверх может быть реализовано различными способами. На рис.6.43,а для этой цели использован сумматор (См), который вычисляет абсолютный адрес строки Y в БЗУ путем сложения содержимого СчАу и содержимого счетчика смещения СчСм, находящегося в БУ (на рисунке этот счетчик не показан). Содержимое СчСм является как бы базовым адресом, начиная с которого производится циклическое считывание из БЗУ информационного блока размером, соответствующим емкости экрана. Такой способ особенно удобен в тех случаях, когда объем БЗУ превышает емкость экрана. Тогда уменьшение содержимого СчСм позволяет отображать одну страницу, начиная с произвольной строки, т.е. «поднимать» или «опускать» страницу. В некоторых дисплеях БЗУ строится на элементах динамического типа, в которых для сохранения информации производится ее регенерация, т.е. периодическое считывание с последующей записью по тому же адресу. В таких устройствах цикл регенерации для каждой информационной строки производится во время интервала, когда луч перемещается по телевизионным строкам, образующим промежуток между информационными строками.

Смещение страницы на одну строку вверх в этих системах удобно производить путем физического изменения содержимого БЗУ; для этого вместо цикла регенерации выполняют цикл перезаписи со смещением строки вверх. Этот цикл заключается в следующем: код из ячейки БЗУ с адресом A_y, A_x записывается в ячейку с адресом $A(y-1), A_x$; очевидно, что содержимое верхней строки теряется, а нижняя остается пустой.

Выделение символов, слов и задание форматов. При необходимости выделения отдельных символов, например, посредством подчеркивания или модуляции яркости, в каждой ячейке БЗУ помимо разрядов для кода символа предусматривается один-два разряда для хранения признака

выделения. При считывании содержимого ячейки БЗУ в процессе отображения информации на экране код символа передается в знакогенератор, а признаки выделения — в схемы управления. Запись признака выделения в каждую ячейку БЗУ выполняется аналогично записи кода символа, но независимо от него с помощью соответствующей функциональной клавиши.

Для выделения слов и полей используются специальные управляющие символы, коды которых заносятся в БЗУ. Эти символы на экране не отображаются, однако при считывании из БЗУ дешифрируются, и сформированные сигналы служат для управления процессами отображения и записи информации в БЗУ. Каждое помеченное таким образом поле на экране начинается и заканчивается пробелами, которые соответствуют неотображаемым управляющим символам в ячейках БЗУ. Например, в случае защищенного поля в первую ячейку поля БЗУ заносится управляющий символ — признак защищенного поля. При считывании кодов из БЗУ в процессе отображения текста на экране этот код будет расшифрован и будет сформирован соответствующий управляющий сигнал, который установит в «1» триггер блокировки записи в БЗУ. Таким образом, запись в БЗУ со стороны клавиатуры будет запрещена; при этом, если схемы обнаруживают совпадение значений счетчика позиций маркера СчК и счетчика текущей позиции БЗУ СчА для защищенного поля, то они сформируют сигнал на увеличение содержимого СчК. Маркер таким образом, не может быть установлен на защищенное поле. Триггер блокировки будет сброшен при обнаружении символа отмены защищенного поля. Аналогичным образом могут быть реализованы выделения полей различных типов.

Удаление и вставка символа являются одними из важнейших операций по редактированию. Для удаления символа необходимо установить маркер на соответствующую позицию и затем нажать клавишу удаления. Сигнал от клавиши удаления символа приводит к следующим действиям. Во время перемещения луча ЭЛТ по телевизионным строкам межстрочного промежутка после обнаружения сигнала совпадения содержимого счетчиков СчК и СчА каждый следующий считанный из БЗУ код символа будет записываться не по своему адресу (Ay, Ax), а по адресу $Ay, A(x-1)$, т.е. в предыдущую ячейку. Код символа в ячейке, для которой произошло совпадение содержимого СчК и СчА, будет потерян. На экране эти действия соответствуют удалению одного символа и смещению оставшегося текста на одну позицию влево. Вставка символа производится аналогично, однако вначале в БЗУ освобождается ячейка для записи вставляемого символа по адресу маркера, для чего текст справа от вставки сдвигается вправо, а затем в освобожденную ячейку БЗУ заносится новый символ. Для сдвига части текста вправо считываемые из ячеек (Ay, Ax) БЗУ коды символов должны заноситься в соседние ячейки с адресами $Ay, A(x+1)$. Однако соседняя ячейка освобождается лишь при следующем цикле считывания, поэтому в схемах управления должен быть предусмотрен буферный сдвиговый регистр на два символа. Символ из последней ячейки теряется.

Использование МП в схемах управления позволяет значительно расширить число функций редактирования и значительно усложнить их. Можно реализовать операции удаления и вставки строки, сдвиг текста с использованием свободных полей и т.п. Однако непосредственное отображение текста на экране реализуются аппаратными средствами из-за высоких требований к быстродействию.

На клавиатурах дисплеев обычно предусматривают управляющие клавиши переключения режимов работы: автономный и системный. В автономном режиме ввод и изменение содержимого БЗУ производится от клавиатуры; в системном режиме БЗУ подключается к схемам сопряжения с ЭВМ. Примерами дисплеев могут служить устройства ЕС 7927.01М и СМ 7202.М2. В обоих дисплеях применен полноформатный растр, на экран может быть выведено 24 строки текста по 80 символов в каждой. Алфавит содержит 160 отображаемых символов. В устройстве ЕС 7927.01М применен монохроматический, а в СМ 7202.М2 — многоцветный индикатор. Оба дисплея обладают возможностями псевдографики.

6.7. Пульты ЭВМ

В процессе эксплуатации ЭВМ возникает необходимость вмешательства обслуживающего персонала (оператора, инженера, системного программиста) в ход вычислительного процесса. Взаимодействие обслуживающего персонала с программно-аппаратными средствами ВС реализуется посредством особых средств ввода-вывода «текстовой» информации, которые называют пультами. С помощью пультов ЭВМ выполняется генерация программного обеспечения, инициализация вычислительного процесса, запуск диагностических процедур, восстановление правильности информации и вычислительного процесса после отказов и сбоев.

Пульты ЭВМ различаются в зависимости от назначения и класса ЭВМ. В простейшем случае пульт ЭВМ представляет собой набор тумблеров для установки кода в регистре и набор индикаторов для отображения состояния регистра. Такие пульты характерны для простейших микроЭВМ. Для машин общего назначения и суперЭВМ пульты могут содержать специальные «сервисные» процессоры с собственными ПУ (дисплеи, пультовые пишущие машинки, ВЗУ) и запоминающие устройства, позволяющие существенно упростить выполнение перечисленных выше функций. Пультовые ЗУ, выполняемые обычно в виде малогабаритного накопителя на ГМД или кассетной МЛ,

позволяют хранить диагностические программы, программы начальной загрузки и т.п.

Пульт ЭВМ должен предоставлять возможность оператору устанавливать различные режимы работы машины (автоматический, пошаговый, потактовый), задавать адреса команд и операндов, коды операций, режимы обмена и т.д. С этой целью предусматриваются специальные аппаратные средства и соответствующие цепи, служащие для передачи управляющих сигналов от органов управления пульта к соответствующим логическим схемам в ЦП и ПВВ, а также для приема в пульт сигналов о состоянии тех или иных компонентов ЦП или ПВВ для индикации оператору. Число управляющих сигналов и сигналов о состоянии двоичных элементов очень велико; они образуют многобитовые коды, которые передаются с пульта или на пульт последовательным способом.

Число принимаемых и формируемых на пульте сигналов значительно превосходит число индикаторов и органов управления, поэтому большинство индикаторов и переключателей пульта являются многофункциональными. Задание выполняемой функции, а также параллельно-последовательное преобразование кодов осуществляется посредством мультиплексоров, расположенных непосредственно в пульте и рассредоточенных по всему оборудованию ЭВМ, контролируемому пультом.

Пульт управления позволяет переводить систему в начальное состояние (сброс системы); производить начальную загрузку системы; запускать любую программу [для этого в текущее состояние программы (ССП) заносится адрес команды]; устанавливать режимы работы ЦП и ПВВ, производить пуск и останов ЦП и ПВВ; устанавливать реакцию ЦП на сигналы совпадения адресов; устанавливать реакцию ЦП на сбой, производить «гашение» сигналов о сбоях, а также ряд других действий.

Контрольные вопросы

1. Составьте структурную схему управления клавиатурой посредством МП. Как программным способом устраняется влияние дребезга контактов? Как выявляется одновременное нажатие двух клавиш?
2. Перечислите основные функции, реализуемые при автоматическом вводе текстовой информации. Какими параметрами принято характеризовать ЧА?
3. Перечислите виды специальных шрифтов и области их использования. Какие признаки используются для составления описания символов?
4. В чем суть корреляционного метода распознавания символов в ЧА?
5. Какими параметрами характеризуются ПЧУ?
6. Перечислите основные способы регистрации и дайте сравнительную характеристику.
7. Составьте структурную схему управления ПЧУ матричного типа (а), с лепестковым шрифтоносителем (б). Как достичь ускорения печати?
8. Охарактеризуйте струйные, сублимационные и термовосковые принтеры.
9. Составьте структурную схему управления параллельным ПЧУ со шрифтоносителем в виде бесконечной ленты. Как достичь ускорения печати?
10. Что такое современный лазерный принтер и какими параметрами он характеризуется?
11. Что понимается под алгоритмическим разрешением лазерного принтера? Как передается полутоновое изображение и сглаживаются края символов и рисунков?
12. Перечислите основные типы индикаторов и дайте их сравнительную характеристику.
13. Опишите схемы управления сегментными и матричными индикаторами на несколько знакомест.
14. Разработайте схему управления отображением символов при полноформатном растровом методе их формирования.
15. Как реализуется управление положением маркера? Как реализуются основные функции редактирования?
16. Перечислите основные функции пультов ЭВМ.

Распознавание печатных символов и работа ОЧА описана в [26]. Методы регистрации информации изложены в [1, 20]. Вопросы, связанные с лазерными принтерами достаточно подробно рассмотрены в [20]. Принципы получения видимого изображения на экране описаны в [27, 28] а схемы управления на базе МП— в [13].

В Главе 6 использованы основные материалы из [1, 20].

7. УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ ВВОДА-ВЫВОДА ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.

Устройства и системы ввода-вывода графической информации находят широкое распространение благодаря компактности и наглядности графического способа представления информации для человека. Основными областями применения являются системы автоматизированного проектирования, обработки изображений, обучения, управления процессами и мультипликации.

По назначению и выполняемым функциям все УВВ графической информации можно подразделить на устройства ввода (ручные, полуавтоматические, автоматические) и вывода, которые, в свою очередь, включают в себя устройства отображения и регистрации. Совокупность устройств отображения и ручного ввода называют графическим дисплеем (ГД). Он представляет собой сложную систему, предназначенную для работы пользователя с ЭВМ в диалоговом режиме на уровне графических образов. Как правило, устройства отображения графической информации индивидуального пользования используются не самостоятельно, а лишь в составе ГД, поэтому в дальнейшем они не выделяются в отдельную группу устройств.

В персональных компьютерах для отображения текстовой и графической информации используются видеомониторы, подключаемые к видеоадаптеру, расположенному в системном блоке компьютера и видеоадаптер определяет в основном характеристики видеосистемы ПК. В учебных материалах по курсу "Периферийные устройства" адаптеры и контроллеры периферийных устройств не рассматриваются.

7.1. Классификация и структурные схемы графических дисплеев

Графические дисплеи принято классифицировать по принципам сканирования экрана; типам применяемых индикаторов; цветности изображения.

По *принципу сканирования* экрана ГД подразделяются на дисплеи с произвольным сканированием (функциональные) и растровые. При произвольном сканировании изображение формируется путем перемещения светового пятна ЭЛТ по контуру изображаемого объекта. В растровых ГД электронный луч (если иметь в виду ЭЛТ) всегда независимо от вида изображения перемещается по одному и тому же закону, а само изображение формируется путем управления интенсивностью луча.

По *типу применяемых индикаторов* выделяются ГД на ЭЛТ и плоских матричных экранах. В качестве ЭЛТ применяются черно-белые или цветные ЭЛТ с малым временем послесвечения и специальные ЭЛТ с запоминанием информации, называемые запоминающими (ЗЭЛТ). В течение ряда лет велась работы по уменьшению габаритов ГД путем замены ЭЛТ (ЗЭЛТ) плоскими экранами.

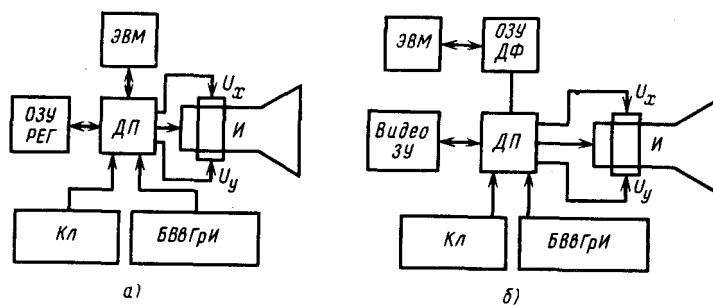


Рис. 7.1 Структурные схемы ГД: а – с произвольным сканированием; б – растровый.

По *цветности* изображения ГД подразделяются на монохроматические и цветные; эта характеристика определяется цветовыми возможностями применяемого индикатора.

В зависимости от принятого принципа сканирования и типа индикатора определяется внутренняя структурная организация ГД. ГД с произвольным сканированием изображения включает в себя следующие блоки (рис.7.1,а): дисплейный процессор (ДП), ОЗУ регенерации (ОЗУРЕГ), алфавитно-цифровую клавиатуру с клавишами управления режимами (Кл), блок ввода графической информации (БВВГри) и индикатор (И).

Дисплейный процессор представляет собой специализированный процессор с собственным набором команд, специфическими форматами данных и собственным счетчиком команд. Функции ДП заключаются в выполнении последовательности дисплейных команд, образующих дисплейную программу формирования рисунка на экране. Дисплейная программа, называемая также дисплейным файлом, описывает изображение. Она формируется в ЭВМ и пересылается в ОЗУ регенерации для запоминания. Дисплейная программа представляет собой последовательность команд вывода точек,

прямых, дуг, окружностей, символов. ДП читает команды дисплейной программы и выполняет необходимые действия по управлению электронным лучом. Кроме того, если индикатор не запоминает информацию, в функции ДП входит организация регенерации изображения с требуемой частотой, которая осуществляется путем периодического выполнения дисплейной программы. ДП принимает и обрабатывает информацию от клавиатуры и из блока ввода графической информации и вносит соответствующие изменения в дисплейную программу.

Структуру ГД можно существенно упростить, если в качестве индикатора использовать ЗЭЛТ. При этом отпадает необходимость в ОЗУ регенерации, так как ДП синхронно с приемом дисплейной программы обрабатывает команды и рисует изображение на экране. Запоминание информации на экране ЭЛТ позволяет не только упростить структуру ГД, но и отображать более сложную графическую информацию благодаря отсутствию временных ограничений (в дисплеях на ЭЛТ без запоминания ДП должен за один такт регенерации преобразовать весь дисплейный файл). При этом к ДП предъявляются не столь высокие требования по скорости обработки команд. Однако ЗЭЛТ для изменения части изображения требует стирания всего экрана с последующим повторным выводом измененного изображения; как следствие в таких ГД отсутствует возможность вывода движущегося изображения и организации интерактивного режима работы.

В растровых ГД (рис.7.1,б) картинка запоминается в видеоЗУ в виде композиции точек, называемых *пикселями*. Каждому пикселю на экране соответствует определенная точка — растровый элемент. Изображение формируется путем синхронного опроса ячеек видеоЗУ и перемещения луча по строкам экрана ЭЛТ. При этом значение пикселя, считанного в данный момент из видеоЗУ, отображается в виде дву- или многоградационного изображения растрового элемента. ДП должен выполнять следующие функции: преобразование дисплейного файла, хранящегося в ОЗУ, вычисление пикселей по информации, записанной в дисплейных командах; запись пикселей в видеоЗУ; формирование цикла регенерации информации из видеоЗУ на экран с заданной частотой. В тех случаях, когда оператор производит редактирование графической информации путем перемещения, поворотов, масштабирования всего изображения или его фрагментов, ДП с высокой скоростью производит перерасчет координат всех пикселей и регенерацию экрана. Это существенно усложняет функции дисплейного процессора, так как для запоминания любых графических элементов ДП должен рассчитать координаты всех составляющих пикселей. Кроме того, любые процедуры редактирования, связанные с изменением положения графических элементов на экране или их размеров, требуют пересчета всех пикселей.

7.2. Графические дисплеи с произвольным сканированием.

Графические дисплеи с произвольным сканированием подразделяются на точечные и векторные. В точечных дисплеях любая картинка рисуется из отдельных точек, координаты которых в произвольном порядке задаются в дисплейной программе. В векторных дисплеях изображение составляется из отдельных прямых (векторов), которые задаются в дисплейной программе координатами начальных и конечных точек.

7.2.1. Точечные ГД

Они формируют изображение в виде совокупности точек, координаты которых задаются в командах дисплейного файла. Для управления рисованием ГД должен иметь по крайней мере два типа команд:

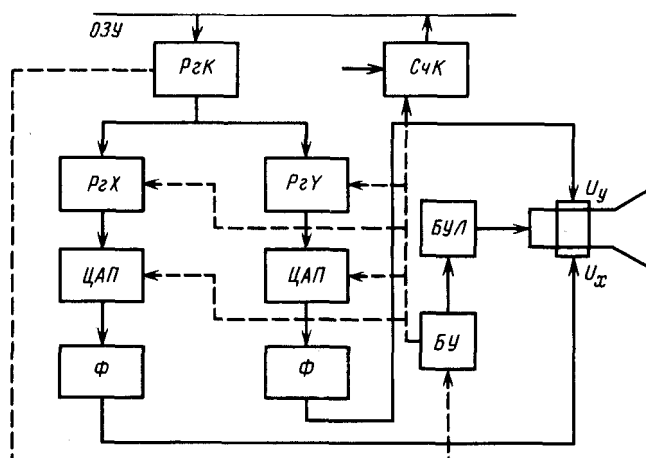


Рис. 7.2. Структурная схема точечного ГД.

РИС ТЧК X Y — команда рисования точки;
БПП А — команда безусловного перехода.

Левое поле команды представляет собой код операции (КОП), в котором записывается тип команды. Поля X и Y предназначены для указания координат точки. Поле A используется для перехода к первой команде дисплейной программы с целью организации ее циклического исполнения для регенерации изображения.

В структурную схему точечного ГД (рис.7.2) входят следующие элементы: счетчик команд (СчК), вычисляющий адрес следующей команды дисплейной программы; регистр команд (РгК), фиксирующий команды на период их выполнения; регистры РгX и РгY, фиксирующие координаты точки для выполняемой команды; цифро-аналоговые преобразователи ЦАПx и ЦАПy, осуществляющие преобразование цифровых координат отображаемой точки в напряжения отклонения луча ЭЛТ по координатам X и Y. ГД функционирует следующим образом. Центральный процессор ЭВМ формирует описание изображения в виде дисплейной программы и записывает ее в ОЗУ. Далее управление рисованием передается ДП путем занесения в СчК адреса первой команды дисплейной программы. Перебор всех команд программы за период отображения кадра осуществляется путем приращения СчК.

Программа ДП для рисования контура, образованного из n точек — узлов сетки экрана, представляет собой последовательность из $(n+1)$ команд. Первые n команд (по числу точек контура) являются командами рисования отдельных точек; они отличаются только координатами формируемой точки на экране. При выполнении каждой команды луч перемещается в точку экрана, координаты которой содержатся в команде, а затем производится его «включение». Последняя команда является командой перехода. Содержащийся в ней адрес представляет собой адрес первой команды программы в ОЗУ и загружается в счетчик команд СчК. Этим обеспечивается непрерывное циклическое выполнение программы, т.е. регенерация изображения. Чтобы изменить изображение на экране, ЦП должен изменить дисплейную программу. Основным недостатком точечных ГД — непроизводительная трата времени ЦП на вычисление координат каждой рисуемой точки изображения. От этого недостатка свободны векторные ГД.

7.2.2. Векторные ГД

Они вычисляют координаты каждой отображаемой точки, оставляя за ЦП формирование дисплейной программы, команды которой содержат координаты начальной и конечной точек отрезков прямых, называемых векторами. Рисование векторов осуществляется автоматически специальным блоком — генератором векторов, или генератором напряжений развертки. Для задания координат начала и конца вектора используют абсолютные или относительные координаты, что отражается на форматах команд и структуре ДП.

7.2.2.1. Принципы организации ГД.

На рис. 7.3 приведена схема векторного ГД, работающего в абсолютных координатах.

Для формирования изображения, составленного из векторов, ДП должен иметь следующий набор команд:

ЗАГР.X X — загрузить X,

ЗАТР.Y Y — загрузить Y и переместить луч в позицию X,Y,

РИС.ТЧК Y — загрузить Y, переместить луч в позицию X,Y и нарисовать точку,

РИС.ВКТ Y — загрузить Y и нарисовать вектор от точки X_н,Y_н до точки X_к,Y_к, где индексы «н» и «к» означают начало и конец вектора,

БП A — безусловный переход.

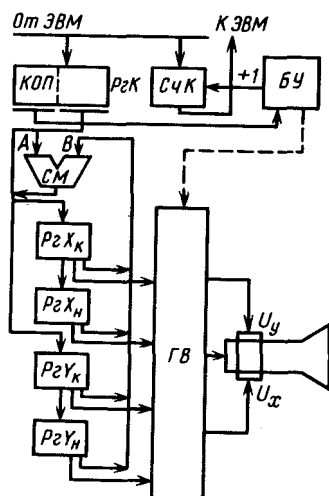


Рис. 7.3. Схема векторного ГД, работающего в абсолютных координатах.

Для хранения начальных и конечных координат вектора в ДП предусмотрены регистры РгXн,

RgY_n и RgX_k , RgY_k соответственно. На каждом шаге рисования в них осуществляется загрузка координат, под управлением которых генератор векторов осуществляет управление лучом. В начале следующего шага производится передача содержимого регистров RgX_k и RgY_k в регистры RgX_n и RgY_n , а на регистры RgX_k и RgY_k загружаются координаты конечной точки следующего вектора из следующей команды, зафиксированной на RgK .

Ниже приведена программа рисования треугольника ABC, показанного на рис.7.4,а.

Метка	КОП	Координата	Комментарий
НАЧ	ЗАГР.X	100	загрузка X_a
	ЗАТР.Y	100	загрузка Y_a , перемещение луча в т. А
	ЗАГР.X	200	загрузка X_b
	РИС. ВКТ	0	загрузка Y_b , рисование АВ
	ЗАГР.X	400	загрузка X_c
	РИС.ВКТ	350	загрузка Y_c , рисование ВС
	ЗАГР.X	100	загрузка X_a
	РИС. ВКТ	100	загрузка Y_a , рисование СА
	БП	НАЧ	возврат к началу

Основным недостатком ГД, работающих с абсолютными координатами векторов, является относительно большая нагрузка ЦП в режиме редактирования графической информации, так как изменение положения графических элементов на экране ведет к необходимости вычисления новых координат каждого вектора, а, следовательно, к формированию новой дисплейной программы.

Ниже приведен пример изменения дисплейной программы, обеспечивающей перемещение треугольника ABC (рис.7.4,а) на -50 растровых единиц по координате X и на $+100$ единиц по координате Y (рис.7.4,б).

коп	Координаты	Комментарий (действия в ЦП)
ЗАГР.X	50	100-50
ЗАГР. Y	200	100+100
ЗАГР.X	150	200-50
РИС. ВКТ	100	0+100
ЗАГР. X	350	400-50
РИС. ВКТ	450	350+100
ЗАГР. X	50	100-50
РИС. ВКТ	200	100+100
БП	НАЧ	

В колонке комментария иллюстрируются действия, производимые ЦП. Если описание вектора

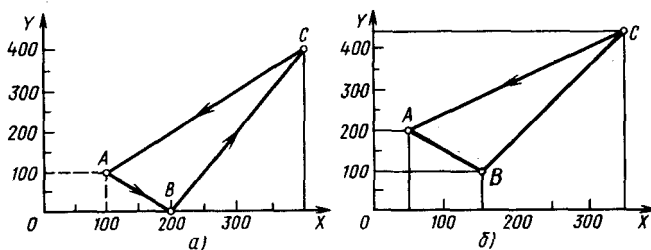


Рис. 7.4. Фигуры на экране ГД.

задан в относительных координатах, то функции ЦП в режиме редактирования можно существенно сократить, так как для перемещения картинки достаточно, чтобы ЦП изменил только те команды описания графического изображения, которые задают координаты его начальной точки. Координаты остальных векторов ДП будет вычислять относительно их текущих значений. Для осуществления этого в систему команд ДП необходимо ввести команды, обеспечивающие рисование в относительных координатах. Расширение функций ДП ведет к усложнению его структуры (рис. 7.5). В состав ДП вводится сумматор (СМ) для вычисления координат по их абсолютным и относительным значениям.

Если в команде, принятой на РгК, указана абсолютная координата, то открывается вход А и с выхода СМ код координаты переписывается на соответствующий регистр.

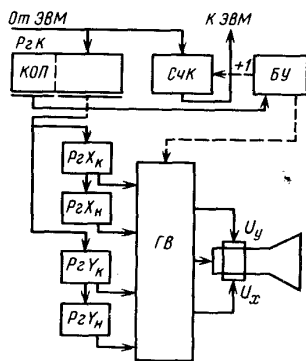


Рис. 7.5. Схема векторного ГД, работающего в относительных координатах.

При выполнении команды, содержащей относительные координаты, открываются входы А и В сумматора, причем на вход В поступает абсолютное значение координаты начальной точки, которое хранится в РгХн (или РгУн); СМ вычисляет текущее значение координаты конечной точки Хк (или Ук). В этом случае дисплейная программа для рисования треугольника на рис.7.4,а, записанная в командах с абсолютными и относительными координатами, преобразуется к следующему виду:

Метка КОП	Координата	Комментарий
НАЧ ЗАГР.Хабс	100	загрузка Ха в РгХн
ЗАГР.Уабс	100	загрузка Ya в РгУн
ЗАГР.Хоти	200	$X_{\text{ботн}} + (РгХн) - (РгХк)$
РИС. ВКТотн	-100	$У_{\text{ботн}} + (РгУн) - (РгУк)$, рисование АВ, $(РгХк) - (РгХн)$, $(РгУк) - (РгУн)$
ЗАГР.Хоти	100	$X_{\text{сотн}} + (РгХн) - (РгХк)$
РИС. ВКТотн	350	$У_{\text{сотн}} + (РгУн) - (РгУк)$, рисование ВС, $(РгХк) - (РгХн)$, $(РгУк) - (РгУн)$
ЗАГР.Хотн	-300	$X_{\text{вотн}} + (РгХн) - (РгХк)$
РИС. ВКТотн	-250	$У_{\text{вотн}} + (РгУн) - (РгУк)$, рисование СА, $(РгХк) - (РгХн)$, $(РгУк) - (РгУн)$
БП	НАЧ	

Для перемещения графического изображения необходимо изменить только координаты начальной точки; при этом ЦП изменяет лишь две первые команды дисплейной программы. Остальные действия по рисованию измененного изображения выполняет ДП. При смещении треугольника по оси Х на -50 и по оси Y на $+100$ единиц, эти команды примут вид ЗАГР.Хаbс 50 и ЗАГР.Уавс 200. Остальные команды изменений не претерпевают.

7.2.2.2. Генератор векторов.

Качество изображения на экране и скорость рисования картинок во многом определяются генератором векторов. Генератор векторов представляет собой схему, преобразующую абсолютные координаты вектора или приращения между его начальными и конечными точками в такие формы отклоняющих напряжений, в результате действия которых между этими точками вычерчивается отрезок прямой. Функции формирования отклоняющих напряжений могут быть реализованы как цифровыми, так и аналоговыми схемами. При этом генераторы векторов должны отвечать следующим требованиям: отрезки линий должны быть прямыми, яркость линии не должна зависеть от ее длины и должна быть постоянной, вычерчивание отрезка должно производиться быстро с целью вывода большого количества отрезков без мелькания.

Выполнение указанных требований является довольно сложной задачей. Так, постоянная яркость векторов любой длины может быть достигнута либо перемещением луча с постоянной скоростью для всех векторов (тогда реализуется задача попадания одного и того же количества электронов в каждую точку отрезка прямой), либо изменением интенсивности луча для векторов различных длин (чем длиннее вектор, тем выше интенсивность луча). В общем случае задача состоит в том, чтобы управлять интенсивностью электронного луча в зависимости от скорости его перемещения. Таким образом, генератор векторов должен управлять тремя параметрами: отклонением по X, отклонением по Y, интенсивностью луча.

Для формирования сигналов отклонения используются два способа генерации: аналоговый и цифровой.

При **аналоговом способе** генераторы векторов строятся на базе аналогового интегратора, вырабатывающего опорное пилообразное напряжение, изменяющееся линейно от нуля до максимума за время T . Отклоняющие напряжения U_x и U_y получаются путем умножения опорного пилообразного напряжения на сигналы, полученные от приращения координат X и Y . В результате на усилители отклоняющей системы подаются плавные сигналы и на экране формируется «плавная» прямая.

Цифровой способ генерации вектора состоит в пошаговом увеличении (или уменьшении) содержимого регистров, фиксирующих начальные координаты вектора с частотой, пропорциональной приращениям X и Y . Выходы регистров связаны с усилителями отклоняющей системы через ЦАП. При данном способе генерации векторов на отклоняющую систему подаются напряжения ступенчатой формы. В результате на экране рисуется вектор с «зазубринами», так как электронный луч перемещается только в адресуемые точки экрана. На рис. 7.6 показаны формы сигналов U_x и U_y и результат рисования вектора аналоговым и цифровым генераторами векторов.

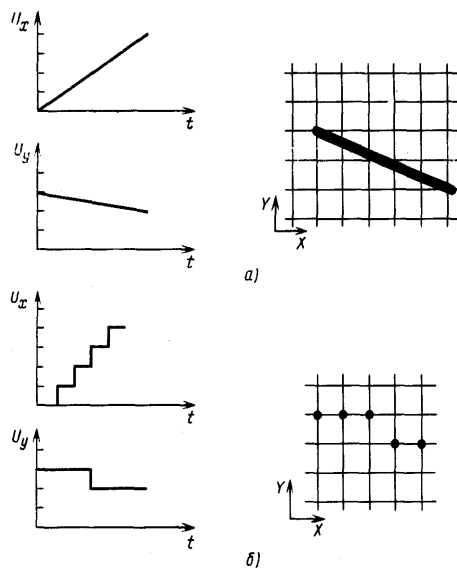


РИС. 7.6. Вектора, полученные аналоговым (а) и цифровым (б) генераторами векторов.

Высокопроизводительные ГД с аналоговыми генераторами векторов рисовали короткий вектор за 1 — 2 мкс, длинный вектор во весь экран — за 15 — 20 мкс. При использовании цифровых генераторов короткие вектора рисовались значительно быстрее — за 0,1 мкс, а длинные, адресуемые 10-разрядными регистрами и формирующие 1024 приращения, — за 30 мкс (данные по 90-ым годам).

Для создания **цветного изображения** в векторных ГД необходимо использовать специальные ЭЛТ, в которых цвет свечения люминофора зависит от интенсивности его возбуждения. В этом случае генератор векторов управляет интенсивностью электронного луча в зависимости от требуемого цвета изображения вектора. В дисплейных командах предусматривается дополнительное поле, в котором указывается код цвета.

Рассмотренные ДП векторных дисплеев позволяют строить на экране различные фигуры из последовательностей отрезков прямых и перемещать их по экрану. Однако часто требуется производить более сложные преобразования изображений — масштабирование и поворот всего или части изображения. Все процедуры преобразования изображения выполняются с помощью матричных преобразований начальных и конечных координат векторов, которые осуществляет векторный ДП. *Матричные преобразования являются математической основой не только векторных ГД, но и любых устройств, реализующих функции машинной графики.*

7.2.2.3. Математические основы векторной машинной графики.

Изображения в ГД представляются с помощью точек и линий. Любые графические преобразования определяются их преобразованием на плоскости и в пространстве. При работе с изображением оператор перемещает картинку или ее компоненты, изменяет масштаб, вращает и т.д. Такие преобразования выполняются на основе математических методов, описанных ниже.

Представление и преобразование точек. На плоскости точка задается координатами X и Y , значения которых можно рассматривать как элементы матрицы и представить в виде вектора-строки X, Y или вектора-столбца X . Последовательность точек можно представить в ЭВМ матрицей чисел. Путем преобразования матрицы управляют положением точек, которые определяются правилами

матричной алгебры.

Пусть заданы матрицы A и B и задана их взаимосвязь $A T=B$; матрица T называется матрицей преобразования. [Если известны матрицы A и B , то $T=A^{-1} B$, где A^{-1} — обратная квадратная матрица A .] Перемножение матриц можно использовать для геометрических преобразований над системами точек, описываемых матрицей A . Матричное умножение является основой математических преобразований в машинной графике.

При умножении матрицы $[X Y]$, определяющей координаты точки P , и матрицы преобразования общего вида

$$T = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$$

имеем:

$$[X Y] \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = [(aX + cY) (bX + dY)] = [X^* Y^*]$$

Эта запись означает, что начальные координаты X и Y преобразуются в координаты X^* и Y^* ,

$$\text{где } X^* = aX + cY, Y^* = bX + dY.$$

Рассмотрим несколько частных случаев матрицы T .

1. Пусть $a=d=1$ и $c=b=0$. Тогда матрица преобразования имеет вид:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

а полученный результат преобразования совпадает с исходной матрицей:

$$[X Y] \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = [X Y] = [X^* Y^*],$$

при этом изменения координат точки P не происходит.

2. Пусть $d=1, b=c=0$, т.е.

$$[X Y] \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = [aX Y] = [X^* Y^*].$$

В результате изменяется масштаб по оси X на масштабный коэффициент a , т.е. происходит *перемещение исходной координаты по оси X* (рис.7.7,а).

3. Точно так же для матрицы преобразований вида

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & d \end{bmatrix}$$

получим в результате умножения следующее выражение:

$$[X Y] \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & d \end{bmatrix} = [X dY],$$

которое обеспечит *перемещение точки P по оси Y* , рис.7.7,б).

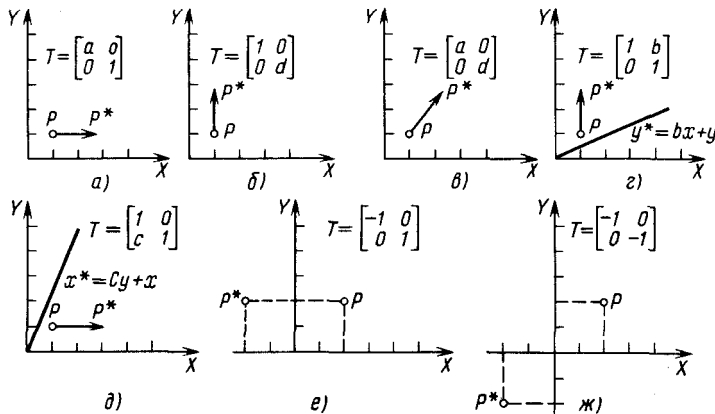


Рис. 7.7. Иллюстрация матричных преобразований.

4. Если задать $b=c=0$, то в результате преобразования получим:

$$[X \ Y] \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & d \end{bmatrix} = [aX \ dY] = [X^* \ Y^*],$$

что приведет к изменению положения точки P по осям X и Y, рис.7.7,в.

5. При $a = d = 1$; $c = 0$, получим

$$[X \ Y] \begin{bmatrix} 1 & b \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = [X \ (bX + Y)] = [X^* \ Y^*],$$

в результате чего координата X точки P не изменится, а значение координаты Y будет линейно зависеть от начальных координат (рис.7.7,г); этот эффект называется *сдвигом*. Аналогичная ситуация имеет место при $a=d=1$ и $b=0$ в отношении координаты Y (рис. 7.7,д).

6. Если значение a (и/или d) отрицательны, то имеет место отображение координат точек, т.е. их перемещение относительно начала координат на 180°. Так, при $b = c=0$, $d=1$ и $a = -1$ имеем

$$[X \ Y] = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} [-X \ Y] = [X^* \ Y^*],$$

т.е. отображение происходит относительно оси Y (рис.7.7,е).

7. При $b=c=0$, и $d=a -1$ отображение происходит относительно начала координат (рис.6.7,ж):

$$[X \ Y] = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} [-X \ -Y].$$

Таким образом, члены правой диагонали матрицы преобразований обеспечивают операцию сдвига по координатам точки P, а члены левой диагонали — изменение масштабов и отображение.

Преобразование отрезков прямых. Отрезок прямой задается координатами двух точек. На рис. 7.8,а показан отрезок АВ, который задается координатами точек А и В соответственно $[0 \ 1]$ и $[2 \ 3]$.

Пусть матрица преобразований имеет следующий вид

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$$

Умножение на эту матрицу эквивалентно операции сдвига. Используя умножение матрицы T на векторы положения для точек А и В, получим преобразованные вектора А и В :

$$AT = [0 \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} = [3 \ 1] = A^*;$$

$$BT = [2 \ 3] \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} = [11 \ 7] = B^*.$$

Таким образом, координатами преобразованной точки А являются $X=3$, $Y=1$, а точки В соответственно $X=11$, $Y=7$. В более компактном виде прямая АВ описывается матрицей

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 3 \end{bmatrix}$$

Перемножение матриц L и T дает значение

$$L T = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 11 & 7 \end{bmatrix} = L^*$$

Преобразованное положение прямой АВ показано на рис.7.8,а (прямая A^*B^*); при этом операция сдвига увеличила длину и изменила ее положение. Таким образом, положение отрезка прямой можно преобразовать в любое новое положение простым преобразованием ее начальных и конечных точек и последующим проведением линии между вновь полученными точками.

Как частный случай, рассмотрим масштабирование отрезка АВ, проведенного из начала координат (рис.7.8,б). Пусть его масштаб увеличивается в два раза по каждой координате. Матрица преобразований для такого масштабирования

$$T = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}.$$

Исходная прямая АВ определяется матрицей

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}.$$

Для изменения масштаба прямой АВ перемножим матрицы

$$L T = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 4 & 4 \end{bmatrix}.$$

При этом промасштабированная прямая займет положение

$$A (X'_A = 0, Y'_A = 0), B (X'_B = 4, Y'_B = 4).$$

Вращение. В ряде случаев требуется изменить ориентацию фигуры в поле экрана, т.е. произвести ее поворот вокруг начала координат. Это достигается также путем перемножения матриц, одна

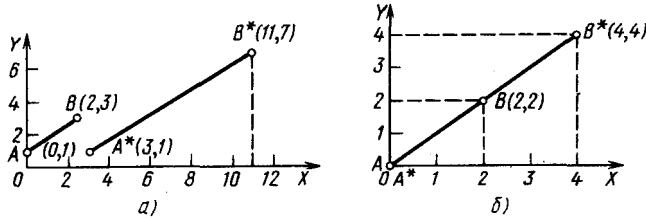


Рис. 7.8. Преобразование отрезков.

из которых задает координаты вершин фигуры, другая является матрицей преобразований.

Предположим, что требуется повернуть треугольник (рис.7.9,а), описываемый матрицей $\begin{bmatrix} 3 & -1 \\ 4 & 1 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$

на 90° вокруг начала координат против часовой стрелки. В этом случае матрица преобразований T имеет вид $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$

После перемножения получим: $\begin{bmatrix} 3 & -1 \\ 4 & 1 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ -1 & 4 \\ -1 & 2 \end{bmatrix}$

и треугольник займет положение $A^* B^* C^*$.

Если необходимо повернуть треугольник на 180° (рис.7.9,б) относительно начала координат, необходимо выполнить умножение на

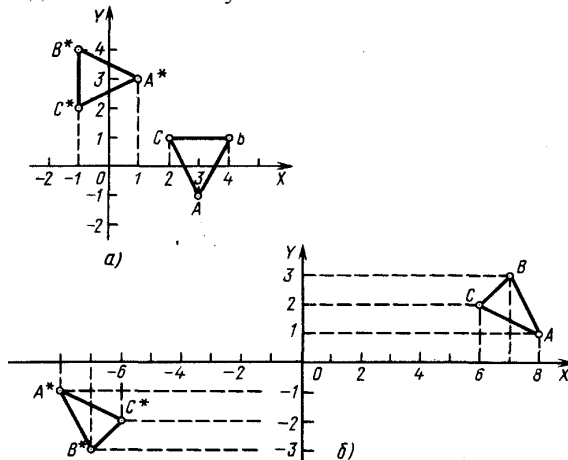


Рис. 7.9. Вращение фигур.

$T = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$, в результате получим: $\begin{bmatrix} 8 & 1 \\ 7 & 3 \\ 6 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8 & -1 \\ -7 & -3 \\ -6 & -2 \end{bmatrix}$

Отображение. Вращение осуществляется вокруг оси, перпендикулярной к плоскости $X Y$. Отображение определяется поворотом на 180° вокруг оси, лежащей в плоскости $X Y$ (рис. 7.10, а). Так, для поворота треугольника ABC вокруг линии $Y = X$ требуется матрицу описания треугольника умножить на матрицу преобразования

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \text{ т.е. } \begin{bmatrix} 8 & 1 \\ 7 & 3 \\ 6 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 8 \\ 3 & 7 \\ 2 & 6 \end{bmatrix}$$

Для вращения вокруг горизонтальной оси (рис.7.10,б) необходимо умножить на матрицу преобразований.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \text{ т.е. } \begin{bmatrix} 8 & 1 \\ 7 & 3 \\ 6 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 & -1 \\ 7 & -3 \\ 6 & -2 \end{bmatrix}$$

в результате чего получим зеркальное относительно X отображение треугольника.

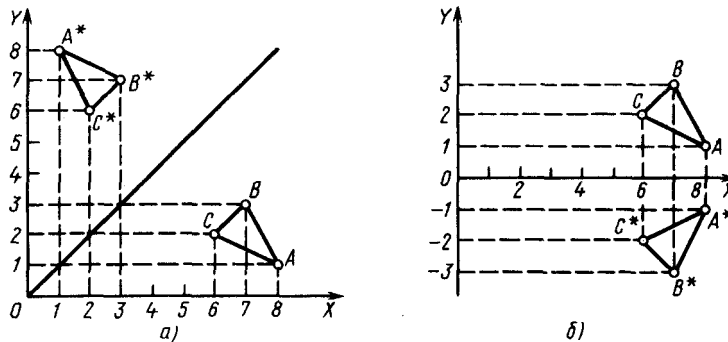


Рис. 7.10. Операции отображения.

Масштабирование. При рассмотрении вопроса преобразования точек было показано, что изменение масштаба определяется значением членов левой диагонали матрицы преобразований

$$T = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & d \end{bmatrix}$$

В общем случае масштаб по осям X и Y может быть неодинаков и зависеть от значений a и d соответственно. При $a = d$ каждая точка рисунка масштабируется по осям X и Y пропорционально.

Пусть требуется увеличить изображение треугольника ABC,

описываемого матрицей $\begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix}$ так, что масштаб по оси X равен 2, а по оси Y равен 3, матрица

$$T = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}. \text{ Тогда результат преобразования запишется: } \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 & 3 \\ 2 & 6 \\ 4 & 9 \end{bmatrix}$$

В итоге изменится положение и длины сторон треугольника, как показано на рис. 7.11.

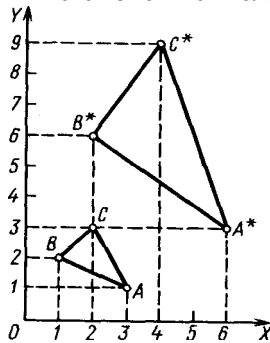


Рис. 7.11. Операции масштабирования.

7.3 Графические дисплеи растрового типа

По своим характеристикам и возможностям растровые ГД существенно отличаются от дисплеев с произвольным сканированием. Они позволяют создавать изображение с непрерывным уровнем яркости, так как вывод содержимого видео ЗУ на экран всегда производится с постоянной частотой и обеспечивается одинаковая яркость при вычерчивании векторов различных длин. К положительным свойствам растровых ГД относятся отсутствие мерцания изображения независимо от его сложности, возможность наложения изображения из видео ЗУ на стандартное телевизионное изображение (от телевизионной камеры или видеоманитофона). Кроме того, существенно проще получаются цветные изображения путем использования обычных масочных ЭЛТ.

В растровых ГД возникает необходимость вычисления всех точек каждого графического примитива (элементарного графического изображения) и записи каждой точки полученного изображения в видео ЗУ. Такое видео ЗУ должно обладать большой емкостью и высоким быстродействием; его временные характеристики должны быть согласованы с временными диаграм-

мами работы видеомониторов.

В отличие от векторных растровые ГД имеют более сложную последовательность преобразования исходного дисплейного файла в изображение на экране, которую можно представить в виде двух самостоятельных этапов: векторных и растровых преобразований. Наиболее просто реализуются основные процедуры перемещения, поворота, масштабирования на векторном уровне, как описано выше. В результате векторных преобразований исходного файла получают преобразованный векторный дисплейный файл, подготовленный к преобразованию в растровую форму. На этапе растровых преобразований каждый вектор заменяется последовательностью пикселей, записываемых в видео ЗУ для последующего вывода на индикатор.

7.3.1. Структура растрового ГД.

В большинстве ГД растрового типа можно выделить следующие блоки (рис.7.12): векторный графический процессор (ВГП), ОЗУ дисплейного файла (ОЗУ ДФ), растровый графический процессор (РГП), видеоконтроллер (ВК), видеомонитор (ВМ) и блок интерактивного взаимодействия (БИВ) оператора с ГД.

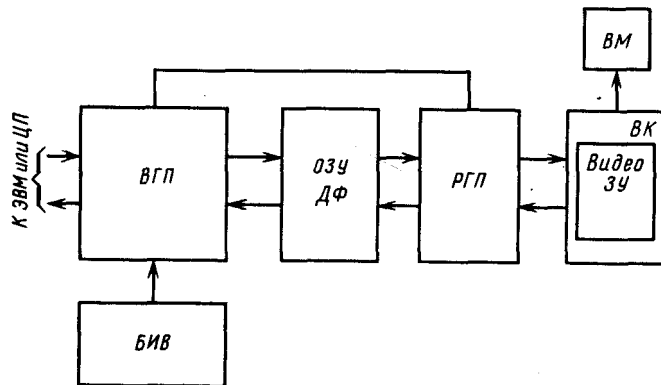


Рис.7.12. Структурная схема растрового дисплея.

Наличие двух процессоров определяется выполнением в ГД двух самостоятельных задач. Первая задача связана с приемом исходного файла из ЭВМ и его преобразованием под воздействием интерактивных средств БИВ. Ее решает ВГП. Вторая задача определяется спецификой растровой системы развертки, т.е. преобразованием изображения (точек, линий, областей) в массив пикселей. Эта задача решается посредством РГП.

Рассмотрим взаимодействие процессоров в ГД при решении указанных задач, полагая для простоты, что на вход ВГП поступает дисплейный файл, имеющий ту же структуру, что и в векторных ГД, т.е. в виде последовательности дисплейных команд, описывающих начальные и конечные координаты векторов с указанием соответствующих атрибутов (яркости, цвета и т.д.). Процессор ВГП принимает дисплейный файл и размещает его в ОЗУ ДФ. РГП работает под управлением своей программы; дисплейные команды, записанные в ОЗУ ДФ и описывающие вектора, являются для него исходными данными, которые должны быть преобразованы в пиксели программным или аппаратным способом. Вычисленные точки каждого вектора между его начальными и конечными координатами в виде пикселей записываются в видео ЗУ. Видеоконтроллер формирует видеосигналы на видеомонитор, для чего производит периодический с заданной частотой опрос ячеек видео ЗУ и считывает записанные в них пиксели.

Исходный дисплейный файл может подвергаться изменениям с пульта оператора посредством различных интерактивных средств, таких, как клавиатура, кнопочное устройство вызова заданных функций, указатели положения по осям X и Y (световое перо, планшет с указкой), валюаторы (вращающиеся ручки) (в ПЭВМ – манипуляторы мышь или джойстик). При этом ВГП с помощью своих программ обрабатывает запросы с БИВ и производит необходимые изменения в дисплейном файле, расположенном в ОЗУ ДФ (стирание, замену, поворот, масштабирование).

Кроме рассмотренных функций РГП совместно с ВК выполняет функцию кадрирования, которая заключается в следующем. В общем случае «поле» координат, в котором формируется изображение, значительно превышает поле координат экрана видеомонитора. По аналогии с термином «виртуальная» память поле координат РГД можно назвать виртуальным пространством отображения. Его размерность для различных ГД составляет от 4 до 64 К точек по каждой из координат.

Для воспроизведения всего виртуального пространства требуется выполнить программное масштабирование дисплейного файла посредством ВГП, что приводит к потере мелких деталей изображения. Поэтому обычно задают «окно», выделяющее небольшую часть виртуального пространства отображения, и на экране ВМ отображается графическая информация только в пределах этого окна. Операция формирования «окна» называется *кадрированием*. По полученному списку

векторов, попадающих в пределы «окна», РГП вычисляет пиксели для записи в видео ЗУ.

Для перемещения окна по всему виртуальному пространству при просмотре всего изображения РГП в реальном времени изменяет содержимое видео ЗУ, что требует от РГП быстродействия в сотни тысяч пикселей в секунду и выше.

Кадрование выполняется программными и аппаратными средствами. Программное управление кадрованием обеспечивается сравнением адресов виртуального пространства отображения в «окне» и выделенной области адресов, совпадающей с «окном». Данный способ реализации требует высокопроизводительных РГП большой стоимости и сложности. Процедура аппаратного кадрования называется *панорамированием*. Она выполняется в ВК с помощью счетчиков горизонтального и вертикального сканирования, на которые заносится базовый адрес окна (координаты X и Y первого пикселя окна), а также счетчиков размера окна.

В зависимости от требований, предъявляемых к цветности изображений, растровые ГД можно подразделить на четыре вида, способных формировать двухградационные, тоновые, цветные (с постоянным цветом и изменяемым цветом) изображения.

В *двухградационных ГД* видеоЗУ имеет одну плоскость, т.е. содержит по одному биту на пиксель (рис.7.13,а). Выборка пикселей осуществляется путем циклического просмотра видео ЗУ по строкам с помощью счетчика адресов по X и Y, содержимое которых увеличивается на единицу синхронно с формированием генератором раstra сигналов строчной и кадровой развертки. Адресуемый пиксель выбирается из видео ЗУ и поступает на вход модулятора ЭЛТ, открывая его, если значение данного пикселя равно единице; в противном случае данный растровый элемент строки не подсвечивается.

Для создания *тонового черно-белого изображения* видео ЗУ имеет несколько плоскостей, число которых определяется количеством градаций черно-белого тона, т.е. разрядностью пикселя n . Разрядность пикселя n и число градаций тона L связаны соотношением: $n = \log_2 L$. Считанный из видео ЗУ двоичный код пикселя (рис.7.13,б) преобразуется на ЦАП в напряжение, соответствующее требуемому уровню интенсивности тона.

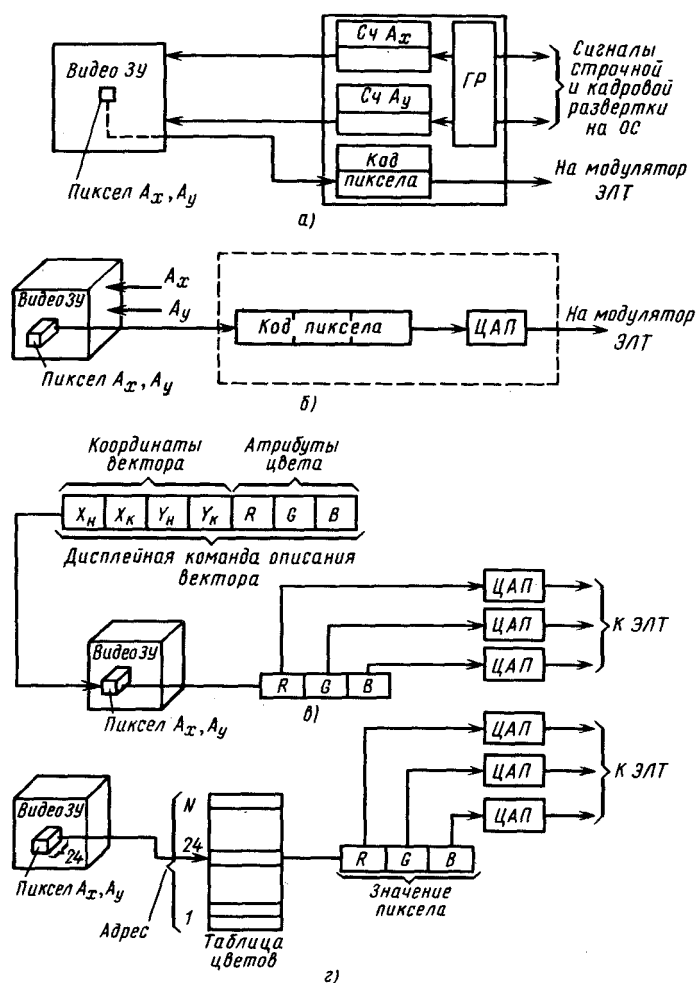


Рис.7.13. Формирование в растровых ГД изображений различной цветности.

Цветные изображения могут быть получены двумя способами.

Первый способ базируется на первичной форме описания графической информации в исходном дисплейном файле и формирует изображение с постоянно заданным цветом. В этом случае в ячейки видео ЗУ, соответствующие вычисленным координатам вектора, записываются все атрибуты цвета графической дисплейной команды (рис.7.13,в), которая теперь содержит поля R, G и B. Двоичные коды интенсивности красного, зеленого и синего цвета из этих полей после считывания пикселя преобразуются в уровни напряжения на соответствующих ЦАП. Например, для простого цветного изображения достаточно иметь три слоя, т.е. каждый пиксель имеет три разряда управления цветом R, G и B. Изменить цвет изображения в данном случае возможно только путем преобразования атрибутов цвета в дисплейных командах исходного дисплейного файла.

Второй способ позволяет выводить цветные изображения с изменяемым цветом. Для реализации его в состав видеоконтроллера вводится специальное ЗУ, в котором записывается таблица цветов (рис. 7.13,г). При этом каждый пиксель содержит адрес таблицы цветов. Данный способ позволяет производить раскраску изображений без изменения самого изображения, меняя адреса таблицы цветов в соответствующих ячейках видео ЗУ. Разрядность пикселя видео ЗУ определяется емкостью таблицы цветов.

7.3.2. Основы растровых преобразований.

Дисплейный файл, поступающий из ЭВМ в растровый ГД, представляет собой описание графического изображения в векторной форме. Для преобразования векторного изображения в растровое применяются различные алгоритмы развертки, основной задачей которых является вычисление координат пикселей, находящихся на координатной сетке вблизи контура развертываемого графического примитива (рис.7.14).

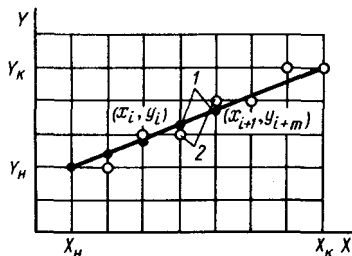


Рис. 7.14. Растровое представление прямой.

Поскольку основным графическим примитивом является вектор, все дальнейшие рассуждения будут выполняться применительно к нему. В общем случае вычисление координат точек вектора между его начальными и конечными координатами заключается в пошаговом увеличении X и вычислении значения Y в соответствии с уравнением прямой

$$Y = mX + b, \text{ где } m = (Y_k - Y_n) / (X_k - X_n).$$

Однако для вычисления значения Y на каждом шаге необходимо производить умножение на m , что требует существенных затрат времени РГП, замедляет процесс развертки вектора и заполнения пикселями видео ЗУ. Существует ряд алгоритмов, позволяющих избежать операции умножения. К ним относятся пошаговый алгоритм и алгоритм Брезенхема.

Пошаговый алгоритм заключается в следующем. Угол наклона вектора определяется как $m = dY/dX$. Таким образом, если задать приращения по X равным единице, то координаты следующей точки вектора определяются как $X_{i+1} = X_i + 1$, $Y_{i+1} = Y_i + m$. Эти выражения справедливы для всех точек вектора, т.е. на каждом шаге вычисляется значение Y на основании его значения, определенного на предыдущем шаге. В этом случае для развертки вектора потребуется только одна операция деления для вычисления m и операции сложения для определения $Y_{i+1} = Y_i + m$ при каждом увеличении текущего значения X на единицу; при этом шаг приращения по X определяет приращение адреса видео ЗУ по строке. Вычисленные значения Y, округляются до ближайшего целого $Y_{iокр}$, соответствующего адресу видео ЗУ по столбцу. Таким образом, определяется адрес очередного пикселя. На рис.7.15 приведена структурная схема пошагового алгоритма развертки вектора для случая $m < 1$. Если $m > 1$, то теряется точность интерполяции точек вектора, поэтому следует поменять X и Y местами и установить шаг по оси Y равным 1, вычисляя и округляя значения X. Основным недостатком пошагового алгоритма является необходимость использования процедур округления до ближайшего целого на каждом шаге, так как величина m является правильной дробью, а это требует временных затрат графического процессора.

Алгоритм Брезенхема свободен от этого недостатка и позволяет при вычислении пикселей применять только операции сложения с целыми числами. Пусть задан вектор (рис.7.16). Для простоты будем считать, что угол его наклона находится в диапазоне от 0 до 45°. В алгоритме используется управляющая переменная δ_i , которая на каждом шаге пропорциональна разности $(s-t)$. Предположим, что на $(i-1)$ -м шаге найден пиксель P_{i-1} как ближайший к вектору. На следующем шаге требуется

выбрать один из двух пикселей T_i , или S_i . Выбор осуществляется следующим образом: если $\delta_i < 0$, то точка S_i расположена ближе к вектору и следует выбрать пиксель S_i ; если $\delta_i > 0$, то нужно выбрать пиксель T_i . Исходный вектор задан начальными (X_n, Y_n) и конечными (X_k, Y_k) координатами.

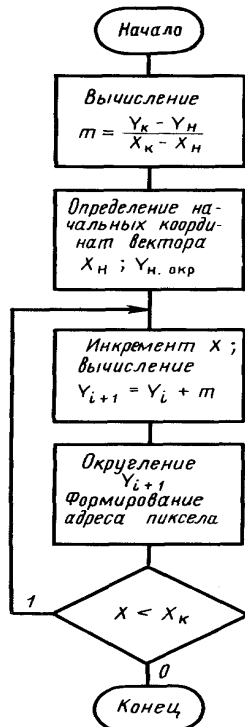


Рис. 7.15. Структурная схема пошагового алгоритма развертки вектора.

Для удобства преобразований переместим его на координатной сетке таким образом, чтобы начальная точка совпала с началом координат. Тогда каждая точка вектора изменит свои координаты на $-X_n, -Y_n$ и уравнение прямой примет вид $Y = (\Delta Y / \Delta X) X$. Обозначим координаты точки P_{i-1} (после переноса вектора) через r и q . Для пикселей S_i и T_i ; координаты будут иметь вид $S_i(r+1, q)$, $T_i(r+1, q+1)$, а координаты точки $a(r+1, q+s)$ могут быть найдены из уравнения прямой:

$$s = (\Delta Y / \Delta X)(r+1) - q.$$

Величина t вычисляется как

$$t = q + 1 - (s + q) = q + 1 - (\Delta Y / \Delta X)(r+1).$$

Определим управляющую переменную d :

$$d = s - t = 2(\Delta Y / \Delta X)(r+1) - 2q - 1. \quad (7.1)$$

Пусть $s - t < 0$. Перепишем выражение (7.1), обозначив $\Delta X(s - t) = \delta_i$:

$$\delta_i = 2(r\Delta Y - q\Delta X) + 2\Delta Y - \Delta X$$

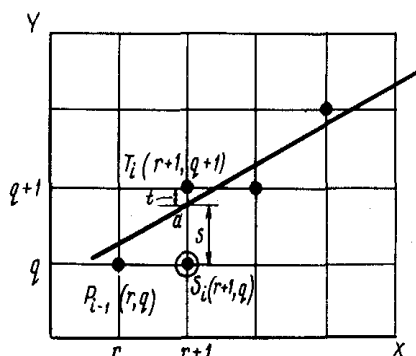


Рис. 7.16. Построение растрового представления прямой по алгоритму Брезенхема.

Так как величина $\Delta X > 0$, то знак δ_i определяется знаком $(s-t)$ и δ_i можно использовать в качестве индикатора для выбора пикселя. Поскольку $r = X_{i-1}$, $q = Y_{i-1}$, то δ_i принимает вид:

$$\delta_i = 2 X_{i-1} \Delta Y - 2 Y_{i-1} \Delta X + 2 \Delta Y - \Delta X \quad (7.2)$$

Прибавляя единицу к каждому из индексов, получим следующее значение:

$$\delta_{i+1} = 2 X_i \Delta Y - 2 Y_i \Delta X + 2 \Delta Y - \Delta X$$

Вычтем : δ_i и δ_{i+1}

$$\delta_i - \delta_{i+1} = 2 \Delta Y (X_i - X_{i-1}) + 2 \Delta X (Y_i - Y_{i-1})$$

Значение X изменяется с шагом «1», следовательно,

$$\delta_{i+1} = \delta_i + 2 \Delta Y + 2 \Delta X (Y_i - Y_{i-1}).$$

Если $\delta_i > 0$, выбираем T_i и тогда $Y_i = Y_{i-1} + 1$, следовательно,

$$\delta_{i+1} = \delta_i + 2 (\Delta Y + \Delta X) \quad (7.3)$$

Если $\delta_i < 0$, выбираем S_i и тогда $Y_i = Y_{i-1}$, а

$$\delta_{i+1} = \delta_i + 2 \Delta Y \quad (7.4)$$

Таким образом, следующее значение δ_{i+1} вычисляется по значению δ_i , и в зависимости от выбора S_i и T_i на предыдущем шаге. Начальное значение δ_1 определяется из выражения (7.2) при $X_0=0$ и $Y_0=0$ и шаге $i=1$:

$$\delta_1 = 2 \Delta Y - \Delta X \quad (7.5).$$

На рис.7.17 приведена структурная схема алгоритма Брезенхема для развертки вектора. Вычисления пикселей сводятся к реализации выражений (7.3 — 7.5), т.е. операциям сложения, вычитания и сдвига (сдвиг заменяет операцию умножения на 2).

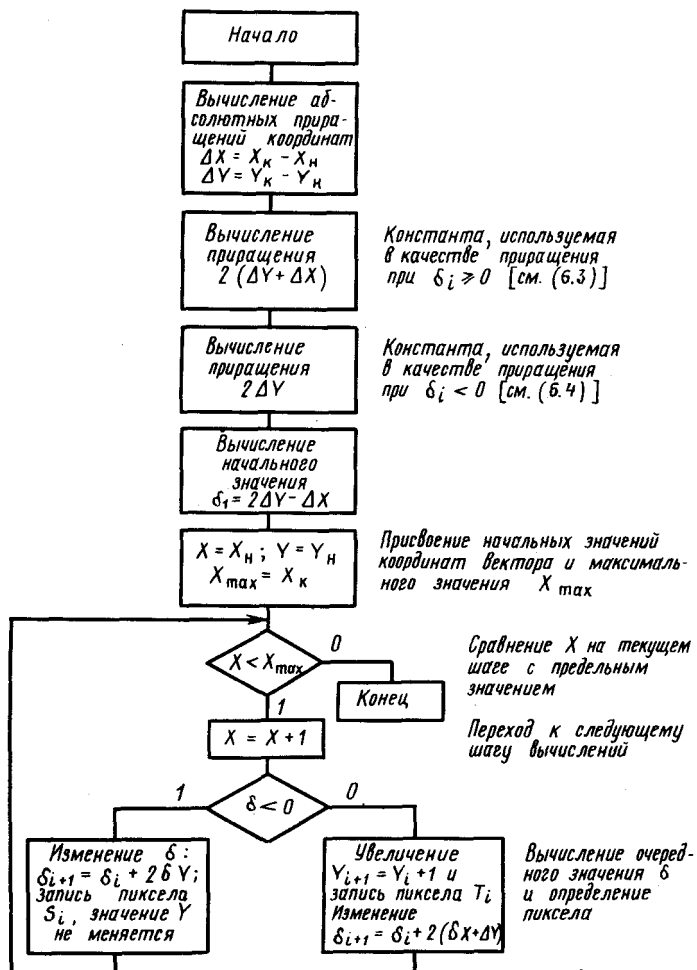


Рис.6.17 Структурная схема алгоритма Брезенхема.

7.3.3. Требования к компонентам растровых ГД.

Видеомониторы имеют жесткую временную диаграмму, в которой время экспозиции точки раstra t_T всегда постоянно и определяется частотой регенерации кадра F_p , количеством строк в кадре (K) и числом растровых элементов в строке (M). Видео ЗУ характеризуется временем цикла при записи ($T_{зан}$) и считывании ($T_{чит}$) информации. РГП осуществляет вычисление пикселей видео ЗУ по заданным координатам вектора с временем $T_{пик}$. Для организации совместной работы требуется согласовать эти временные характеристики.

При выводе информации на ВМ опрос ячеек видео ЗУ осуществляется последовательно и синхронно с перемещением электронного луча по строке, поэтому должно выполняться соотношение:

$$T_{чит} < t_T$$

В системах с малым разрешением оно выполняется непосредственно. При увеличении количества

растровых элементов экрана время t_T уменьшается и для удовлетворения данного неравенства необходимы определенные схемотехнические решения.

Рассмотрим временную диаграмму работы ВМ (рис.7.18). Время перемещения луча по кадру (T_K) складывается из времени его прямого ($T_{K.пр}$) и обратного ($T_{K.обр}$) ходов. Время перемещения луча по

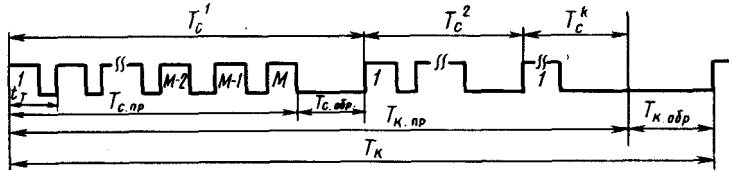


Рис.7.18. Временную диаграмму работы ВМ

строке T_c также складывается из двух компонент: времени прямого ($T_{c.пр}$) и обратного ($T_{c.обр}$) ходов по строке, причем $T_{K.пр} = T_c K$, где K — количество строк в кадре. При перемещении луча по строке выделяются дискреты времени (t_T) для экспозиции каждого пикселя. Для отображения информации на экране используется время прямого хода по строкам.

Чтобы увеличить пропускную способность видео ЗУ, следует за один цикл считывать m пикселей таким образом, чтобы

$$T_{чт} < m t_T. \quad (7.6)$$

Значение t_T зависит от количества растровых элементов M в строке и $T_{c.пр}$:

$$t_T = T_{c.пр} / M. \quad (7.7)$$

Подставляя (7.7) в (7.6), получим:

$$m > T_{чт} M / T_{c.пр} \quad (6.8)$$

В этом случае адресация видео ЗУ организуется следующим образом (рис.7.19). В режиме записи производится адресация каждого пикселя. При считывании обращение осуществляется к m ячейкам с параллельной передачей их содержимого на регистр сдвига РгСДВ. Информация с него передается на ВМ с периодом t_T .

Изменение информации в видео ЗУ производится только при обратном ходе луча по строкам и кадру.

Обозначим сумму указанных интервалов времени как $T_{обр}$:

$$T_{обр} = T_{K.обр} + T_{c.обр}.$$

Определим количество ячеек видео ЗУ (N), в которых можно изменить информацию за время одного кадра, из условия

$$T_{сбр} > N T_{зап}. \quad (6.9)$$

Оценим полученные соотношения для ВМ с разрешением 200×200 и 1000×1000 растровых элементов (РЭ) при $F_p = 50$ Гц. Для простоты будем полагать, что $T_{зап} = T_{чт} = 250$ нс, $T_{K.пр} = 18$ мс, $T_{K.обр} = 1$ мс.

Для видеомонитора с разрешением 200×200 РЭ время строки $T_c = T_{K.пр} / 200 = 90$ мкс. Пусть $T_{c.пр} = 68$ мкс, $T_{c.обр} = 22$ мкс, тогда, согласно (7.8), $m = 0,74$, т.е. не требуется специальных мер для записи и считывания пикселей из видео ЗУ. Из выражения (7.9) определим

$$N = 21,6 \cdot 10^3.$$

Таким образом, за время T_K может изменяться содержимое примерно половины ячеек видео ЗУ, а обновление всей памяти осуществляется каждые два кадра, т.е. с частотой 25 Гц.

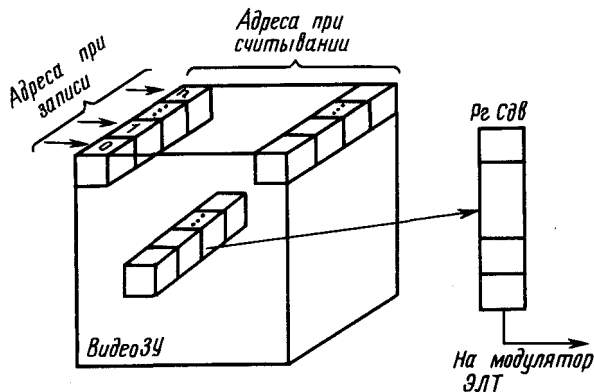


Рис.7.19. Организация записи и считывания в видео ЗУ.

Для видеомонитора с разрешением 1000×1000 растровых элементов при тех же данных получим $m > 14$; $N = 12 \cdot 10^3$, т.е. необходимо организовать одновременное считывание не менее 14 пикселей из

видео ЗУ. Для обновления информации всего видео ЗУ потребуется 1,7 с.

Однако, прежде чем произвести изменение содержимого видео ЗУ, РГП должен вычислить новое значение каждого пикселя. Чтобы обеспечить немерцающее изображение и восприятие плавного изменения картинки на экране, частота ее регенерации F_p должна быть не менее 25Гц. Время на вычисление пикселя в РГП можно определить, как

$$T_{pгп} = 1/(F_pMK)$$

Для приведенных примеров $T_{pгп} = 1\text{ мкс}$ (для ГД 200×200 РЭ) и $T_{pгп} = 40\text{ нс}$ (для ГД 1000×1000 РЭ). Очевидно, что для ГД с высокой разрешающей способностью такое время $T_{pгп}$ обеспечено быть не может.

Можно несколько снизить требования к быстродействию, если выполнить видео ЗУ в виде двух модулей. В каждый момент времени один модуль работает в режиме регенерации на экран, второй — на запись от РГП. Затем их функции меняются. Однако и такая организация видео ЗУ не обеспечивает нужного быстродействия.

Требуемое быстродействие при записи и ограниченном быстродействии видеоЗУ можно достичь только за счет сокращения его емкости. Существует несколько приемов для достижения указанной цели. Рассмотрим наиболее характерный, получивший название «метод кодирования полос». Каждая строка раstra разбивается на последовательность полос одинаковых пикселей. Каждая полоса представляется в виде пары чисел D_i, I_i , где I_i — атрибуты пикселя (яркость или R_i, G_i, B_i); D_i — количество пикселей данной полосы. Тогда в видео ЗУ хранятся не отдельные описания всех пикселей, а описания полос. Выигрыш в объеме памяти оказывается тем больше, чем длиннее полосы в каждой строке. Метод кодирования полос позволяет уменьшить объем видео ЗУ в среднем примерно в 10 раз, а, следовательно, и время обновления информации в видео ЗУ. Однако, при уменьшении средней длины полосы быстро увеличивается объем памяти, возникают трудности в изменении изображения.

Чтобы уменьшить среднее время вычисления пикселя, РГП можно выполнить в виде мультипроцессорной системы, состоящей из n параллельно работающих растровых графических процессоров — РГП1, РГП2, ..., РГПn (рис.7.20), подключенных к видео ЗУ через общий буфер. Буфер представляет собой запоминающее устройство, работающее по алгоритму FIFO, т.е. «первый пришел — первый ушел». Каждый РГП загружается координатами векторов, подлежащих развертке. Значение пикселя, вычисленное i -м РГП, записывается на вход буфера и с постоянной тактовой частотой, соответствующей времени цикла обращения к видео ЗУ, проталкивается на выход.

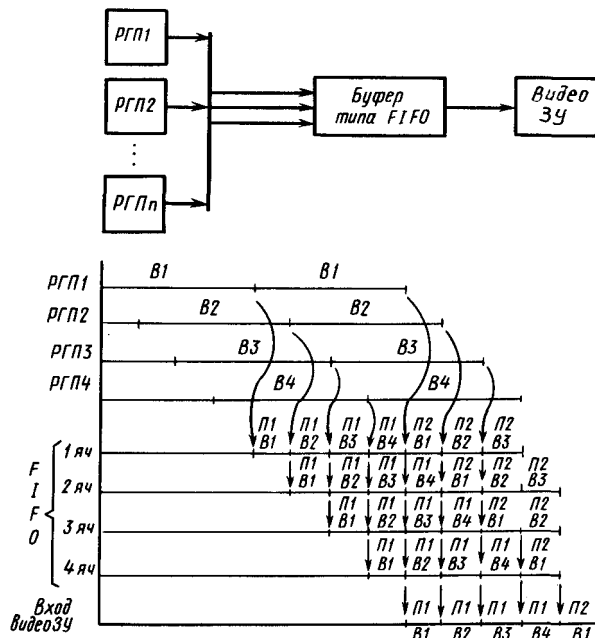


Рис. 6.20. Мультипроцессорный РГП.

Чтобы согласовать работу буфера и видео ЗУ, тактовая частота запоминающего устройства типа FIFO ($F_{буф}$) в предельном случае должна быть равна $1/T_{зап}$, а его емкость (L) будет определяться быстродействием РГП и их количеством. При этом возможно организовать конвейерную обработку векторов (B) и последовательную загрузку пикселей (Π) в буфер. Для пояснения данного механизма работы предположим, что каждый РГП осуществляет развертку векторов равной длины, которые поступают на входы с одинаковой задержкой во времени.

[Если $T_{pгп} = 1\text{ мкс}$, а $T_{зап} = 250\text{ нс}$, то $L=4$].

На временной диаграмме (рис.7.20) показан механизм вычисления пикселей каждого вектора посредством РГП1, РГП2, РГП3 и РГП4, их загрузки на вход буфера и передачи их с выхода на вход видео ЗУ, где П1, П2 и т.д.—номера пикселей, а В1, В2 и т.д.— номера векторов. Таким способом можно параллельно вычислять пиксели различных векторов. При различной длине векторов эта диаграмма существенно усложняется.

Растровые графические процессоры по своим функциям являются специализированными процессорами и могут быть в схемотехническом плане выполнены как на базе универсальных микропроцессоров, так и в виде специализированных БИС.

7.3.4. Примеры структур ГД.

Наиболее простыми являются структуры ГД для микроЭВМ. Все аппаратные модули ГД подключаются к системному интерфейсу. В состав системы входит процессор, выполняющий функции ввода дисплейного файла (или его формирования), векторные и растровые операции. Исходный дисплейный файл и все программы, под управлением которых функционирует процессор, размещаются в едином ОЗУ, специальные программы и коды развертки символов — в ПЗУ. В качестве устройств графического ввода применяются планшеты различного типа, световое перо, мышь и т.д. Как правило, такого типа простые графические системы обладают низкой динамикой изображения и имеют разрешающую способность от 192x240 РЭ до 640x360 РЭ.

Для повышения производительности системы разделяют функции процессора и вводят в состав графического дисплея РГП, осуществляющий развертку векторов. Высокопроизводительные графические дисплеи имеют высокую разрешающую способность (1024x1024 или 2048x2048 РЭ) и организуются с использованием нескольких внутренних интерфейсов, которые разделяют основные этапы обработки и преобразования дисплейного файла и позволяют на каждом этапе выполнять процедуры параллельно. На рис.7.21 представлена структура ГД данного типа.

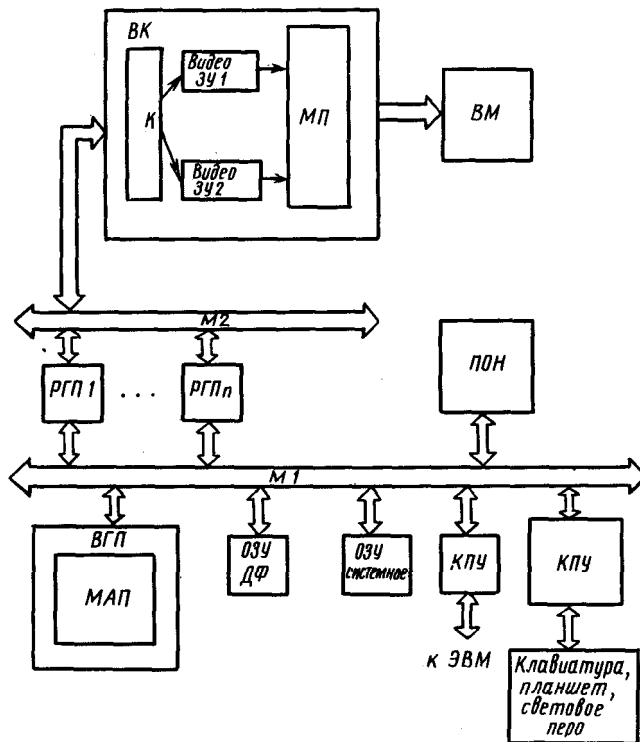


Рис. 6.21. Пример реализации графического дисплея.

Первый уровень, представленный системной магистралью М1 и модулями ВГП, ОЗУ ДФ, ОЗУ системное, процессором общего назначения (ПОН) и контроллерами периферийных устройств (КПУ). Он выполняет функции приема ДФ, его размещения в ОЗУ ДФ, векторных преобразований (под управлением ВГП, включающего матричный арифметический процессор—МАП); при этом все системные программы размещаются в области ОЗУ системного.

На втором уровне с помощью РГП производится развертка векторов и литер в массивы пикселей. При этом для повышения производительности РГП можно организовать мультипроцессорную систему, в которой в качестве РГП используются стандартные микропроцессоры с набором программ растровой графики или специализированные БИС типа 1809ВГ04, функционально ориентированные на развертку векторов.

Третий уровень РГД занимает видеоконтроллер (ВК) с двумя модулями видео ЗУ и ВМ, подключенные к РГП через магистраль М2. Вычисленные пиксели через коммутатор К заносятся в один из

модулей видео ЗУ в то время, когда второй модуль через мультиплексор МП выдает информацию о предыдущем кадре на видеомонитор ВМ.

В табл. 7.1 приведены основные параметры некоторых ГД векторного и растрового типов.

Таблица 7.1. Основные параметры некоторых ГД векторного и растрового типов.

Модель	Размеры экрана, мм.	Число адресуемых точек	Принцип сканирования/Цветность	Средства интерактивного взаимодействия	Скорость рисования мм/мкс
ЕС7064	250 х 1024	х 1024	Функциональный/ монохроматический	Световое перо, функциональные клавиши	3
СМ7316	340 х 2048	х 2048	Функциональный/ монохроматический	функциональные клавиши	8—10
СМ7304	320 х 287		Растровый/ полутоновой		
СМ7306	240 х 1024	х 1024	Функциональный/ полутоновой	Световое перо, функциональные клавиши	

7.4. Средства для диалогового взаимодействия.

Диалоговое, или интерактивное взаимодействие оператора с ГД основывается на визуальной обратной связи. Она заключается в том, что ГД представляет на экране информацию, а оператор реагирует на нее путем передачи в ГД команд с помощью устройств ручного ввода. В результате такого взаимодействия изменяется графическая информация на экране. Например, требуется в изображенной на экране электрической схеме стереть линию связи между двумя графическими элементами или добавить еще один элемент. Эти два случая иллюстрируют два основных типа операций графического редактирования: указание на элемент, уже находящийся на экране, и определение положения нового элемента (позиционирование). Соответственно этим операциям устройства для графического диалога называются устройствами **указания** (селекторы) и **позиционирования** (локаторы).

Диалоговые устройства реализуются на различных принципах. Наиболее распространенными являются устройства (манипуляторы) типа «мышь», «шар», «рычаг (джойстик)», выполняющие позиционирование; «световое перо», которое в зависимости от типа ГД выполняет функции указания или позиционирования, и ряд планшетов для ввода графической информации.

Устройства типа «мышь», «шар» и «рычаг» осуществляют управление специальной меткой — маркером, перемещаемым по экрану. Их задачей является установка маркера в заданную точку экрана, что приводит к однозначному определению ее координат. Полученные координаты фиксируются на соответствующих регистрах ГД и указывают адрес графического элемента, над которым необходимо выполнить определенные процедуры (процедура обычно задается посредством клавиатуры). Данные регистры доступны для процессора ГД и их содержимое может быть обработано соответствующей программой: процессор может вызвать программу рисования примитива в заданной маркером точке экрана. Одновременно прикладная программа включает в себя команды описания этого примитива в дисплейном файле.

Рассмотрим принцип получения координат X и Y на примере шара. Это устройство имеет две степени свободы перемещения по плоскости. С шаром механически связаны потенциометры, на выходе которых изменяется напряжение пропорционально перемещению шара. На рис. 7.22 приведена схема измерения одной из координат. Нижнее положение движка потенциометра соответствует $U=U_0$, а верхнее — $U=U_{max}$, где $U=X$ (или Y), т.е. пропорционально положению маркера на экране. Для получения координаты X в цифровом виде это напряжение подается на АЦП; полученный код передается на регистр РгДП.

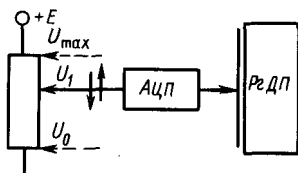


Рис. 7.22. Схема измерения одной из координат.

Манипулятор "мышь" содержит обрезиненный металлический шар, диаметром около 2 см, соприкасающийся с двумя взаимно перпендикулярными цилиндрами на осях которых укреплены

диски с прорезями. При движении "мыши" по поверхности вращение шара передается цилиндрам и дискам с прорезями, которые периодически прерывают световой поток между свето- и фото диодами, расположенными с по разные стороны дисков. Сигналы с фотодиодов поступают на микросхему контроллера, преобразуются в информационные байты и по интерфейсу передаются в ГД (в IBM PC/AT "мышь", как правило, подключается к последовательному порту (СОМ-порту) по интерфейсу RS-232C). Для определения направления перемещения "мыши" каждый диск с прорезями работает с двумя оптопарами светодиод - фотодиод. По сдвигу фаз импульсов, поступающих с обеих оптопар, и определяется направление перемещения: вверх или вниз и влево или вправо.

Световое перо представляет собой малоинерционный указатель, воспринимающий световой импульс люминофора экрана с помощью фотоприемника, к которому лучистая энергия передается посредством светопровода. Оптическая система рассчитана таким образом, чтобы при указании световое пятно экрана находилось в фокусе линзы пера. В растровых ГД световое перо фиксирует указанный пиксель, а так как адрес текущего пикселя определяется счетчиками видеоконтроллера, то, следовательно, фиксируется его адрес в видео ЗУ. В момент детектирования пикселя (рис.7.23) при нажатой кнопке на перо формируется сигнал прерывания и далее прикладная программа по команде оператора (от клавиатуры) выполняет процедуру по преобразованию данного пикселя.

В дисплеях с произвольным сканированием определение координат светового пера основывается на принципах временной селекции и выполняется с помощью следящей системы. Рассмотрим работу такой системы на наиболее простом примере точечного ГД. На экран выводится маркер, имеющий вид перекрестия. Изображение маркера на экране формируется специальной макрокомандой МАРКЕР, которая преобразуется в последовательность из n графических команд рисования точек (по числу точек, образующих маркер на экране; в данном примере на рис.7.24 $n = 9$):

РИС.ТЧК СчХ, СчУ (рисование центральной точки Ц)
 РИС.ТЧК СчХ, СчУ-2 (рисование точки 1)
 РИС.ТЧК СчХ, СчУ-1 (рисование точки 2)
 РИС.ТЧК СчХ, СчУ+1 (рисование точки 3)

.....
 РИС.ТЧК СчХ+2, СчУ (рисование точки 8)

В поля координат Х и У первой команды заносятся значения из специальных счетчиков СчХ и СчУ положения маркера; значения полей последующих команд вычисляются путем вычитания или добавления 1 или 2, как видно из примера.

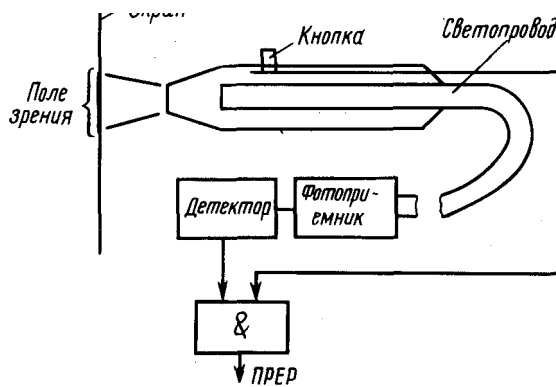


Рис. 7.23. Использование светового пера в ГД.

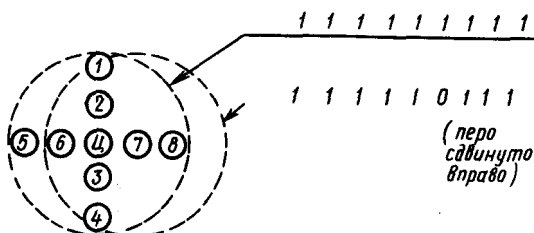


Рис. 7.24. Маркер в виде перекрестия.

Если центр перекрестия совпадает с центром поля зрения светового пера, то на его выходе формируется последовательность из 9 импульсов, принимаемая на регистр. Отсутствие какого-либо импульса в последовательности соответствует смещению пера от центра перекрестия. Номера отсутствующих импульсов в последовательности определяют направление смещения. В счетчики СчХ и СчУ добавляется или вычитается 1 для компенсации смещения, и в следующем цикле регенерации изображения маркер на экране перейдет в положение, занимаемое пером. Если далее сохранить

последовательные команды рисования центральной точки перекрестия маркера (с различными координатами X и Y) в виде отдельного файла, то будет создаваться видимость рисования линии световым пером (режим рисования). При большой скорости перемещения перо за один цикл регенерации смещается на величину, превышающую два шага между точками, и работа схемы нарушается; поэтому в реальных схемах предусматриваются специальные меры компенсации.

В режиме указания линия не рисуется, но в качестве координат пера используется содержимое СчX и СчY. Программные средства вычисляют расстояния графических объектов до маркера и выделяют объект, отстоящий от маркера на кратчайшее расстояние.

7.5. Методы и средства ввода графической информации

Устройства ввода графической информации принято характеризовать скоростью и точностью. Скорость определяется временем считывания и преобразования информации, а точность — способами отсчета текущих координат графического элемента и их конкретной физической реализацией.

Процесс ввода графической информации в ЭВМ состоит из двух этапов: считывания и кодирования. **Считывание** графической информации сводится к определению координат графических элементов (точек, отрезков прямых, графических элементов) в заданной системе координат. **Кодирование** считанной графической информации заключается в ее преобразовании в двоичный код по заранее установленным правилам с целью последующей обработки на ЭВМ.

По степени автоматизации этапа считывания УВв графической информации (УВвГИ) подразделяются на автоматические, полуавтоматические и ручные, рассмотренные выше. В *автоматических* УВвГИ процесс считывания происходит без участия человека. В *полуавтоматических* — оператор с помощью указателя (визира, карандаша и т.д.) осуществляет поиск и выделение требуемого графического элемента.

Этап кодирования реализуется следующими методами: *координатным, рецепторным, поэлементного кодирования.*

Координатный метод заключается в том, что каждая точка графического примитива привязана к координатной сетке (рис.7.25,а). После считывания он представляется массивом точек с координатами X и Y, которые вводятся в память ЭВМ.

В основу **рецепторного метода** положено представление графической информации в дискретном поле рецепторов в двоичном коде. Поле рецепторов — это прямоугольная матрица размером $m \times n$ элементов, на которую проектируется графическое изображение (рис.7.25,б). Элементы матрицы, на которые попало изображение, принимают значение кода «1», остальные — «0». Считанное с рецепторной матрицы графическое изображение аналогично представляется в памяти ЭВМ и используется для визуализации без преобразований на экране ЭЛТ растрового графического дисплея.

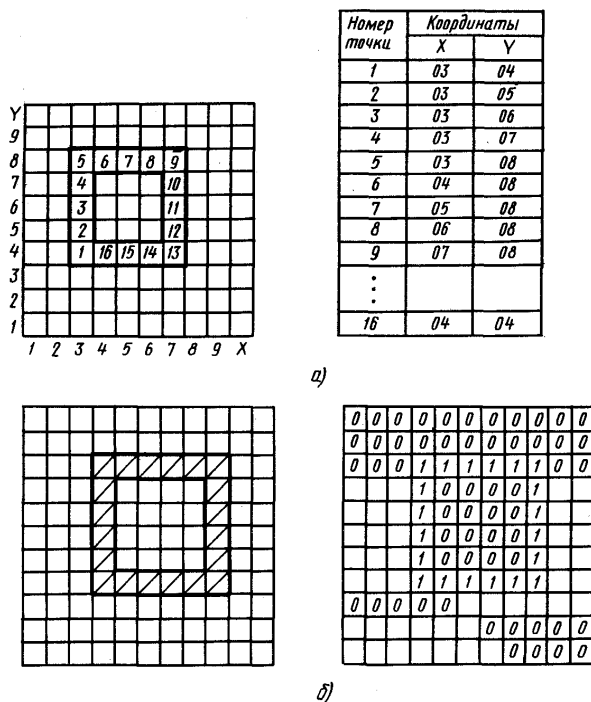


Рис. 7.25. Координатный (а) и рецепторный (б) методы кодирования.

Метод **поэлементного кодирования** предполагает наличие описаний графических примитивов с

помощью специальных графических языков. Эти описания хранятся в памяти ЭВМ в виде библиотеки. Информация о чертеже задается последовательностью наименований графических примитивов с указанием их координат и размеров.

7.5.1. Автоматический ввод графической информации.

Автоматические УВВГИ строятся на оптических принципах считывания. Процесс считывания заключается в разбиении изображения на элементы, степень зачерненности которых измеряется и кодируется. Считывание элемента изображения в общем случае включает в себя установку луча в заданную позицию, преобразование отраженного от элемента светового потока в электрический сигнал, преобразование электрического сигнала в цифровой код, перемещение светового луча в следующую позицию.

В зависимости от метода считывания, принятого в данном устройстве, те или иные пункты могут отсутствовать.

Методы считывания графической информации. В автоматических УВВГИ применяют *матричный, следящий и сканирующий* методы считывания графической информации.

При *матричном методе* графическое изображение равномерно освещается и отраженный световой поток попадает на матрицу фотоприемников, представляющих собой рецепторное поле. Каждый фотоприемник формирует на выходе электрический сигнал, пропорциональный принятому световому потоку от соответствующего элемента документа с изображением (в частном случае сигнал имеет две градации). Выходы элементов матрицы последовательно опрашиваются (например, с помощью двух счетчиков СчХ и СчУ, которые последовательно сканируют элементы каждой строки). Каждому состоянию СчХ и СчУ соответствует определенный фотоприемник. Электрический сигнал с его выхода с помощью АЦП преобразуется в двоичный код (для многоградационных графических изображений); этот код совместно с номером фотоприемника (снимается с выходов СчХ и СчУ) представляет описание графического элемента, он передается в ЭВМ или записывается на промежуточный носитель.

Следящий метод заключается в перемещении светового пятна по контуру линии графического изображения (рис.7.26), которое обеспечивается следящей системой (СС). На ее входе находится фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), воспринимающий отраженный от носителя световой поток, создаваемый световым пятном. Документ, расположенный на планшете, перемещается по координате Х, а каретка с источником света и ФЭУ — по координате У.

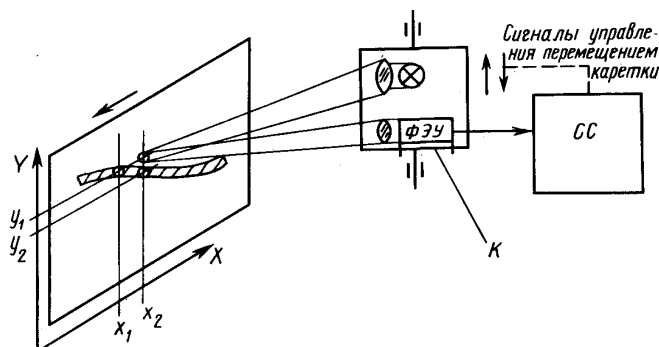


Рис. 7.26. Следящий метод автоматического считывания.

Принцип слежения заключается в следующем. Пусть в данный момент световое пятно занимает положение X_1, Y_1 . Затем документ переместился по координате Х таким образом, что световое пятно вышло за контур кривой и заняло положение X_2, Y_1 . За счет увеличения светового потока от светлого фона возникает сигнал рассогласования, который обрабатывается следящей системой, воздействующей на механизм перемещения каретки (К) по координате Y. В результате световое пятно займет положение X_2, Y_2 . Таким образом, задавая перемещение документа по одной координате, можно организовать слежение за контуром кривой по другой. В момент совпадения светового пятна с контуром изображения осуществляется съем координат X_i и Y_i с датчиков перемещения, связанных с кареткой и устройством перемещения документа. Данный метод считывания имеет ограничения — невозможно считывать информацию, представленную в виде прерывных и непересекающихся линий.

Сканирующий метод заключается в последовательном осмотре и считывании элементов (или групп элементов) изображения и имеет несколько вариантов: сканирование изображения световым пятном по строкам (или столбцам), сканирование линейной апертурой всего или части поля документа.

Сканирование изображения световым пятном было наиболее распространено ввиду простоты его реализации. Световое пятно, формируемое источником света (ЭЛТ, лазером) с помощью системы зеркал или электронным способом, сканирует построчно поле документа. Отраженный световой поток воспринимается фотоприемником, преобразуется в электрический сигнал, а затем с помощью АЦП —

в двоичный код. Автоматический ввод графиков осуществляется следующим образом (рис.7.27). Световое пятно перемещается от линии нижнего отсчета (ЛНО) к линии верхнего отсчета (ЛВО) с постоянной скоростью (рис.7.27,а). В момент пересечения ЛНО начинается интервал измерения ординаты, взводится триггер Т и СИ начинают поступать на счетчик Сч (рис.7.27,б,в). В момент пересечения линии графика (ЛГ) триггер Т устанавливается в ноль и на Сч фиксируется двоичный код, пропорциональный измеренному временному интервалу Т. При пересечении ЛВО сбрасывается счетчик и выдается код координаты. Затем световое пятно перемещается вправо и сканирует следующий столбец. В результате на выходе получается код координаты Y и код координаты X, пропорциональный времени перемещения светового пятна в горизонтальном направлении.

Для автоматического ввода сложных многоградационных изображений (географические карты, чертежи деталей, схемы) необходимо не только фиксировать координаты каждого считываемого элемента, но и кодировать степень его зачерненности. Блок сканирования перемещает световое пятно по строкам, как описано выше, причем каждое положение светового пятна фиксируется на счетчиках координат СчX и СчY. Отраженный световой поток воспринимается фотоприемником, усиливается усилителем и преобразуется на АЦП в двоичный код. В результате в память ЭВМ вводится описание изображения в виде массива чисел, каждый элемент которого описывает точку изображения как совокупность координат X_i , Y_j и двоичного кода ее зачерненности.

Сканирование линейной апертурой, реализованной с помощью линейки фотоприемников, заключается в параллельном считывании элементов n строк. При равенстве линейки и вертикального

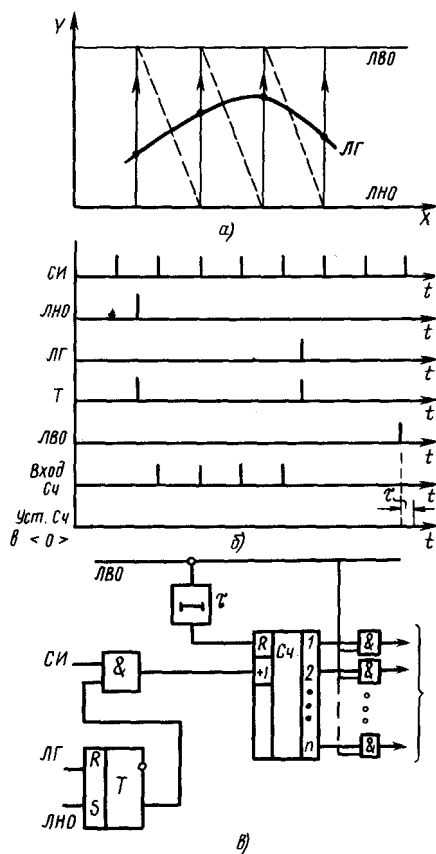


Рис. 7.27. Автоматический ввод графиков методом сканирования световым пятном.

размера документа его считывание осуществляется за один интервал сканирования по горизонтали. Очевидным недостатком данного варианта сканирования в первых версиях сканеров с линейной апертурой являлась его невысокая разрешающая способность, определяемая шагом между фотоприемниками. Положение коренным образом изменилось после того, как в них в качестве фотоприемников стали применять CCD, (*Charge Coupled Device*) — прибор с зарядовой связью (ПЗС).

7.5.2. Методы полуавтоматического ввода графической информации.

Полуавтоматические УВВГИ получили наибольшее распространение в системах автоматизации проектирования. Они широко используются в качестве УВВ в ГД. Данные устройства реализуются на *электромеханическом, акустическом, электрическом принципах*. Измерение координат в УВВГИ электромеханического типа осуществляется в помощью преобразователей угловых или линейных перемещений, которые связаны с каретками K_X и K_Y , перемещающимися по координатам X и Y в поле документа. На рис.7.28 показан *электромеханический принцип* ввода графической информации.

Документ располагается на планшете, в плоскости которого перемещается визир (В), закрепленный на каретке K_y . Каждая каретка имеет одну степень свободы и перемещается по направляющей. С помощью визира осуществляется выбор считываемого элемента изображения. Для определения координат положения визира каретки через зубчатую пару связаны с АЦП угла поворота вала в цифровой код. Диск этого АЦП поворачивается на угол, пропорциональный линейному перемещению каретки.

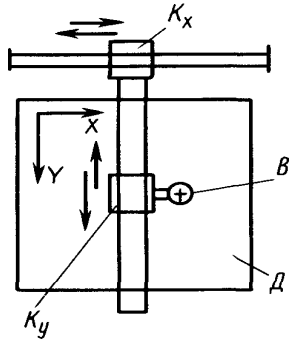


Рис. 7.28. Электромеханический принцип ввода графической информации.

Акустический принцип ввода использует генерацию звуковых или ультразвуковых колебаний и измерение времени их распространения. В состав УВВИ акустического (звукового) типа входят (рис.7.29) съемник информации, содержащий искровой генератор (ИГ) и служащий для указания элемента изображения, полосковые микрофоны M_x и M_y , расположенные по взаимно перпендикулярным сторонам планшета с документами. Микрофоны служат для приема звуковых колебаний, создаваемых искровым генератором съемника. Измерение координат осуществляется следующим образом. В начале измерения $SчX$ и $SчY$ находятся в нулевом состоянии. При указании съемником выбранной точки генерируется искровой разряд и звуковая волна со скоростью $V_{зв}$ распространяется в направлении микрофонов. Время ее перемещения определяется расстоянием до микрофонов. Таким образом, значение координат определяется $X = V_{зв} t_x$, $Y = V_{зв} t_y$. Следовательно, требуется измерить время t_x и t_y . В момент указания замыкается концевой выключатель, устанавливается в единицу триггера T_y и T_x , на счетчиках происходит накопление СИ до моментов появления сигналов с выходов микрофонов. Формирователи Φ_x и Φ_y сбрасывают в ноль T_y и T_x и фиксируют тем самым координаты точки изображения на счетчиках.

В акустических УВВИ ультразвукового типа принцип измерения координат аналогичный, но реализуется иными средствами. По краям планшета (вместо микрофонов) располагаются пьезопреобразователи, которые генерируют ультразвук. Указатель является в данном случае

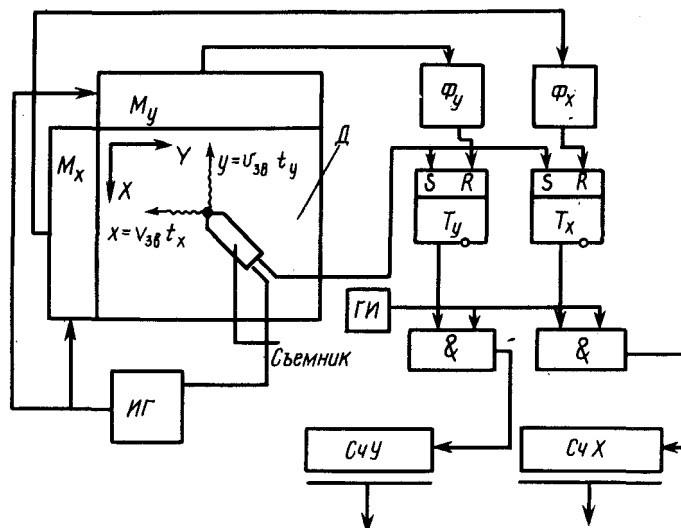


Рис. 7.29. Акустический принцип ввода графической информации.

пассивным элементом, поочередно воспринимающим колебания от пьезопреобразователей, расположенных по горизонтальной или вертикальной сторонам планшета. Как и в рассмотренном ранее случае, электронная схема должна обеспечить измерения времени прохождения сигнала от источника к приемнику и преобразовать его в код. Ультразвуковой принцип позволяет добиться большей защищенности от внешних звуковых помех.

Электрические принципы построения УВВГИ подразделяются на контактные, емкостные и индуктивные. В их основу положено определение координат элемента изображения по координатной сетке или по величине потенциала электрического поля в точке измерения. В контактных электрических УВВГИ в конструкцию планшета входит система ортогональных координатных шин, разделенных тонким слоем диэлектрика, с отверстием в узлах их пересечения. На планшет помещается носитель с графической информацией. Считывание осуществляется (рис.7.30) путем нажатия карандашом на выбранный элемент изображения, расположенный в узле матрицы шин. Верхний лист планшета упруго деформируется и происходит замыкание шины Y_i на шину X_j . Шины X последовательно возбуждаются от ДШ Y . Сигнал с шины X ; преобразуется шифратором (Шд.) в двоичный код. Одновременно осуществляется считывание кода координаты Y со счетчика $СчY$. Разрешающая способность таких планшетов зависит от шага координатной сетки.

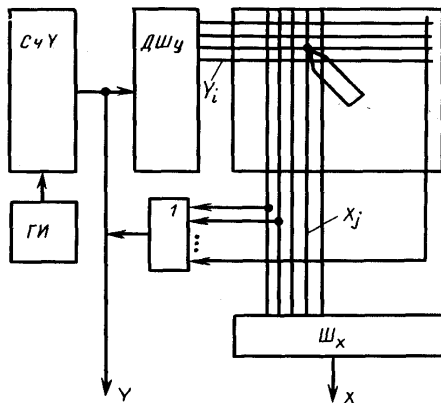


Рис. 7.30. Контактное устройство ввода графической информации.

Электрический принцип считывания может быть реализован с помощью планшета, поверхность которого покрыта полупроводниковым слоем. На его поверхности создается распределенное электрическое поле так, что каждой точке планшета соответствует свой потенциал. Съемник считывает этот потенциал, который в дальнейшем преобразуется в коды координат элемента изображения.

Планшеты индуктивных и емкостных УВВГИ также имеют матричную структуру, при этом считывание графической информации осуществляется только в узлах матрицы.

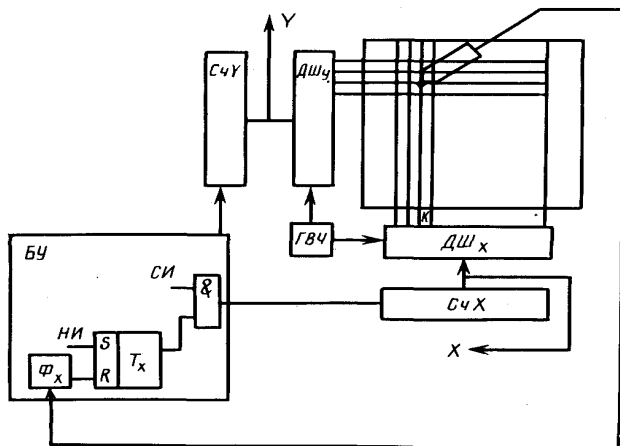


Рис. 7.31. Индуктивный принцип считывания графической информации.

Индуктивный принцип заключается в следующем (рис.7.31). Шины X и Y возбуждаются последовательно от генератора высокочастотных колебаний (ГВЧ). Съемник содержит катушку индуктивности, которая измеряет величину электрического поля в заданной точке. Измерение координат осуществляется одинаково (на рис.7.31 показана схема измерения координаты X). При указании графического элемента замыкается микро выключатель, формируется сигнал начала измерения (НИ); в блоке управления (БУ) взводится триггер T . На счетчик начинают поступать сигналы СИ и производится поочередное возбуждение шин X . Сигнал, считанный указателем и сформированный Φ_x , сбрасывает T_x , фиксируя положение $СчX$. Измерение координаты Y производится аналогично.

Емкостной принцип отличается тем, что взаимодействие указателя с координатной сеткой

осуществляется емкостной связью. В остальном логическая схема определения координат точки изображения остается такой же.

Разрешающая способность УВВГИ выполненных на базе контактного, индуктивного или емкостного принципа определяется шагом между шинами и составляет от 0,5 до 1 мм, а количество шин по каждой координате в различных устройствах колеблется от нескольких сотен до 2000.

Подобные устройства иногда называют *дигитайзерами*. Они в совокупности со специальными приложениями, размещаемыми на поверхности планшетов применялись и применяются в основном в приложениях САПР в качестве устройства графического взаимодействия.

В табл. 7.2 приведены основные характеристики некоторых типов устройств ввода графической информации первого поколения.

Таблица 7. 2. Основные характеристики некоторых типов устройств ввода графической информации первого поколения.

Модель	Размеры поля, мм	Точность измерения координат, мм	Производительность	Принцип действия
ЕС7979	594x841	0,3	время обработки документа 30 мин.	
ПКГИ-0	850x618	0,1	100 мм/мин	автомат
СМ6404	850x600	0,1	50 точек/с	индуктивный
СМ6402	850x600	0,1	100—4800 точек/ч	индуктивный

7.5.3. Современные устройства ввода графической информации.

К современным устройствам ввода графической информации можно отнести *сканеры* и *цифровые фотокамеры*.

7.5.3.1. Сканеры.

В настоящее время сканеры на базе CCD (приборы с зарядовой связью) широко применяются для автоматического ввода в персональные компьютеры (PC) цветного или черно-белого изображения с бумаги или пленки. С помощью элементов CCD оригинал построчно сканируется. Аналого-цифровым преобразователем аналоговый сигнал преобразуется в цифровой вид и далее передается в PC для последующей обработки.

Спецификации сканеров сильно зависят от областей применения. Для быстрого сканирования черно-белых документов достаточно ручного сканера, а для работ, связанных с оптическим распознаванием текста или профессионального сканирования графики, с подобным сканером уже не добиться успеха. В этом случае следует применять качественный стационарный планшетный сканер, использовать профессиональное программное обеспечение, например программы обработки изображений Photostyler, PhotoShop и программы оптического распознавания текста (OmniPage, Recognita, CuneiForm, FineReader и др.).

7.5.3.1.1. Черно-белые и цветные сканеры.

Черно-белые сканеры. В простейшем случае сканер опознает только два значения — черное и белое. Для чтения штриховых кодов подобного режима вполне достаточно. При соответствующей ширине оригинала при помощи ручного сканера с разрешением 300—400 dpi можно добиться вполне приемлемых результатов.

Сканеры с градацией серого цвета. Существуют два метода передачи оттенков серого цвета.

Первый метод (halftone) основан на том, что сканируемое изображение растривается, т. е. каждой точке изображения сопоставляется матрица определенного размера, состоящая из черных и белых точек, комбинация которых зрительно и образует полутон. Чем больше в матрице черных точек, тем фрагмент изображения кажется более темным, и наоборот. Подобный метод применяется не только при сканировании, но и для представления изображения на экране монитора и при печати на принтере.

Второй метод (gray scale) заключается в том, что в каждой точке изображения происходит измерение уровня серого и полученное значение кодируется числом в определенном диапазоне. Например, сканер может передавать 256 градаций серого. Сканеры, применяющие этот метод, работают более эффективно.

Цветные сканеры. Преобразование цветного оригинала в цифровой вид для ввода в PC основано на аддитивном сложении цветов (модель RGB), т. е. любое цветное изображение представляется в виде смешения трех цветов - красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue).

Технически это реализуется следующим образом:

- При сканировании цветной оригинал освещается не белым светом, а последовательно красным,

зеленым и синим (с помощью специального RGB-фильтра). Сканирование осуществляется последовательно для каждого цвета. После трехкратного сканирования производится предварительная обработка введенной информации и передача сканированного изображения в РС. Поскольку этот метод требует трехкратного прохода сканирующего элемента, то реализуется только в планшетных сканерах (например, фирмы Microtec).

- В процессе сканирования цветной оригинал освещается белым светом, отраженный свет попадает на CCD-матрицу через систему специальных фильтров, которые разлагают белый свет на три компонента: красный, зеленый и синий. CCD-матрица имеет три линейки фотоэлементов, каждая из которых воспринимает только "свой цвет". Далее происходит предварительная обработка информации для ввода в РС. Подобная технология реализуется в сканерах таких фирм, как Hewlett-Packard, Ricoh и др.

При сканировании цветного оригинала помните о том, что качество сканирования пропорционально объему информации, вводимой в РС. Сканирование с разрешением 800 dpi и 24-битной глубиной цвета (*TrueColor*) потребует не один мегабайт свободного места на винчестере.

7.5.3.1.2. Ручной сканер

Ручные сканеры — это приборы, которые стоят относительно дешево. Они не занимают много места и удобны для оперативного сканирования изображений из толстых книг и журнальных подшивков.

Сканирование оригинала. Основной проблемой при использовании ручного сканера является процесс сканирования оригинала. Вы должны сами перемещать сканер по оригиналу документа, а поэтому для получения хорошего результата необходимы долгие тренировки и твердая рука. Имеются различные способы получения удовлетворительных результатов подобного сканирования.

- Вы можете воспользоваться подручными (соответственно механическими) вспомогательными средствами, чтобы вести сканер по прямой линии, например рейку или толстую книгу. Кроме того, в продаже имеются специальные планшеты для сканирования ручным сканером.

- Обычно ручные сканеры оснащены LED-индикатором, который сигнализирует светом, если вы перемещаете сканер слишком быстро.

В принципе, чем выше выбранное разрешение сканера, тем точнее должен быть процесс сканирования и тем дольше сканер должен перемещаться по оригиналу. Но это также означает, что чем дольше длится сканирование, тем тяжелее достичь высокого качества.

Ширина полосы сканирования. Следующий недостаток ручного сканирования заключается в ширине полосы сканирования. Почти все ручные сканеры могут сканировать оригиналы шириной 100—105 мм. Для маленьких фотографий или рисунков этого может быть достаточно. Однако уже при сканировании текста, который обычно имеет формат А4 (с шириной 210 мм), возникают проблемы, связанные с тем, что ручной сканер за один проход может считать только половину документа.

Оригинал, который шире рабочего поля сканера, можно сканировать только за два прохода, а третьим этапом явится объединение результатов подобного сканирования в один общий документ на мониторе. Из-за неточностей ручного сканирования вы столкнетесь с искажениями, которые при дальнейшей обработке документа не позволяют получить его в неискаженном виде без потери качества.

Разрешение. Обычно ручной сканер работает с разрешением 300—400 dpi. Технически это означает, что при разрешении 400 dpi на ширину одного дюйма должно иметься 400 CCD-сенсоров.

Вы не должны заблуждаться: ручной сканер с огромным разрешением 800 dpi не дает настоящие 800 dpi. При помощи методов, называемых интерполяцией, между фактически сканированными точками вставляются дополнительные точки, цвета или градации серого цвета, которые рассчитываются исходя из значений соседних точек. Например, если в результате сканирования один из пикселей имеет значение уровня серого 36, а соседний с ним 88, то предполагается, что значение уровня серого цвета для промежуточного пикселя могло бы быть равным 62. Таким образом, если вставить все оценочные значения пикселей в файл отсканированного изображения, то разрешающая способность сканера как бы удвоится, то есть вместо "аппаратных" 400 dpi станет равной "программной" 800 dpi.

Имеет ли вообще смысл полученное подобным образом высокое разрешение? Мы позволим себе в этом усомниться, ведь сканированное изображение можно обработать и позднее.

Сканирование само по себе является искусством, а, кроме того, определяется еще многими факторами: качеством оригинала, разрешением, количеством градаций серого цвета, количеством цветов и т. д.

7.5.3.1.3. Барабанные сканеры

Родоначальником среди сканеров является барабанный сканер. Оригинал, монтируемый на барабане, освещается источником света, а фотосенсоры переводят отраженное излучение в цифровые значения. Современные барабанные сканеры применяются только в профессиональной типографской деятельности, поэтому мы не будем их рассматривать.

7.5.3.1.4. Листовые сканеры.

Стремление к миниатюризации аппаратных средств в области РС привело к появлению на рынке листовых сканеров, являющихся "младшими братьями" барабанных сканеров.

Основное отличие листовых сканеров от планшетных и ручных заключается в том, что при сканировании линейка, на которой расположены CCD-элементы, остается неподвижной, а лист протягивается относительно нее с помощью валиков.

Ширина сканируемого оригинала составляет, как правило, ширину листа формата А4, а длина может быть неограниченной и определяется мощностью РС (CPU, RAM, объем винчестера).

В соответствии с технической реализацией процесса сканирования габаритные размеры листовых сканеров невелики: высота и длина составляют 10—15 см, а ширина несколько превышает формат А4.

В некоторых моделях листовых сканеров предусмотрена возможность сканирования путем перемещения сканера по поверхности вводимого изображения. Подобные сканеры оборудованы колесиками, которые вращаются с помощью электродвигателя и заставляют сканер медленно "ползти" по оригиналу.

7.5.3.1.5. Планшетные сканеры.

Планшетный сканер вполне приемлем для профессионального сканирования. В нем устранены основные недостатки ручного сканера. Оригинал располагается в сканере на стеклянном листе, под которым головка чтения с CCD-сенсорами сканирует построчно документ с равномерной скоростью. Обычно сканер может обрабатывать документы форматов до А4 включительно (имеются модели, позволяющие сканировать и оригиналы формата А3 и более). С помощью специальных устройств освещения (слайд приставки) также можно сканировать диапозитивы и негативы.

Таблица 7.3. Характеристики сканеров

Модель	Тип	Максимальное разрешение аппаратное/ программное, dpi	Число цветов	Число градаций серого	Интерфейс
Color Artist Pro CG 8000	Ручной	800	16,7 млн.	256	AT-bus
Color Artist Pro CG 8400	Ручной	400	16,7 млн.	256	AT-bus
Cray Artist Pro CG800	Ручной	400/800	Черно-белый	256	AT-bus
Image Artist Pro HT800	Ручной	800	Черно-белый	64	AT-bus
Matador 105	Ручной	400	Черно-белый	64	AT-bus
PrinScan 105	Ручной	400	Черно-белый	64	Параллельный
PrinScan Color	Ручной	400	262 144	64	Параллельный
ScanPlus PRO	Листовой	600/1200	Черно-белый	256	AT-bus
ScanPlus Color	Листовой	600/1200	16,7 млн.	256	AT-bus
Paragon 600 IP	Планшетный	600/1200	16,7 млн.	256	SCSI
Paragon 800 SP	Планшетный	800/1600	16,7 млн.	256	SCSI
Paragon 1200	Планшетный	1200/2400	16,7 млн.	256	SCSI
HP ScanJet 4S	Планшетный	200/400	Черно-белый	16	AT-BUS
HP ScanJet 3P	Планшетный	300/1200	16,7 млн.	256	AT-BUS
HP ScanJet 3C	Планшетный	600/2400	Черно-белый	256	SCSI
Epson GT-9000	Планшетный	1200/2400	16,7 млн.	256	SCSI

Технические характеристики. Обычно размеры планшетного сканера составляют 10 см в высоту и 40 см в ширину, а длина несколько больше размера вводимой страницы. Разрешение таких сканеров находится в пределах 300—1200 dpi. Процесс сканирования черно-белого документа формата А4 продолжается примерно 10 с. При увеличении глубины цвета и разрешения это время увеличивается.

Подключение. Планшетный сканер, как правило, работает через интерфейс SCSI. Для некоторых моделей контроллер входит в комплект поставки сканера, а для других предполагается, что он уже установлен в РС.

При сканировании цветного изображения РС должен быть обязательно оборудован высокоскоростным контроллером для обеспечения передачи больших объемов информации.

Основные характеристики сканеров представлены в табл. 7.3.

7.5.3.1.6. Программное обеспечение.

В комплект каждого сканера входят соответствующие программы обработки изображений и оптического распознавания текста (OCR). О качестве и необходимости прилагаемых программ можно поспорить. Из конъюнктурных соображений ручные сканеры часто снабжаются будто бы высокопрофессиональными программами OCR и программами обработки изображений. Вы сами должны решить, какие программы действительно необходимы.

Драйверы. Сканер всегда должен иметь соответствующий драйвер. Только ограниченное количество приложений располагает встроенной программной поддержкой сканера, кроме того, вследствие отсутствия стандарта в этой области часто наблюдается несовместимость (прежде всего у ручных сканеров).

В приложениях Windows победил стандарт TWAIN, согласно которому осуществляется обмен данными между прикладной программой и сканером. Таким образом, используя любую TWAIN-совместимую программу (PhotoShop, CorelDraw, PageMaker, PhotoStyler, Picture Publisher и др.) можно сканировать изображения с помощью TWAIN-совместимого сканера. Слово TWAIN обозначает, что с помощью подобного подключения можно соединить вместе две компоненты (в данном случае сканер и программа). Консорциум TWAIN был организован с участием представителей компаний Aldus, Caere, Eastman Kodak, Hewlett-Packard и Logitech.

Программное обеспечение сканера должно обеспечивать возможность предварительного сканирования. При этом оригинал сканируется с грубым разрешением так, чтобы можно было выделить желаемую область для окончательного сканирования. Это экономит время и часто приводит к повышению качества сканирования.

Устанавливаемые вручную параметры, такие как контрастность, яркость, выбор вида изображения и т. д., предоставляют определенные возможности поддержки оптимального сканирования и обеспечения качества последующей обработки.

Хорошие программы сканирования изображений автоматически определяют параметры сканирования оригинала.

Программы OCR. Сокращение OCR обозначает оптическое распознавание символов (*Optical Character Recognition*). В своей основе это значит только то, что сканированный текст, представляющий собой графическое изображение, преобразуется соответствующими программами в коды ASCII и в дальнейшем может быть обработан обычным текстовым редактором (Word for Windows, Lexicon и др.).

При использовании программ **OCR** обратите внимание на следующее:

- Используйте качественный оригинал.
- Сканируйте изображение по возможности планшетным сканером. При использовании ручного сканера искажения могут быть настолько велики, что многие знаки распознать уже невозможно.
- Программы OCR должны быть "самообучаемыми", т. е. иметь возможность настраиваться на незнакомый шрифт или символ.
- Используйте многоалфавитное программное обеспечение. Даже самые лучшие программы OCR вас не устроят, если они могут идентифицировать только латинский алфавит и "не понимают" русские буквы. Программа CuneiForm 2.0 Professional (в базовой поставке) способна распознавать, кроме русских и английских, французские и немецкие тексты.
- Для шрифтов размером 8 и более пунктов достаточно сканировать с разрешением 300 dpi. Для меньших шрифтов (5—8 пунктов) для хорошего качества распознавания требуется разрешение 400 dpi, причем результат сильно зависит от качества оригинала.

Лидерами российского рынка систем оптического распознавания текста по праву считаются программные продукты CuneiForm (компания Cognitive Technologies) и FineReader (компания BIT Software).

7.5.3.2. . Цифровые камеры

Большое будущее ожидает развитие систем ввода данных с помощью цифровых камер. Цифровая камера в настоящее время является одним из лучших инструментов для качественного ввода изображений в РС.

Такая камера имеет оптику, аналогичную оптике обычного фотоаппарата. Правда необходимость в фотопленке отсутствует, так как сканируемое изображение принимает и преобразовывает в цифровую форму CCD-чип. CCD (*Charge Coupled Device*) — прибор с зарядовой связью (ПЗС), который преобразует оптический сигнал в электрический, причем считываемый с ПЗС аналоговый сигнал перекодируется при помощи аналого-цифрового преобразователя в цифровой и поэтому может непосредственно вводиться в РС или записываться в цифровом виде на промежуточный носитель информации — в миниатюрный жесткий диск или в накопитель на флэш-памяти (см. главу 8).

7.6. Методы и средства регистрации графической информации

В зависимости от назначения и принципа работы регистрирующего устройства графическое изображение информации может быть выполнено в виде непрерывных линий, когда отдельные расчетные (опорные) точки, вводимые в графическое регистрирующее устройство (ГРУ), соединяются между собой линией заданной конфигурации, или в виде совокупности отдельных точек.

7.6.1. Классификация средств регистрации.

Рассмотрим далее классификацию по *принципу взаимодействия записывающего органа и носителя, по способу регистрации, по методу формирования контура изображения.*

По принципу взаимодействия записывающего органа и носителя ГРУ подразделяются на двухкоординатные (планшетные) и однокоординатные (барабанные). В двухкоординатных записывающий орган перемещается по координатам X и Y по полю неподвижного носителя, закрепленного на планшете. В однокоординатных носитель перемещается по одной координате, записывающий орган — по другой.

По способу регистрации ГРУ можно разделить на механические и немеханические. В ГРУ механического типа изображение формируется путем механического нанесения красителя на бумагу. При этом в качестве записывающего инструмента применяются перья, фломастеры. В ГРУ немеханического типа для регистрации используются электрографический, электрохимический, магнитографический, электротермический способы, которые рассмотрены в главе 6.

Формирование контуров изображения в ГРУ реализуется *следящим и развертывающим методами.* При следящем методе регистрирующий орган совершает перемещение по поверхности носителя, соответствующее контуру изображения. При этом контур изображения является непрерывным. Используется в двухкоординатных и однокоординатных ГРУ. Развертывающий метод предполагает разбиение поля носителя на отдельные элементы (как при растровом методе формирования изображения в ГД). Регистрирующий орган осуществляет сканирование документа по строкам (или параллельно вдоль строки) и формирует на носителе изображение в той точке, которая совпала с принятыми координатами точки.

ГРУ характеризуется следующими параметрами:

- точностью, которая определяется отклонением координат графика от их расчетных значений; зависит от минимального шага перемещения регистрирующего органа (или носителя);
- быстродействием, определяемым скоростью вычерчивания линии;
- размерами рабочего поля носителя;
- количеством применяемых пишущих инструментов, обеспечивающих различные цвета линий и их толщину;
- возможностью вычерчивания линий различного типа (сплошные, пунктирные, штрих пунктирные);
- количеством интерфейсов, с которыми может работать ГРУ.

7.6.2. Обобщенная структурная схема системы вывода графической информации.

Система вывода графической информации включает в себя оператора, который подготавливает данные для расчета чертежа; ЭВМ, выполняющую функции создания программы управления ГРП; ГРП, который реализует команды программы рисования.

В зависимости от режима работы можно выделить три группы ГРП:

- 1) автономные, которые работают независимо от ЭВМ; информация на их вход поступает с промежуточных носителей (МЛ, МД);
- 2) с управлением от ЭВМ; в этом случае ГРП являются периферийными устройствами, подключаемыми к ЭВМ через стандартную систему ввода-вывода;
- 3) универсальные ГРП, которые работают как автономно, так и непосредственно с ЭВМ.

Для построения изображения разрабатываются программы обработки исходных данных описания чертежа. ЭВМ формирует программу из набора команд управления, выполняющих следующие функции: перемещение записывающего узла и носителя, выбор записывающего инструмента и режима его работы, запись этой программы на носитель или передача в блок управления ГРП. Далее каждая программа исполняется путем формирования определенных воздействий на приводы регистрирующего устройства и носителя.

7.6.3. Примеры построения ГРП.

Рассмотрим несколько примеров.

ГРП с механическим способом регистрации изображения работают под управлением команд, в которых элементы изображения описаны в векторной форме.

В *ГРП планшетного типа* (рис. 7.32) записывающий узел 3 закреплен в каретке 2 и перемещается в направлении Y; перемещение в направлении X производится за счет движения каретки 1. Привод кареток осуществляется системой привода 6 и 5, на входы которого поступают координаты опорных точек X и Y (или их приращения) из блока управления ГРП (БУ ГРП). После позиционирования записывающего узла производится дешифрация приказа, записанного в поле КОП

команды. В отличие от векторных ГД в командах управления ГРП в КОП указывается код пишущего инструмента (например, «выбрать фломастер красного цвета») и указание опустить, поднять. Указание «опустить» эквивалентно указанию «рисовать» в дисплейных командах. Обработка координат положения записывающего узла, осуществляемая блоками б и 5, реализуется на аналоговых и цифровых принципах..

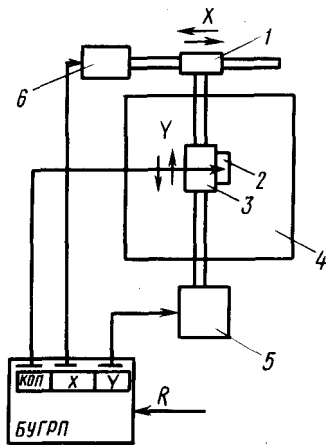


Рис. 7.32. ГРП планшетного типа

В ГРП *барабанного типа* пишущий инструмент перемещается вдоль образующей барабана (по координате Y), а носитель—по оси X. На рис.7.33 приведена схема ГРП, в которой механическое перемещение каретки и носителя выполняется с помощью шаговых двигателей ШДх и ШДу, которые

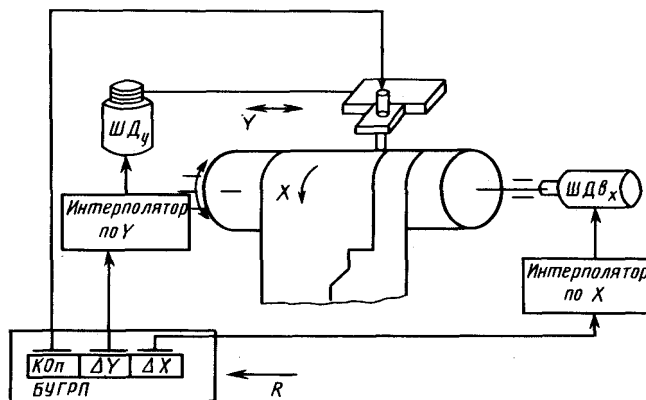


Рис. 7.33. ГРП барабанного типа.

поворачиваются на угол, пропорциональный количеству импульсов на их входе. Поэтому при выполнении команды позиционирования коды приращения координат посредством интерполяторов преобразуются в унитарные коды. Все остальные процедуры рисования выполняются так же, как и в ГРП планшетного типа. Конструктивно такие ГРП выполняются в двух вариантах — с бесконечной бумажной лентой (рулонного типа) и с барабаном, на котором закрепляется обычный лист бумаги; последние устройства по разрешающей способности приближаются к ГРП планшетного типа, но имеют меньшие габаритные размеры.

В ГРП, реализующих *развертывающий метод* формирования изображения применяются как механические, так и немеханические способы регистрации. Последние находят при разработке наиболее широкое применение, так как позволяют получить существенно более высокие скорости рисования за счет малого интервала времени на формирование отпечатка. Рассмотрим только те особенности, которые связаны с функциональным преобразованием команд программы рисования.

По выполняемым функциям ГРП развертывающего типа во многом схожи с растровыми ГД. Исходной информацией для входа ГРП является программа рисования, записанная в векторной форме. Для возбуждения записывающего узла каждый вектор должен быть развернут в последовательность пикселей посредством растрового графического процессора. Вычисленные пиксели фиксируются в ЗУ, которое выполняет те же функции, что и видео ЗУ в ГРД. Контроллер синхронно с перемещением носителя осуществляет выборку из ЗУ пикселей строки изображения на входной регистр, с которого через блок возбуждения производится передача информации на записывающий узел. Так как в ГРП отсутствует необходимость в регенерации изображения, то требования по быстродействию

существенно ниже, чем для ГД.

В настоящее время в качестве устройств вывода графической информации широко используются матричные, струйные, лазерные, сублимационные и термовосковые принтеры.

7.6.4. Характеристики ГРП.

Скорость вывода при механических способах регистрации составляет 0,2 — 1,0 м/с. Немеханические способы позволяют ее увеличить до десятков метров в секунду. Разрешающая способность современных ГРП развертывающего типа с немеханическими способами реализации достигает 5-10 линий/мм и более.

Примеры характеристик графопостроителей 90-х годов приведены в табл.7.4.

Таблица 7.4. Характеристики графопостроителей 90-х годов.

Модель	Тип ГРП и способ регистрации	Размер рабочего поля, мм	Шаг, мм	Скорость, м/с	Число символов
ЕС7054	Планшетный, механический	1000x800	0,05	250	64
ЕС7053	Рулонный, механический	841x1600 (рулон 878 x 2000)	0,01 и 0,05	150 цвета)	(3 255
СМ6403	Рулонный, электростатический	ширина 600, 2400 точек/ стр.	4 точки/мм	12000 строк/мин.	

Контрольные вопросы.

1. В чем заключается принципиальное отличие векторных и растровых ГД с точки зрения структурной организации?
2. Какие математические методы применяются в ГД с произвольным сканированием для преобразования изображения?
3. Составьте программу рисования фигуры с координатами А(0,1), В(1,3), С(4,6), Д(6,4) для точечного и векторного ГД.
4. Выполните преобразования для поворота фигуры вокруг начала координат на 180°. Какие математические методы применяются в растровых ГД для формирования изображения? Составьте алгоритмы развертки вектора АВ с координатами А(3,1), В (7,6).
5. Какова должна быть емкость видеоОЗУ, если экран цветного монитора имеет 512 строк и 512 столбцов, а изображение — 3 цвета, каждый из которых представлен в четырех градациях? Таблица цветов имеется.
6. Какие методы и технические средства ввода графической информации Вы знаете? Дайте их классификацию и поясните основные принципы работы УВВГИ.
7. Каким образом кодируется графическая информация при вводе?
8. В чем отличие следающего метода ввода графической информации от развертывающего?
9. Какие технические средства применяются в ГРП для рисования изображений?

Структуры ГД и их характеристики можно найти в [29], подробное изложение математических основ машинной графики — в [30]. Вопросам управления формированием изображения посвящена работа [31].

В Главе 7 использованы основные материалы из [1,7].

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. Ларионов А.М., Горнец Н.Н. Периферийные устройства в вычислительных системах: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая шк., 1991 – 336 с., ил.
2. Гук М. Аппаратные средства РС. Энциклопедия – СПб: Питер Ком, 1998. -816 с.: ил.
3. Мячев А.А. Системы ввода-вывода ЭВМ.-М.: Энергоатомиздат, 1983, 168с.
4. Мячев А.А. и др. Интерфейсы систем обработки данных: Справочник. –М.: Радио и связь, 1989.- 416 с., ил.
5. Новиков Ю.В., Калашников О.А., Гуляев С.Э. Разработка устройств сопряжения для персонального компьютера типа IBM PC. Под общей редакцией Ю.В. Новикова. Практ. пособие – М.: ЭКОМ., 1997.- 224 с., ил..
6. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ. /Под ред. У. Томпкинса, Дж. Уэмбстона. –М.: Мир, 1992. – 592 с., ил.
7. Айден К. и др. Аппаратные средства РС. Изд. 2-е. Перераб. И доп. – С.-Петербург.: ВHV, 1998. – 608 с., ил.
8. Чепурной В. Устройства хранения информации. – СПб.: ВHV- Санкт-Петербург, 1998. – 208 с., ил.
9. Николин В.А. Компакт-диски и CD устройства. – СПб.: Издательство Лань, 1997. – 112 с., ил.
10. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с., ил.
11. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник/ С.В. Якубовский, Л.И. Лисельсон, В.И. Кулешова и др.; под ред. С.В. Якубовского. М.: Радио и связь. 1990. – 496 с.: ил.
12. Чернов В.Г. Устройства ввода-вывода аналоговой информации для цифровых систем сбора и обработки данных. 1988, 183с.
13. Коффрон Дж., Лонг В. Расширение микропроцессорных систем: Пер. с англ./ Под ред. П.В. Нестерова. -М.: Машиностроение, 1987, 320с.
14. Краус М., Каучбах Э., Зошни О.Г. Сбор данных в управляющих вычислительных системах: Пер. с нем. -М.: Мир, 1987, 294с.
15. Методы автоматического распознавания речи: В 2 кн./Под ред. У. Ли. /Пер. с англ.— М.: Мир, 1983, Кн.1. 328с, Кн.2. 392с.
16. Обжелян Н.К. Речевое общение в системах человек — ЭВМ. -Кишинев: Штиница, 1985, 176с.
17. Речь и ЭВМ/ Под ред. Васильева. -М.: Знание, 1989, 63с.
18. Кейтер Дж. Компьютеры — синтезаторы речи: Пер. с англ. —М.: Мир, 1985, 237с.
19. Назаров С. RAID-технологии компании Promise Technology//Компьютер Пресс, 1988, № 4.- С.208 – 215.
20. Колесниченко О. и др. Лазерные принтеры. –СПб.: ВHV – Санкт-Петербург, 1997.- 272 с., ил.
21. Лагутенко А.И. Модемы. Справочник пользователя / Оформление А. Лурье -СПб.- «Лань», 1997 – 368 с., ил.
22. Хаммел Р.Л. Последовательная передача данных: Руководство для программиста: Пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 782 с., ип.
23. Балашов Е.П., Григорьев В.Л., Петров Г.А. Микро- и мини ЭВМ.- Л.: Энергоатомиздат, 1984, 376с.
24. Кейслер С. Проектирование операционных систем для малых ЭВМ.- М.: Мир, 1986, 680с.
25. Янсен И. Курс цифровой электроники. В 4-х томах: Пер. с голл. -М.: Мир, 1987. Т.3. Сложные ИС для устройств передачи данных — 412с.
26. Ковалевский В.А., Гимельфарб Г.Л., Возиянов А.Ф. Оптические читающие автоматы. /Под ред. В.А. Ковалевского. -Киев: Техшка, 1980, 207с.
27. Вуколов Н.И., Михайлов А.Н. Знакосинтезирующие индикаторы: Справочник.— М.: Радио и связь, 1987, 589с.
28. Яблонский Ф.М., Троицкий Ю.В. Средства отображения информации. -М.: Высшая школа, 1985, 298с.
29. Алиев Т.М., Вигдоров Д.И., Кривошеев В.П. Системы отображения информации. -

М.: Высшая школа, 1988, 223с.

30. Роджерс Д., Адаме Дж. Математические основы машинной графики: Пер. с англ. / Под ред. Ю.И. Топчиева. - М.: Машиностроение, 1980, 240с.

31. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1986, 399с.

32. Сиаккоу М. Физические основы записи информации. - М.: Связь, 1980, 192с.

33. Михайлов В.И., Князев Г.И., Раков Б.М. Информационные каналы запоминающих устройств на магнитных дисках. - М.: Энергоатомиздат, 1984, 176с.

34. Адамысо В.И., Каган Б.М., Пац В.Б. Основы проектирования запоминающих устройств большой емкости. - М.: Энергоатомиздат, 1984, 288с.

35. Котов Е.П., Руденко М.И. Ленты и диски в устройствах магнитной записи. - М.: Радио и связь, 1986, 223с.

36. Авах Ю.А., Фатин В.К. Односторонние запоминающие устройства. - М.: Энергия, 1981, 191с.

37. Иванов Е.Л., Степанов И.М., Хомяков К.С. Периферийные устройства ЭВМ и систем: — М.: Высшая школа, 1987, 319с.

38. Кулаков В., Зимин К. Носители информации. Часть 1: Диски, диски, диски... "Hard & Soft". №12. 1996г. стр. 48 - 53.

39. Казаров С. RAID-технологии. "Компьютер пресс"; 1998г. №4, стр. 208 - 215.

40. Фролов А.В., Фролов Г.В. Что вы должны знать о дисках CD-R и CD-RW. "Hard & Soft@". №10, 1997г., стр. 74 - 80.

41. Ларионов А.М., Майоров С.А., Новиков Г.И. Вычислительные комплексы, системы и сети. — Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1987, 288с.

42. Уткин В.И. Мультиплексоры и процессоры телеобработки данных ЕС ЭВМ. - М.: Радио и связь, 1987, 232с.

43. Гук М. Аппаратные средства локальных сетей. Энциклопедия - СПб: Издательство "Питер", 2000. - 576с.: ил.

44. Денисьева О.М., Мирошников Д.Г. Средства связи для "последней мили". Инженерная энциклопедия ТЭК.: ЭКО-ТРЕНЗ - НТС НАТЕКС. Москва, 1999. - 137с.

45. Фролов А.В., Фролов Г.А. Программирование модемов. 2-е издание, стереотипное. - М.: "ДИАЛОГ-МИФИ", 1994. - 240с. - (Библиотека системного программиста; Т. 4).

46. Фролов А.В., Фролов Г.А. Модемы и факс-модемы. Программирование для MS-DOS и Windows. - М.: "ДИАЛОГ-МИФИ", 1995. - 284с. - (Библиотека системного программиста; Т. 16).

Дополнительная литература

47. Новиков Ю.В., Карпенко Д.Г. Аппаратура локальных сетей: функции, выбор, разработка / Под общей редакцией Ю.В. Новикова. - М., Издательство ЭКОМ, 1998. - 288с.

48. Программные средства вычислительной техники: Толковый терминологический словарь-справочник. - М.: Издательство стандартов, 1990. - с. 368.

49. Гук М. Аппаратные средства IBM PC - СПб.: Питер, 1996. - 224 с.: ил.

50. Гук М. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия, 2-е изд. - СПб.: Питер, 2001. - 925 с.: ил.

51. Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. - СПб.: Питер, 2002. - 528 с.: ил.

52. Гук М. Дисковая подсистема ПК. - СПб.: Питер, 2001. - 336 с.: ил.

53. Павлов В.А. Подсистема дисковой памяти ПК. Учебно-методические материалы. СарВТИ, Саров, 2002. 270с: ил.

54. Кулаков В. Программирование на аппаратном уровне. Специальный справочник. 2-е изд. - СПб: Питер, 2003. - 848 с.: ил.

55. Кулаков В. Программирование дисковых подсистем. СПб.: Питер, 2002. - 768 с.: ил.

56. Гук М. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия, 2-е изд. — СПб.: Питер, 2001. — 928 с.: ил. (Аудиосистема PC стр. 660)

Учебное издание

ПАВЛОВ Виктор Александрович

**ПЕРИФЕРИЙНЫЕ УСТРОЙСТВА ЭВМ
ЧАСТЬ 1**

Учебное пособие для вузов